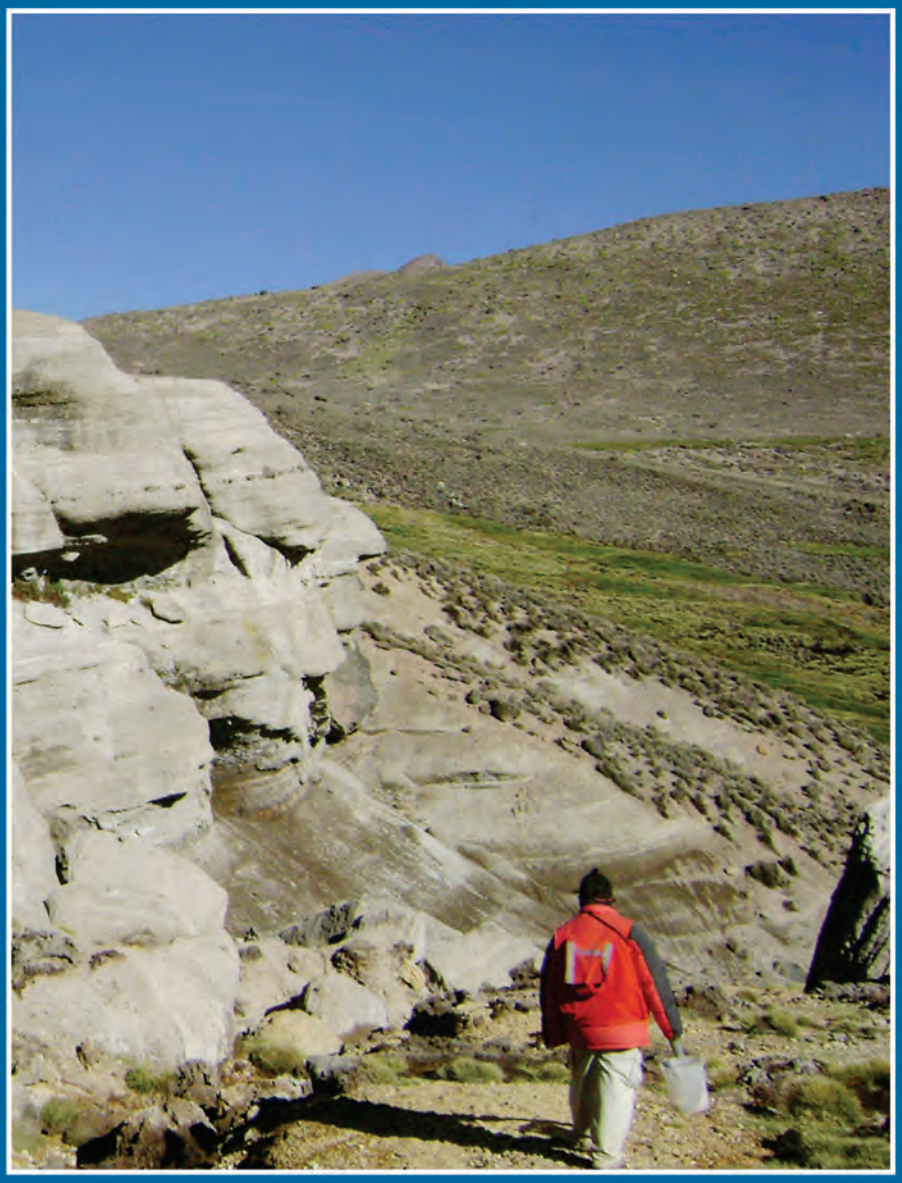
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

INGEMMET, Boletín Serie H: Hidrogeología
N° 6



Hidrogeología de la Cuenca del Río Ilo-Moquegua, Región Moquegua

Lima, Perú
2019

INGEMMET, Boletín Serie H: Hidrogeología
N° 6

Hidrogeología de la Cuenca del Río Ilo-Moquegua (13172), Región Moquegua

Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

Equipo de Investigación:

Wai Long Ng Cutipa
Fluquer Peña Laureano
Harmunt Acosta Pereira

Lima, Perú
2019

INGEMMET, Boletín Serie H: Hidrogeología
N° 6

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2019-03337

Razón Social: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET)
Domicilio: Av. Canadá N° 1470, San Borja, Lima, Perú
Primera Edición, INGEMMET 2019
Se terminó de imprimir el 5 de setiembre del año 2019 en los talleres de INGEMMET

Tiraje: 50

© **INGEMMET**
Derechos Reservados. Prohibida su reproducción

Presidente Ejecutivo: Henry Luna Córdova.

Gerente General: Yelena Alarcón Butrón.

Comité Editor: Jorge Chira Fernández, César Chacaltana Budiel, Verónica Falcone Mispireta.

Dirección encargada del estudio

Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico: César Chacaltana Budiel.

Unidad encargada de edición

Unidad de Relaciones Institucionales: Verónica Falcone Mispireta.

Revisión Técnica: Jorge Chira Fernández, Lionel Fidel Smoll, Mirian Mamani Huisa.

Revisor Externo: Dimas Apaza Idme.

Corrección gramatical y de estilo: Consuelo Mesa Lagos.

Diagramación: Daniel Chiroque Linares.

Fotografía de la carátula: Acuífero Capillune con horizontales permeables saturados (lado inferior) e impermeables, acuífero fisurado Barroso (lado superior derecho)

Referencia bibliográfica
Ng, W.; Peña, F. & Acosta, H. (2019) - Hidrogeología de la cuenca del río Ilo - Moquegua, Región Moquegua. *INGEMMET, Boletín, Serie H:* Hidrogeología,6, 292 p.,2 mapas.

Publicación disponible en libre acceso en la página web (www.ingemmet.gob.pe). La utilización, traducción y creación de obras derivadas de la presente publicación están autorizadas, a condición de que se cite la fuente original ya sea contenida en medio impreso o digital (GEOCATMIN - http://geocatmin.ingemmet.gob.pe).

Los términos empleados en esta publicación y la presentación de los datos que en ella aparecen son de exclusiva responsabilidad del equipo de investigación.

Contenido

RESUMEN....7

ABSTRACT....9

CAPÍTULO I....11
GENERALIDADES....11
1.1 INTRODUCCIÓN....11
1.2 OBJETIVOS....12
1.3 ESTUDIOS ANTERIORES....12
1.4 METODOLOGÍA DE TRABAJO....14
1.5 EQUIPO DE TRABAJO....15
1.6 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD....15
1.7 CLIMA Y ECOLOGÍA....16
1.7.1 Desierto superárido templado cálido (ds-Tc)....19
1.7.2 Desierto perárido templado cálido (dp-Tc)....19
1.7.3 Matorral desértico templado cálido (md-Tc)....20
1.7.4 Desierto desecado templado cálido (dd-Tc)....20
1.7.5 Desierto desecado subtropical (dd-S)....20
1.7.6 Desierto superárido montano bajo subtropical (ds-MBS)....20
1.7.7 Desierto perárido montano subtropical (dp-MS)....20
1.7.8 Desierto perárido montano bajo subtropical (dp-MBS)....20
1.7.9 Desierto árido montano templado cálido (da-MTc)....20
1.7.10 Desierto árido montano subtropical (da-MS)....20
1.7.11 Matorral desértico montano templado cálido (md-MTc)....21
1.7.12 Matorral desértico subalpino templado cálido (md-SaTc)....21
1.7.13 Matorral desértico subalpino subtropical (md-SaS)....21
1.7.14 Páramo húmedo subalpino subtropical (ph-SaS)....21
1.7.15 Tundra muy húmeda alpino subtropical (tmh-AS)....21
1.7.16 Nivel subtropical (NS)....21

CAPÍTULO II....23
GEOLOGÍA DEL MEDIO DE CIRCULACIÓN SUBTERRÁNEA....23
2.1 INTRODUCCIÓN....23
2.2 DOMINIOS MORFOESTRUCTURALES....23
2.2.1 Faja litoral....25
2.2.2 Cordillera de la Costa....26
2.2.3 Planicie costera....27
2.2.4 Borde oeste de la Cordillera Occidental....28
2.2.5 Cordillera Occidental....28
2.2.6 Valles transversales....29
2.2.7 Superficies volcánicas planas....30
2.3 PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS....31
2.3.1 Superficie de la cuenca....31
2.3.2 Forma de la cuenca....32
2.3.3 Sistema de drenaje....32
2.3.4 Características del relieve....34

2.4 GEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO ILO–MOQUEGUA 36
2.4.1 Estratigrafía....39
2.4.2 Rocas intrusivas 41
2.5 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL (SISTEMAS DE FALLAS)....45

CAPÍTULO III....49
CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS Y DISPONIBILIDAD HÍDRICA....49
3.1 REPRESA PASTO GRANDE 49
3.2 BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL....54
3.2.1 Precipitación....55
3.2.2 Temperatura....58
3.2.3 Humedad relativa....61
3.2.4 Velocidad del viento 61
3.2.5 Horas de sol....61
3.2.6 Evapotranspiración 61
3.2.7 Escorrentía superficial....63
3.2.8 Infiltración....65
3.3 BALANCE HÍDRICO....65

CAPÍTULO IV....67
INVENTARIO DE MANANTIALES Y POZOS....67
4.1 INVENTARIO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS....67
4.1.1 Manantiales....70
4.1.2 Pozos y sondeos....74
4.1.3 Fuentes termales 76

CAPÍTULO V....79
CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA....79
5.1 PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS....79
5.1.1 Porosidad total y porosidad eficaz (Me)....79
5.1.2 Conductividad hidráulica....80
5.2 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA....91
5.3 ACUÍFEROS....95
5.3.1 Acuíferos porosos semiconsolidados (no fracturados) 95
5.3.2 Acuíferos fisurados 100
5.3.3 Acuíferos porosos no consolidados 103
5.4 ACUITARDOS....108
5.4.1 Acuitardos intrusivos....110
5.4.2 Acuitardos volcánicos 110
5.4.3 Acuitardos sedimentarios....112
5.5 ACUÍFUGOS 113
5.5.1 Acuífugo basamento metamórfico de Arequipa 113

CAPÍTULO VI....115
HIDROQUÍMICA....115
6.1 MUESTREO Y DETERMINACIONES DE CAMPO....115
6.2 RESULTADOS DE ANÁLISIS....117
6.2.1 Parámetros físico-químicos....117
6.3 ANÁLISIS QUÍMICO....129
6.4 CLASIFICACIÓN QUÍMICA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS....129
6.5 REPRESENTACIÓN DE DATOS: MAPA HIDROQUÍMICO Y DIAGRAMAS DE STIFF MODIFICADO....131
6.6 FACIES HIDROQUÍMICAS 135
6.7 ANÁLISIS DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO....138

6.8 ANÁLISIS DE AGUA PARA EL USO AGRÍCOLA 145
6.9 ISOTOPÍA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS 147
6.9.1 Isótopos en el ciclo del agua: aplicación de isótopos estables y radioactivos 148
6.9.2 Procesos que influyen en los contenidos de ^{18}O y deuterio en la precipitación 148
6.9.3 Relación ^{18}O y deuterio 149
6.10 CARACTERÍSTICAS ISOTÓPICAS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA 149

CAPÍTULO VII 157
VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS 157
7.1 CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS 157
7.2 POTENCIALES AGENTES DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS 158
7.3 VULNERABILIDAD DE ACUÍFERO EN LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA 160
7.3.1 Vulnerabilidad despreciable 163
7.3.2 Vulnerabilidad baja 163
7.3.3 Vulnerabilidad moderada 163
7.3.4 Vulnerabilidad alta 163
7.3.5 Vulnerabilidad extrema 164

CAPÍTULO VIII 167
SISTEMAS ACUÍFEROS 167
8.1 SISTEMAS ACUÍFEROS POROSOS NO CONSOLIDADOS 171
8.1.1 El acuífero del valle de Moquegua 171
8.1.2 El acuífero del valle de Ilo 179
8.1.3 Otros acuíferos porosos no consolidados 186
8.2 SISTEMA ACUÍFERO FISURADO VOLCÁNICO Y VOLCÁNICO-SEDIMENTARIO BARROSO-CAPILLUNE 188

CAPÍTULO IX 191
PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN 191
9.1 RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS 191
9.1.1 Recarga artificial mediante zanjas de infiltración 192
9.1.2 Recarga artificial mediante barreras hidráulicas en la escollera del cauce 194
9.1.3 Recarga artificial mediante inyección de sondeos profundos 195
9.2 MEJORA DE ALMACENAMIENTO EN EL ACUÍFERO VOLCÁNICO BARROSO MEDIANTE FRACTURAMIENTO HIDRÁULICO (FRACKING) 195
9.3 PROPUESTA DE ZONAS PARA UTILIZACIÓN DE ACUITARDOS PARA RELLENOS SANITARIOS 197
9.4 CAPTACIÓN DE AGUAS DE NEBLINA 197

CONCLUSIONES 199

RECOMENDACIONES 201

BIBLIOGRAFÍA 203

ANEXOS 207
ANEXO I 209
ANEXO II 217
ANEXO III 223
ANEXO IV 259
ANEXO V 273

RELACIÓN DE MAPAS E ILUSTRACIONES 287

RESUMEN

El boletín "Hidrogeología de la cuenca del río Ilo-Moquegua" es el resultado de los estudios hidrogeológicos regionales desarrollados por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico del Perú, Ingemmet (2008-2011), a través del Programa Nacional de Hidrogeología. Con este trabajo, nuestra institución continúa con el levantamiento de la carta hidrogeológica del territorio peruano, para lo cual toma como unidades de análisis las cuencas hidrográficas.

La cuenca del río Ilo-Moquegua (13172) está ubicada en la costa sur del territorio peruano, políticamente abarca parte de las provincias de Mariscal Nieto e Ilo, ambas pertenecientes a la región Moquegua. La cuenca tiene una extensión de 3734 km² y un perímetro de 406.8 km; el relieve es agreste y variado, producto de una compleja actividad volcánica y tectónica, donde las rocas intrusivas, volcánicas y sedimentarias interactúan de diversa manera con la presencia de aguas subterráneas.

La precipitación media anual es muy baja (419.37 MMC/año), se produce principalmente en la parte alta de la cuenca, donde la recarga natural favorece al acuífero fisurado Barroso y al acuífero volcánico sedimentario Capillune.

Se han definido dos sistemas acuíferos: sistema acuífero poroso no consolidado (que involucra los valles de Moquegua e Ilo) y el sistema acuífero fisurado volcánico y volcánico-sedimentario en la parte alta (que involucra los acuíferos Barroso y Capillune, que evidencian su carácter de acuífero a través de surgencias en forma de manantiales).

El boletín contiene diagnósticos de temáticas importantes, el inventario de fuentes de aguas subterráneas se realizó para evaluar las zonas de descarga de acuíferos. Se obtuvieron registros de manantiales (incluyendo los captados), pozos y sondeos, además se cartografiaron bofedales. Estas fuentes se registraron con una determinada codificación, coordenadas, parámetros físico-químicos, hidráulicos e hidrogeológicos que se visualizan en el mapa hidrogeológico y en los anexos.

Del inventario realizado, 74 fuentes cuentan con análisis químico en laboratorio. Adicionalmente se consiguió información de instituciones que trabajan en el sector (Inrena y otros).

Las fuentes registradas se diferenciaron hidroquímicamente en dos grupos: El primero distribuido en la parte alta y baja de la cuenca, donde se encontraron tres facies químicas de aguas: aguas bicarbonatadas cálcicas (19 fuentes), sulfatadas cálcicas (7 fuentes) y sulfatadas sódicas (2 fuentes). El segundo grupo de fuentes corresponde a 5 pozos ubicados en el valle de Moquegua e Ilo, todos caracterizados químicamente por facies sulfatadas cálcicas.

El sistema acuífero Barroso-Capillune, conformado por acuíferos fracturados y volcánicos-sedimentarios, es el más importante en la cuenca desde el punto de vista hidrogeológico. Este sistema acuífero se encuentra en la parte alta, y sus manantiales son los que mantienen los cursos de agua que llegan al río Moquegua (sobre todo en la temporada de estiaje).

El sistema acuífero poroso no consolidado está conformado por los acuíferos del valle de Moquegua y el acuífero del valle de Ilo, donde existen numerosos pozos de explotación y presencia de manantiales. En este sector la precipitación es baja a nula, por lo tanto, la fuente de recarga se limita a las aguas del río Moquegua, Osmore e Ilo; que se incrementa con aguas de trasvase del proyecto Pasto Grande. En menor proporción se produce recarga por aguas de regadío.

Considerando las características intrínsecas (propias) de las formaciones geológicas apoyadas con el mapa hidrogeológico (con énfasis en valores de permeabilidad y litología), se han clasificado y ponderado las unidades geológicas de acuerdo con su vulnerabilidad, clasificándolos en cinco categorías: extrema, alta, moderada, baja y nula.

En la cuenca se identificaron sectores potenciales a ser contaminados por el uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas, quema de residuos agrícolas, existencia de botaderos de residuos sólidos y la disposición final de residuos líquidos (aguas servidas vertidas directamente sobre el acuífero) que proviene de la ciudad de Moquegua.

Se desarrollaron de manera general propuestas de intervención para la captación de aguas subterráneas y recarga de acuíferos, con técnicas que lleven de la mano el cuidado del medio ambiente.

Finalmente, el Ingemmet desarrolló el presente boletín, "Hidrogeología de la cuenca del río Ilo-Moquegua", con el objetivo de brindar información hidrogeológica que pueda ser utilizada en actividades de prospección y explotación futura de aguas subterráneas.

ABSTRACT

The bulletin “Hydrogeology of Ilo-Moquegua watershed” is the result from hydrogeology regional research of INGEMMET (2008-2011), its due for Hydrogeology Program. With this work, Geologic, Mining and Metallurgical Institute of Peru, continues with the making of the hydrogeological chart of the Peruvian territory taking as a unit of analysis, the watersheds.

Ilo-Moquegua watershed (13172) is located in the south coast of Peru, politically it covers part of the provinces of Mariscal Nieto and Ilo, both belonging to the Moquegua region. Its area is 3 734 km² and perimeter is 406.8 km. The watershed has rugged and varied relief, product of a complex volcanic and tectonic activity, where the intrusive, volcanic and sedimentary rocks interact in a varied way with the presence of groundwater.

The average annual precipitation is very low (419.37 MMC / year), it occurs mainly in the upper part of the basin, where the natural recharge favors the Barroso fractured aquifer and the Capillune sedimentary volcanic aquifer.

Two aquifer systems have been defined: Unconsolidated porous aquifer system (involving the Moquegua and Ilo valleys) and the volcanic and volcanic-sedimentary fractured aquifer system in the upper part, which involves the Barroso and Capillune aquifers, which show their aquifer character through springs.

The bulletin contains diagnostics of important topics, the inventory of groundwater sources was carried out to evaluate the discharge zones of aquifers. Records of springs (including those captured), wells and boreholes were obtained, and bofedales were also mapped. These sources were registered with a specific coding, coordinates, physical-chemical, hydraulic and hydrogeological parameters that are visualized in the hydrogeological map and in the annexes.

Groundwater inventory has 74 sources, which have chemical analysis in the laboratory. Additionally, information was obtained from institutions working in the sector (Inrena and others).

Groundwater were hydrochemically differentiated into two groups: The first distributed in the upper and lower part of the basin, where three chemical water facies were found: calcium bicarbonated waters (19 groundwaters), calcium sulphates (7 groundwaters) and sodium sulphates (2 groundwaters). The second group of sources correspond to 5 wells located in the Moquegua and Ilo valley, all chemically characterized by sulfated calcium facies.

The Barroso-Capillune aquifer system, consisting of fractured and volcanic- sedimentary aquifers, is the most important in the basin from the hydrogeological point of view. This aquifer system is in the upper part, and its springs are those that maintain the water courses that reach the Moquegua River (especially during the low season).

The unconsolidated porous aquifer system is made up of the Moquegua valley aquifers and the Ilo valley aquifer, where there are numerous exploitation wells and the presence of springs. In this sector rainfall is low to zero, therefore, the source of recharge is limited to the waters of the Moquegua, Osmore and Ilo rivers; which increases with transfer water from the Pasto Grande project. In a lesser proportion, it is recharged by irrigated water.

Considering the intrinsic (own) characteristics of the geological formations supported by the hydrogeological map (with emphasis on permeability and lithology values), the geological units have been classified and weighted according to their vulnerability, classifying them into five categories: extreme, high, moderate, low and null.

In the watershed, potential sectors were identified to be contaminated by the excessive use of fertilizers and pesticides, burning of agricultural residues, existence of solid waste dumps and the final disposal of liquid waste (wastewater discharged directly into the aquifer) that comes from Moquegua city.

It was developed in a general way, intervention proposals for the capture of groundwater and recharge of aquifers, with techniques that take care of the environment hand in hand.

Finally, the Geological Mining and Metallurgical Institute of Peru made this bulletin, “Hydrogeology of the Ilo-Moquegua watershed”, with the objective of providing hydrogeological information that can be used in prospecting activities and future exploitation of groundwater.

CAPÍTULO I
GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Ilo-Moquegua (13172) está ubicada en la costa sur del territorio peruano, políticamente abarca las provincias de Mariscal Nieto e Ilo de la región Moquegua. Su extensión es de 3734 km² y su perímetro de 406.8 km; limita por el norte con la cuenca del río Tambo, por el sur con el Océano Pacífico, por el este con la cuenca del río Locumba, y por el oeste con la cuenca del río Honda.

El río Ilo-Moquegua (13172) es el colector principal de aguas de la cuenca y se forma por las confluencias de los ríos Huaracane y Torata, tiene dirección principal noreste a suroeste. Sus tributarios y quebradas menores tienen sistema de drenaje subparalelo en la parte superior y dendrítico en la parte media e inferior.

La cuenca es de relieve agreste y variado, producto de una compleja actividad volcánica y tectónica. Se observan depósitos volcánicos y sedimentarios erosionados por los diferentes cursos de agua, fallas de dirección noreste-suroeste y cambios de relieve muy notorios.

En la parte superior, las rocas volcánicas recientes (flujos de lava del Grupo Barroso) se observan fisuradas y fracturadas, lo que genera condiciones ideales para formar acuíferos. Sin embargo; debe considerarse que estas rocas no son homogéneas, y pueden intercalarse con rocas volcánicas impermeables.

En la parte media e inferior existen dos valles: Ilo y Moquegua, cuyas longitudes aproximadas son de 36 km de largo y entre 0.05 y 4 km de ancho en el valle de Moquegua; y 18 km de largo y entre 0.1 y 0.4 km de ancho en el valle de Ilo. Estos valles son importantes desde el punto de vista hidrogeológico, porque en ellos se encuentran acuíferos porosos no consolidados con reservas importantes de agua subterránea.

Durante las décadas de los 80 y 90, la explotación de aguas subterráneas en los valles fue muy intensa, a pesar de que existía menor cantidad de pozos. Con el paso de los años, la perforación y habilitación de pozos se fue incrementando conforme aumentaba la demanda de agua, principalmente para el riego de zonas agrícolas. Estas actividades (sobre todo la sobreexplotación del acuífero) generaron descensos en el nivel piezométrico llegando hasta el punto de escasez. La parte inferior de muchos pozos quedaron por encima del nivel piezométrico del acuífero, en consecuencia, algunos pozos se secaron.

A partir del siglo XIX, ya se planteaba incorporar obras de ingeniería que puedan abastecer de agua a los valles de la costa sur del Perú. Paralelamente, en la cuenca del río Ilo-Moquegua se iban desarrollando importantes actividades mineras e industriales como la mina Cuajone y la refinería de Ilo, por lo cual el afianzamiento de recursos hídricos superficiales fue de especial interés, de allí que se implementó un proyecto de trasvase denominado Proyecto Especial Regional Pasto Grande (PERPG). Dicho proyecto consistió en trasladar aguas superficiales de una cuenca vecina (cuenca del río Tambo) a la cuenca del río Ilo-Moquegua, lo que generó el incremento de la disponibilidad hídrica. El trasvase se realiza a través de canales de conducción que cuentan con obras adicionales (como el de rápida Chilligua de 0.6 km de longitud y 8.0 m³/s de capacidad), asegurando así el régimen constante de agua superficial en la cuenca del río Ilo-Moquegua, principalmente en el valle de Moquegua y el centro poblado de Samegua. A partir de ese momento, la población de los valles comenzó a usar aguas superficiales para regadío de sus áreas agrícolas, dejando de utilizar el agua subterránea de pozos.

En la actualidad, la mayoría de los pozos se explotan parcialmente y se encuentran en viñedos y terrenos de cultivos. Otros pozos cuentan con sistemas mejorados, como el que abastece de agua potable a la ciudad de Moquegua (Pozo Totoral, mejorado con drenes horizontales subterráneos para captar mayor volumen de agua subterránea).

La recarga de ambos acuíferos de piso de valle se produce por la infiltración del agua superficial de los ríos Moquegua e Ilo, además por el retorno de riego de las aguas utilizadas en la irrigación. Los aportes naturales son casi escasos (la precipitación es baja en Moquegua, y mínima en Ilo). Asimismo, el uso constante de aguas superficiales de trasvase en Moquegua y Samegua, que recarga los acuíferos de piso de

valle, ha generado la surgencia de algunos manantiales en la parte baja de cada sector.

En cuanto a la contaminación de las aguas subterráneas, se observó durante los trabajos de campo que algunos pozos del valle de Moquegua e Ilo se han convertido en focos contaminantes, con alto riesgo de ingreso de elementos nocivos al acuífero, ya que se encuentran abandonados y con presencia de residuos sólidos. El ingreso de contaminantes normalmente perjudica la calidad química de las aguas subterráneas, elevando su salinidad e incrementando el contenido de sólidos. En la parte baja de la ciudad de Moquegua se encuentra la planta de tratamiento de aguas servidas, cuyo funcionamiento no es efectivo. En el punto de disposición final se sienten olores fétidos y, peor aún, estas aguas ingresan libremente sobre el acuífero poroso no consolidado que por naturaleza del suelo (permeabilidad alta) facilita el ingreso de contaminantes al acuífero.

La cuenca del río Ilo-Moquegua no cuenta aún con un manejo integral del uso del agua, la gestión de los recursos hídricos subterráneos y superficiales en forma conjunta no existe, lo que da cabida al uso irracional y descontrolado del agua. Ante esta problemática, y pensando en futuras demandas, el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (Ingemmet) ha desarrollado el presente trabajo titulado "Hidrogeología de la cuenca del río Ilo-Moquegua", que consiste en un análisis regional de la geología y su relación con las aguas subterráneas, con el objetivo de brindar herramientas para contribuir con un adecuado manejo y gestión del agua.

El estudio hidrogeológico se desarrolló considerando las características litológicas y estructurales de las formaciones geológicas (unidades permeables e impermeables), las fuentes de aguas subterráneas (manantiales, pozos, sondajes), cálculos de los parámetros hidrogeológicos (porosidad, permeabilidad, transmisibilidad) y los datos hidroquímicos de las aguas subterráneas; con el objetivo de diferenciar los sistemas de acuíferos presentes. Este informe constituye una base principal para el desarrollo futuro de investigaciones localizadas y más detalladas, que solucionen los problemas de abastecimiento de agua para consumo humano, industrial, minero y agrícola en la cuenca.

El principal producto con el que cuenta este boletín es el mapa hidrogeológico regional de la cuenca del río Ilo-Moquegua, donde se destaca la distribución e importancia de los acuíferos. Asimismo, se presenta el mapa de inventario de fuentes de agua, que registran las principales surgencias de aguas subterráneas como manantiales, pozos, sondajes, bofedales, etc. El mapa de vulnerabilidad de acuíferos muestra las características de cada formación geológica susceptible o vulnerable a los agentes contaminantes de acuerdo con el tipo de acuífero. Además, el mapa de propuestas de intervención servirá para identificar y zonificar lugares donde se pueden realizar proyectos de captación y recarga artificial de acuíferos. El reto a futuro es encaminar una adecuada gestión integral de los recursos hídricos, mediante un trabajo conjunto entre instituciones públicas, privadas, universidades, organizaciones entendidas en el tema del agua y la población.

1.2 OBJETIVOS

- Elaborar el mapa hidrogeológico de la cuenca del río Ilo-Moquegua (13172), a escala 1:100 000.
- Caracterizar las unidades hidrogeológicas con posibilidad de almacenar y transmitir agua subterránea, e identificar las unidades impermeables.
- Identificar las principales fuentes o puntos de surgencia de aguas subterráneas en la cuenca del río Ilo-Moquegua (13172), tales como manantiales, pozos, bofedales y otros, y representarlas en un mapa de inventario de fuentes de agua subterránea.
- Realizar la clasificación hidrogeoquímica de las fuentes de aguas subterránea mediante el análisis químico e isotópico de las aguas subterráneas presentes en la cuenca.
- Identificar los acuíferos más vulnerables y proponer zonas de intervención para la recarga artificial de acuíferos, captación de aguas subterráneas y otros, con métodos innovadores a nivel de cuenca.
- Continuar con la elaboración del banco de datos de la carta hidrogeológica del territorio peruano.

1.3 ESTUDIOS ANTERIORES

Los estudios realizados en la cuenca son diversos, los más antiguos datan de los años 1906 y 1908, efectuados por el Cuerpo de Ingenieros de Minas del Perú, que se enfocaron en estudios hidrológicos, evaluación y ordenamiento de los recursos hídricos tanto superficiales como subterráneos, con énfasis en acuíferos porosos no consolidados de piso de valle de Moquegua e Ilo. En 1966, en los valles de Ilo y Moquegua se empezaron a desarrollar numerosos estudios hidrogeológicos a través de investigaciones geofísicas y sondeos de perforación. Los primeros estudios hidrogeológicos, propiamente dichos, se emprendieron en 1970 "Investigaciones hidrogeológicas del acuífero regional Capillune, con el objetivo de incrementar la oferta hídrica del valle de Moquegua". En 1972 se llevaron adelante nuevos estudios con el fin de solucionar el abastecimiento de agua para la refinería de Ilo, por la empresa minera Southern Perú.

Entre los estudios efectuados en la cuenca se tienen los siguientes:

- CUERPO DE INGENIEROS DE MINAS DEL PERÚ (1906). "Caudal, procedencia y distribución de aguas de los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna". Este informe se refiere al abastecimiento de agua superficial al valle de Moquegua con trasvase de cuenca. También contiene información de los primeros dos pozos del valle de Ilo, la explotación de agua subterránea a través de bombas a vapor (con leña). En Moquegua se incrementaba la perforación de pozos, mediante bombas de aceite y gasolina, muy escasas en su tiempo. Por otro lado, se afirma que la cabecera de cuenca no es precisamente la parte más alta de la Cordillera Occidental, sino que al encontrarse entre las cuencas del río Tambo y Locumba, quedó en cierto grado encajonado en su parte media, haciendo que la cabecera de cuenca del río Ilo-Moquegua, se ubique en una parte más baja.
- CUERPO DE INGENIEROS DE MINAS DEL PERÚ (1908). "Dos Informes internos sobre los valles de Ilo, Moquegua e Ica". El trabajo muestra una descripción de la geografía y geología del valle de Moquegua, diferenciando dos grandes provincias (la costanera y la montañosa), no cuenta con datos de pluviometría, pero se conocía que el río Moquegua en cierta época del año no llegaba a la parte baja del piso de valle (sector La Rinconada), lo cual reduce la infiltración en los acuíferos porosos. También detalla que un tercio de la cuenca se encuentra en la provincia montañosa, y constituye la parte más favorable para la recarga, sobre todo desde el punto de vista geográfico e hidrológico (zona de mayor precipitación). Igualmente, en Ilo se menciona a grandes rasgos a las rocas cristalinas e intrusivas preterciarias, sugiriendo perforación de pozos en el piso de valle (similar al empleado en el valle de Ica), que técnica y económicamente era factible.
- PÉREZ, GUILLERMO (1966). "Estudio hidrogeológico. Valle de Moquegua". Es un estudio regional que toma en cuenta las características litológicas de las rocas que se encuentran en la parte alta, las cuales se identifican como rocas poco permeables. El estudio afirma que la pérdida por infiltración en la parte alta es ínfima por tratarse de rocas volcánicas e intrusivas poco permeables, además de tener pendiente alta. Así mismo sostiene que la pérdida de agua por evaporación es alta (a causa de la alta temperatura, insolación del día y baja humedad). También acota que los caudales en los ríos disminuyen no sólo por la evaporación, sino también porque el río Moquegua recarga al acuífero aluvial del valle de Moquegua, con basamento de rocas de la Formación Moquegua y Grupo Toquepala.
- PÉREZ, GUILLERMO (1966). "Estudio hidrogeológico. Valle de Ilo". En este trabajo se menciona que, para esa temporada, el nivel freático descendió considerablemente dejando algunos pozos como inutilizables (pozos secos), a causa de la sequía que se presenciaba. Era tal la escasez del recurso hídrico, que Southern abastecía de agua desde Toquepala; y en esos años contrató a Bechtel Corporation para la instalación de una planta desalinizadora de aguas de mar, con capacidad de 500 gal/min (31 L/s) a un costo de S/ 40 millones, la que entraría en funcionamiento en el mes de octubre de ese año. El autor también refiere que posiblemente las aportaciones de agua subterránea hacia el piso de valle de Ilo provenían de la quebrada Guaneros, afirmación que fue rechazada por los estudios de geofísica del mismo año (Arce, 1966). El basamento de este acuífero lo conformaban cuerpos intrusivos y rocas volcánicas de la Formación Chocolate.
- DIRECCIÓN DE AGUAS DE REGADÍO, MINISTERIO DE AGRICULTURA (1966). "Estudios geofísicos por agua subterránea en los valles de Moquegua, Ilo, Tacna (Magollo) y Sama". Este estudio se realizó en un marco de emergencia, para solucionar problemas causados por la sequía en los departamentos de Moquegua y Tacna. Los estudios geofísicos fueron importantes para localizar zonas de perforación de pozos para la extracción de aguas subterráneas en los 4 valles. El método utilizado fue el de resistividad eléctrica, recomendándose distintos lugares de perforación de pozos para el valle de Moquegua (se realizaron 13 perfiles geofísicos y 11 sondajes eléctricos). En Ilo, se recomendó la suspensión de la explotación de pozos (menos los que eran usados para riego), sin embargo, se realizaron 5 perfiles geofísicos y 17 sondajes eléctricos en el piso de valle, para ampliar la profundidad de los pozos existentes.
- OFICINA SECTORIAL DE PLANIFICACIÓN AGRARIA, MINISTERIO DE AGRICULTURA (1968). "Estudio hidrológico del río Moquegua". Trabajo que describe las características hidrológicas y climáticas de la cuenca (utilizando los métodos estadísticos de regresión y correlación estadística), el régimen de aguas o corrientes superficiales, las características de los ríos y la cuenca de recepción, además de la estimación del volumen de explotación de aguas subterráneas en los valles de Moquegua e Ilo. También realiza un análisis de la demanda de agua para riego y, finalmente, un balance hidrológico para fines de regadío, para cada zona del valle y para cada uno de los meses del año.

- MINISTERIO DE AGRICULTURA & MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS (1972). "Estudio hidrogeológico **para la refinería de Cobre de Ilo".** El estudio consiste en determinar una fuente para el abastecimiento de agua a la refinería de cobre de Ilo, cuya demanda fue de 1-3 L/s para la construcción, y de 15-30 L/s para operación. En ella se registra un inventario de fuentes de agua subterránea, un reconocimiento geológico y geomorfológico, se determinó el acuífero de piso de valle de Ilo, su explotación, hidrodinámica subterránea e hidrogeoquímica, así como el estudio de prospección geofísica. El objetivo principal fue determinar las zonas favorables para la captación de aguas subterráneas a través de pozos, determinándose dos zonas para dicho propósito. También se desarrollaron las especificaciones técnicas del pozo a perforarse para el abastecimiento.
- ONERN (1976). "Inventario, evaluación y uso racional de los recursos naturales de la costa. Cuencas de los ríos Moquegua, Locumba, Sama y Caplina". Comprende 3 volúmenes: El volumen I es el más importante, se refiere a las características generales del proyecto y la zona de estudio, también se tiene ecología vegetal, aspectos geológicos, suelos, uso actual de las tierras y recursos hídricos. El volumen II refiere a los temas de transporte e infraestructura vial, el diagnóstico económico del sector agropecuario, y el esquema preliminar del desarrollo. El volumen III corresponde a los mapas y anexos. En general, este estudio está referido a los problemas que afectaban la agricultura de los valles de Moquegua, Locumba, Sama y Caplina.
- CCOSI, JOSÉ (1976). "Geomorfología de la cuenca receptora de Moquegua". Describe las características de relieve y su modelado por el cambio climático, a través de los procesos degradacionales (erosión y transporte) y agradacionales. Su zona de estudio abarca los cerros Trapiche (al oeste de la ciudad de Moquegua) y el cerro Baúl (al noreste), haciendo la descripción geológica y geomorfológica local, y su comportamiento en cuanto a la infiltración y escurrimiento (superficial y subterráneo).
- DGASI (1983). "Evaluación de los recursos hídricos subterráneos en el valle Moquegua-Ilo". En este trabajo se describen las características generales de la cuenca, la hidrometeorología, el inventario de las obras de captación de aguas subterráneas, geología, geomorfología y geofísica, además de hidrogeoquímica y cálculo de reservas. También, por primera vez, se mencionan temas de intrusión marina y sus características en el sector de Ilo. Por otro lado, se menciona el acuífero Capillune, ubicado en la parte alta, en el sector de Titijones (en la cabecera de cuenca), y finalmente resalta el uso e importancia de las aguas de los manantiales (con un volumen de 8 085 830 m³/año de suministro de agua). Respecto al sector de Titijones, en este trabajo se tiene registro de 7 pozos (5 utilizables), ubicados a alturas entre 4488-4553 m s. n. m., de 110 m a 262 m de profundidad y perforados entre 1970-1977, con caudales de explotación que varían entre 80.6 y 138.5 L/s.
- Inrena (2003). "Evaluación y Ordenamiento de los Recursos Hídricos en la cuenca del río Tambo y Moquegua". En este trabajo se describen los recursos hídricos superficiales, sistemas hidrográficos e hidráulicos, y el uso del agua superficial en la agricultura, todo ello por subcuencas. Se mencionan de manera especial los bofedales y manantiales más importantes de la cuenca del río Ilo-Moquegua, contando con fichas de inventario como registro. Este trabajo tiene como objetivo identificar y cuantificar las principales fuentes hídricas superficiales y subterráneas (solo manantiales), para poder contar con una base de datos de la cuenca.
- Inrena (2004). "Estudio hidrogeológico del valle Moquegua-Ilo". Este trabajo describe la investigación geofísica, analizada conjuntamente con las propiedades hidrogeológicas del acuífero poroso de los pisos de valle en Moquegua e Ilo. También menciona sus características hidroquímicas, características hidrogeológicas del acuífero y su cálculo de reservas. Este trabajo incluye además un inventario de fuentes de agua subterránea (pozos). En hidrogeoquímica describe la composición química del agua subterránea, y lo compara con los diagramas de potabilidad para distintos usos (Schoeller, Wilcox, etc.). Adicionalmente realizan análisis bacteriológico para ver posibilidades de uso en consumo humano. El estudio concluye recomendando 24 sectores con buenas condiciones hidrogeológicas para la explotación de aguas subterráneas a través de 17 pozos profundos y 7 a tajo abierto.
- Senamhi (2009). **"Balance hídrico superficial cuenca del río Ilo-Moquegua".** Este trabajo muestra que la cuenca hidrográfica durante todo el año es deficitaria, con un déficit promedio mensual de 75.4 mm/mes. Para la determinación del balance hídrico, emplearon la ecuación que relaciona las variables de precipitación, evapotranspiración y escurrimiento superficial, sin considerar las aguas de trasvase del proyecto Pasto Grande.

1.4 METODOLOGÍA DE TRABAJO

El presente trabajo se ha desarrollado dentro de la cuenca hidrográfica del río Ilo-Moquegua, correspondiente a una investigación hidrogeológica regional. El estudio ha seguido la metodología que consta de las siguientes etapas: recopilación

de información, registro de datos, caracterización hidrogeológica, cálculo y análisis, interpretación y propuesta de intervención.

La recopilación de la información se basó en la adquisición de data bibliográfica, cartográfica y documental. La información bibliográfica se obtuvo de bibliotecas como del Ingemmet, el Inrena, la ANA, universidades, proyectos especiales y otros; así como de publicaciones geocientíficas. Los temas que se recopilaron se basaron en información de estudios hidrogeológicos, hidrológicos, geológicos, geomorfológicos, de recursos hídricos, ambientales, etc. La información cartográfica se obtuvo del Instituto Geográfico Nacional (IGN), la cartografía geológica del Ingemmet. Los datos meteorológicos e hidrológicos se obtuvieron del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (Senamhi).

El registro de datos se desarrolló en 3 campañas de campo donde se realizaron trabajos específicos como el inventario de fuentes de agua subterránea, midiendo in situ los parámetros físico-químicos y tomando muestras de aguas, tanto para el análisis químico como para el isotópico. Se tomaron en cuenta algunos parámetros hidráulicos como el caudal y estado de las fuentes (captaciones para aguas de consumo humano y riego). Además del inventario, se realizó la cartografía hidrogeológica de superficie, mediante el reconocimiento y caracterización de las formaciones geológicas.

Para precisar la caracterización hidrogeológica, se usaron imágenes satelitales Landsat TM, 7, 4, 2 (RGB), donde sobre base de la interpretación se determinaron estructuras geológicas e hidrogeológicas. La interpretación de estas estructuras fue corroborada con registros de campo, donde además se desarrollaron ensayos de infiltración puntual en los afloramientos rocosos y de algunos materiales no consolidados. Este trabajo nos permitió caracterizar los valores de permeabilidad superficial de las formaciones geológicas.

El análisis químico de las muestras de agua estuvo a cargo del laboratorio de análisis químico de aguas del Ingemmet y el laboratorio Inspectorate Services Perú SAC, analizándose cationes y aniones mayoritarios, además de metales disueltos (incidiendo en los metales pesados). Los análisis isotópicos de agua subterránea (oxígeno 18 y deuterio), se realizaron en el laboratorio de isótopos ambientales, del Departamento de Aplicaciones Nucleares del Ministerio de Energía de Chile.

La interpretación de los resultados de los análisis físicos, químicos e isotópicos se llevó a cabo con apoyo del software AquaChem V.5.1. Los datos correspondientes al mapa hidroquímico se representaron en diagramas de Stiff. Estas representaciones permiten comparar distintos análisis entre sí y observar rápidamente, en un mismo panorama, la distribución de aniones y cationes mayoritarios. Para representar en forma conjunta los datos correspondientes, se utilizaron los diagramas triangulares de Piper (1944). Para Los datos isotópicos, se usaron los diagramas de dispersión bidimensional de oxígeno 18 en relación con deuterio, y su respectivo análisis a la Línea Meteórica Mundial (LMM), ya que no se cuenta con una Línea Meteórica Local (LML) en este sector.

La interpretación y análisis de los datos de campo se encuentran en los mapas temáticos que se compusieron con el software ArcGis 10.1.

Las propuestas de intervención se desarrollaron con base en las necesidades identificadas en el proyecto, las características y las condiciones hidrogeológicas de las formaciones geológicas, dándole énfasis a la recarga artificial de acuíferos.

1.5 EQUIPO DE TRABAJO

En la elaboración del presente boletín, participaron los geólogos Wai Long Ng y Fluquer Peña como responsables del estudio; Harmuth Acosta como responsable de la parte geológica; Mauro Sánchez, Gerson Cotrina y Víctor Vargas como colaboradores en los trabajos de campo. Además, se contó con el apoyo de Elmer Condori, Boris Santos y Samuel Lu en los trabajos de gabinete.

Agradecemos a todas las personas que colaboraron con la elaboración del presente boletín y a los que trabajaron en forma directa e indirecta, proporcionando información valiosa que fue utilizada en el presente trabajo.

Nuestro agradecimiento también a las instituciones públicas y privadas que trabajan en la cuenca y a las autoridades comunales y población de los lugares visitados, por las facilidades y apoyo brindado.

1.6 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

La cuenca del río Ilo-Moquegua se ubica en la costa sur del Perú, políticamente abarca parte de las provincias de Mariscal Nieto e Ilo, de la región Moquegua (Figura 1.1). Morfológicamente la cuenca es sinuosa en la parte alta (hacia la Cordillera Occidental) comparada con la parte baja (zona plana llamada pampa costanera). Sin embargo, también se presentan morfologías más localizadas, como la faja litoral (en cuyas extensiones se encuentran las playas más cercanas a Ilo), dos pisos del valle (Moquegua e Ilo) en la cual se desarrolla la agricultura y la industria en sus alrededores, y una pequeña altiplanicie llamada pampa Titijones (en el extremo noreste de la cuenca).

Desde el punto de vista geográfico, la cuenca del río Ilo-Moquegua se ubica entre las coordenadas UTM siguientes:

Norte: 8 034 000 (monumento boliviano al mar Pacífico) y 8 135 000 (cerro Arichua)

Este: 247 000 (Punta Coles) y 347 000 (al oeste de la naciente de la quebrada Asana)

A nivel de cuencas hidrográficas, la cuenca del río Ilo-Moquegua limita por el norte con la cuenca del río Tambo, por el sur con el Océano Pacífico, por el este con la cuenca del río Locumba y por el oeste con la cuenca del río Honda y la intercuenca 13170.

La accesibilidad hacia la cuenca tiene diversas entradas:

- Vía terrestre:
- Por la carretera Panamericana Sur: desde Lima (1145 km, 16 horas aproximadamente en auto, de norte a sur), y desde Tacna (154 km, 1 hora y 30 minutos aproximadamente en auto, de sur a norte).
- Por la vía costanera: Camaná-Mollendo-Punta de Bombón-Ilo (de norte a sur), y Los Palos-Boca del río Ite-Ilo (de sur a norte).
- Por la carretera Interoceánica Sur (Tramo 5 ramal 2) Azángaro-Juliaca-Ilo.
- Por la carretera o corredor binacional Perú-Bolivia (La Paz-Desaguadero-Mazo Cruz-Moquegua-Ilo: (462 km) (214 km, 3 horas y 30 minutos, aproximadamente, en auto tramo Mazo Cruz-Moquegua).
- Por las carreteras departamentales sin afirmar que ingresan por el lado noroccidental de la cuenca: Omate y Quinistaquillas-Moquegua, Calacoa-Cuchumbaya-Carumas-Moquegua.
- Vía marítima: por el puerto de Ilo.
- Vía aérea: por los aeródromos Ilo y Moquegua, no existen vuelos comerciales.

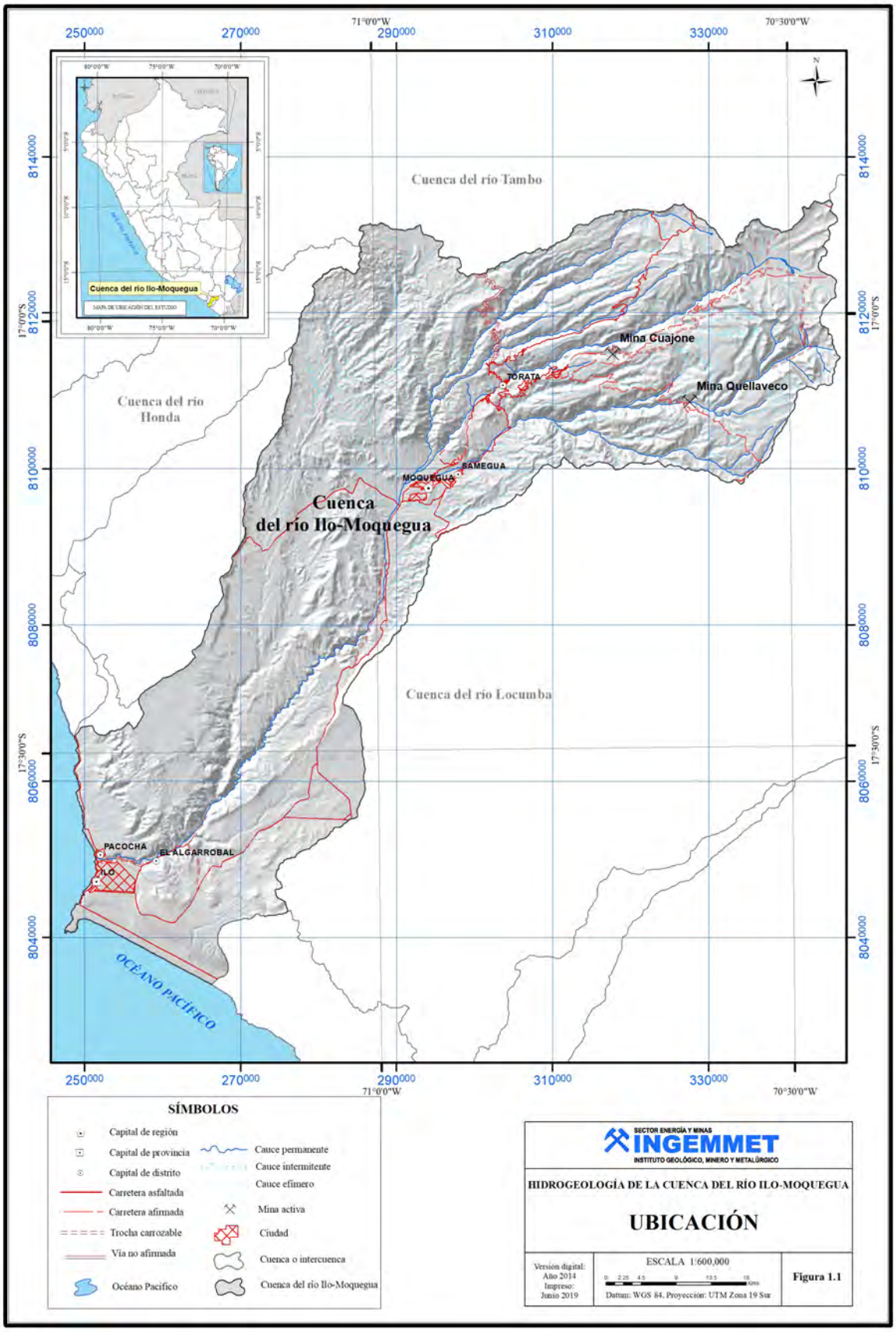
1.7 CLIMA Y ECOLOGÍA

El clima y la biodiversidad en el Perú están condicionados por varios factores, haciendo de este un territorio con múltiples y complejas características climatológicas y ecológicas. Para la zona sur del Perú, 3 factores determinan las características climatológicas y ecológicas: la latitud (cercanía a la línea ecuatorial), la Cordillera de los Andes y la corriente de Humboldt (o Corriente Peruana).

La clasificación de las zonas de vida propuesta por el Dr. Leslie R. Holdridge y sus colaboradores definen en forma cuantitativa la relación del orden natural de los factores del clima y la vegetación, estos factores son independientes y dependientes. Los factores independientes comprenden 3 componentes climáticos fundamentales: la biotemperatura, la precipitación y la humedad ambiental. Los factores dependientes o factores bióticos son los subordinados a la acción directa del clima de cualquier parte del mundo. El sistema se plasma en un modelo de configuración tridimensional que demuestra la interacción de los factores climáticos, y que abarca gráficamente todas las zonas de vida que puedan ocurrir en el mundo.

Las zonas de vida (y sus zonas de carácter transicional) se encuentran en 3 franjas latitudinales (tropical: desde el ecuador al paralelo 12°, subtropical: desde el paralelo 12° hasta el paralelo 17°, y templada cálida: desde el paralelo 17° hasta la frontera con Chile, para el Perú). Se debe tener en consideración que muchas de estas unidades ecológicas (o zonas de vida) tienen características similares de vegetación, relieve y tipos de suelos; pero distintas características de precipitación, temperatura, evapotranspiración y ubicación latitudinal.

En la cuenca del río Ilo-Moquegua, de acuerdo con la clasificación de zonas de vida de Holdridge (Figura 1.2), se encuentran 16 unidades ecológicas (Cuadro 1.1), Inrena (1976 y 1995), las cuales se han representado en un mapa ecológico (Figura 1.3), que se describen a continuación.


Cuenca del río Tambo
Cuenca del río Honda
Cuenca del río Locumba
Cuenca del río Ilo-Moquegua
Mina Cuajone
Mina Quellaveco
TORATA
MOQUEGUA
SAMEGUA
PACOCHA
EL ALGARROBAL
ILO
OCÉANO PACÍFICO
Cuenca del río Ilo-Moquegua
MAPA DE UBICACIÓN DEL ESTUDIO
SÍMBOLOS
Capital de región
Capital de provincia
Capital de distrito
Carretera asfaltada
Carretera afirmada
Trocha carrozable
Vía no afirmada
Océano Pacífico
Cauce permanente
Cauce intermitente
Cauce efímero
Mina activa
Ciudad
Cuenca o intercuenca
Cuenca del río Ilo-Moquegua
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA
UBICACIÓN
Versión digital:
Año 2014
Ingreso:
Junio 2019
ESCALA 1:600,000
Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 19 Sur
Figura 1.1

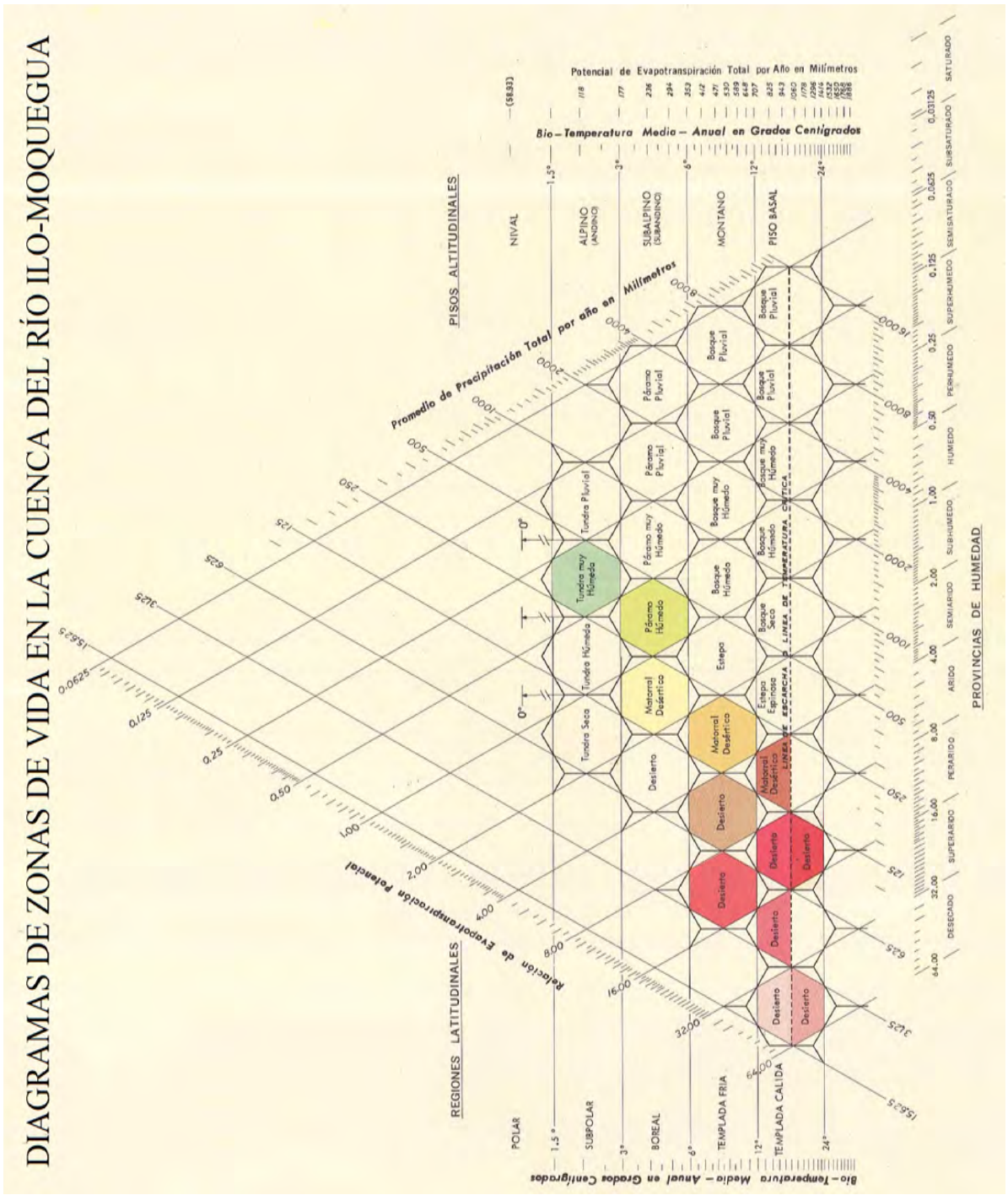


Figura 1.2 Diagrama de clasificación de zonas de vida, según Holdridge

1.7.1 Desierto superárido templado cálido (ds-Tc)

Esta unidad ecológica se presenta en dos sectores, en los alrededores de las ciudades de Ilo y al nor-noreste de Moquegua (cerros Peñablanca, Baúl, Huaracane y Muyllune). En Ilo, se caracteriza por llegar a 350 m s. n. m., su relieve es ligeramente plano hasta el extremo inferior de la cadena costanera; en cambio, en Moquegua ocupa entre 1600 y 2700 m s. n. m., pudiendo llegar a 2900 m s. n. m. (cerro Domincune). Tiene un relieve ondulado a accidentado, conformado por laderas de fuerte pendiente, siendo escasas las áreas relativamente planas u onduladas. En esta unidad ecológica la biotemperatura media anual máxima varía entre 12 y 18 °C y el promedio mínimo de precipitación total anual es de 3.4 mm (Ilo, Moquegua). Según el diagrama de Holdridge, el promedio de evapotranspiración potencial total por año varía entre 16 y 32 veces el valor de la precipitación, por tanto, se ubica en la provincia de humedad superárido.

1.7.2 Desierto perárido templado cálido (dp-Tc)

Esta unidad ecológica se encuentra dividida en dos sectores. Una abarca desde el sector Sacramento hasta Santo Domingo en el piso del valle de Ilo, extendiéndose paralelamente a la costa, ocupando alturas que van por encima de la unidad ecológica ds-Tc (hasta los 1300 m s. n. m. en el cerro Montón de Trigo). El otro sector constituye una franja en el pie de la Cordillera Occidental, situada sobre la segunda unidad ecológica ds-Tc prolongándose hacia unos 3300 m s. n. m. (pampa Colorada, villa Cuajone, Quele Grande e Inogoya Grande). En ambos sectores el relieve es accidentado y presenta pendientes mayores al 70 %, y según el diagrama de Holdridge, el promedio de evapotranspiración potencial total por año varía entre 8 y 16 veces el valor de la precipitación. Por tanto, se ubica en la provincia de humedad perárido. La prolongación de esta unidad ecológica (dp-MBS) es de características similares en cuanto al relieve y la evapotranspiración potencial total por año, la diferencia aproximada está en la ubicación geográfica (17°00´) que delimita la región latitudinal.

Cuadro 1.1
Unidades ecológicas de la cuenca del río Ilo-Moquegua.

Unidades Ecológicas		
N°	Símbolo	Descripción
1	ds-Tc	Desierto superárido Templado cálido
2	dp-Tc	Desierto perárido Templado cálido
3	md-Tc	Matorral desértico Templado cálido
4	dd-Tc	Desierto desecado Templado cálido
5	dd-S	Desierto desecado Subtropical
6	ds-MBS	Desierto superárido Montano Bajo Subtropical
7	dp-MS	Desierto perárido Montano Subtropical
8	dp-MBS	Desierto perárido Montano Bajo Subtropical
9	da-MTc	Desierto árido Montano Templado cálido
10	da-MS	Desierto árido Montano Subtropical
11	md-MTc	Matorral desértico Montano Templado cálido
12	md-SaTc	Matorral desértico Subalpino Templado cálido
13	md-SaS	Matorral desértico Subalpino Subtropical
14	ph-SaS	Páramo húmedo Subalpino Subtropical
15	tmh-AS	Tundra muy húmeda Alpino Subtropical
16	NS	Nival Subtropical

1.7.3 Matorral desértico templado cálido (md-Tc)

Constituye dos áreas ligeramente rodeadas por la unidad anteriormente descrita, y separadas por el río Ilo. La primera zona abarca desde el cerro Zaparito hasta la quebrada de las Cherras (hasta 1300 m s. n. m.) y desde el cerro Loreto hasta la pampa Mesa Grande (máxima de 900 m s. n. m.). El relieve constituye las partes más altas y accidentadas de la cadena de la costa. Según el diagrama de Holdridge, la evapotranspiración potencial total por año varía entre 4 y 8 veces el valor de la precipitación, por tanto, se ubica en la provincia de humedad árido.

1.7.4 Desierto desecado templado cálido (dd-Tc)

Constituye un área parecida a la planicie costanera en la cual discurren los ríos Huaracane, Torata y Tumilaca (afluentes de los ríos Moquegua y Osmore), hasta la quebrada Guaneros. El relieve es variado: plano (en la pampa costanera), ondulado (cerca la ciudad de Moquegua) y abrupto (en el encajonamiento de Osmore y sus laderas). También se encuentran pequeñas colinas y laderas (como el cerro Chololo, Alto terrones, Homo, y las pampas de Lechuzas, hasta las proximidades del cerro Baúl). Según el diagrama de Holdridge, el promedio de evapotranspiración potencial total por año es mayor a 64 veces el valor de la precipitación, por tanto, se ubica en la provincia de humedad desecado.

1.7.5 Desierto desecado subtropical (dd-S)

Esta unidad ecológica es la continuidad de la unidad dd-Tc (el límite aproximado es 17°10´) y constituye una unidad de pequeña extensión, limitado desde la unidad dd-Tc hasta los 2250 m s. n. m. y de relieve plano a ligeramente ondulado. Según el diagrama de Holdridge, el promedio de evapotranspiración potencial total por año varía entre 32 y 64 veces el valor de la precipitación, por tanto, se ubica en la provincia de humedad desecado.

1.7.6 Desierto superárido montano bajo subtropical (ds-MBS)

Corresponde a la continuación de la unidad ecológica ds-Tc, y se encuentra por encima de la unidad dd-S, alcanzando alturas de 2700 m s. n. m. En esta unidad se encuentra el cerro Huanacune, la pampa de Lechuzas y Aguada Grande. El relieve es moderadamente accidentado y según el diagrama de Holdridge, el promedio de evapotranspiración potencial total por año varía entre 16 y 32 veces el valor de la precipitación, ubicándose en la provincia de humedad superárido.

1.7.7 Desierto perárido montano subtropical (dp-MS)

Esta unidad ecológica es también de pequeña extensión, y se encuentra en la parte noroeste de la cuenca, entre los cerros Los Calatos y el sector de Aguada Chica. Alcanza alturas poco mayores de 3350 m s. n. m. (cerros Los Calatos), y es de relieve accidentado. Según el diagrama de Holdridge, el promedio de evapotranspiración potencial total por año varía entre 8 y 16 veces el valoWr de la precipitación, por tanto, se ubica en la provincia de humedad perárido.

1.7.8 Desierto perárido montano bajo subtropical (dp-MBS)

Se encuentra entre los cerros Huanacune y sectores Homogoy, Apacheta, Cuesta Jahuay, pampa Terrones, y corresponde a la continuación de la unidad ecológica dp-Tc, alcanza alturas de 2900 a 3200 m s. n. m. El relieve es dominantemente accidentado, con pendientes pronunciadas de hasta 70 %, alternando con áreas de topografías más suaves. Según el diagrama de Holdridge, el promedio de evapotranspiración potencial total por año varía entre 8 y 16 veces el valor de la precipitación, por tanto, se ubica en la provincia de humedad perárido.

1.7.9 Desierto árido montano templado cálido (da-MTc)

Esta franja se encuentra por encima de la unidad ecológica dp-Tc, alcanza alturas de hasta 3850 m s. n. m., desde los cerros Cruz Laca, pampa Tolar y Porquene (al sur), y los sectores Yariguaya, Loma Caracol Chico y cerro Chujune (hacia el norte, otros sectores importantes en esta zona son villa Botiflaca e Ichupampa), llegando a 3850 m s. n. m. en el límite con la unidad md-MTc. El relieve es fuertemente accidentado con laderas escarpadas y declives superiores a 70 %, y según el diagrama de Holdridge, el promedio de evapotranspiración potencial total por año varía entre 4 y 8 veces el valor de la precipitación, por tanto, se ubica en la provincia de humedad árido.

1.7.10 Desierto árido montano subtropical (da-MS)

Esta extensión es la continuación de la unidad ecológica da-MTc a la latitud subtropical, y se encuentra restringida a las nacientes de las quebradas Paristancia, Asirume y el sector Quento. Alcanza los 3600 m s. n. m. al noreste de Quento. El relieve y el promedio de evapotranspiración potencial total por año es similar al de la unidad da-MTc.

1.7.11 Matorral desértico montano templado cálido (md-MTc)

Es la unidad ecológica que se encuentra por encima de la unidad da-MTc, desde las nacientes del río Capillune, cerros Charaque, Chuntacala, San Antonio Chico, hasta los sectores Ciénega Grande, El Pozo y cerro Pajasbamba, alcanzando su máxima altura en los alrededores de Torrecilla (4250 m s. n. m.). El relieve es dominantemente abrupto, con laderas de marcada inclinación (más de 70 %), siendo las áreas de topografía suave las partes más altas de los cerros alargados, de dirección noreste-suroeste. Según el diagrama de Holdridge, el promedio de evapotranspiración potencial total por año varía entre 2 y 4 veces el valor de la precipitación, por tanto, se ubica en la provincia de humedad semiárido.

1.7.12 Matorral desértico subalpino templado cálido (md-SaTc)

Se extiende desde los alrededores del cerro Capillune hacia los cerros Pallimoco, Sombrerito, Pajonal, Japu y Huacuyo. Los sectores más importantes son Uyunto, Chillihua, Ancoaque, La Cueva y Altarani. Alcanza los 4850 m s. n. m. (en su parte más alta) y el relieve es quebrado, variando a colinado, típico del borde occidental andino. Según el diagrama de Holdridge, el promedio de evapotranspiración potencial total por año varía entre 1 y 2 veces el valor de la precipitación, por tanto, se ubica en la provincia de humedad subhúmedo.

1.7.13 Matorral desértico subalpino subtropical (md-SaS)

Corresponde a un área muy pequeña, de forma alargada y pegada al divortium superior de la cuenca. Esta unidad es la continuación de la unidad md-SaTc, y comprende el sector Pampa Purapurane y cerro Costilla; con un poco más de 4300 m s. n. m. El relieve es abrupto con pendiente hacia la quebrada Huaytabe. Según el diagrama de Holdridge, el promedio de evapotranspiración potencial total por año varía entre 1 y 2 veces el valor de la precipitación, por tanto, se ubica en la provincia de humedad subhúmedo.

1.7.14 Páramo húmedo subalpino subtropical (ph-SaS)

Comprende una franja delgada desde el cerro Chichillane y Condoriquilla, el sector de Asana, Arundaya, hasta el cerro Huertalla, sector Quello Apacheta y las nacientes de la quebrada Chilligua. Esta unidad se encuentra en la región altoandina, alcanza una altitud máxima de 5100 m s. n. m. (cerro Huertalla), y su relieve consta de laderas inclinadas, así como por áreas colinadas, a veces de relieve suave. Según el diagrama de Holdridge, la evapotranspiración potencial total por año varía entre la mitad (0.5) y una cantidad (1) igual al volumen promedio de precipitación total por año, por tanto, se ubica en la provincia de humedad húmedo.

1.7.15 Tundra muy húmeda alpino subtropical (tmh-AS)

Comprende el área que rodea las cumbres más altas, llegando a los 5000 m s. n. m., cubre las nacientes del río Asana y toda la altiplanicie de Titijones, hasta el límite superior de la cuenca. Su relieve varía entre accidentado a colinado (u ondulado), a causa del modelado glacial y volcánico. Según el diagrama de Holdridge, el promedio de evapotranspiración potencial total por año es variable entre la cuarta parte (0.25) y la mitad (0.5) del promedio de precipitación total por año, por tanto, se ubica en la provincia de humedad perhúmedo.

1.7.16 Nivel subtropical (NS)

Comprende la parte mayor a 5000 m s. n. m. por encima de la unidad tmh-AS, abarcando las cumbres de los cerros y nevados Arundaya y Apacheta Limani. La presencia de glaciares y nieve se extiende a lo largo de la cresta de los Andes, arriba de los 5000 m s. n. m. Esta unidad ecológica es de relieve abrupto y presenta aforamientos líticos (peñascosos y rocosos), con cubierta edáfica muy localizada y pequeña. Según el diagrama de Holdridge, la biotemperatura media anual es menor de 1.5 °C y el promedio de precipitación total anual por año varía de 500 a 1000 mm.

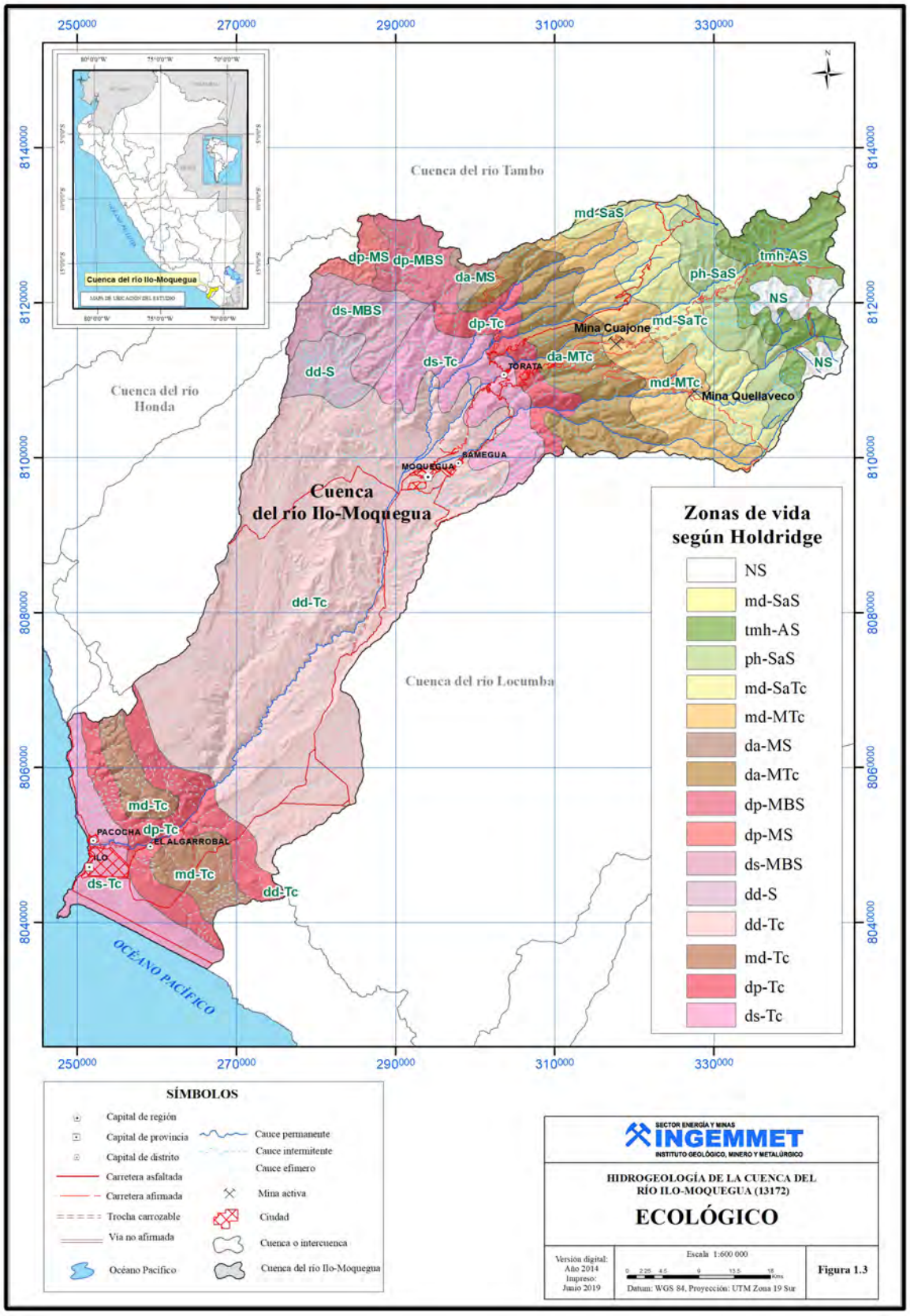


Figura 1.3 Mapa ecológico de la cuenca del río Ilo-Moquegua

CAPÍTULO II
GEOLOGÍA DEL MEDIO DE CIRCULACIÓN SUBTERRÁNEA

2.1 INTRODUCCIÓN

Las condiciones geológicas y el relieve de la cuenca del río Ilo-Moquegua son abruptas y singulares, con características especiales que interactúan de forma variada con las aguas subterráneas. Los sectores altos con afloramientos de rocas volcánicas fracturadas, por lo general, constituyen zonas de recarga de acuíferos fisurados; sin embargo, el presente boletín evidencia la presencia de acuíferos en rocas volcanosedimentarias. En los valles de Moquegua e Ilo la presencia de depósitos fluviales y aluviales forman acuíferos porosos no consolidados poco profundos y relacionados al escurrimiento de las aguas del río Ilo y Moquegua. En el valle de Moquegua se observa un acuífero detrítico donde existen numerosos pozos de explotación y presencia de manantiales, este acuífero se alimenta de las aguas del río Moquegua y agua de trasvase del proyecto Pasto Grande. En el valle de Ilo, el acuífero detrítico es más angosto, pero con similares condiciones hidrogeológicas al valle de Moquegua, tiene algunos pozos de explotación y se alimenta de las aguas del río Moquegua.

2.2 DOMINIOS MORFOESTRUCTURALES

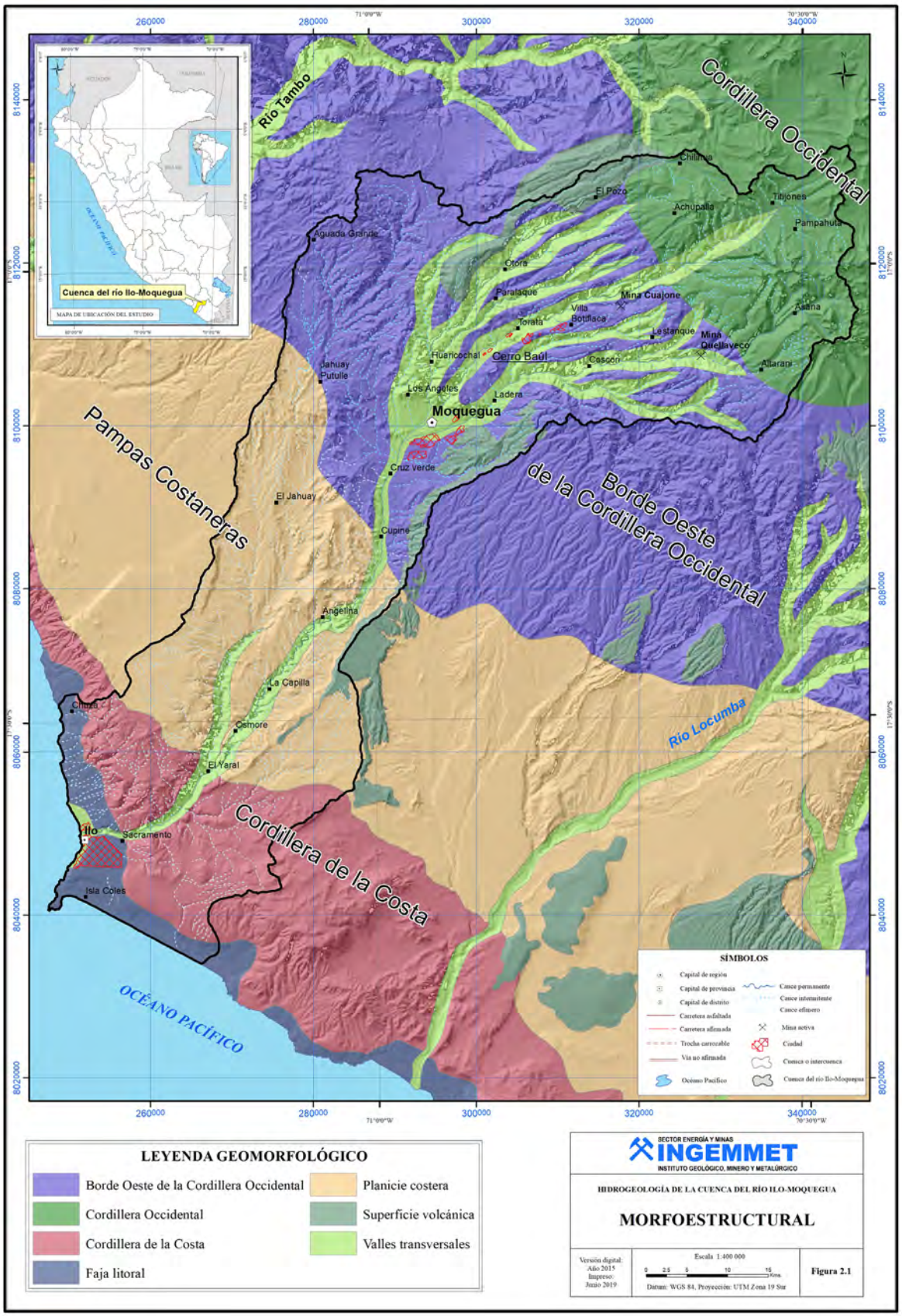
La clasificación morfoestructural de los materiales ubicados en la cuenca del río Ilo-Moquegua se desarrolló tomando en cuenta las condiciones litológicas y estructurales de la cuenca (hidrográfica), puesto que en ella se evalúan y clasifican los tipos de rocas, las familias de fallas y los límites de las cuencas sedimentarias, que en este caso son controlados por los sistemas estructurales que funcionaron a lo largo de la historia geológica.

La estrecha relación existente entre la morfología y las aguas subterráneas condicionadas por la litología y geología estructural controla la distribución de permeabilidades, así como también la geometría de los acuíferos y las condiciones de almacenamiento de las aguas subterráneas. Los aportes de precipitación y escorrentía superficial hacia los acuíferos están determinados por la pendiente del terreno y los componentes hidrogeológicos de rocas y suelos.

En la parte media e inferior de la cuenca, como resultado del cambio de pendiente, se produjo la deposición del material aluvial y fluvial formando el valle de Moquegua y el valle de Ilo, respectivamente. Estas geoformas de acumulación cuaternaria son de especial interés ya que, en estos cuerpos sedimentarios modernos, se encuentran los acuíferos porosos no consolidados o detríticos con gran potencial de almacenar agua subterránea.

Dentro de la cuenca del río Ilo-Moquegua, se identificaron siete unidades morfoestructurales con variadas morfologías descritas independientemente (Figura 2.1), las cuales son:

1) Faja litoral
2) Cordillera de la Costa
3) Planicie costanera
4) Borde oeste de la Cordillera Occidental
5) Cordillera Occidental
6) Valles transversales
7) Superficies volcánicas planas


Cordillera Occidental
Río Tambo
Pampas Costaneras
Borde Oeste de la Cordillera Occidental
Cordillera de la Costa
Río Locumba
OCÉANO PACÍFICO
Moquegua
Cerro Baúl
Cuenca del río Ilo-Moquegua
MAPA DE UBICACIÓN DEL ESTUDIO
SÍMBOLOS
LEYENDA GEOMORFOLÓGICO
Borde Oeste de la Cordillera Occidental
Cordillera Occidental
Cordillera de la Costa
Faja litoral
Planicie costera
Superficie volcánica
Valles transversales
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA
MORFOESTRUCTURAL
Escala 1:400 000
Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 19 Sur
Figura 2.1

2.2.1 Faja litoral

Comprende el relieve llano de dirección paralela a la costa, se extiende desde la línea de costa hasta ~350 m s. n. m., presenta un ancho variable, desde unos cuantos metros hasta un máximo de 10 km. La morfología de esta faja está caracterizada por la presencia de varias planicies de abrasión marina formando terrazas que se extienden desde el mar hasta las inmediaciones del borde oeste de la Cordillera de la Costa (Fotografía 2.1).

La faja litoral está constituida esencialmente por playas actuales y terrazas marinas jóvenes, conformadas por arenas eólicas, arenas de playa y conglomerados bioclásticos de origen marino, además de algunos conos aluviales en la desembocadura del río Ilo, que incluso alcanzan a depositar material proveniente de las partes altas y media a la cuenca. Estas características de los materiales le otorgan permeabilidad y porosidad intergranular, formando condiciones óptimas para generar acuíferos del tipo poroso no consolidados, que por su material y ubicación también se llaman acuíferos costeros.

En sectores de la faja litoral existen acantilados junto al mar, generando una zona morfológicamente muy accidentada. El límite entre la faja litoral y la Cordillera de la Costa se encuentra cubierto por numerosos conos aluviales que dejaron productos como conglomerados o flujos de detritos que alcanzan espesores de hasta 100 m, los que podrían corresponder a la formación de acuíferos detríticos. En esta unidad geomorfológica se encuentra la ciudad de Ilo, el puerto y la refinería del mismo nombre.

Fotografía 2.1 Vista panorámica de la faja litoral, tomada hacia el este, desde los alrededores de la loma Mostazal Punta de Coles (cerca de Ilo).

2.2.2 Cordillera de la Costa

Esta unidad geomorfológica está conformada por una cadena de montañas de elevaciones bajas, cuyas altitudes no superan los ~1400 m s. n. m. Su dirección es de noroeste a sureste a lo largo de la costa peruana y paralela a la línea de costa. Limita por el suroeste con la faja litoral, donde se observa un cambio abrupto en la topografía. Por el noreste limita con las pampas costaneras con un cambio topográfico suave.

Por la Cordillera de la Costa se extienden un valle transversal y otros de menor dimensión, cuya dirección preferencial es de noreste a suroeste (Fotografía 2.2). El ancho de la Cordillera de la Costa es variable, se encuentra entre 5 y 15 km. Desde el punto de vista litológico, está constituida por una cadena de cerros cuya litología evidencia procesos magmáticos, tectónicos y de metamorfismo regional. Esencialmente alberga las rocas más antiguas de la región, puesto que en ella se evidencian rocas datadas de más de 2000 a 100 Ma.

Los diversos procesos geológicos a lo largo del tiempo generaron rocas metamórficas como gneis y esquistos; rocas sedimentarias como conglomerados, areniscas, lutitas y calizas; rocas intrusivas como granitos, granodioritas y dioritas, y rocas volcánicas andesíticas principalmente. Acosta et al. (2010) considera la Cordillera de la Costa como el límite oeste de la cuenca sedimentaria Arequipa, y que el sistema de fallas Islay-Ilo correspondería a las estructuras que limitan estos dominios. Los afloramientos del Grupo Moquegua por el sector de Osmore llegan a acuñarse en la Cordillera de la Costa, por lo que también corresponde al límite oeste de la cuenca sedimentaria Moquegua, de edad Paleógeno.

Fotografía 2.2 Valles interandinos disectando la Cordillera de la Costa en Osmore; cerca de la confluencia del río Ilo y quebrada Guaneros.

Morfológicamente la vertiente oeste cerca del mar presenta una topografía muy accidentada, con presencia de acantilados y pendientes muy marcados, donde las pequeñas quebradas erosionan material suelto y lo depositan a manera de abanicos aluviales en la faja litoral. Las partes más elevadas de la Cordillera de la Costa tienen una topografía suave, con pocos saltos verticales, dominados por rocas intrusivas granodioríticas visualizadas en la quebrada del río Ilo. Finalmente, la vertiente este presenta laderas moderadas y quebradas suaves al contacto con las Planicie Costera.

2.2.3 Planicie costera

La planicie costera presenta una topografía horizontal a subhorizontal y es de amplia superficie. Forma una serie de plataformas elevadas con altitudes que varían entre 900 y 1400 m s. n. m. Esta unidad geomorfológica se encuentra limitada por el suroeste con la Cordillera de la Costa y el sistema de fallas Islay-Ilo. Hacia el noreste limita con el borde oeste de la Cordillera Occidental y está condicionada por la Falla inversa Mirave, que regionalmente tiene dirección noroeste-sureste con buzamientos hacia el noreste.

El ancho de esta unidad es variable, dentro de la cuenca hidrográfica va de 30 a 50 km, conformada por una superficie semiplana de suave pendiente, formando grandes extensiones que son interrumpidas por los valles transversales representados por las quebradas Guaneros, Ilo y Moquegua, que produjeron cambios muy marcados en la configuración del terreno (Figura 2.1). Desde el punto de vista geomorfológico, esta unidad se caracteriza por tener un relieve suave y ondulado, con una pendiente menor al 5 % (Fotografía 2.3).

Fotografía 2.3 Planicie costera, conformada por secuencias sedimentarias del Grupo Moquegua, formaciones Huaylillas y Millo, dispuestas en estratos subhorizontales.

Tiene predominancia de depósitos de material sedimentario joven, constituido por areniscas, lutitas, tobas y arenas dispuestas en capas o estratos de manera subhorizontal de ambiente continental que tuvo lugar desde el Eoceno al Plioceno, controlando la sedimentación y deposición del Grupo Moquegua, Formación Huaylillas y Formación Millo (Fotografía 2.3).

Estos materiales son muy porosos y permeables, podrían constituir buenos acuíferos, sin embargo, en la zona no existe alimentación ni recarga definida. Precisamente por la escasez de agua en este dominio, los centros poblados se ubican únicamente en sectores que comprenden a los valles interandinos, como es el caso de los numerosos poblados ubicados a lo largo del valle del río Ilo y Moquegua.

2.2.4 Borde oeste de la Cordillera Occidental

El borde oeste de la Cordillera Occidental posee características geológicas, estructurales y litológicas diferentes a los de la Cordillera Occidental, las mismas que se encuentran ligadas al sistema de fallas Cincha-Lluta-Incapuquio. Comprende una cadena de montañas abruptas con una orientación noroeste-sureste y altitudes que van entre 1200 y 4000 m s. n. m. El límite suroeste coincide con la planicie costanera, mediante el lineamiento Mirave. Este lineamiento se une con la traza de la Falla Mirave, determinada en la zona de Toquepala como falla inversa, con dirección promedio noroeste-sureste y comprende el accidente estructural más alejado del sistema Cincha-Lluta-Incapuquio (Figura 2.1). Por el noreste limita con la Cordillera Occidental y está separado por la Falla inversa Quellaveco de dirección noroeste-sureste. Por lo tanto, en el presente boletín planteamos a esta unidad como un nuevo dominio morfoestructural, separado e independiente de la Cordillera Occidental.

El borde oeste de la Cordillera Occidental se encuentra atravesado por los valles transversales, produciendo una topografía muy accidentada donde las rocas intrusivas y volcánicas de edades entre el Cretácico superior y Mioceno fueron fuertemente afectados por los sistemas de fallas, produciéndose la formación de valles profundos y paralelos a las estructuras principales NO-SE y NE-SO. Estos terrenos, fuertemente tectonizados y poseedores de un paisaje agreste, contrastan fuertemente con la Planice Costera y la Cordillera Occidental. Sin embargo, sus características impermeables y escasa precipitación hacen que tengan escaso interés hidrogeológico.

La ciudad de Moquegua, Samegua y Los Ángeles se ubican en el límite entre la Planicie Costera y el borde oeste de la Cordillera Occidental, mientras que los centros poblados de Tara, Torata, Otora, Incayo, Aguada Grande, entre otros, están dentro de este dominio al igual que los importantes yacimientos de Quellaveco y Cuajone ubicados muy cerca al límite con la Cordillera Occidental.

Esta zona tiene características hidrogeológicas especiales, en los alrededores de las laderas de Samegua, el trasvase de aguas superficiales del río Tambo al río Moquegua ha generado numerosas áreas agrícolas ubicadas en ladera. El riego de estas áreas semipermeables ha generado la presencia de manantiales de bajo caudal en las laderas de Samegua, cuyas aguas también son usadas para el riego y muchas veces para el consumo humano de las viviendas ubicadas en zonas aledañas.

2.2.5 Cordillera Occidental

Esta unidad morfoestructural, que es dominada esencialmente por los depósitos de lavas y piroclastos producto de las erupciones volcánicas, crearon áreas ideales para la instalación de pequeños centros poblados (estancias) como Asana, Vivilani, Paypampa, Hornoni, Titijones y Chillihua. Sus pobladores se dedican exclusivamente a la ganadería, que aprovecha los terrenos semiplanos y la presencia de algunos manantiales que proveen de agua subterránea para su subsistencia.

En algunos sectores de esta unidad morfoestructural existen amplias superficies planas; la principal es la pampa de Titijones, donde los depósitos de las erupciones volcánicas y los depósitos glaciares y aluviales formaron una sucesión de capas ideales para el almacenamiento de agua subterránea. Esta inmensa pampa se convierte en uno de los acuíferos más representativos de las partes alta de la cuenca Ilo-Moquegua.

En la temporada de verano (de diciembre a marzo), que corresponde a la época de mayor precipitación pluvial, los conos volcánicos de la zona como Arundane, Coline y Camillata, además de la lluvia, también llegan a albergar cierta cantidad de nieve. Estos se derriten lentamente por la intensidad solar durante el día y permite la recarga de acuíferos gracias a la infiltración de aguas en rocas volcánicas fracturadas. Actualmente sólo se observa un pequeño porcentaje de nieve durante el año (Fotografía 2.4).

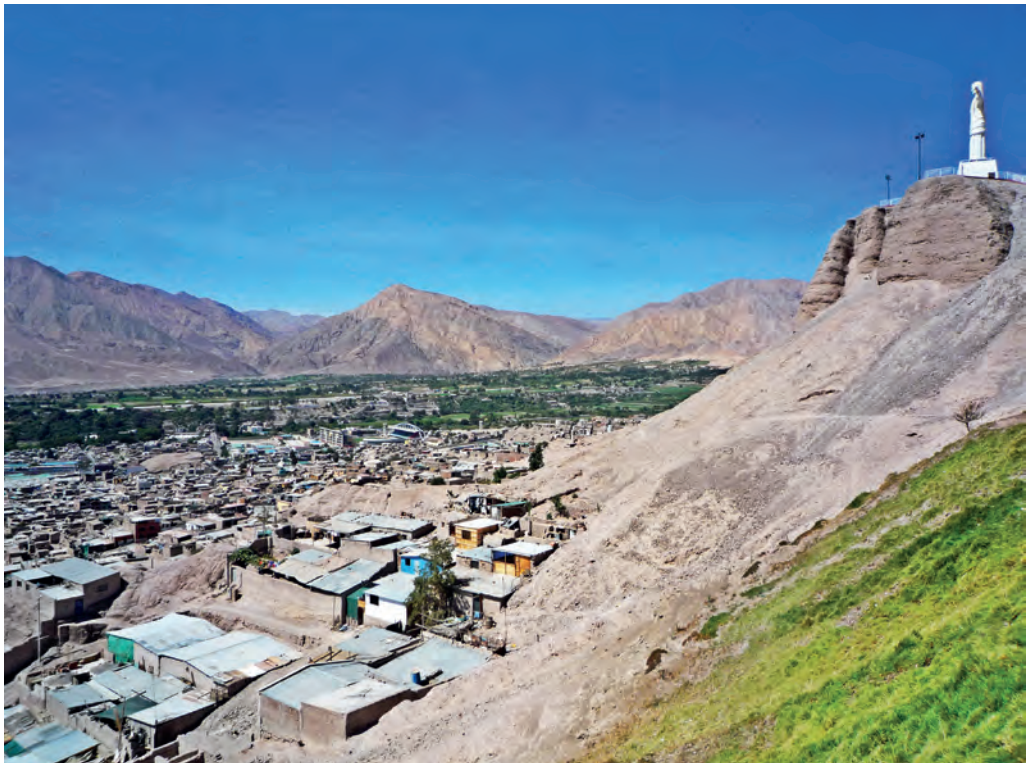
Fotografía 2.4 Cordillera Occidental, vista tomada hacia el noreste, al fondo se observa elevado Tutupaca y rocas volcánicas alteradas con características permeables, en la parte inferior izquierda se observa acumulación de flujos de lava y la surgencia de un manantial.

2.2.6 Valles transversales

El río Ilo-Moquegua inicia su recorrido en las partes altas de la Cordillera Occidental, atraviesa el borde oeste de la Cordillera Occidental, la Planicie Costera, la Cordillera de la Costa y la faja litoral, para finalizar su recorrido en el mar muy cerca de la ciudad de Ilo (Figura 2.1). En esta unidad el drenaje es de tipo dendrítico a subdendrítico, formando valles jóvenes en forma de "V". Se considera a esta unidad como el más importante accidente morfológico de la cuenca hidrográfica, por generar a lo largo de su recorrido muchas formas que moldean la superficie sobre la base de la resistencia mecánica que ellas ofrecen.

En la Cordillera de la Costa, el valle transversal del río Ilo aprovecha fallas y fracturas de dirección noreste suroeste para diseñar su recorrido. En las pampas costaneras el valle está ligado a fallas y lineamientos paralelos al cauce principal. Las geoformas y cambio de pendiente se hacen más pronunciadas en la intersección con el borde oeste de la Cordillera Occidental (Fotografía 2.5). Se acentúan más cuando se intersectan con el sistema de fallas Cincha-Lluta-Incapuquio, manifestándose quebradas angostas con empinados bordes que produjeron numerosos deslizamientos y fallas normales, generando mayor apertura en algunos sectores de la quebrada.

Las partes altas de esta geoforma inician con las quebradas y depresiones formadas por el recorrido de los glaciares que en mucho de los casos tuvieron un recorrido definido hacia la quebrada principal que atraviesa por medio de los estratovolcanes Arundane y Coline. Durante este proceso dejaron material detrítico de fácil transporte, condicionando en muchos casos la formación de pequeñas lagunas. Dentro de este dominio morfoestructural se encuentran los acuíferos más importantes de la cuenca, el acuífero del valle de Moquegua y el acuífero del valle de Ilo.



Fotografía 2.5 Vista del valle de Moquegua, tomada hacia el norte, desde el mirador de la ciudad.

2.2.7 Superficies volcánicas planas

Se considera como superficies volcánicas planas a la acumulación sucesiva de importantes productos volcánicos, principalmente tobas y flujos piroclásticos. Estos depósitos se observan a lo largo de las cadenas montañosas, zonas altiplánicas y valles que, debido a su extensión y espesor, llegan a considerarse como un dominio morfoestructural importante (Fotografía 2.6).

Las superficies volcánicas planas ubicadas dentro de la cuenca del río Ilo-Moquegua se encuentran al borde sur, entre La Capilla y Moquegua; y en el borde norte entre Paralaque y Chillihua (Figura 2.1). Estas superficies presentan un relieve ondulado y rugoso, con pendientes que varían entre 7 y 10 % con tendencia al suroeste.

Estos depósitos registran una importante actividad volcánica del pasado y se presentan a manera de mesetas posicionadas sobre montañas y valles que existieron en el Mioceno. Observan una significativa conservación a pesar del paso de los años, cambios bruscos del clima, presión y temperatura. A pesar de ello, su comportamiento hidrogeológico es variable. Existen sectores de naturaleza efusiva, donde los productos volcánicos están compuestos mayormente por flujos de lava fracturada y fallada, otorgándole características hidrogeológicas importantes. Comúnmente, estos productos se encuentran mezclados con depósitos de naturaleza explosiva, compuesto por cenizas y piroclastos, en su mayoría de naturaleza impermeable (Fotografía 2.6)

Los valles más jóvenes formados por la acción hídrica erosionan las tobas hasta lograr exhumar los paleorrelieves que existían antes de la deposición de este gran evento volcánico. Estos paleorrelieves constituyen espacios vacíos donde se mueve el agua subterránea.

Estos materiales volcánicos son porosos y permeables por sectores, los cuales muestran condiciones para ser buenos acuíferos.

Fotografía 2.6 Superficie con depósitos volcánicos de ignimbritas y piroclastos, en la parte superior de las montañas se aprecian diques de lava altamente fracturados de naturaleza permeable.

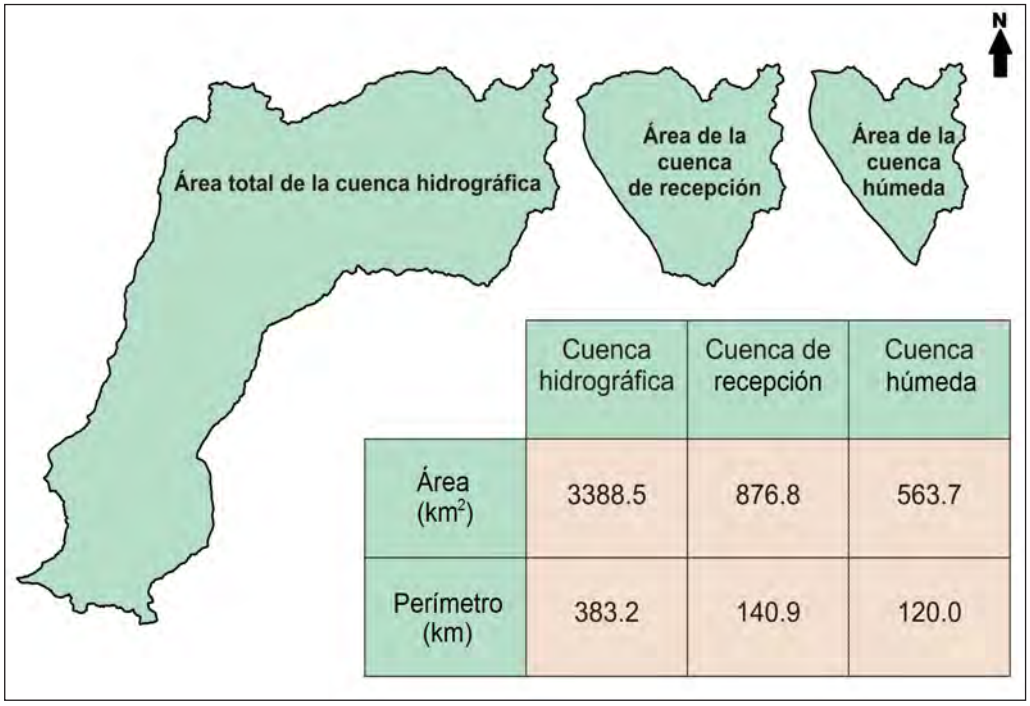
2.3 PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS

Los índices morfométricos de la cuenca tratan de establecer relaciones entre el comportamiento del régimen hidrológico y las características geomorfológicas de la misma. Para dichos cálculos, se tomaron en cuenta las características de la cuenca hidrográfica Ilo-Moquegua, considerando su delimitación oficial (ANA, 2008) cuyo análisis y cálculo de los parámetros geomorfológicos nos ayudarán a estimar los valores de los elementos principales que influyen en las posibles variaciones hidrometeorológicas que presenta la cuenca.

2.3.1 Superficie de la cuenca

Se define como la proyección horizontal de todo el sector de drenaje, dirigida en forma directa o indirecta a un mismo cauce natural. Para el cálculo de la superficie, se tomó en cuenta la cuenca hidrológica del río Ilo-Moquegua (Figura 2.2).

- Área total de la cuenca y área de drenaje (A). El área de drenaje total de la cuenca hidrográfica del río Ilo-Moquegua, calculada en el presente estudio, es de 3388.5 km².
- Área de la cuenca de recepción (Ac). Es el área donde ocurre la mayor cantidad promedio de precipitación, para esta cuenca se ha considerado por encima de 100 mm de precipitación media anual. El área de la cuenca de recepción es de 876.8 km².
- Área de la cuenca húmeda (Ah). Para el caso de estudio, es la superficie que comprende las zonas cuya precipitación media anual está por encima de los 150 milímetros (Ah = 563.7 km²).



	Cuenca hidrográfica	Cuenca de recepción	Cuenca húmeda
Área (km^2)	3388.5	876.8	563.7
Perímetro (km)	383.2	140.9	120.0

Figura 2.2 Área total de la cuenca, área de la cuenca de recepción y área de la cuenca húmeda.

- Perímetro (P). Corresponde a la longitud de los contornos de la cuenca hidrográfica y tiene influencia en la forma y tiempo de concentración. El perímetro de la cuenca es de 383.2 km.
- Longitud (L). Está definida como la distancia horizontal del río principal, desde sus nacientes hasta su desembocadura. La longitud de la cuenca es de 153.27 km.
- Ancho (W). Corresponde a la relación entre el área (A) y la longitud de la cuenca (L). El ancho de la cuenca es de 22.11 km.

2.3.2 Forma de la cuenca

La forma de la cuenca determina la distribución de las descargas de agua a lo largo del río Moquegua, Osmore e Ilo; y es responsable de las características que tienen las crecientes y del tiempo de concentración. Los parámetros que miden la forma de la cuenca son:

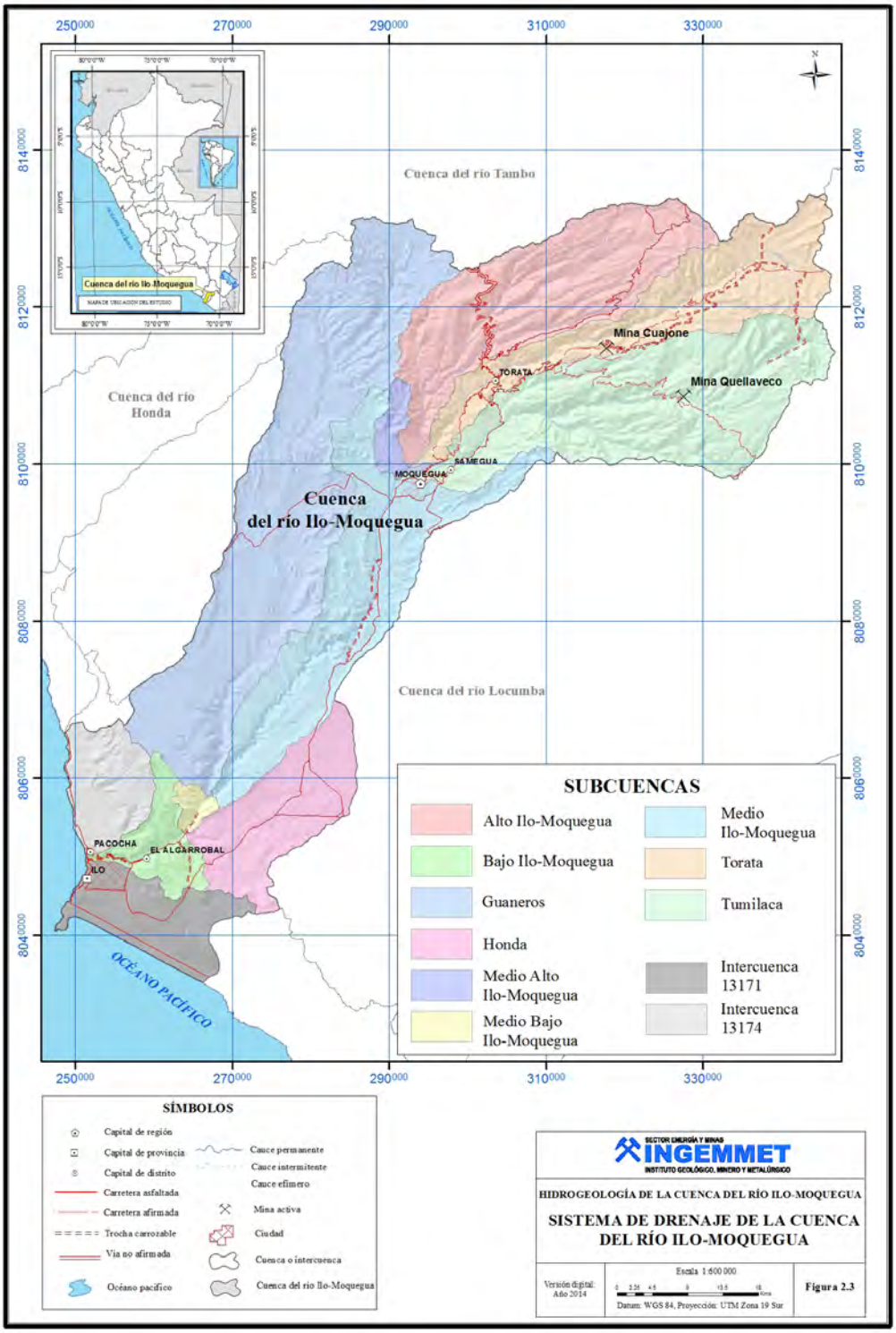
Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad (Ic). El coeficiente de compacidad (Ic) calculado para la cuenca hidrográfica del río Ilo-Moquegua es de 1.84. Este índice es mayor que la unidad, por lo tanto, la forma de la cuenca es alargada y sinuosa. Esta forma alargada reduce las probabilidades de que la cuenca sea cubierta en su totalidad por una tormenta, lo que afecta el tipo de respuesta que se presenta en el río (el tiempo de recorrido es mayor). En la cuenca hidrográfica del río Ilo-Moquegua, las crecidas son consecuencias de las precipitaciones en la parte alta (cuenca de recepción), concentrándose aguas por escorrentía superficial en la parte media y baja de la cuenca.

Factor de forma (Ff). Es un factor comparativo de crecientes con otras cuencas del mismo tamaño. Relaciona el ancho promedio de la cuenca y la longitud axial de la misma (longitud de máximo recorrido). El factor de forma calculado para la cuenca hidrográfica del río Ilo-Moquegua es Ff = 0.145. Si comparamos este valor con el factor de forma de otra cuenca (por ejemplo, Ff = 0.19) del mismo tamaño, la cuenca hidrográfica del río Ilo-Moquegua tendrá menos probabilidad de lluvia intensa simultánea en toda la cuenca y, por ende, estará menos sujeta a crecientes que la otra cuenca.

2.3.3 Sistema de drenaje

Se refiere a las trayectorias o a la ocupación que guardan entre sí los cauces de las corrientes naturales dentro de la cuenca (Figura 2.3). Para el cálculo de los datos del sistema de drenaje que tiene el río Moquegua (Osmore e Ilo), se ha utilizado el método de clasificación de ríos y arroyos con el esquema de Horton (1932, 1945) y Stranhler (1957).

Orden de las corrientes de agua. Este parámetro proporciona el grado de bifurcación, considerando lo siguiente: corrientes de primer orden a corrientes sin tributarios, de segundo orden a corrientes que tienen dos tributarios de primer orden, luego a corrientes de orden tres que son aquellas con dos tributarios de segundo orden, y así sucesivamente. Además, se ha tomado en cuenta el plano de la cuenca que incluye la clasificación de los cauces permanentes, intermitentes y efímeros. Así, el orden del cauce principal del río en la cuenca Ilo-Moquegua es de orden seis (Fotografía 2.7).



Fotografía 2.7 Desembocadura del río Ilo-Moquegua, donde existen varios cauces y terrazas que evidencian las variaciones del caudal.

Longitud de los tributarios (Lt). Este parámetro es un indicador de la pendiente de la cuenca y el grado de drenaje. En la cuenca hidrográfica del río Ilo-Moquegua, el cálculo de la longitud de tributarios es Lt = 1593.37 km.

Densidad de drenaje (Dd). Stranhler en 1952 definió a la densidad de drenaje (Dd) como la relación entre la longitud total de los cursos de agua de la cuenca y su área total. En la cuenca hidrográfica del río Ilo-Moquegua, la densidad de drenaje es de 0.468 km/km².

Longitud media de la escorrentía superficial (l). Se define como la distancia media que el agua debería escurrir sobre la cuenca para llegar a un cauce; y se calcula por la relación que existe entre el área y cuatro veces la longitud de todos los cauces. La longitud media de la escorrentía superficial calculada para el río Moquegua (Osmore e Ilo) es de 534.188 m.

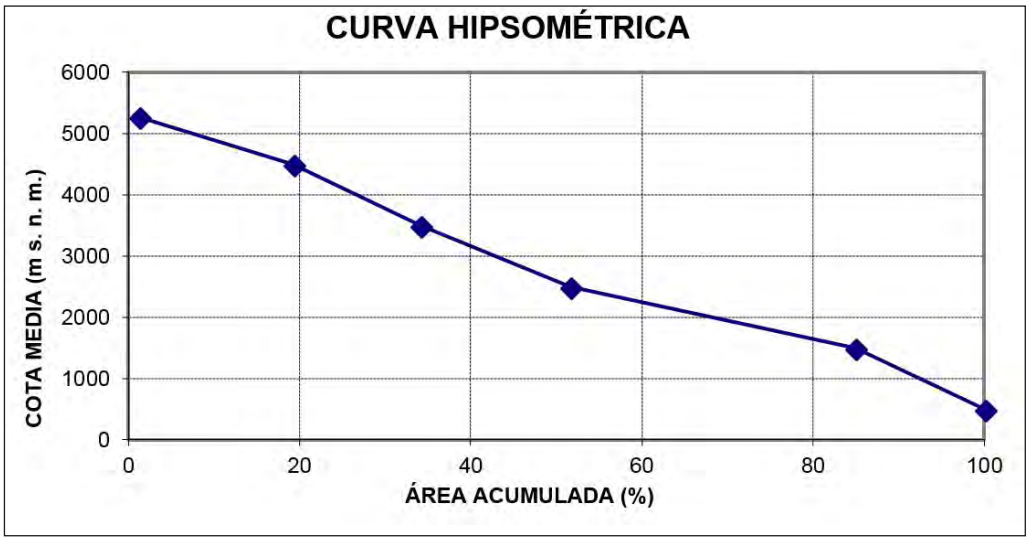
Sinuosidad del cauce principal (S). Es la relación que existe entre la longitud del cauce principal y la longitud del cauce principal medida en línea recta o curva. El río Moquegua (Osmore e Ilo) tiene sinuosidad de 1.14, este valor indica que el cauce principal es de sinuosidad baja (sinuosidad menor a 1.25).

2.3.4 Características del relieve

Son las características que representan la declividad de la cuenca, donde la variación de los terrenos se considera con referencia al nivel del mar. Se tienen los siguientes índices:

Pendiente de la cuenca (Sc). Es el valor medio de todas las pendientes, siendo de gran importancia para el estudio del escurrimiento superficial, infiltración, arrastre de material y recarga de acuíferos. La pendiente de la cuenca hidrográfica del río Ilo-Moquegua es de 33.49 %, lo que nos da la idea de lo accidentada que es esta cuenca.

Curva hipsométrica. Es la representación gráfica del relieve de la cuenca que, mediante una curva, indica el porcentaje de área o superficie de la cuenca (en km²) que existe por encima de una cota determinada (Gráfico 2.1).



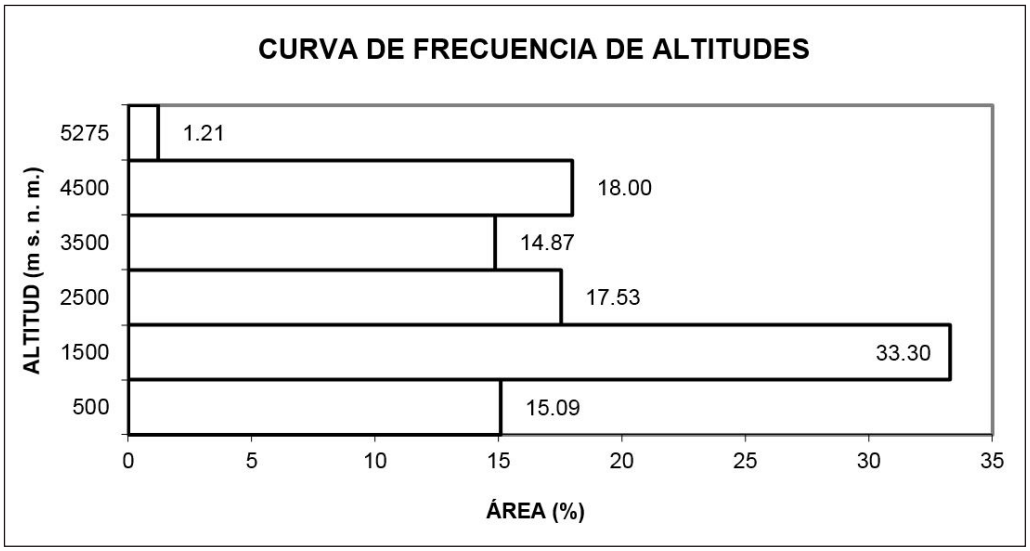
Gráfica 2.1 Desembocadura del río Ilo-Moquegua, donde existen varios cauces y terrazas que evidencian las variaciones del caudal.

Elevación media de la cuenca (altitud media, H). Es el valor de la ordenada media de la curva hipsométrica. En la cuenca hidrográfica del río Ilo-Moquegua, corresponde al valor de análisis del escurrimiento superficial, representando por la altura media de la cuenca, H = 2407.36 m s. n. m.

Pendiente de la corriente de máximo recorrido (Lmr). Se pueden definir varias pendientes del cauce principal: la pendiente media, la pendiente media ponderada y la pendiente equivalente. Para el presente estudio se ha elegido la última por ser más aproximada a la realidad. La pendiente equivalente constante (Seq) es la pendiente de un canal de sección transversal uniforme, de la misma longitud y velocidad media (o tiempo de recorrido) que el cauce principal. El Seq = 2.56 %.

Rectángulo equivalente. Se trata de un rectángulo que tiene igual superficie, perímetro, coeficiente de compacidad y distribución hipsométrica que la cuenca (Llamas, 1993; Campos, 1992). En este rectángulo, las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas al lado menor, siendo estos lados la primera y última curva de nivel (Figura 2.4).

Coeficiente de masividad (Cm). Este índice expresa la relación entre la altitud media de la cuenca y el área total de la misma. En terrenos llanos el valor es más bajo que en los terrenos abruptos. El coeficiente de masividad calculada es 0.71 m/km², lo cual nos indica que la cuenca es medianamente montañosa. Los cálculos numéricos se pueden visualizar en el Anexo I.



Gráfica 2.2 Curva de frecuencia de altitudes de la cuenca hidrográfica del río Ilo-Moquegua (13172).

Elevación media de la cuenca (altitud media, H). Es el valor de la ordenada media de la curva hipsométrica. En la cuenca hidrográfica del río Ilo-Moquegua, corresponde al valor de análisis del escurrimiento superficial, representando por la altura media de la cuenca, H = 2407.36 m s. n. m.

Pendiente de la corriente de máximo recorrido (Lmr). Se pueden definir varias pendientes del cauce principal: la pendiente media, la pendiente media ponderada y la pendiente equivalente. Para el presente estudio se ha elegido la última por ser más aproximada a la realidad. La pendiente equivalente constante (Seq) es la pendiente de un canal de sección transversal uniforme, de la misma longitud y velocidad media (o tiempo de recorrido) que el cauce principal. El Seq = 2.56 %.

Rectángulo equivalente. Se trata de un rectángulo que tiene igual superficie, perímetro, coeficiente de compacidad y distribución hipsométrica que la cuenca (Llamas, 1993; Campos, 1992). En este rectángulo, las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas al lado menor, siendo estos lados la primera y última curva de nivel (Figura 2.4).

Coeficiente de masividad (Cm). Este índice expresa la relación entre la altitud media de la cuenca y el área total de la misma. En terrenos llanos el valor es más bajo que en los terrenos abruptos. El coeficiente de masividad calculada es 0.71 m/km², lo cual nos indica que la cuenca es medianamente montañosa. Los cálculos numéricos se pueden visualizar en el Anexo I.

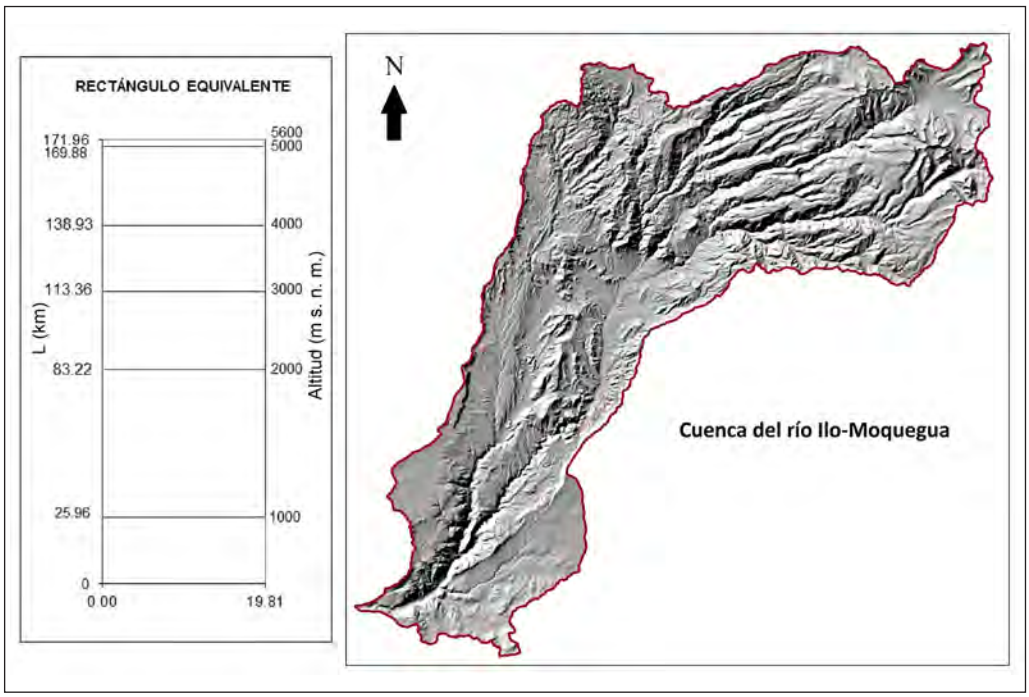


Figura 2.4 Rectángulo equivalente a la cuenca hidrográfica del río Ilo-Moquegua (13172).

2.4 GEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO ILO–MOQUEGUA

La geología y estratigrafía general de la cuenca del río Ilo-Moquegua (13172) se encuentra controlada por tres grandes estructuras, las cuales contribuyeron en la formación de cuencas sedimentarias en diferentes épocas. El inicio de la sedimentación, durante el Paleozoico en la parte costera de la cuenca del río Ilo-Moquegua, se dio sobre rocas metamórficas del extenso terreno de Arequipa (Loewy et al., 2004; Ramos, 2008; Mamani et al., 2009); depositándose sedimentos continentales y marinos denominados como Grupo Ambo (Pino et al., 2004; Acosta et al., 2010); limitados hacia el borde oeste de la Cordillera de la Costa y controlados por las fallas de dirección noroeste sureste denominados regionalmente como sistema de fallas Islay-Ilo (Acosta et al., 2010).

En el Jurásico se generó la gran cuenca sedimentaria denominada Arequipa, esta cuenca encontró un borde como límite al lado oeste de una cadena de cerros (en la actualidad corresponde a la Cordillera de la Costa), desarrollándose así una importante acumulación de material detrítico. Luego, Acosta et al. (2012), menciona la edad de 83 Ma como el inicio de la inversión tectónica del sistema de fallas Cincha-Lluta-Incapuquio, que trajo como consecuencia el inicio de la creación de la Cordillera Occidental y el cierre o destrucción de la cuenca

sedimentaria Arequipa. A partir de esta edad suceden una serie de acontecimientos geológicos trascendentales que dividen aún más las cuencas sedimentarias (como Moquegua y Maure) y generan la aparición de numerosos arcos magmáticos que aportaron muchísimo material volcanosedimentario e ígneo a la región, construyendo lo que en la actualidad denominamos Cordillera Occidental.

Los estudios estratigráficos en la elaboración de mapas con contenido hidrogeológico están sujetos a límites de cuencas sedimentarias, componentes litológico y estructural. Estas cuencas están identificadas y delimitadas, sabiendo que las cuencas sedimentarias Moquegua y Maure se desarrollaron en áreas antiguamente ocupadas por la cuenca sedimentaria Arequipa (Figura 2.5).

A continuación, se realiza una breve descripción de las cuencas sedimentarias.

La cuenca sedimentaria Ambo está limitada únicamente al borde oeste de la Cordillera de la Costa (Acosta et al., 2012). Los afloramientos de esta cuenca sedimentaria están únicamente conformados por los sedimentos del Grupo Ambo de edad Carbonífera.

La cuenca sedimentaria Arequipa vendría a corresponder al evento sedimentario más importante y de mayor período de acumulación. Se trata de una cuenca sedimentaria que se inició en el Triásico superior (Acosta et al., 2012) y culminó con los depósitos sedimentarios del Cretácico superior (hasta aproximadamente 83 Ma). El límite oeste de la cuenca sedimentaria Arequipa se encuentra restringida con los últimos afloramientos presentes en la intersección de las quebradas Osmore y Guaneros. En este sector, se observa un claro adelgazamiento de los espesores de afloramientos de las rocas sedimentarias del Jurásico, causado por el sistema de fallas de dirección noroeste-sureste que lo atraviesa. Esto correspondería al accidente estructural más importante que limita con las rocas metamórficas que conforman la Cordillera de la Costa (Figura 2.5).

La cuenca sedimentaria Moquegua tiene una dirección preferencial noroeste-sureste, cuyos límites están ligados a las estructuras o fallas profundas de dirección noroeste-sureste ubicados al borde oeste de la cuenca. En cambio, su límite este corresponde a un conjunto de fallas inversas de dirección promedio noroeste-sureste. La cuenca sedimentaria Moquegua se extiende desde Caravelí hasta Tacna dentro del territorio peruano (Figura 2.5).

La cuenca sedimentaria Maure está limitada a la Cordillera Occidental. Esta cuenca posee principalmente rocas sedimentarias lacustrinas invadidas o rellenadas por una serie de sucesiones de eventos volcánicos efusivos y explosivos. Muchos estudios regionales se ocupan de las rocas volcánicas y sedimentarias aflorantes en la Cordillera Occidental y el altiplano del sur del territorio peruano. Palacios et al. (1993) considera como Grupo Maure a una serie de depósitos lacustrinos posterior a la deposición del Grupo Tacaza de edad Oligoceno. De esta forma agruparon como Grupo Maure a las secuencias que han sido denominadas anteriormente como formaciones Sencca, Capillune, Quemillone y Pichu por Wilson & García (1962), Mendivil (1965), Marocco & Del Pino (1966) y García (1978).

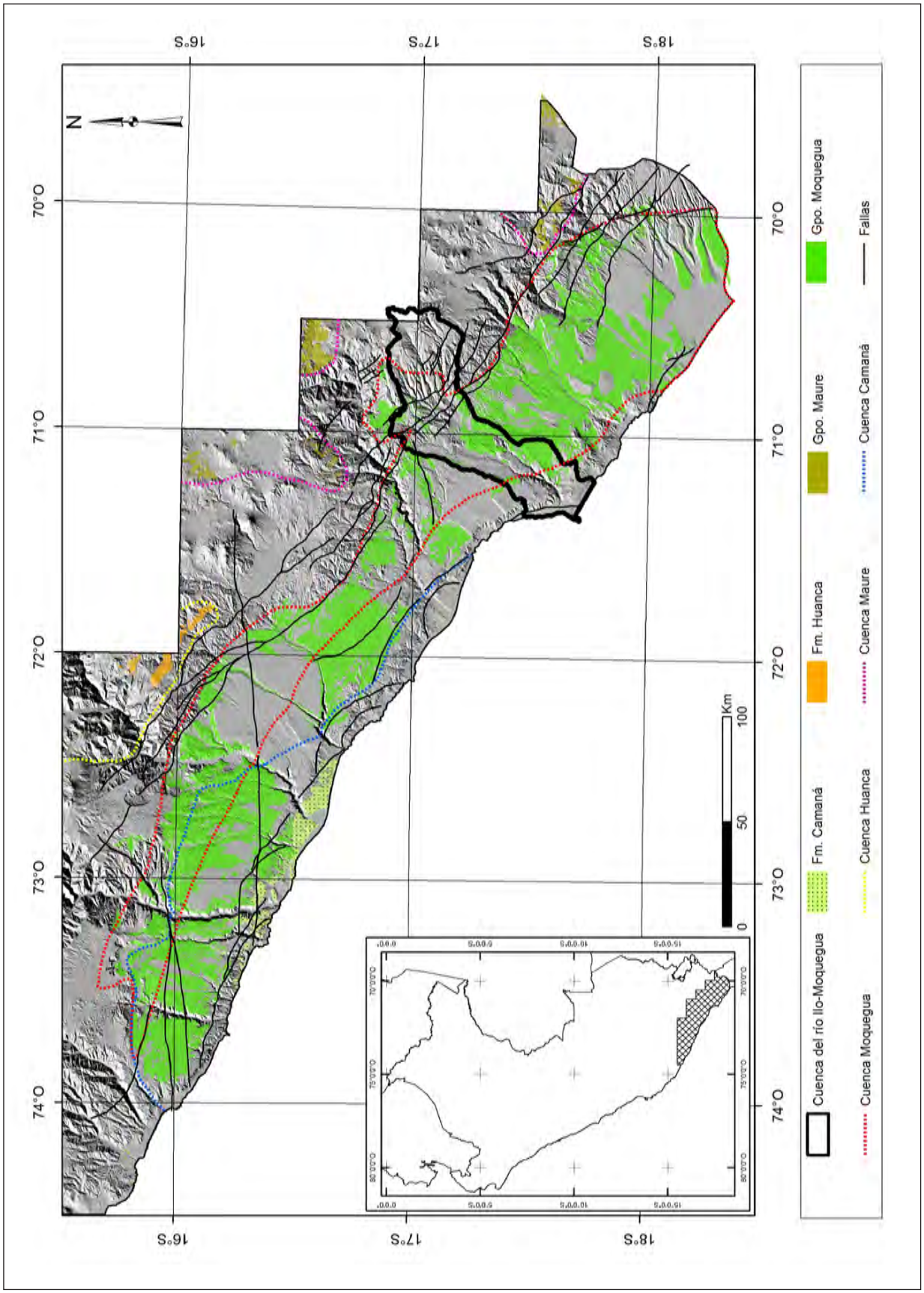


Figura 2.5 Distribución de cuencas sedimentarias en el sur del Perú (Acosta et al., 2012).

2.4.1 Estratigrafía

Precámbrico

El basamento metamórfico de Arequipa (Paleoproterozoico) está compuesto por las rocas más antiguas que se encuentran en la cuenca del río Ilo-Moquegua, las mismas que afloran a la orilla del mar, aproximadamente a 15 km al norte del puerto de Ilo, donde las rocas metamórficas forman promontorios, bancos erosionados y están sumamente fracturados. En esta zona, las fracturas muestran espacios vacíos (fracturas abiertas); sin embargo, la falta de recarga (escasa precipitación) hace que se comporte como acuitardo.

Paleozoico

Grupo Ambo (Misisipiano medio-superior). Fue descrito anteriormente por Bellido y Guevara (1963) como conglomerados Pocoma, las lutitas Cocachacra y el Grupo Yamayo en el borde oeste de la Cordillera de la Costa; luego por su contenido faunístico y litología son reagrupados como pertenecientes al Grupo Cabanillas, por Sánchez et al. en el 2000. Finalmente, los estudios de Sempere et al. (2012) consideran a estas rocas como pertenecientes al Grupo Ambo.

El afloramiento del Grupo Ambo se ubica en las proximidades de la intersección de la quebrada del río Osmore y la quebrada Guaneros, donde no se observa la relación de la base, por lo que se asume, según las observaciones hechas en Ilo (hacienda Pocoma, ubicada casi a la orilla del mar, a 30 km al NO del puerto de Ilo), una discordancia con las rocas del basamento metamórfico de Arequipa. En cambio, su relación con las rocas ubicadas en el tope corresponde a una discordancia muy marcada con rocas volcánicas de la base de la Formación Chocolate inferior.

Mesozoico

Dentro de la zona de estudio afloran dos grandes grupos de rocas conformados por la Formación Chocolate inferior (Jurásico inferior), que están principalmente expuestos en los alrededores de las quebradas de Osmore y Guaneros. Los derrames lávicos andesíticos de color verdoso o chocolate se presentan atravesados por numerosos diques de granodiorita y dacita (hasta de 4 m de espesor), así como también diabasa (de 1 a 2 m) y por vetillas de hematita, que al oxidarse dan una coloración rojiza a la formación. El segundo grupo de rocas corresponde al Grupo Yura, que está restringido a un pequeño sector ubicado en la quebrada Guaneros, presentándose únicamente rocas que corresponden a la Formación Puente (Caloviano). En este afloramiento, las relaciones estratigráficas son difíciles de establecer ya que está afectado por fallas inversas. Sólo se ha reconocido la base de la formación, cuyo espesor es de 200 m, aproximadamente, además se encontraron fósiles que fueron datados para corroborar su edad (Acosta et al., 2012).

Las rocas del Grupo Toquepala (Paleógeno), descrita por Bellido & Guevara (1963), Richard & Courtright (1958) y Bellon & Lefevre (1976) en el cuadrángulo de Moquegua (35-u); corresponden a una serie de rocas volcánicas con algunas intercalaciones de rocas detríticas de grano grueso que afloran regionalmente a lo largo del flanco andino, desde los cerros La Caldera en Arequipa hasta el límite fronterizo con Chile. Bellido (1979) divide al Grupo Toquepala en unidades denominadas como Volcánico Quellaveco, Volcánico Paralaque, Formación Inogoya y Formación Toquepala. Los últimos trabajos de campo realizados por el Ingemmet en el sector de Moquegua revelaron una serie de fallas normales que produjeron grandes caídas de bloques a lo largo de las quebradas Otora, Chujulay y Torata. Estas quebradas corresponden a zonas donde existen secuencias tipo de las formaciones Paralaque e Inogoya, por lo que erróneamente fueron consideradas y asignadas como parte de la sucesión volcanosedimentaria del Grupo Toquepala.

Por lo tanto, consideramos que el Grupo Toquepala está conformado por una secuencia basal no aflorante en esta cuenca hidrográfica, denominada Chulluncane (Acosta et al., 2010); seguida por la Formación Toquepala (Cretácico superior-Paleoceno) y finalmente, en la parte alta de la sucesión, la Formación Quellaveco (Paleoceno-Eoceno).

Cenozoico

La configuración geomorfológica para el Cenozoico en la costa sur y borde oeste de la Cordillera Occidental queda determinada con la presencia de dos cuencas sedimentarias, denominadas como cuenca sedimentaria Moquegua y cuenca sedimentaria Maure. La división que separaba la cuenca sedimentaria Moquegua de la cuenca sedimentaria Maure fue la parte más elevada de la Cordillera Occidental durante el Eoceno-Oligoceno. Estas cuencas sedimentarias se desarrollan simultáneamente, recibiendo a la vez numerosos eventos volcánicos. La ladera este de la Cordillera Occidental corresponde a la zona donde se emplazan además de una cuenca continental una serie de arcos volcánicos de edades comprendidas desde el Eoceno-Oligoceno hasta la actualidad. Mientras tanto, al otro lado de la Cordillera Occidental (en su vertiente oeste) se desarrolla una sedimentación continental donde incursionan muy esporádicamente eventos volcánicos distales, representados por capas de piroclastos producto de erupciones volcánicas contemporáneas.

La Formación Jahuay (Eoceno), descrito por García (1978); consiste en una secuencia de rocas clásticas continentales que afloran en el cuadrángulo de Omate. Los afloramientos típicos

se presentan en la pampa y quebrada Jahuay en el cuadrángulo mencionado. Dentro de la cuenca del río Ilo-Moquegua, se encuentran en los alrededores de la pampa y cerro Terrones, y cerro Los Calatos, a 33 km aproximadamente al norte de la ciudad de Moquegua, en el límite con la cuenca del río Tambo.

El Grupo Moquegua (Eoceno-Oligoceno) es descrito por Adams (1906) y Wilson & García (1962) como una serie de capas continentales que afloran típicamente en el valle de Moquegua. Luego Marocco et al. (1985) dividen a este grupo en Miembro inferior y Miembro superior, mencionando que entre ellos existe una discordancia angular, e indican que existe una relación discordante sobre el Grupo Toquepala por el sector de Moquegua. Sin embargo, litológicamente, consideramos que el Grupo Moquegua está dividido en dos formaciones: la Formación Moquegua inferior (sedimentos que se hallan esencialmente en las partes medias de la cuenca sedimentaria Moquegua) y la Formación Moquegua superior (que está depositada en toda la cuenca hidrográfica, entre Osmore y al sur de la ciudad de Moquegua). Pero además de esta división, se debe considerar la forma y naturaleza de la cuenca sedimentaria, poniendo énfasis en las zonas de aporte de la cuenca sedimentaria y las zonas más distales, puesto que esta distribución influye sobre la naturaleza de la roca sedimentaria y, por ende, en su capacidad de corresponder o no a intereses hidrogeológicos (ser buenos a regulares acuíferos). Esta propuesta de descripción, análisis y observación crea una diferencia notable al describir las unidades hidrogeológicas a las que corresponden tanto la Formación Moquegua inferior como la Formación Moquegua superior.

La Formación Huaylillas (Mioceno) está compuesta por tobas, que por tratarse de rocas subaéreas se hallan en gran parte de la cuenca sedimentaria Moquegua. La textura y consistencia de la roca varía desde el tobas de grano grueso, poroso, relativamente blando friable, hasta las facies de toba compacto y macizo que tiene la apariencia de derrames. Los afloramientos de esta unidad geológica son extensos y sobreyacen a distintas unidades, según la zona, como al Grupo Toquepala, intrusivos del Tiabaya y Yarabamba, y a la Formación Moquegua superior. De igual forma, según la zona, infrayace al Grupo Barroso (en la Cordillera Occidental) y a la Formación Millo (en las Pampas Costaneras).

El Grupo Barroso (Mioceno superior-Plioceno superior, 10 a 1 Ma). El Ingemmet propone una clasificación de eventos volcánicos en territorio peruano, sugiriendo que la agrupación del evento volcánico Barroso se divida en dos unidades (Mamani et al., 2010). La primera corresponde al Arco volcánico Barroso inferior (10 a 3 Ma) y la segunda corresponde al Arco volcánico Barroso superior (3 a 1 Ma). Los diferentes eventos volcánicos produjeron una zona altiplánica, interrumpida por los aparatos volcánicos que en algunos casos se encuentran totalmente erosionados. La edad propuesta para este arco volcánico que agrupa a todas las rocas volcánicas también debe agrupar a los diferentes depósitos sedimentarios. Los sedimentos mapeados como Formación Capillune por Mendívil (1965) en los cuadrángulos de Maure (35-x) y Antajave (35-y), corresponden a este periodo de tiempo, lo que significa que contemporáneamente al vulcanismo Barroso hubo episodios prolongados de sedimentación en pequeñas cuencas ligadas a los aparatos volcánicos.

Actualmente, no tenemos la certeza de que los afloramientos asignados a la Formación Capillune en todo el sur del territorio nacional correspondan a un mismo periodo de tiempo, además no podemos afirmar que pertenezcan a una misma cuenca sedimentaria regida bajo las mismas condiciones de deposición. Sobre la base de estas condiciones, consideraremos a la Formación Capillune como una unidad intermedia en tiempo dentro del Grupo Barroso. Asimismo, tomando como base las relaciones estratigráficas con los depósitos de material volcánico, la Formación Capillune subyace a los materiales de estos aparatos volcánicos ubicados en esta cuenca hidrográfica.

La Formación Capillune (Neógeno) aflora en el extremo noreste de la hoja de Moquegua, en los alrededores del poblado de Asana (naciente del río del mismo nombre) y el sector Arundaya. Bellido (1979) menciona que en Asana esta formación suprayace con discordancia a los tobas Huaylillas, e infrayace con igual relación a los volcánicos Barroso. También menciona que en las paredes del amplio valle glaciar que se desarrolla aguas arriba del poblado de Asana, se reconoce una sección de 220 m de rocas sedimentarias con niveles saturados de aguas subterráneas, los cuales otorgan a esta formación características importantes para la formación de acuíferos.

Formación Barroso inferior (Mioceno superior-Plioceno superior). Bellido (1979) menciona que las rocas de esta formación consisten en derrames intercalados con brechas de flujo y flujos piroclásticos. En la cuenca del río Ilo-Moquegua aparecen numerosos aparatos volcánicos, los que en la mayoría de los casos tienen como producto lavas de andesitas con algunos periodos de depósitos de flujos piroclásticos, que se sobreponen entre uno y otro evento de cada cono, sucediendo por este hecho discontinuidades que permite el movimiento y circulación del agua subterránea.

La Formación Millo (Mioceno superior-Plioceno superior) está constituida por un conjunto de rocas sedimentarias y volcánicas retrabajadas, productos de la erosión y transporte de las rocas y procesos que ocurrían en la Cordillera Occidental durante ese periodo. Al igual que en Arequipa, se deposita en el bode oeste de la Cordillera Occidental y se encuentra limitada por

el este por el sistema de fallas Cincha-Lluta-Incapuquio. En la zona de estudio, ocupa principalmente la quebrada Guaneros, hasta el borde este de la Cordillera de la Costa (por el oeste), lo que significa que estos sedimentos se depositaron en las Planicies Costeras.

Cuaternario

Los depósitos cuaternarios están representados principalmente por los depósitos glaciares, aluviales, y en menor medida por los eólicos y marinos, de acuerdo con la zona dentro del área de estudio.

Los depósitos glaciares son los depósitos originados por la actividad glaciar y fluvial durante el Plioceno y Pleistoceno. Estos se han acumulado sobre los 3500 a 4500 m s. n. m., que se expone entre los aparatos volcánicos Huailau, Surihueco, Camillata, Vilacane, Mesacallene, Laramcalene, Arundane y Toro, como una mezcla heterogénea de materiales inconsolidados. En las partes altas, entre las laderas de los aparatos volcánicos, se pueden apreciar geoformas glaciares típicas, observándose morrenas laterales y frentes de morrenas retrabajadas, que son por lo general las nacientes de las quebradas.

Los depósitos aluviales están estrictamente restringidos a las quebradas donde discurre agua de manera continua o extemporánea. Los depósitos aluviales se encuentran como terrazas o superficies planas, a lo largo de los ríos principales que discurren principalmente de noreste a suroeste, transportando material desde la Cordillera Occidental hacia las partes bajas de las Planicies Costeras. El río Moquegua y sus tributarios corresponden al principal drenaje de la cuenca hidrográfica, por donde circula agua permanentemente y se produce la erosión y deposición de materiales aluviales.

Los depósitos eólicos se encuentran en la Planicie Costanera y Cordillera de la Costa, originados por la acumulación preferente de arenas finas transportadas por el viento. Finalmente, los depósitos marinos se hallan paralelos al litoral en los alrededores del aeropuerto de Ilo y sectores Coquina y Monumento a Bolívar Mar, extendiéndose de noroeste a sureste.

2.4.2 Rocas intrusivas

En la zona de estudio las rocas intrusivas coincidentemente se distribuyen de acuerdo con su antigüedad y dirección, de suroeste a noreste (del más antiguo al más reciente). La composición de estas rocas varía entre gabros, dioritas, gabrodioritas, granodioritas, tonalitas y monzogranitos. Estas corresponden indistintamente a las superunidades Punta Coles, Ilo, Tiabaya y Yarabamba; con edades del Jurásico inferior, Cretácico inferior, inicios del Paleoceno y Paleoceno inferior, respectivamente. También se encuentran cuerpos intrusivos menores.

Las superunidades Punta Coles e Ilo, junto con el basamento metamórfico de Arequipa, forman prácticamente la Cordillera de la Costa en la parte sur de la cuenca del río Ilo-Moquegua (en los alrededores de Ilo). Los afloramientos se observan notablemente por el cauce del río, hasta la confluencia de la quebrada Guaneros y el río Osmore, extendiéndose lateralmente en dirección noroeste y sureste.

La superunidad Tiabaya, compuesta de granodioritas y tonalitas; pertenecen al segmento de Arequipa del Batolito de la Costa ubicado al sur del Perú. Está distribuido esencialmente en dos áreas: al norte de la ciudad de Moquegua y en las partes altas de la quebrada Guaneros (muy cerca de la mina Los Calatos). En ambos casos intruye a rocas volcánicas de la Formación Toquepala y Quellaveco.

Finalmente, la superunidad Yarabamba (anteriormente descrita como Linga por Cobbing et al., 1977b y 1983), aflora a lo largo del sistema de fallas Cincha-lluta-Incapuquio entre la mina Quellaveco, Cuajone y Los Calatos a manera de cuerpos tabulares y elongados de granodioritas a monzogranitos, con dirección promedio noroeste-sureste.

LEYENDA

Edad			m	Unidad	Cordillera de la Costa	SFII	Pampas Costeras y Ladera Oeste de Cordillera Occidental	SFCLI	Cordillera Occidental
CUATERNARIO	Pleistoceno	Holoceno		Depósitos cuaternarios	Depósitos marinos; Depósitos aluviales; Depósitos eólicos		Depósitos eólicos; Depósitos aluviales		Depósitos aluviales; Depósitos glaciares
		Superior 0.0118							
		Medio							
		Calabriano 0.78							
		Gelasiano 1.8 – 2.5	~20						
	Plioceno	Placenziano	~40						
		Zanclayano		Fm. Millo			Fm. Millo: En la zona más cercana a la Cordillera Occidental se depositó conglomerados polimigticos subredondeados a subangulosos y diámetros variados. Matriz escasa y ocacionales capas delgadas de arcosas. Hacia la Cordillera de la Costa se depositó conglomerados redondeados en matriz arenosa, estratificado con niveles potentes de arcosas. Fm. Capillune. Grupo Barroso		Grupo Barroso: Fm. Barroso inferior: Derrames (andesitas basálticas con textura porfirítica) intercalados con brechas de flujo y materiales piroclásticos. Fm. Capillune: Conglomerados de matriz arenosa con intercalaciones de areniscas en capas delgadas y lentes. Acumulaciones de pómez y cenizas. Estos depósitos rellenan valles y quebradas.
NEÓGENO		Messiniano 5.3							
	Mioceno	Tortoniano							
		Serravalliano 11.6	~250						
		Langhiano		Fm. Huaylillas			Tufos dacíticos y riolíticos de colores blanco grasáceo, gris blanquecino y rosado. La roca se compone de feldespatos que forman la masa principal del tufo, en granos y cristales fragmentados cuya proporción varía de abundante a escaso.		Grupo Maure: ??? ???
		Burdigaliano 15.9							
		Aquitaniano 23							
PALEÓGENO	Oligo-ceno	Chattiano	~450	Grupo Moquegua: Fm. Moquegua superior	En la base areniscas arcosicas con matriz limolítica, intercalada de limolitas y paquetes potentes de arcillas; intercalados indistintamente con niveles de yeso. En otro sector la base está constituida por conglomerados, interestratificado con arcosas de grano grueso a medio. Conglomerados poco compactos, eventualmente intercalados con limolitas, ignimbritas hacia el tope. En zonas puntuales lutitas regularmente compacta, intercaladas de arcosas; en el tercio superior se intercalan abundantes estratos de yeso, anhidrita, capas finas de sal y diatomita. La Formación Jaguay es muy similar litológicamente al Grupo Moquegua con afloramientos ubicados en el borde este de su cuenca sedimentaria.		Mayormente conglomerádico, con clastos de naturaleza volcánica y algunos de calizas y cuarcitas bastante redondeadas, englobados en una matriz arenosa con abundancia de feldespatos. Fm. Jahuay superior. Areniscas color rojizo a gris verdoso, grano medio a grueso en matriz ligeramente tufácea. El nivel medio está constituido por arcillas con intercalaciones de capas de yeso. Fm. Jahuay inferior		
		Rupeliano 33.9		Fm. Moquegua inferior					
	Eoceno	Priaboniano							
		Bartoniano 41.3							
		Luteciano							
		Ypresiano 56							
	Paleoceno	Thanetiano	~1075	Grupo Toquepala: Formación Quellaveco			A su base conglomerado de 25 a 30 m de grosor (rodados de 1 a 10 cm de diámetro en matriz areno tufácea), sobre este conglomerado se distinguieron 40 m de tufo andesítico verdoso (compacto, aspecto brechoide y estratificado en bancos gruesos); a los cuales se sobreponen derrames de andesitas porfiríticas (en bancos de 5 y más metros de grosor).		
		Selandiano							
		Daniano 66		Formación Toquepala			La parte inferior brechas y derrames de riolitas y andesitas (350 m), parte media conglomerados, arcosas y limolitas (25 m), parte superior brechas y aglomerado riolítico de color pardo amarillento macizo.		
CRETÁCICO	Superior	Maastrichtiano					S.U. Yarabamba: Monzodioritas y granodiorita. S.U. Tiabaya: Granodioritas con cenolitos de diorita y gabros.		
		Campaniano							
		Santoniano							
		Coniaciano							
		Turoniano							
		Cenomaniano 100.5			S.U. Ilo: Gabro, diorita, tonalita y granodiorita				
	Inferior	Albiano							
		Aptiano							
		Barremiano							
		Hauteriviano							
		Valanginiano		Grupo Yura					
		Berriasiano 145							
JURÁSICO	Superior	Tithoniano							
		Kimmeridgiano			S.U. Punta Coles: Gabro, diotita, tonalita				
		Oxfordiano 163.5							
	Medio	Calloviano	450	Fm. Puente			Fm. Puente: Conglomerado basal, areniscas de grano medio a fino con intercalaciones de delgados niveles de limolita.		
		Bathoniano							
		Bajociano 168.3		Fm. Sopresenl					
		Aaleniano							
		Toarciano 174.1							
	Inferior	Pliensbachiano	~1000	Formación Chocolate inferior	Lavas andesíticas de color verdoso o chocolate, ocasionalmente bancos de dacita gris clara con estructura amigdaloide; puntualmente hacia el tope calizas gris claras.				
		Sinemuriano 190.8							
		Hettangiano 201.3							
TRIÁ-SICO	Superior								
PÉRMICO		298.9			?				
CARBONÍFERO		~1600	~175	Grupo Ambo	Conglomerado basal, Arenisca fina con algunas intercalaciones de lutitas negras y ocasionales bancos de cuarcita. Hacia el tope limolitas, fuertemente silicificadas.				
PROTEROZOICO		~2500	?	Basamento metamórfico de Arequipa	Gneis con bandas de cuarzo-feldespato.				

Limolitas/lutitas; Areniscas; Areniscas calcáreas; Calizas; Conglomerados; Tobas; Flujos de lavas; Gneises; S.U. Punta Coles; S.U. Ilo; S.U. Tiabaya; S.U. Yarabamba; Amonites/ Biozona; No expuesto; SFCLI Sistema de fallas Cincha-Lluta-Incapuquio; SFII Sistema de fallas Islay-Ilo

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA (13172)

COLUMNA GEOLÓGICA REGIONAL — **Figura 2.6**

2.5 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL (SISTEMAS DE FALLAS)

Consideramos que para la zona de estudio existen tres grandes estructuras denominadas como Sistema de Fallas Cincha-Lluta-Incapuquio, Sistema de Fallas Islay-Ilo y el importante Sistema de fallas NE-SO o Transversal a los Andes (Acosta et al., 2012). A la vez que, adicional a estas grandes estructuras, se observa un sistema de dirección norte-sur ubicado espacialmente en las Planicies Costeras (Figura 2.7). Lo resaltante de todas estas estructuras en el aspecto geomorfológico es que se comportan como límites de las grandes unidades morfoestructurales. En la Figura 2.7 apreciamos una distribución sectorizada de los sistemas de fallas debido esencialmente a la migración de esfuerzos hacia el noreste, a la actual Cordillera Occidental, donde se encuentran las fallas más recientes en términos geológicos.

SISTEMA DE FALLAS ISLAY-ILO (SFII). Se trata de una serie de fallas inversas con dirección promedio noroeste-sureste ubicadas únicamente en afloramientos antiguos de la Cordillera de la Costa. Se considera a este sistema como el límite entre la Cordillera de la Costa y las Planicies Costeras que en la zona de estudio se manifiesta como un contacto de dirección noroeste-sureste paralelo a las grandes estructuras Ilo, El Ángel, entre otros. Estas fallas atraviesan las rocas metamórficas del basamento de Arequipa, afectando a los pequeños afloramientos del Grupo Ambo. A la vez, estas fallas sirvieron como zonas de debilidad para que a través de ellas se emplacen rocas volcánicas de la Formación Chocolate, rocas intrusivas de las superunidades Punta Coles e Ilo. Esto significa que estas fallas son muy antiguas e importantes, puesto que ellas formaron el límite suroeste de la cuenca sedimentaria Arequipa en el Triásico-Jurásico, y el límite noroeste de la cuenca sedimentaria Moquegua en el Paleógeno. Estas fallas no están activas.

La falla representativa de este sistema es la Falla Ilo, es de extensión kilométrica, mostrando una traza bien clara en campo, se presenta en la margen costera de la ciudad de Ilo. Esta falla se extiende desde la playa El Palo, atravesando por la parte noreste de la ciudad de Ilo y el poblado de Pacocha. Es de tipo inversa, tiene un rumbo aproximado NNO-SSE con buzamiento de 26º O y produce un cabalgamiento en su recorrido longitudinal del basamento de Arequipa, compuesta por gneis (Dalmayrac et al., 1977); que cabalga sobre sedimentos conglomerádicos con clastos de rocas metamórficas y cuarcitas, que pertenecen al Grupo Ambo del Carbonífero.

La Falla Guaneros, que es otra representativa de este sistema, es también de extensión kilométrica mostrando una traza bien clara en la parte media de la quebrada Guaneros, entre los cerros Osmore e Infiernillo, a 33 km al noreste de la ciudad de Ilo. Regionalmente representa una falla inversa kilométrica con dirección preferencial norte-sur y buzamientos entre 15º a 7º hacia el oeste. Esta falla es claramente visible en la quebrada, donde se observan brechas tectónicas y estrías, que desplaza un imponente espesor de rocas de naturaleza volcánica andesítica sobre sedimentos arenosos y limolíticos haciendo que las rocas que se encuentran debajo de esta falla se hallen totalmente afectadas. Esto genera una serie de fallas menores de naturaleza inversa con buzamientos más pronunciados (40º-75º) y convergencia hacia el oeste, creándose grandes bloques tectónicos imbricados, distinguibles no sólo por las fallas que lo limitan, sino también por las variaciones de rumbo y buzamiento.

SISTEMA DE FALLAS CINCHA-LLUTA-INCAPUQUIO (SFCLI). Trabajos efectuados por la comisión de la Carta Geológica Nacional realizados por Barúa en el año 1961 en los cuadrángulos de Tarata y Moquegua, específicamente por los alrededores de la mina Toquepala, mencionan por primera vez a la Falla Incapuquio. Desde ese momento hasta la actualidad, se indica que la falla principal Incapuquio es un accidente tectónico importante que pertenece al gran sistema de fallas denominado en esta compilación como “Sistema de Fallas Cincha-Lluta-Incapuquio”. Este sistema de fallas, se aprecia con mayor detalle cerca de la ciudad de Moquegua, observándose una traza de fallas con un ancho aproximado de 50 km entre Cupine y Mina Quellaveco. Como consecuencia de este intenso tectonismo, existen estructuras importantes mayores paralelas. El límite noroeste de este sistema de fallas corresponde a la continuación de la Falla Mirave, descrita por la zona de la mina Toquepala. Esta falla es inversa, de dirección promedio NO-SE y buzamiento al NE, separa los terrenos asignados a las Planicies Costeras y al borde oeste de la Cordillera Occidental. Cerca de la ciudad de Moquegua, la Falla Incapuquio atraviesa por la zona urbana de Samegua y Los Ángeles, siguiendo una trayectoria noroeste-sureste con rumbo N 120º a 130º y buzamientos desde 35º al suroeste llegando hasta la verticalidad. Estas fallas afectan rocas pertenecientes al Grupo Toquepala y a sedimentos del Grupo Moquegua, principalmente.

La Falla Micalaco recorre paralelamente a una distancia aproximada de 5.5 km al norte de la Falla Incapuquio, bordeando el cerro Baúl por la parte sur del poblado de Otora-Torata. La falla Quellaveco tiene un rumbo de N 120º con buzamiento de 85º al NE; se trata de una importante falla inversa con movimiento sinestral. En el sector de la mina Quellaveco, esta falla es el límite suroeste de los depósitos volcánicos del arco Barroso separando el borde oeste de la Cordillera Occidental y la Cordillera Occidental propiamente dicha. En relación con el

aspecto minero, estas fallas contienen a los importantes cuerpos porfiríticos de Quellaveco y Cuajone.

Existen otras fallas importantes pertenecientes a este sistema; como las fallas Viña Blanca, Botiflaca, Torata, etc., que constituyen un sistema continuo de estructuras que se caracterizan por poseer cualidades similares como dirección promedio noroeste-sureste. Estas fallas por lo general son de tipo inversas, con componente sinestral, en ocasiones sólo se observa su movimiento sinestral y buzamientos con ángulos variados, pero de predominancia subvertical.

En el caso de la cuenca del río Ilo-Moquegua, este sistema de fallas afecta a una serie de rocas. El Grupo Toquepala (Cretácico superior a Paleoceno) es el más antiguo en este sector, seguido por el Grupo Moquegua, Formación Huaylillas, Millo y el Grupo Barroso. Las fallas NO-SE generan zonas débiles por donde se emplazan rocas intrusivas de las superunidades Tiabaya, Yarabamba y numerosos cuerpos porfiríticos.

SISTEMA DE FALLAS NE-SO TRANSVERSALES A LA CORDILLERA (NE-SO). La dirección promedio de las estructuras, fallas y lineamientos que pertenecen a este sistema, varían desde 40° a 60° o NO-SE, atravesando longitudinalmente toda la cuenca del río Ilo-Moquegua. En la Figura 2.7 se aprecia que este sistema de fallas atraviesa perpendicularmente a la Cordillera de la Costa, Planicie Costera, borde oeste de la Cordillera Occidental y a la Cordillera Occidental. En promedio, las quebradas principales poseen una dirección NO-SE y están estrechamente ligadas a las fallas y lineamientos de este sistema. Por ejemplo, el lineamiento Carbonera parte desde la costa (Figura 2.7), atraviesa la Cordillera de la Costa con estructuras como la Falla Chololo (normal) siguiendo a través de la Planicie Costera hasta volverse más evidente en el borde oeste de la Cordillera Occidental (por el sector de la mina Quellaveco), donde se manifiesta como una falla de rumbo sinestral de manera subvertical y con componente inversa. En la mina Cuajone la falla denominada Principal (Figura 2.7) de dirección noreste-suroeste también juega un papel importante en la mineralización, puesto que al igual que en la mina Quellaveco en la intersección de los sistemas noroeste-sureste (Cincha-Lluta-Incapuquio) y noreste-suroeste (transversales a la cordillera) se encuentran los pórfidos de cobre.

La Figura 2.7 muestra una serie de líneas de color rojo, las que en los trabajos de campo fueron identificadas generalmente en el fondo de las quebradas. Estas fallas, en las partes altas de la Cordillera Occidental, condicionan en muchos casos el movimiento de las aguas subterráneas, evidenciado por la surgencia de manantiales.

FALLAS NORTE-SUR (N-S). Esta agrupación de fallas y lineamientos poseen una dirección promedio norte-sur. En la cuenca del río Ilo-Moquegua se encuentran afectando rocas pertenecientes al Grupo Moquegua y Formación Millo ubicados en la Planicie Costera. Estas fallas se disponen de manera paralela y se observa un lineamiento importante entre las localidades de Osmore, La Capilla hasta Jaguay Putulle. En la imagen satelital se diferencia que afecta sedimentos muy recientes, por lo que se le considera de un periodo geológico reciente, probablemente el Plioceno-Pleistoceno.

FALLAS NORMALES. Este grupo de fallas están ubicadas en el borde oeste de la Cordillera Occidental, entre los centros poblados de Coscori, Torata y Otora. Se trata de una serie de fallas normales lístricas y consecutivas. La mayoría de estas fallas afectaron rocas volcánicas de la Formación Huaylillas. Por el sector de Inogoya, se aprecia que estas fallas también afectan a rocas del Grupo Toquepala y Grupo Moquegua, generando una serie de deslizamientos que muestra su típica característica de escarpas muy accidentadas en los cerros y acumulación de material en forma de terrazas en ambas márgenes de las quebradas. Estas fallas se relacionan a la última actividad tectónica del sistema de fallas transversales a la cordillera (SFII) de dirección noreste-suroeste, donde se generaron espacios vacíos por el movimiento y la apertura de las quebradas que son paralelas a estas.

Cuenca del río Tambo

Cuenca del rio Honda

Intercuenca 13170

Cuenca del río Locumba

Intercuenca 13175

Intercuenca 13171

OCÉANO PACÍFICO

CAMILATA
COLINE
ARUNDANE
PAYPAMPA
MOQUEGUA
Chimbua
Ullunto
El Cruce
Titijones
Chichillani
Paracota
Pampahuta
Achupalla
Abra El Caracol
Hornoni
Totoral
Yariguaya
Questa Jaguay
Incayo
Quento
Aguada grande
Talabaya
Falla Incapuquio
Falla Micalaco
Olora
Chujulay
Paypampa
Mina Cuajone
Patoco
Viviani
Aspana
Pocsi
Pocsi
Ingogoya
Villa Botiflaca
Torata
Lestanque
Mina Quellaveco
La Cueva
Altarani
Lineamiento Clemesi
Huaracoshal
Cerro Baúl
Coscori
Falla Quellaveco
Jaguay Pututle
Los Angeles
Ladera
San Francisco
San Antonio
Samegua
Cruz Verde
El Jahuay
Falla Principal
Cupine
Lineamiento Carbonera
Angelina
La Capilla
Chuza
Osmore
El Yaral
Carbonera
Falla Ilo
El Hueso
Ilo
Sacramento
Isla Coles
Sargento
Falla Capillune

260000
280000
300000
320000
340000
71°0'0"W
70°30'0"W
8140000
8120000
8100000
8080000
8060000
8040000
17°0'0"S
17°30'0"S
N

SÍMBOLOS ESTRUCTURALES

- Sistema de fallas Ica-Islay-Ilo (SFIII)
- Sistema de fallas Cincha-Lluta-Incapuquio (SFCLI)
- Sistema de fallas transversales a la Cordillera (NE-SO)
- Sistema de fallas N-S
- Falla normal
- Falla con otra dirección

SÍMBOLOS TOPOGRÁFICOS

- Capital de región
- Capital de provincia
- Capital de distrito
- Localidad
- Volcán
- Océano Pacífico
- Cauce permanente
- Cauce intermitente
- Cauce efímero
- Mina activa
- Ciudad
- Cuenca o intercuenca
- Cuenca del rio Ilo-Moquegua

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA

ESTRUCTURAL

Versión digital:
Año 2015
Impreso
Junio 2019

ESCALA 1:400,000
0 3 6 12 18 Kms.
Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 19 Sur

Figura 2.7

CAPÍTULO III
CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS Y DISPONIBILIDAD HÍDRICA

El río Ilo-Moquegua tiene su origen en la confluencia de los ríos Huaracane y Torata, entre los 1250 y 1350 m s. n. m., a unos 3 km al oeste de la ciudad de Moquegua (cerca de los sectores La Chimba y San Francisco). Su recorrido tiene dirección noreste a suroeste y toma el nombre de Osmore e Ilo según las localidades por donde circula (en la parte baja de la cuenca).

La longitud de máximo recorrido del cauce principal es de 153.27 km desde las proximidades del cerro Toro y cerro Limani (parte alta de la cuenca, a unos 4970 m s. n. m.) hasta su desembocadura en el océano Pacífico.

El río Ilo-Moquegua tiene dos pendientes marcadas, una con elevaciones altas que se encuentra entre el sector de Titijones hasta la ciudad de Moquegua (por la elevación de la Cordillera Occidental), y la otra más baja que va desde la ciudad de Moquegua hacia Ilo (Planicie Costera) donde tiene una pendiente más baja.

El río Ilo-Moquegua recibe aporte de quebradas menores en la parte alta de la cuenca, los caudales de aporte se concentran en épocas de lluvia. A partir del valle de Moquegua, el río no recibe aporte de sus afluentes hasta su desembocadura. Existen en este tramo innumerables quebradas efímeras y secas.

Para incrementar la oferta hídrica del valle de Moquegua, se ha puesto especial interés en el afianzamiento de los recursos hídricos superficiales, desarrollando un proyecto de trasvase proveniente de la represa Pasto Grande.

3.1 REPRESA PASTO GRANDE

La cuenca del río Tambo, ubicada en el límite norte de la cuenca del río Ilo-Moquegua tiene un área geográfica extensa (13 073.40 km²), cuatro veces el tamaño de la cuenca del río Ilo-Moquegua (3734 km²). Por lo tanto, la disponibilidad hídrica en la cuenca del río Tambo es mucho mayor. Pensando en cubrir las demandas de los valles de Moquegua e Ilo, las autoridades e instituciones pusieron especial atención en el afianzamiento hídrico de la cuenca del río Tambo, generándose el proyecto Pasto Grande que consiste en el embalse de aguas superficiales en la cuenca del río Tambo, para trasvasarlas a la cuenca del río Ilo-Moquegua.

El proyecto Pasto Grande fue creado en el año 1987, y desde entonces ha sido planteado como una solución hídrica de múltiples propósitos para la costa sur del Perú, constituyendo uno de los proyectos de ingeniería de mayor trascendencia en la región Moquegua (Figura 3.1 y fotografías 3.1, 3.2 y 3.3).

La represa Pasto Grande y las obras adicionales de drenaje permiten el mejor desarrollo de la agricultura, producción de agua potable y energía para las poblaciones de Moquegua e Ilo. Adicionalmente 1000 agricultores incorporaron nuevas tierras de trabajo.

Distribución del agua

Las aguas de la represa Pasto Grande presentan marcada estacionalidad, en un 70 % se producen de febrero a abril. El promedio anual de los volúmenes almacenados en la represa Pasto Grande es de 185 hm³.

El riego con aguas superficiales provenientes de la represa Pasto Grande tiene gran influencia en la recarga del acuífero poroso no consolidado del valle de Moquegua e Ilo. Usualmente el riego de zonas agrícolas con aguas superficiales generan la recarga artificial del acuífero y en zonas donde el nivel piezométrico alcanza la superficie del suelo generando surgencia de aguas subterráneas en forma de manantiales.

El desarrollo continuo del proyecto Pasto Grande comprende varias etapas, entre las principales tenemos

(http://www.pastogrande.gob.pe/seccion/etapas_y_alcances):

ETAPA I

FASE 1

- Presa Pasto Grande para almacenar máximo 200 MMC.
- Canal Pasto Grande de 39.1 km de longitud y 9.0 a 10.0 m³/s de capacidad.
- Túnel Jachacuesta de 7.045 km de longitud y 12.0 m³/s de capacidad.
- Rápida Jachacirca de 1.6 km de longitud y 11.0 m³/s de capacidad.
- Canal Humalso de 20.9 km de longitud y 8.0 m³/s de capacidad.
- Rápida Chilligua de 0.6 km de longitud y 8.0 m³/s de capacidad.

FASE 2

- Trasvase Huaracane-Chen Chen que se subdivide en dos paquetes:
- Paquete A: Trasvase Otora-Tarata, incluye bocatoma Otora, dos túneles, un sifón y canal de conducción de 6 km de longitud con capacidad para derivar 7 m³/s de agua desde el río Huaracane (Otora) hasta el río Torata.
- Paquete B: Trasvase Torata-Chen Chen, que incluye a la bocatoma Torata (Estuquiña), tres túneles y canal de conducción de 15.31 km, con capacidad para transportar 7 m³/s de agua desde el río Torata en el sector de Estuquiña hasta el Sifón Tumilaca (río Tumilaca) y desde allí 5 m³/s de agua hasta Chen Chen.
- Planta de tratamiento de agua potable Chen Chen para la ciudad de Moquegua, con capacidad para tratar 250 L/s de agua en una primera etapa.
- Canal Chen Chen-San Antonio de 5.44 km de longitud y 5 m³/s de capacidad.
- Canal San Antonio-Jaguay de 17.0 km de longitud y 5 m³/s.
- Línea de conducción lateral hacia la pampa Jaguay Rinconada de 7.77 km de longitud aproximadamente y capacidad para conducir 2.5 m³/s.

ETAPA II

Subsistema Chilota-Vizcachas

El subsistema Chilota-Vizcachas se proyecta para aprovechar las aguas de las subcuencas de los ríos Vizcachas, Chincune y Chilota, interconectándose ambos a través del canal Vizcachas. Considera obras de almacenamiento sobre el cauce de los ríos Vizcachas y Chilota. Los volúmenes de agua aprovechables serán derivados a través de las estaciones de bombeo Chilota N° 1 y Chilota N° 2, hacia el canal de Pasto Grande para la ampliación de la frontera agrícola en la provincia de Ilo.

Este sistema incluye:

- Dos estaciones de bombeo para 1.5 m³/s de agua.
- Canal de conducción de 20.6 km de longitud total.
- Presas de Chilota de 20 MMC y Vizcachas-Chincune con capacidad para almacenar 8 MMC.

Presa Humalso, se construirá sobre los 4400 m s. n. m. en el distrito de Carumas, para almacenar 82.76 MMC de agua mediante una presa de tipo enrocado con núcleo impermeable. Su ejecución es vital para la segunda etapa, pues no solo permitirá ampliar la frontera agrícola en 3515 ha en las Lomas de Ilo y 875 ha en las Pampas de Jaguay Chinchare, sino que además hará factible la operación de tres centrales hidroeléctricas que generan 49.5 megavatios de energía eléctrica. También servirá para regular el riego del valle de Carumas y para optimizar el reservorio de Pasto Grande, reduciendo la pérdida de agua por evaporación.

Subsistema Ilo

- Proyecta la construcción de la línea de conducción y embalse "Los Burros- Lomas de Ilo y Osmore-Lomas de Ilo", cuyas posibilidades son:
- Abastecimiento de recurso hídrico vía Osmore hacia las Lomas de Ilo.
- Abastecimiento del recurso hídrico del sector Quebrada Los Burros hacia las Lomas de Ilo con una distancia de 61 km y capacidad para conducir 2.5 m³/s de agua.
- Canal de distribución Ilo norte de 17.4 km de longitud y 2.0 m³/s de capacidad.

ETAPA III

- Construcción de minireservorios e infraestructura hidráulica para optimizar el uso del recurso hídrico en los valles de la provincia de General Sánchez Cerro.
- Afianzamiento de los recursos hídricos del proyecto Pasto Grande mediante la construcción de reservorios y trasvases para la ampliación de la frontera agrícola en la pampa de Clemesi y Guaneros.
- Regulación de los ríos de la cuenca del río Ilo-Moquegua mediante la construcción de las represas y microempresas para optimizar el recurso hídrico.
- Explotación de agua subterránea en la parte alta de Tambo correspondiente a las provincias de Mariscal Nieto y General Sánchez Cerro.

La constante implementación de esta infraestructura hidráulica ha permitido que los acuíferos del valle de Moquegua e Ilo tengan una explotación más regulada, algunos de los pozos ya no se utilizan y, en otros casos, se recuperaron algunos manantiales. Por lo tanto, las aguas superficiales de trasvase y las que se utilizan en el riego de zonas agrícolas representan la recarga artificial indirecta en los acuíferos del valle de Moquegua e Ilo.

Fotografía 3.1 Parte de la infraestructura hidráulica de Pasto Grande (PERPG) que permite el almacenamiento de aguas superficiales en la cuenca del río Tambo.

Fotografía 3.2 Rápida de trasvase de aguas de la cuenca del río Tambo a la cuenca del río Ilo-Moquegua, en el sector Chilligua.

Fotografía 3.3 Canal de conducción de aguas superficiales (de trasvase) del Proyecto Pasto Grande.

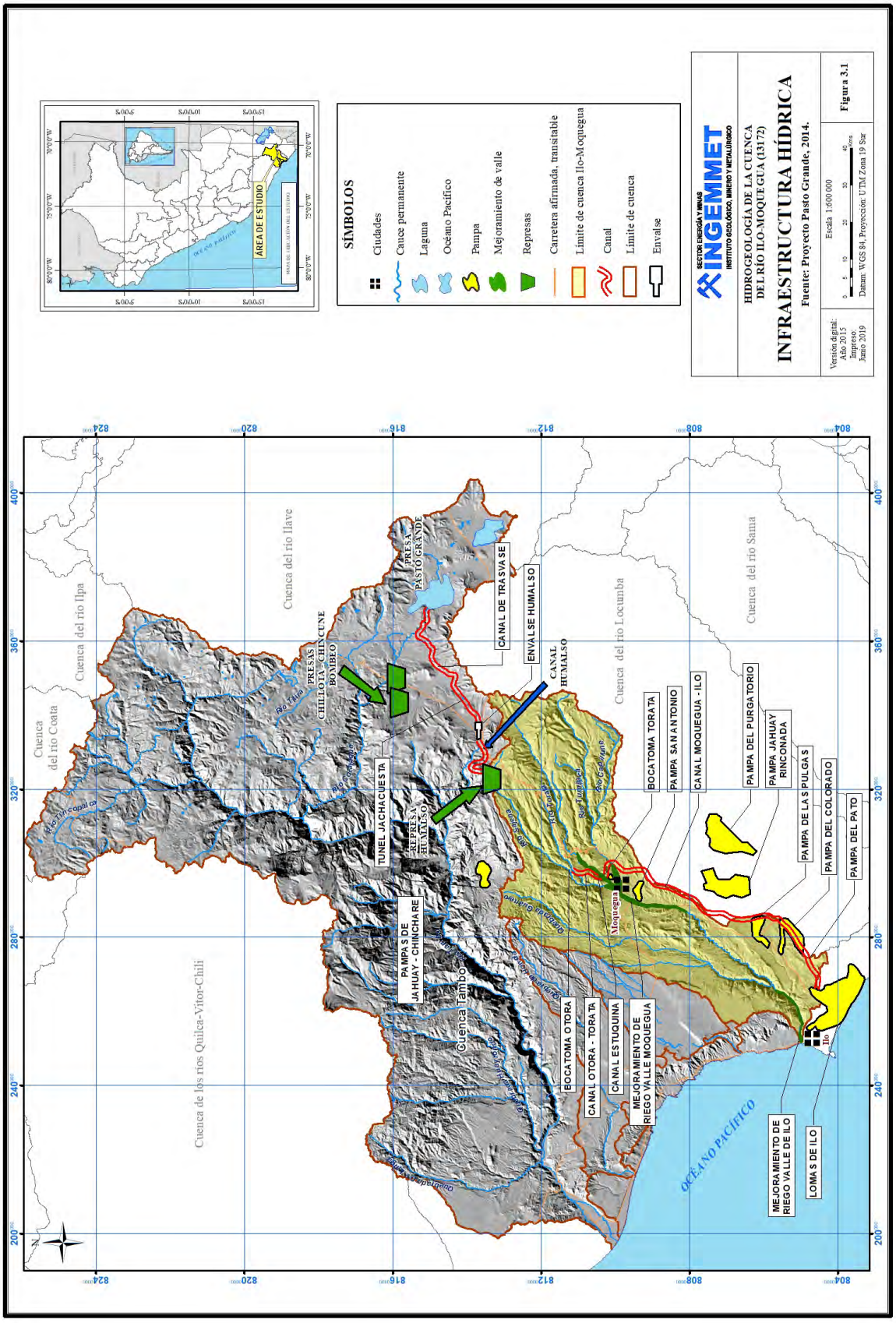


Figura 3.1 Proyecto Pasto Grande.

3.2 BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL

Calcular los fenómenos hidrológicos que ocurren en la cuenca es muy complejo, sin embargo, a falta de un registro completo de estaciones meteorológicas, se pueden representar los datos de una manera simplificada, mediante cálculos que involucren un conjunto de partes diversificadas que interactúan como un todo. Los registros ideales se basan en periodos continuos de doce meses, seleccionados de manera que los cambios globales en el almacenamiento sean mínimos, por lo cual, la cantidad sobrante de un año al siguiente se reduce al mínimo.

El ciclo hidrológico se considera un sistema, cuyos componentes principales son: precipitación, evaporación, escorrentía e infiltración; que además tienen componentes como interceptación, transpiración, escorrentía subsuperficial, escorrentía subterránea o percolación, etc. Las características que determinan el comportamiento de estos, están determinadas en gran medida por su configuración geológica y fisiográfica.

La cuenca del río Ilo-Moquegua es conocida porque existe baja disponibilidad de recursos hídricos. En décadas pasadas, la escorrentía superficial circulaba limitadamente por el río Ilo-Moquegua hasta llegar al sector de la Rinconada, manteniendo un flujo subsuperficial o subterráneo sin observarse totalmente en superficie, salvo en esporádicos lugares a manera de flujos intermitentes.

Se ha registrado 20 años de sequía continua (entre los años 1971 al 1991), siendo la más severa en el año 1983, tal como muestra el diagnóstico cuenca río Moquegua ejecutado por la subcomisión técnica Moquegua de la Dirección de Estudios del Proyecto Pasto Grande, cuyo balance hídrico presenta un déficit de agua equivalente a un caudal anual promedio de 2.124 m³/s, que representa el 55 % de la demanda total.

A partir del año 1996, con el trasvase de aguas superficiales de la cuenca alta del río Tambo hacia la cuenca del río Ilo-Moquegua, mediante el proyecto Pasto Grande, se ha cubierto el déficit de agua, tanto para agricultura como para el consumo humano.

Fotografía 3.4 Estación meteorológica de la Southern Copper, ubicada en el sector de Titijones.

La cuenca del río Ilo-Moquegua con respecto a la Cordillera Occidental tiene su parte alta desde la intercepción de las cuencas del río Tambo y el río Locumba (cerca de Titijones) hacia el suroeste. Por lo tanto, representa una especie de intercuenca con limitada extensión que se caracteriza porque la parte alta de la cuenca no alcanza la parte más alta de la Cordillera Occidental, donde la precipitación pluvial es mayor. La cuenca de recepción del río Ilo-Moquegua es de pequeña extensión y la precipitación pluvial es baja, en comparación con las cuencas del río Tambo, Locumba y otras cuencas contiguas.

Para el cálculo del balance hídrico superficial, se consideraron los componentes principales como precipitación, evapotranspiración y escorrentía; información proporcionada por Senamhi, con algunos ajustes y tratamiento de datos según el caso. Los registros obtenidos corresponden a los años 1969-1999 (Senamhi, 2010).

Dentro de la cuenca existen 3 estaciones climatológicas ordinarias (Yacango, Ilo, y Punta Coles), 2 estaciones hidrológicas limnigráficas (Tumilaca y Huaracane) y 1 estación climatológica principal (Moquegua) (Cuadro 3.1). Existen también estaciones meteorológicas en el sector de Titijones, de la empresa minera Southern Perú, que es únicamente de monitoreo interno (Fotografía 3.4).

Cuadro 3.1
Estaciones meteorológicas en la cuenca del río Ilo-Moquegua

Estación	Altitud	WGS 84, Zona 19 S		Tipo3
		Este	Norte	
Punta Coles	30	248625	8041423	CO
Ilo	60	257020	8049277	CO
Moquegua	1420	294729	8099510	CP
Yacango	2191	301016	8109534	CO
Huaracane	1480	294696	8102831	HLG
Tumilaca	1950	305316	8105147	HLG

(CO = Estación climatológica ordinaria, CP = Estación principal, HLG = Estación hidrológica limnigráfica).

3.2.1 Precipitación

La precipitación en la cuenca del río Ilo-Moquegua tiene dos periodos relativamente marcados, inicia entre noviembre o diciembre y termina entre marzo o abril, por lo cual, los meses de mayo a octubre tiene escasa a casi nula precipitación.

Considerando los datos del informe del Senamhi, 2010, realizaron el análisis de consistencia (doble masa) de nueve estaciones patrón, uno en cada grupo (Cuadro 3.2), para corregir los datos no registrados del periodo analizado (31 años). Posteriormente, hicieron un análisis de correlación y extensión, para completar el registro de 1969 a 1999 de cada grupo. Las estaciones analizadas en la curva de doble masa fueron: Mollendo, Locumba, Hacienda Puquio, Mirave, Coralaque, Punta Coles y Carumas, las mismas que se encuentran en las cuencas hidrográficas Tambo, Camaná-Majes, Maure, Ilo-Moquegua, Locumba, Sama, Caplina y también en algunas intercuencas.

Para realizar el modelo geoespacial de precipitación utilizaron datos de 48 estaciones del mismo periodo de datos (1969 a 1999) (Senamhi, 2010), para el cual se desarrolló el análisis de regresión, obteniéndose el mapa de isoyetas regional, en la cual se encuentra la cuenca del río Ilo-Moquegua (Figura 3.2).

La precipitación en la cuenca del río Ilo-Moquegua varía desde escasos milímetros en la costa hasta un promedio de 200 mm en el sector más alto, es decir la zona de Puna, donde existen aún porciones pequeñas de nevados.

El sector menos lluvioso se encuentra comprendido entre el litoral marino y la cota altitudinal de los 2 500 m s. n. m., con un promedio anual de 60 mm (Punta Coles: 38.6 mm, Ilo: 47.7 mm, Moquegua: 15.3 mm, Yacango: 61.4 mm, entre los 2000 y 2500 m s. n. m., se considera unos 100 mm).

La zona cercana al litoral marino se encuentra influenciada por una alta condensación de las neblinas invernales provenientes del Pacífico (mayo-septiembre).

Cuadro 3.2
Grupo de estaciones para el análisis de consistencia

Grupo	Estaciones meteorológicas			
N°1	Pampa Blanca*	La Hacienda	Mollendo	La Joya
N°2	Locumba	Sama Grande*	Hda. Puquio	
N°3	Cairani	Candarave*	Susapaya	Sitajara
N°4	Mirave	Curibaya*	Ilabaya	
N°5	Coalaque	Qunistaquillas	Omate*	
N°6	Vilacota	Challapalca*	Chuapalca	Paucarani
N°7	Ilo	Ite*	Pta. Coles	
N°8	Yacango	Moquegua*		
N°9	Calacoa*	Carumas	Pampa Humalzo	

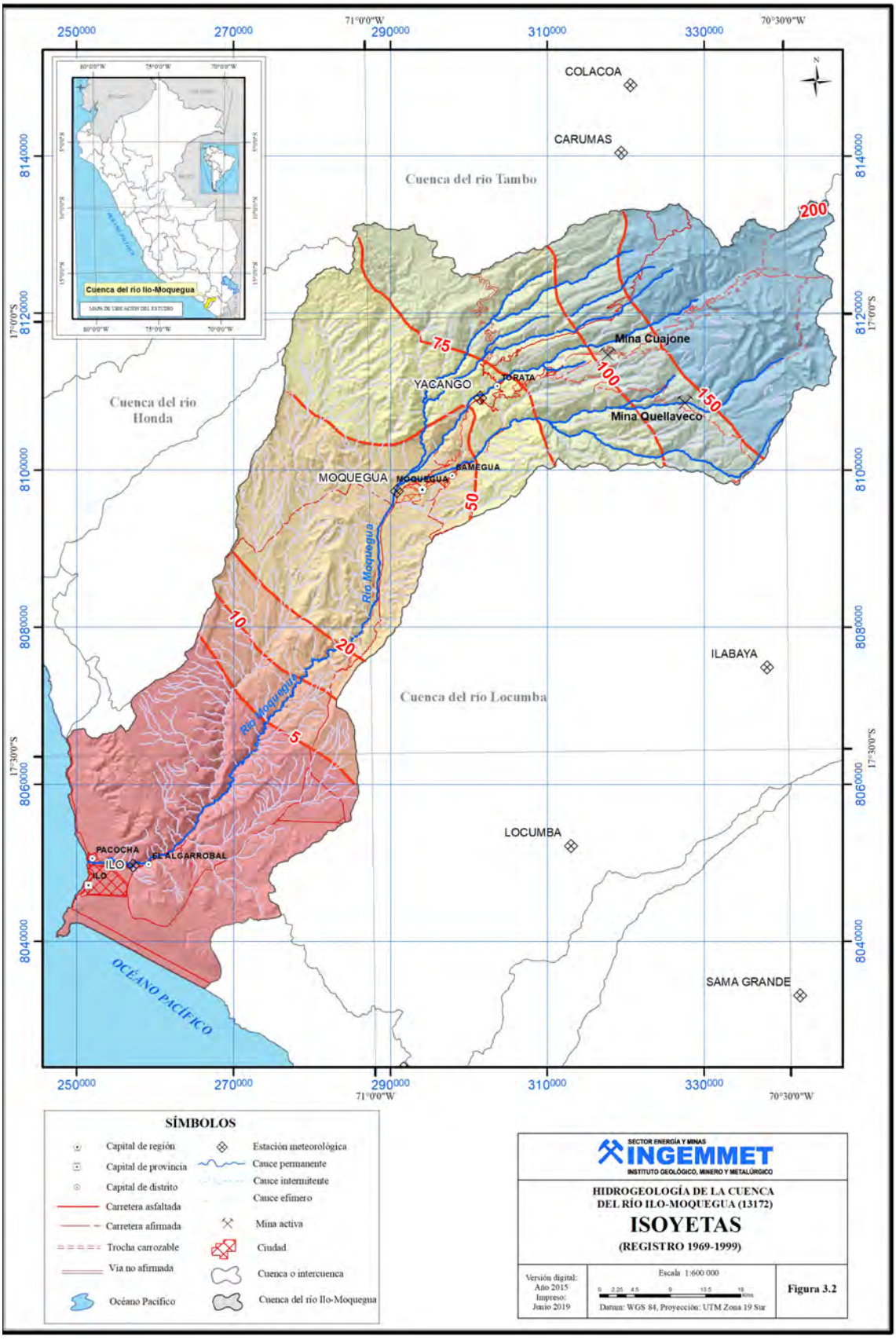
Fuente: Senamhi, 2010 (* Estaciones patrón).

Finalmente, la estimación media mensual de precipitación se registra en el Cuadro 3.3, observándose que julio es el mes menos lluvioso, donde no se registra precipitación (0.00 mm), y enero es el mes más lluvioso (con 37.94 mm). De esta información (Cuadro 3.3), se distinguen dos periodos, los meses de abril a diciembre comprende la temporada de estío, y de enero a marzo la temporada de lluvias.

Cuadro 3.3
Precipitación media mensual (1969-1999) calculada para la cuenca del río Ilo-Moquegua

Mes	Precipitación media mensual Ilo-Moquegua (mm)
Enero	37.94
Febrero	36.03
Marzo	24.29
Abril	3.60
Mayo	1.29
Junio	0.93
Julio	0.00
Agosto	0.95
Setiembre	1.29
Octubre	1.34
Noviembre	2.40
Diciembre	5.23
Total	115.26

Fuente: Senamhi, 2010.


COLACOA
CARUMAS
Cuenca del rio Tambo
Cuenca del rio Honda
Cuenca del rio Locumba
Cuenca del rio Ilo-Moquegua
Mina Cuajone
Mina Quellaveco
YACANGO
TORATA
MOQUEGUA
SAMEGUA
Río Moquegua
ILABAYA
LOCUMBA
SAMA GRANDE
PACOCHA
ILO
EL ALGARROBAL
OCÉANO PACÍFICO
200
150
100
75
50
20
10
5
250000
270000
290000
310000
330000
8140000
8120000
8100000
8080000
8060000
8040000
71°0'0"W
70°30'0"W
17°0'0"S
17°30'0"S
SÍMBOLOS
Capital de región
Capital de provincia
Capital de distrito
Carretera asfaltada
Carretera afirmada
Trocha carrozable
Vía no afirmada
Océano Pacífico
Estación meteorológica
Cauce permanente
Cauce intermitente
Cauce efímero
Mina activa
Ciudad
Cuenca o intercuenca
Cuenca del río Ilo-Moquegua
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA (13172)
ISOYETAS
(REGISTRO 1969-1999)
Versión digital: Año 2015
Impreso: Junio 2019
Escala 1:600 000
Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 19 Sur
Figura 3.2

3.2.2 Temperatura

No fue necesario realizar el análisis de consistencia de la información de temperatura en vista de que la variabilidad espacial y temporal se mantiene en el área de estudio, observándose que la temperatura máxima y mínima es prácticamente uniforme y homogénea (Senamhi, 2010), con ligera variación de acuerdo con el piso altitudinal.

En la cuenca del río Ilo-Moquegua, a nivel mensual, la temperatura media varía de 8 a 22 °C, siendo la temperatura promedio anual de 16.2 °C. La temperatura máxima varía de 10 a 26 °C, siendo la temperatura máxima promedio de 18 °C; y la temperatura mínima varía de 0 a 18 °C, siendo la temperatura mínima promedio en la cuenca de 10.8 °C (Senamhi, 2010).

Los valores de temperatura mínima, máxima y media mensual de las 4 estaciones de base se muestran en el Cuadro 3.4.

Cuadro 3.4

Temperaturas mínimas, máximas y medias mensuales (en °C) de las estaciones Punta Coles, Moquegua, Yacango e Ilo

Estación	Punta coles			Moquegua			Yacango			Ilo		
Mes	Mínima	Máxima	Media	Mínima	Máxima	Media	Mínima	Máxima	Media	Mínima	Máxima	Media
Enero	19.3	25.2	22.2	13.3	26.3	19.8	11.7	21.8	16.8	18.4	27.4	22.9
Febrero	19.3	25.3	22.3	13.6	26.3	20.0	11.9	21.9	16.9	18.5	27.9	23.2
Marzo	18.8	24.6	21.7	13.3	26.4	19.9	11.8	22.1	16.9	17.7	27.2	22.4
Abril	17.8	23.1	20.4	11.9	26.0	19.0	11.3	22.5	16.9	16.0	24.8	20.4
Mayo	16.8	21.4	19.1	10.5	25.8	18.1	10.2	22.7	16.5	13.8	22.4	18.1
Junio	15.7	19.6	17.7	9.8	25.1	17.5	9.5	22.4	15.9	12.1	20.0	16.1
Julio	15.0	18.5	16.8	9.6	25.3	17.4	9.4	22.4	15.9	11.1	19.0	15.0
Agosto	14.7	18.4	16.6	9.7	25.5	17.6	9.6	22.6	16.1	11.2	19.1	15.2
Septiembre	15.1	19.0	17.0	10.2	25.9	18.0	9.9	22.8	16.3	12.0	20.0	16.0
Octubre	16.2	20.6	18.4	10.9	26.6	18.8	10.6	22.9	16.8	13.2	21.9	17.5
Noviembre	17.2	22.5	19.9	11.4	26.5	19.0	11.2	22.7	16.9	14.9	23.9	19.4
Diciembre	18.2	24.0	21.1	12.4	26.8	19.6	11.6	22.5	17.0	16.8	25.8	21.3
Promedio	17.0	21.8	19.4	11.4	26.0	18.7	10.7	22.4	16.6	14.6	23.3	19.0

Fuente: Senamhi, 2010.

Con los datos registrados por Senamhi (2010), se calcularon las curvas máximas, media y mínima registradas en las estaciones de Punta Coles, Moquegua, Yacango e Ilo (Gráfico 3.1). En ella, se puede distinguir que la temperatura máxima se presenta entre los meses de enero, febrero y marzo y la temperatura mínima se presenta entre los meses de junio, julio y agosto.

La variación promedio de temperatura calculada con una serie de 50 años, tomando como base las imágenes de Global Climate Data, registra que el promedio de temperatura de la cuenca del río Ilo-Moquegua para el periodo de 1950 a 2000 es de 13.5 ºC (Figura 3.3).

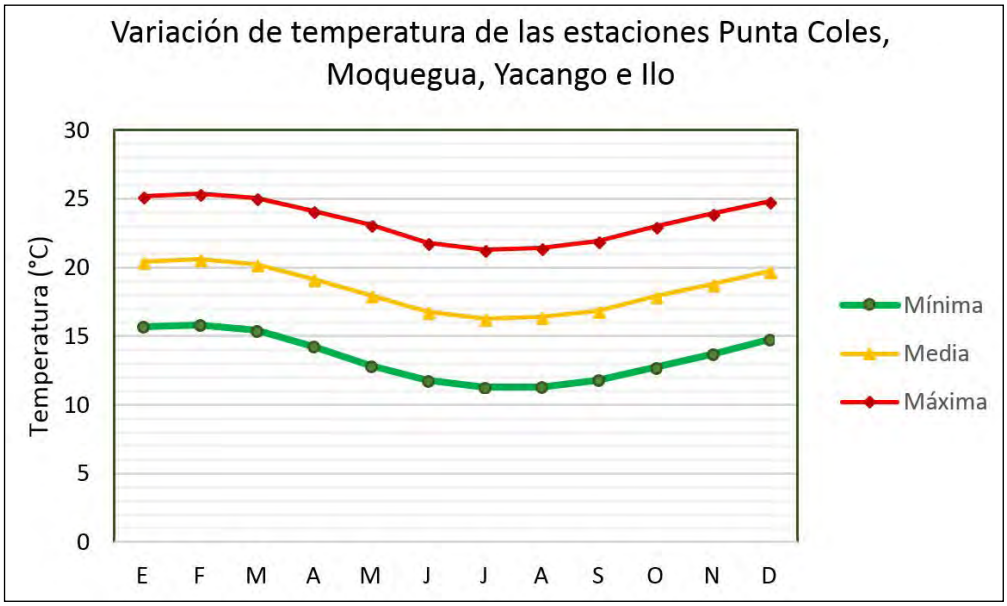


Gráfico 3.1 Variación de temperatura en la cuenca del río Ilo-Moquegua

Para conocer la interacción de la precipitación y temperatura dentro de la cuenca del río Ilo-Moquegua se presenta el diagrama ombrotérmico (Climograma) correspondiente a la parte baja de la cuenca (Gráfico 3.2), entre Ilo y Moquegua. Según la interpretación del índice de aridez de Gaussen (1954), considera un mes árido cuando las precipitaciones en mm son inferiores al doble del valor de las temperaturas. Asimismo, se puede distinguir que la precipitación es menor que la temperatura durante todo el año, contribuyendo al déficit hídrico. Cabe resaltar que las máximas precipitaciones se registran en los meses de enero, febrero y marzo, periodo en el cual la temperatura también registra sus máximos valores.

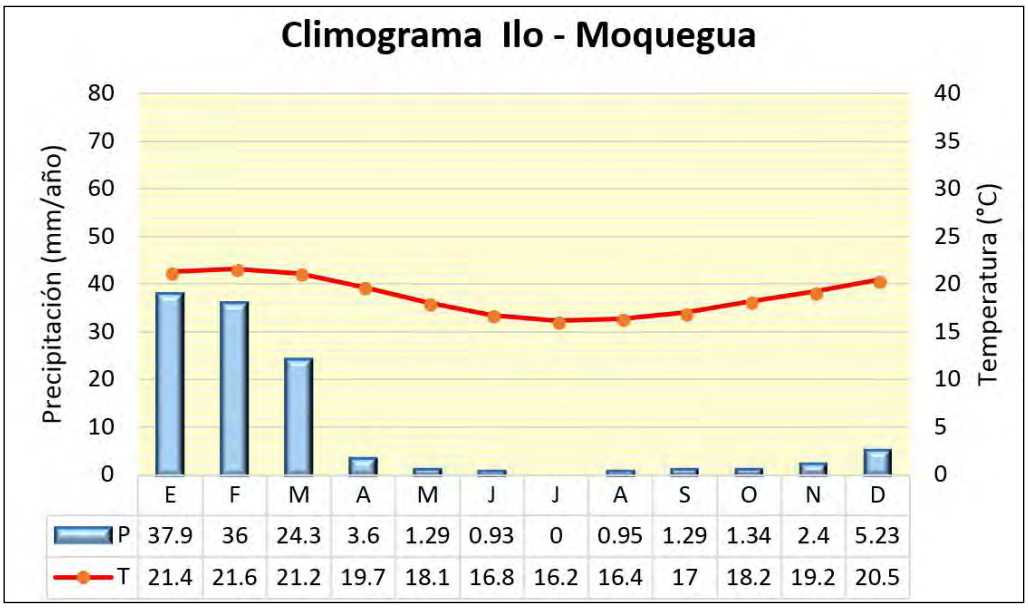
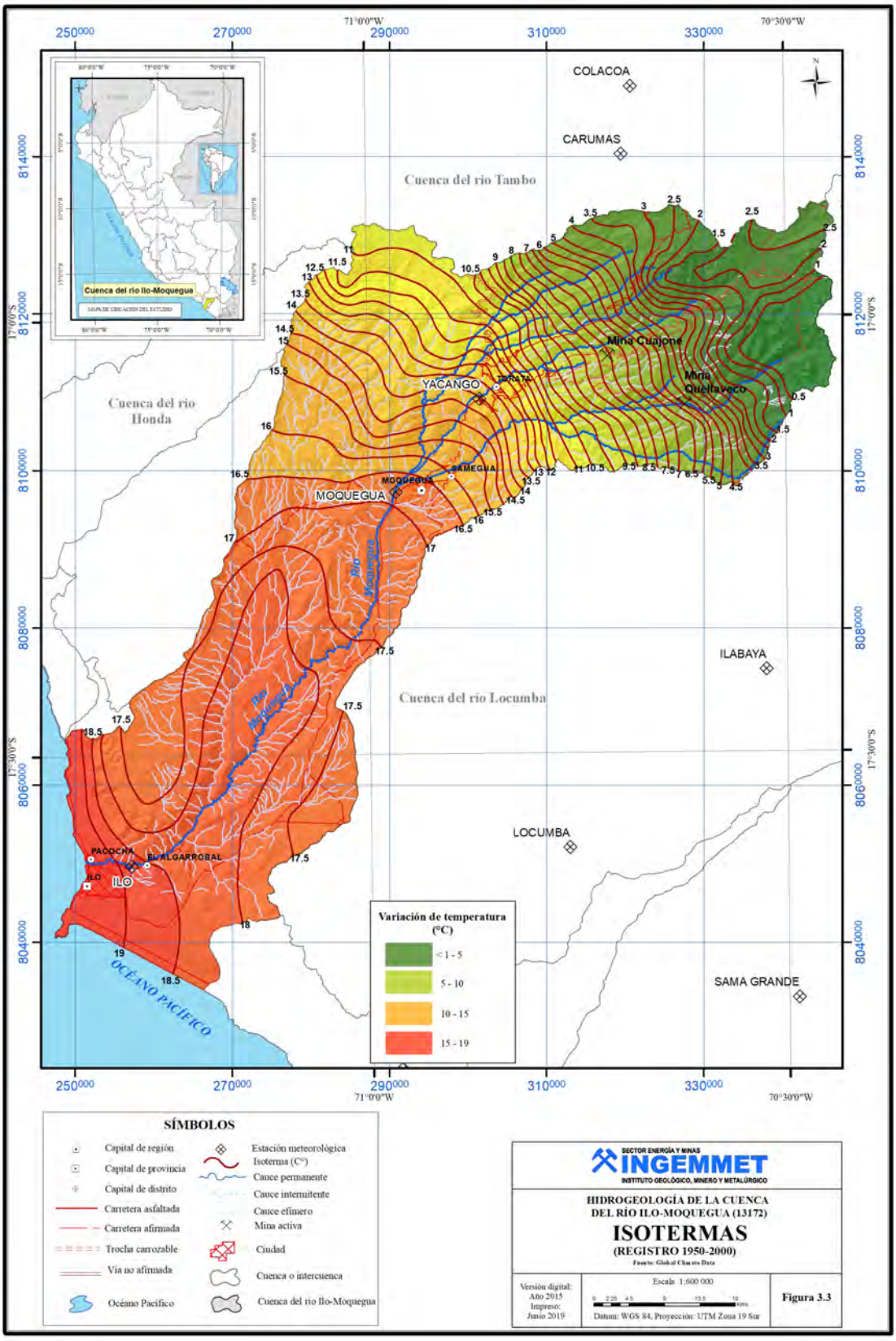


Gráfico 3.2 Diagrama ombrotérmico de la parte baja de la cuenca del río Ilo-Moquegua.


Cuenca del rio Ilo-Moquegua
Cuenca del rio Tambo
Cuenca del rio Honda
Cuenca del rio Locumba
COLACOA
CARUMAS
YACANGO
TORATA
Mina Cuajone
Mina Quellaveco
MOQUEGUA
SAMEGUA
ILABAYA
LOCUMBA
SAMA GRANDE
PACOCHA
EL ALGARROBAL
ILO
OCÉANO PACÍFICO
Río Moquegua
Río Ilo
Variación de temperatura (°C)
< 1 - 5
5 - 10
10 - 15
15 - 19
SÍMBOLOS
Capital de región
Capital de provincia
Capital de distrito
Carretera asfaltada
Carretera afirmada
Trocha carrozable
Vía no afirmada
Océano Pacífico
Estación meteorológica
Isoterma (C°)
Cauce permanente
Cauce intermitente
Cauce efímero
Mina activa
Ciudad
Cuenca o intercuenca
Cuenca del río Ilo-Moquegua
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA (13172)
ISOTERMAS
(REGISTRO 1950-2000)
Fuente: Global Climate Data
Versión digital: Año 2015
Impreso: Junio 2019
Escala 1:600 000
Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 19 Sur
Figura 3.3

3.2.3 Humedad relativa

La humedad relativa de las estaciones seleccionadas nos permitió determinar que el régimen a nivel espacial y temporal presenta un comportamiento variable en su distribución, siendo representativa y característica de cada zona.

El régimen de humedad relativa varía en función a su altitud; en zonas bajas, entre Ilo y Moquegua, se registraron los mayores valores con comportamiento uniforme, mientras que para la parte alta de la cuenca los valores de humedad tienen dos comportamientos muy bien diferenciados. Para enero, febrero y marzo se registran valores altos, para los meses de abril, mayo, junio, julio y agosto se tiene una tendencia decreciente. Finalmente, en setiembre, octubre, noviembre y diciembre registran un incremento de humedad (Senamhi, 2010).

Los valores de temperatura, correspondientes al análisis de humedad relativa de las estaciones se muestran en el Cuadro 3.5.

Considerando el modelo geoespacial elaborado por el Senamhi (2010), la distribución mensual de la humedad relativa varía de 84 a 42 % desde el litoral hasta la parte alta de la cuenca (altura de la divisoria hidrográfica). Los valores más altos, registrados durante los meses de abril a octubre, tienen variaciones de 84 a 50 %, respectivamente. Los valores más bajos tienen fluctuaciones entre 74 y 42 %. La humedad relativa promedio en la cuenca es de 59.5 %.

Cuadro 3.5
Relación de estaciones con información de humedad relativa media (%) periodo 1969-1999

Estación	Altitud	Este	Norte	Humedad relativa media (%)
Punta Coles	30	248625	8041423	85.6
Ilo	60	257020	8049277	74.3
Moquegua	1420	294729	8099510	55.7
Yacango	2191	301016	8109534	54

Fuente: Senamhi, 2010.

3.2.4 Velocidad del viento

De acuerdo con los registros, los mayores valores de velocidad de viento se encuentran en la parte baja de la cuenca, mientras que a medida que la altitud aumenta, el valor de la velocidad de viento disminuye (Senamhi, 2010). El análisis eólico se ha desarrollado considerando 4 cuencas (Caplina, Sama, Locumba e Ilo-Moquegua) como una unidad integral, a fin de conocer si los patrones de comportamiento del régimen eólico obedecen a un mismo efecto o a las características específicas en cada cuenca. Si bien es cierto, la geomorfología y relieve superficial de las cuencas no son del todo similares, la diferencia entre las fases consideradas no son significativas, considerando un análisis de tipo regional. La distribución de la velocidad del viento en la cuenca del río Ilo-Moquegua varía entre 0.5 y 3.6 m/s, siendo la velocidad de viento promedio 3.5 m/s (Senamhi, 2010).

3.2.5 Horas de sol

Las horas de sol en la cuenca del río Ilo-Moquegua se calcularon determinando su distribución a nivel espacial y temporal, las cuales registran un comportamiento variable (Senamhi, 2010). Los valores de horas de sol presenta en promedio valores altos durante los meses de enero, febrero y marzo, para la parte baja de la cuenca, mientras que para zonas con mayor altura el comportamiento es inverso.

La generación del modelo geoespacial se realizó mediante el análisis de regresión múltiple, mostrando que las horas de sol a nivel espacial registra una fluctuación de 220 y 300 horas en comportamiento anual. A nivel anual, la cantidad promedio de horas de sol en la cuenca es de 260 horas/mes, promedio que se caracteriza por disminuir con el incremento de la altitud (Senamhi, 2010).

3.2.6 Evapotranspiración

El volumen de agua que emerge de una cuenca por evapotranspiración es muy difícil de calcular. La tasa de evapotranspiración está determinada por un conjunto de factores que regulan la evaporación y la transpiración, siendo estos físicos y biológicos. La determinación de esta variable se puede realizar mediante la aplicación de fórmulas desarrolladas por diferentes investigadores, que encontraron la forma práctica

de describir cada una de las variables que inciden en forma directa en la pérdida de agua por procesos de transpiración y evaporación (influenciados directamente en el clima, las características de las plantas y el aspecto del ambiente).

La determinación de los valores de la evapotranspiración de referencia (ETo), se realizó en función de la ecuación de Penman-Monteith, dentro de la Macro desarrollada por FAO. Los resultados en la cuenca del río Ilo-Moquegua se encuentran en el Cuadro 3.6, donde se observa que el comportamiento a nivel espacial varía en función de la altitud. Los mayores valores de ETo en las estaciones ubicadas en la parte baja de la cuenca (Punta Coles e Ilo) se registran en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo. En las estaciones ubicadas en las partes altas, el comportamiento es más uniforme durante los meses de enero a junio, registrándose los mayores valores de octubre a enero (Senamhi, 2010).

Cuadro 3.6

Valores mensuales de evapotranspiración de referencia (ETo) – PENMAN – MONTEINH (mm/mes)

Estación	Punta Coles	Moquegua	Yacango	Ilo
Enero	122.8	154.8	121.4	157.1
Febrero	116.0	134.7	105.2	145.8
Marzo	116.0	141.4	111.2	149.8
Abril	93.8	129.9	103.6	121.0
Mayo	70.7	118.7	110.9	95.8
Junio	52.6	109.1	97.7	76.6
Julio	52.7	112.5	107.9	75.6
Agosto	56.7	131.7	121.3	81.8
Septiembre	64.6	142.8	130.4	90.7
Octubre	86.4	164.9	147.3	115.3
Noviembre	97.3	166.1	145.2	128.0
Diciembre	118.4	167.5	121.6	166.3
Promedio	87.3	139.5	118.6	117.0

Fuente: Senamhi, 2010.

A nivel mensual, se elaboró un modelo geoespacial de evapotranspiración de referencia (ETo), las cuales muestran el comportamiento mensual y anual de esta variable en la cuenca del río Ilo-Moquegua (Senamhi, 2010). Los valores observados oscilan entre 1000 mm/año y 1650 mm/año, el valor medio anual de la evapotranspiración de referencia (ETo) es de 1430 mm/año (Senamhi, 2010). Este valor corresponde a toda la cuenca.

La evapotranspiración de cultivo se calculó en base al coeficiente de cultivo (Kc) (Cuadro 3.7).

Cuadro 3.7

Valores promedios de Kc para la cuenca del río Ilo-Moquegua

Cultivo	Estación	Kc inicial	Kc medio	**Kc final**
Alfalfa, olivo	Ilo	0.40	1.20	1.15
Vid, palta, tuna, cebolla, frutales	Yacango	0.56	0.71	0.64
Vid, frutales, maíz	Moquegua	0.60	0.60	0.60
Hortaliza, maíz	Punta Coles	0.50	1.00	0.80

Coeficiente de cultivo (Kc) = adimensional. Fuente: Senamhi, 2010.

El cálculo de evapotranspiración de cultivo (ETc) se realizó sobre la base de los datos de ETo y Kc, utilizando un análisis de regresión múltiple. La ETc durante el año presenta dos periodos definidos, alcanzando el máximo valor en agosto, después desciende hasta setiembre para luego incrementar sus valores hasta diciembre. En seguida desciende nuevamente hasta abril, para finalmente ascender otra vez hasta los meses de julio y agosto (Senamhi, 2010).

En toda la cuenca y a nivel anual, los valores de evapotranspiración de cultivo (Cuadro 3.8) oscilan entre 69.2 y 107.4 mm/mes, que se presentan en abril y agosto de cada año con un acumulado anual de 1020.7 mm/año (Senamhi, 2010) y un promedio de 85.1 mm/mes.

Cuadro 3.8

Valores medios mensuales de evapotranspiración de cultivo en mm/mes en la cuenca del río Ilo-Moquegua

Mes	Subcuenca			Tumilaca	Total Ilo-Moquegua
	1	2	3		
Enero	80.9	69.6	98.9	47.5	78.9
Febrero	80.8	66.7	98.8	48.7	76.9
Marzo	84.0	65.4	101.0	52.5	75.2
Abril	79.8	59.8	92.7	46.5	69.2
Mayo	101.3	82.3	97.5	68.5	86.4
Junio	95.1	95.4	108.3	80.2	99.5
Julio	101.5	98.3	106.2	84.0	98.3
Agosto	114.6	103.2	112.6	89.5	107.4
Septiembre	80.6	72.8	93.8	62.5	73.4
Octubre	91.3	75.3	101.1	67.5	83.0
Noviembre	83.7	70.0	96.5	60.6	86.4
Diciembre	88.5	74.9	105.8	48.1	86.1
Promedio	90.2	77.8	101.1	63.0	85.1

Fuente: Senamhi, 2010.

3.2.7 Escorrentía superficial

Al no existir una estación de registro de datos de escorrentía superficial a la salida de la cuenca, se consideró la escorrentía registrada en las estaciones Tumilaca y Huaracane, las cuales han sido desarrolladas por Senamhi (2010) y ANA (2012a) (Cuadro 3.9).

El registro de datos del Senamhi fue de 22 años (1969 a 1991), para el ANA fue de 52 años (1956 a 2008) para la estación Tumilaca, y de 43 años (1956 a 1999) para la estación Huaracane.

Sin embargo y como referencia, se tiene la descarga media anual en la cuenca Ilo-Moquegua (ANA, 2012a) (Cuadro 3.10).

Cuadro 3.9
Valores de descarga (en m³/s) en las estaciones Tumilaca y Huaracane

Mes	Senamhi		ANA	
	Tumilaca	Huaracane	Tumilaca	Huaracane
Enero	1.72	0.58	1.707	0.276
Febrero	2.46	0.49	2.469	0.336
Marzo	2.25	0.47	2.210	0.394
Abril	1.09	0.26	1.180	0.258
Mayo	0.82	0.18	0.852	0.184
Junio	0.75	0.17	0.788	0.171
Julio	0.77	0.17	0.728	0.168
Agosto	0.69	0.17	0.650	0.166
Septiembre	0.71	0.14	0.613	0.143
Octubre	0.72	0.14	0.590	0.142
Noviembre	0.69	0.14	0.570	0.140
Diciembre	0.75	0.15	0.653	0.151
Promedio	1.12	0.26	1.084	0.211

Fuente: Senamhi, 2010; ANA, 2012a.

Cuadro 3.10
Descarga media de la cuenca Ilo-Moquegua según distintas instituciones

Caudales m³/s				
ELECTROPERÚ	ONERN	CEDEX	ANA	Promedio Anual
4.3	2.87	1.8	2.13	2.78

Fuente: ANA, 2012a.

3.2.8 Infiltración

La infiltración depende de factores como el espesor, litología, cantidad de agua, intensidad de precipitación, etc., por lo que, para una estimación confiable de la infiltración, es difícil obtener una relación única entre todos los parámetros que la condicionan.

En hidrogeología, la infiltración es el factor más importante del ciclo del agua y también el más difícil de evaluar, puesto que escapa a las mediciones directas por procedimientos sencillos (Castany, 1971).

La medida de infiltración se puede realizar a través de ensayos con lisímetros, ensayos en parcelas experimentales o infiltrómetros; las cuales ofrecen medidas locales (en ocasiones muy locales). También se pueden calcular mediante el balance hidrometeorológico, conociéndose la precipitación, evapotranspiración potencial, y la característica del suelo del valor de reserva útil (capacidad de campo menos el punto de marchitez permanente).

En la cuenca del río Ilo-Moquegua, la infiltración constituye un factor de pérdida importante. En la parte alta de la cuenca (cuenca húmeda), la infiltración se produce a través de fracturas de las rocas volcánicas en superficie y en los depósitos cuaternarios más recientes. Mientras que en la parte baja de la cuenca, la infiltración se produce directamente sobre el piso de valle de Moquegua e Ilo (por donde circula el río Moquegua), y a causa del riego de las actividades agrícolas.

Considerando que el cambio de almacenamiento de la cuenca es cero (ninguno o poco significativo) por el gran periodo de años de los datos analizados, y que la explotación de agua subterránea no varía significativamente en el mismo periodo; se puede utilizar la fórmula de balance hidrológico para determinar la infiltración potencial de la cuenca del río Ilo-Moquegua, utilizando la siguiente expresión:

Entradas = Salidas + Variación de almacenamiento ΔG.

Como no existe ΔG, entonces la ecuación anterior se simplifica a:

Entradas = Salidas

La variable considerada como entrada es la precipitación; mientras que las variables de salida son escorrentía, evapotranspiración e infiltración; convirtiéndose en la siguiente igualdad:

Precipitación = Escorrentía + Evapotranspiración + Infiltración potencial

Finalmente se obtiene una Infiltración potencial (Ip). El valor de la Infiltración real fue calculada usando la "Formulación Matemática del Método S. C. S. (Soil Conservation Service de USA)" siguiendo la siguiente fórmula:

$$I_R = 0{,}2 * I_P$$

Donde

IR: Infiltración real (mm)

IP: Infiltración potencial (mm)

IP: Es la máxima infiltración posible que puede ocurrir dentro de la cuenca. Para la cuenca del río Ilo-Moquegua IP = 14.57 MMC.

Por lo tanto, se tiene que la Infiltración real (IR) en la cuenca es de 2.91 MMC al año.

3.3 BALANCE HÍDRICO

Para cuantificar los ingresos y salidas naturales de agua que se realizan a lo largo del periodo hidrológico, en la cuenca del río Ilo-Moquegua, se ha establecido el balance hídrico considerando periodos de registros muy variados. Este apartado puede ser uno de los más discutidos debido a la dificultad de los cálculos y estimaciones del balance. A pesar de este problema, se intentó aproximar lo más cerca posible a la determinación del balance hídrico, considerando datos meteorológicos disponibles desde 1969 hasta 1999.

La recarga principal del acuífero poroso no consolidado de los valles de Moquegua e Ilo proviene de la infiltración de las aguas de escorrentía que discurre por el cauce de los ríos, además del agua de regadío que proviene del proyecto Pasto Grande.

El balance hídrico de la cuenca tiene por objeto contabilizar los aportes y las pérdidas de agua. En este caso, se consideraron los datos disponibles, que se encuentran muy dispersos en cuanto a registros. A falta de estaciones meteorológicas, se calculó un balance hídrico con los datos esporádicos obtenidos.

Del agua que cae sobre la cuenca (Precipitación = P), una parte vuelve a la atmósfera por evaporación directa sumada a la transpiración vegetal (Evapotranspiración = ETR). Otra parte discurre por la superficie (Escorrentía superficial = Esc), confluyendo en las quebradas y ríos hasta alcanzar los ríos Huracane, Torata, Tumilaca, Moquegua, Osmore e Ilo. El resto se introduce en el terreno y se incorpora a los pocos acuíferos que existen en la cuenca (Infiltración = Ir).

Todo fenómeno cíclico implica una igualdad de pérdidas y ganancias, por lo que el balance del agua lo representamos en el Cuadro 3.11. Para tener un mayor acercamiento a los valores de balance se utilizó la unidad de MMC/Año.

Cuadro 3.8

Valores medios mensuales de evapotranspiración de cultivo en mm/mes en la cuenca del río Ilo-Moquegua

Aportes (MMC/año)	Pérdidas (MMC/año)
Precipitación: 419.37	Evapotranspiración real: 436.50 Escorrentía superficial: 62.61 Infiltración real: -15.87
Total: 419.37	Total: 482.84

De los datos del cuadro anterior se puede encontrar la variación de reservas que existe en la cuenca, usando la siguiente expresión:

$$dS = P - (ETR + Esc + \mathrm{I_R})$$

$$dS = \text{-}63.47 \ \ MMC$$

Por lo tanto, la variación de reservas de la cuenca es muy cercana a -63.47 MMC al año, lo cual indica un déficit hídrico. Esto se debe principalmente a la escasa precipitación con respecto a la elevada evapotranspiración en la cuenca.

Asimismo, no se consideraron los aportes del trasvase de agua del proyecto Pasto Grande debido a que el periodo de análisis de los datos hidrometeorológicos es anterior al inicio del trasvase. Si se considera esta entrada adicional que se produce en la actualidad, el balance hídrico será otro, incluso podría ser positivo obteniéndose excedentes en la escorrentía superficial.

A pesar de este déficit (calculado), en general, los acuíferos en la parte alta de la cuenca se recargan en el periodo de avenidas durante los meses de enero, febrero y marzo, cuando se registra la mayor cantidad de precipitación. Por otro lado, en la parte media y baja de la cuenca, los acuíferos porosos no consolidados de piso de valle se recargan durante todo el año mediante la escorrentía que es mantenida actualmente con aguas de trasvase.

CAPÍTULO IV
INVENTARIO DE MANANTIALES Y POZOS

La cuantificación de los recursos hídricos subterráneos en la cuenca tiene diferentes variables. Por un lado, se encuentran los pozos y manantiales de piso de valle de Moquegua e Ilo, de moderada a baja productividad que se vienen aprovechando desde hace más de un siglo mediante pozos. Por otro lado, se localizan los manantiales que provienen de rocas volcánicas en la parte alta de la cuenca, generalmente de baja productividad, que son utilizados localmente de manera directa o mediante captación.

La necesidad de contar con este recurso era conocido desde épocas de antaño y desde entonces se conocía también la escasez de agua tanto para consumo humano como para actividades agrícolas e industriales. Por lo tanto, a lo largo de estos años, se plantearon proyectos de ingeniería que ayudarían a solucionar este problema, pero que, por el alto costo económico para su época, fueron inviables en su mayoría.

Posteriormente, se fue incrementando la perforación de pozos, registrándose a través del inventario de pozos de diversos estudios.

En los valles de Moquegua e Ilo, el Inrena realizó trabajos de monitoreo y medida de parámetros físico-químicos de los principales pozos (periodo 2003 al 2009). En los últimos años se realizaron pruebas hidráulicas e inventarios más detallados, de los cuales se tiene un inventario total de fuentes de agua subterránea de 173 pozos y 38 manantiales en ambos valles (Inrena, 2004).

Los resultados más importantes del trabajo de inventario de pozos (Inrena, 2004) se mencionan a continuación:

- La profundidad de los pozos tubulares varía de 20 a 40 m, en los pozos a tajo abierto la profundidad fluctúa de 2.8 m a 9.76 m y en los pozos mixtos es de 2.38 a 17.0 m. Con respecto a los diámetros, los pozos tubulares tienen de 0.3 m a 0.43 m, los pozos a tajo abierto son de 1.9 a 2.2 m, y los pozos mixtos varían de 1.60 a 2.00 m.
- Del total de pozos, 32 son utilizados, 89 utilizables y 52 no utilizables. De los pozos utilizados, 11 son de uso doméstico y 21 de uso agrícola.
- Del total de pozos inventariados, 7 pozos tienen solo bombas y 42 pozos se encuentran equipados (motor y bomba). Con relación a los motores, 22 son eléctricos, 12 a diésel y 8 gasolineros; respecto a las bombas, 13 son tipo turbina vertical, 32 centrífugas de succión y 4 sumergibles.
- Se registraron también 37 manantiales, de los cuales 25 se encuentran en uso con fines agrícolas y 12 para uso doméstico.
- Las reservas subterráneas de agua almacenadas en el acuífero (para el año 2003) llegan a 25 755 585.20 m³ (25.75 MMC), de los cuales 20 699 409 m³ (20.69 MMC) corresponden a Moquegua y 5 086 176 m³ (5.09 MMC) a Ilo. Para este cálculo, el acuífero fue dividido en 674 mallas cuadradas, de las cuales 496 se ubican en Moquegua y 178 en Ilo.

4.1 INVENTARIO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La descarga o afloramiento de un manantial a superficie evidencia la presencia de un acuífero, por lo que el inventario de fuentes subterráneas se realizó con el objetivo de determinar las principales zonas de descarga natural, su control estructural, el comportamiento hidráulico, la relación con la altitud, límites permeables e impermeables que condicionan su almacenamiento y la surgencia de aguas subterráneas. Además, se registraron los parámetros físicos y químicos del agua mediante trabajos de campo in situ.

El inventario de fuentes de agua subterránea en la cuenca del río Ilo-Moquegua (Figura 4.1) consideró la evaluación de las principales manifestaciones naturales de descarga de agua subterránea (manantiales), además de algunos pozos en los pisos de valle y puntos de control referenciales (tomados en escorrentía superficial). Para dicho trabajo, se realizaron tres campañas de campo, dos en mayo y noviembre del 2008 y una en noviembre del 2011.

En la cuenca del río Ilo-Moquegua se inventariaron 121 fuentes (Cuadro 4.1), que corresponden a: 86 manantiales, 2 manantiales captados, 5 pozos y 28 puntos de control (monitoreados en lugares donde no se pudo encontrar un solo punto de surgencia u ojo del manantial, el trabajo se realizó sobre escorrentía intermitente).

Los parámetros y medidas considerados para el inventario de fuentes de aguas subterráneas son:

- Código de identificación.
- Ubicación geográfica, coordenadas UTM (latitud, longitud y altitud).
- Ubicación política (lugar).
- Parámetros físico-químicos (conductividad eléctrica, pH, TDS, parámetros organolépticos y temperatura).
- Parámetros hidráulicos (caudal).
- Uso del agua (verificación *in situ*).
- Fecha de inventario (registro y muestreo).

Cuadro 4.1
Inventario de fuentes de agua subterránea según el tipo de fuente

Tipo de fuente	Cantidad
Manantial	86
Manantial captado	2
Pozos	5
Punto de control	28
Total	121

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Adicionalmente, se tiene el registro de 173 pozos y 38 manantiales inventariados por el Inrena (2004) en los pisos del valle de Moquegua e Ilo (Cuadro 4.2), los cuales fueron registrados según sus cinco distritos de riego. Del total de 173 pozos y 38 manantiales se han monitoreado 5 pozos y 2 manantiales para corroborar sus parámetros físico-químicos como hidrogeológicos.

Cuadro 4.2

Inventario de fuentes de agua subterránea en los pisos del valle de Moquegua e Ilo

Nro.	Distrito	Cantidad
1	Pacocha	17 Pozos
2	Ilo	15 Pozos
3	El Algarrobal	78 Pozos
4	Moquegua	58 Pozos 37 Manantiales
5	Samegua	05 Pozos 01 Manantial
SUBTOTAL		173 Pozos 38 Manantiales
TOTAL		211 Fuentes

Fuente: Inrena (2004), Ingemmet (2015).

Para identificar las fuentes inventariadas, se consideró la división oficial de la cuenca Ilo-Moquegua en 9 subcuencas (ANA, 2012b) y se tomó parte de dos intercuencas en la zona baja. A cada subcuenca se le asignó una codificación que comienza por el código de cuenca (13172), seguido del código de subcuenca correspondiente (por ejemplo, el código de la subcuenca Tumilaca es 6, entonces 131726), un guion (131726-) y finalmente el número de orden de inventario dentro de la subcuenca, es decir, 131726-001 para la fuente con mayor valor de coordenada Norte. Para el caso de las intercuencas, solo se tiene una fuente inventariada y se codificó directamente por el número de intercuenca, seguido de un guion y el número de inventario (13171-001). Para los pozos, se consideró la codificación del Inrena (por ejemplo, IRHS-04), a excepción del pozo que abastece de agua potable a la ciudad de Moquegua que no tenía un código visible. Los detalles de la codificación de fuentes se pueden observar en el cuadro de inventario final de fuentes (Anexo II) y en el Mapa de inventario de fuentes subterráneas (Figura 4.1).

Considerando el inventario de fuentes (Cuadro 4.1), resaltan algunas con características hidráulicas especiales en cada subcuenca.

- En la subcuenca Tumilaca se encuentran 44 fuentes inventariadas: 30 manantiales, 1 pozo y 13 puntos de control. La mayor cantidad de manantiales se ubica en la parte alta (alrededores del sector de Asana) con caudales de descarga que varían de <0.5 hasta 20.0 L/s. En la parte baja de esta subcuenca, en el sector de El Común, se halla el manantial del mismo nombre, con un considerable caudal (28.5 L/s), proveniente de materiales detríticos. En esta misma zona, se ubica la batería de pozos El Totoral, en la margen izquierda del río Tumilaca (sector de Escapalaque), la cual es la fuente principal de abastecimiento del agua potable para la ciudad de Moquegua.
- En la subcuenca Torata se encuentran 34 fuentes inventariadas: 27 son manantiales, 1 manantial captado y 6 puntos de control. Los manantiales tienen una descarga natural de hasta 3.0 L/s, a excepción de 2 manantiales, Ojo de agua (16.0 L/s) y Santos (15.0 L/s). Este inventario no incluye los sondajes profundos desarrollados por la empresa minera Southern Perú en el sector de Titijones (aproximadamente 7 pozos con infraestructura completa), que son referenciales para el análisis hidrogeológico regional.
- En la subcuenca Alto Ilo-Moquegua se hallan 36 fuentes inventariadas: 28 son manantiales y 8 puntos de control. Los caudales de descarga se encuentran entre <0.5 a 3.0 L/s, a excepción de 4 manantiales: Agua Grande (15.0 L/s), Huaracane 1 (12.0 L/s), Jaco 2 (10.0 L/s) y Chilligua 1 (6.5 L/s). Actualmente en la parte alta de esta subcuenca, en las proximidades del sector Chilligua, se vierte el agua de trasvase del PREPG procedentes de la cuenca del río Tambo.
- En la subcuenca Medio Ilo-Moquegua se ubican 3 fuentes inventariadas: 1 es manantial captado, 1 punto de control y 1 pozo. Además se encuentra la gran parte de los pozos inventariados en el piso de valle de Moquegua (Inrena, 2004).
- En la subcuenca Medio Bajo Ilo-Moquegua se encuentra solo un pozo inventariado (IRHS-70), ubicado en la margen izquierda del río Ilo en el sector de El Yaral (distrito de El Algarrobal). En este sector también se observa parte de los pozos del piso del valle de Ilo (Inrena, 2004), los cuales en su mayoría se usan para la agricultura.
- En la subcuenca Bajo Ilo-Moquegua se encuentra gran número de pozos inventariados por el Inrena (2004), sin embargo, para el presente estudio se evaluaron solo 2, los pozos IRHS-001-ILO e IRHS-021.
- En la subcuenca Medio Alto Ilo-Moquegua se encuentran algunos pozos inventariados por el Inrena (2004), sin embargo, la mayoría no tiene un uso definido.
- En las subcuencas Guaneros y Honda no se cuenta con ninguna manifestación de agua subterránea (Figura 4.1). Este fenómeno se debe a diferentes factores como la baja precipitación de la zona, el ambiente desértico de la costa que implica una alta evapotranspiración, la ausencia de drenajes intermitentes o permanentes, la litología de las rocas, entre otros.
- En la intercuenca 13171, se tiene una fuente inventariada correspondiente al Manantial Puerto Ilo (13171-001, Figura 4.1), que corresponde a un manantial que interpretamos que procede del acuífero poroso no consolidado en contacto con el basamento rocoso, o por la presencia de la zona de interfaz. Esta última, es una zona de mezcla del agua dulce que viene del acuífero y agua salada que penetra del mar, creando una especie de barrera por las densidades diferentes de las aguas. El flujo continuo del agua dulce que intercepta la zona de interfaz permite la surgencia del manantial.
- Finalmente, en la intercuenca 13173, zonificado como parte de la exploración hidrogeológica del presente boletín, no se registró ninguna fuente (Figura 4.1).

En general, la cuenca del río Ilo-Moquegua se caracteriza por la presencia de manantiales de bajo caudal en comparación con otras cuencas cercanas (caudal máximo registrado 28.5 L/s). Esto debido principalmente a su posición con respecto a la parte más alta de la Cordillera Occidental, la precipitación, la reducida zona

de recepción, la litología, entre otros. Sin embargo y a pesar de ello, las aguas subterráneas de los pisos de valle de Moquegua e Ilo se han aprovechado desde hace mucho tiempo mediante pozos, que tienen como recarga principal la escorrentía superficial.

Los principales tipos de fuentes de agua subterránea que se registraron en el presente estudio son los siguientes:

4.1.1 Manantiales

Un manantial es considerado como una manifestación natural del subsuelo en la superficie, por lo tanto, una surgencia de aguas subterráneas de subsuelo a superficie evidencia la presencia de un acuífero. Los manantiales muestran surgencias a través de estructuras (fracturas, fallas, grietas, diaclasas), cambios de litología (de litología permeable a impermeable), o en lugares donde el nivel piezométrico de un acuífero intercepta naturalmente la superficie topográfica (condicionado por el relieve).

En la cuenca del río Ilo-Moquegua, la mayoría de los manantiales está relacionada a cambios de litología y la presencia de fallas y fracturas.

Teniendo en cuenta las variables que condicionan la descarga y utilizando el sistema propuesto por Meinzer (1923b), los manantiales se han clasificado de acuerdo con su volumen de descarga (Cuadro 4.3).Considerando el Cuadro 4.3, la clasificación de los manantiales para la cuenca del río Ilo-Moquegua es de la siguiente forma:

- No se registraron manantiales de primera ni segunda categoría en la cuenca del río Ilo-Moquegua, es decir ningún manantial tiene caudal superior a los 283.0 L/s.
- Existe un solo manantial que ha sido clasificado de tercera categoría: el manantial El Común (código 131726-040, Fotografía 4.1), con un caudal de 28.5 L/s. Este manantial es polisurgente (presenta varios puntos de surgencia), se ubica en la subcuenca Tumilaca y no está captado. Sin embargo, tiene un uso agrícola importante mediante canales rústicos en el sector comprendido desde Tumilaca hasta El Común.
- Entre las fuentes de cuarta categoría se encuentran 9 manantiales con caudales que varían de 10.0 a 16.0 L/s. Sin embargo, el manantial Asana 12 (131726-023) tiene un caudal de 20.0 L/s, descarga que actualmente no es utilizada y se vierte directamente por la quebrada. Las fuentes más representativas de cuarta categoría son los manantiales Agua Grande (131729-024) de 15.0 L/s (Fotografía 4.2) y el manantial Ojo de Agua (131728-006) de 15.0 L/s de caudal (Fotografía 4.3).
- Entre las fuentes de quinta categoría se encuentran 7 manantiales con caudales que varían entre 3.0 y 7.0 L/s, el manantial Buenavista (131726-042) es el de mayor caudal (7.0 L/s). Las aguas de este manantial se emplean en la agricultura en el sector de El Común.
- Finalmente, existe gran cantidad de fuentes de sexta categoría (24 manantiales) y séptima categoría (47 manantiales), distribuidos en diferentes partes de la cuenca, desde el sector de Torata hasta el sector de Titijones. Se aprecia la mayor concentración de estos por encima de la mina Cuajone, o mayor a 3800 m s. n. m. (Figura 4.1). Los más representativos de esta categoría son los manantiales Agua potable Arundaya (131728-023) con caudal de 1.8 L/s (Fotografía 4.4) y el manantial Titijones (131728-003) con 0.5 L/s de caudal (Fotografía 4.5).

Cuadro 4.3

Clasificación de manantiales en la cuenca del río Ilo-Moquegua tomando la propuesta de Meinzer (1923b)

Categoría	Caudal (L/s)	Número de manantiales
Primera	Mayor a 2830.0	0
Segunda	283.0 -2830.0	0
Tercera	28.3 - 283.0	1
Cuarta	10.0 - 28.3	9
Quinta	3.0 - 10.0	7
Sexta	1.0 - 3.0	24
Séptima	Menores a 1.0	47
Total		88

Cuadro 4.3 Clasificación de manantiales en la cuenca del río Ilo-Moquegua tomando la propuesta de Meinzer (1923b)

Fotografía 4.1 Manantial El Común (131726-040) de tercera categoría, con caudal de 28.5 L/s (alrededor del sector de Tumilaca).

Fotografía 4.2 Manantial de cuarta categoría, Agua Grande (131729-024) con 15.0 L/s de caudal. Es usado para consumo humano y agropecuario de los pobladores cercanos al sector de Agua Grande.

Fotografía 4.3 Manantial Ojo de Agua (131728-006) de cuarta categoría, con caudal de 15.0 L/s (sector de Titijones).

Fotografía 4.4 Manantial captado Agua potable Arundaya (131728-023) con caudal de 1.8 L/s, para consumo humano del poblado del mismo nombre (ubicada en el sector y quebrada de Ancoaque).

Fotografía 4.5 Manantial Titijones (131728-003), nótese el alto fracturamiento de las rocas volcánicas lávicas de la cual procede el agua subterránea. El caudal del manantial es inferior a 0.5 L/s perteneciendo a la séptima categoría (alrededores de Titijones).

Esta clasificación de caudales de los manantiales, según su categoría, nos permite tener una evaluación preliminar de las áreas de interés hidrogeológico. Por ejemplo, los manantiales de primera a quinta categoría provienen de acuíferos potenciales, reservorios que pueden ser explotados según las características de su entorno.

Los manantiales de sexta y séptima categoría indican zonas que necesitan ser evaluadas con mayor detalle, estos podrían tener potenciales recursos hídricos subterráneos o pueden ser acuíferos limitados. Las descargas de bajo caudal simplemente pueden tener múltiples interpretaciones que dependen del entorno en donde se encuentren. Estos manantiales (de categorías inferiores) nos permiten una clasificación de zonas de menor interés, esencial para determinar la escasa extensión y la poca dinámica de las aguas subterráneas en una determinada unidad hidrogeológica.

No se han clasificado en estas categorías las aguas de control superficial (puntos de control) porque en su mayoría son aguas de escorrentía (Fotografía 4.6). En algunos casos estos puntos de control corresponden a las nacientes de los ríos que no presentan un punto de surgencia de agua subterránea definido.

Fotografía 4.6 Punto de control río Chujulay (131729-035) con caudal de 18.0 L/s (sector de Chuvilaque).

4.1.2 Pozos y sondeos

En la cuenca del río Ilo-Moquegua se encuentran aproximadamente 173 pozos, ubicados en el valle de Moquegua (63 pozos) y el valle de Ilo (110 pozos) (Inrena, 2004). Durante los trabajos de campo desarrollados por el Ingemmet, se realizaron trabajos de medición de 5 pozos, ubicados en ambos valles. Adicionalmente, 7 pozos se encuentran en el sector de Titijones y son de propiedad de la empresa Southern Perú, los cuales no fueron incluidos en el presente inventario debido a la falta de información.

Según el registro de Inrena (2004), de estos 173 pozos, 31 son tubulares, 139 a tajo abierto y 3 mixtos (Cuadro 4.4). El agua subterránea que proviene de los pozos se usa para actividades agrícolas e industriales. El pozo IRHS-70 es de tajo abierto y está revestido con anillos de cemento, se encuentra en el sector El Yaral (distrito de El Algarrobal) y es usado para el riego de zonas agrícolas (Fotografía 4.7). El pozo Ilo 1 (IRHS-001-ILO) se utiliza para el riego de zonas agrícolas (como el viñedo del distrito de Pacocha-Ilo, Fotografía 4.9). En el sector Garibaldi se encuentra el pozo del viñedo Biondi (IRHS-001-MOQ) equipado con una electrobomba y tubería de succión para la extracción de agua subterránea que en la actualidad no tiene uso —antes era de uso industrial— (Fotografía 4.8).

Cuadro 4.4
Inventario de pozos ubicados en los valles de Moquegua e Ilo

Distrito	Pozos						
	Cantidad	Tipo			Estado		
		T	TA	M	Utilizable	Utilizado	No utilizable
Pacocha	17	1	16	0	14	3	0
Ilo	15	5	10	0	7	3	5
Algarrobal	78	8	67	3	40	14	24
Moquegua	58	12	46	0	25	11	22
Samegua	5	5	0	0	4	1	1
Total	173						

T = Tubular, TA = Tajo abierto y M = Mixto.

Fuente: Inrena, 2004; Ingemmet, 2015.

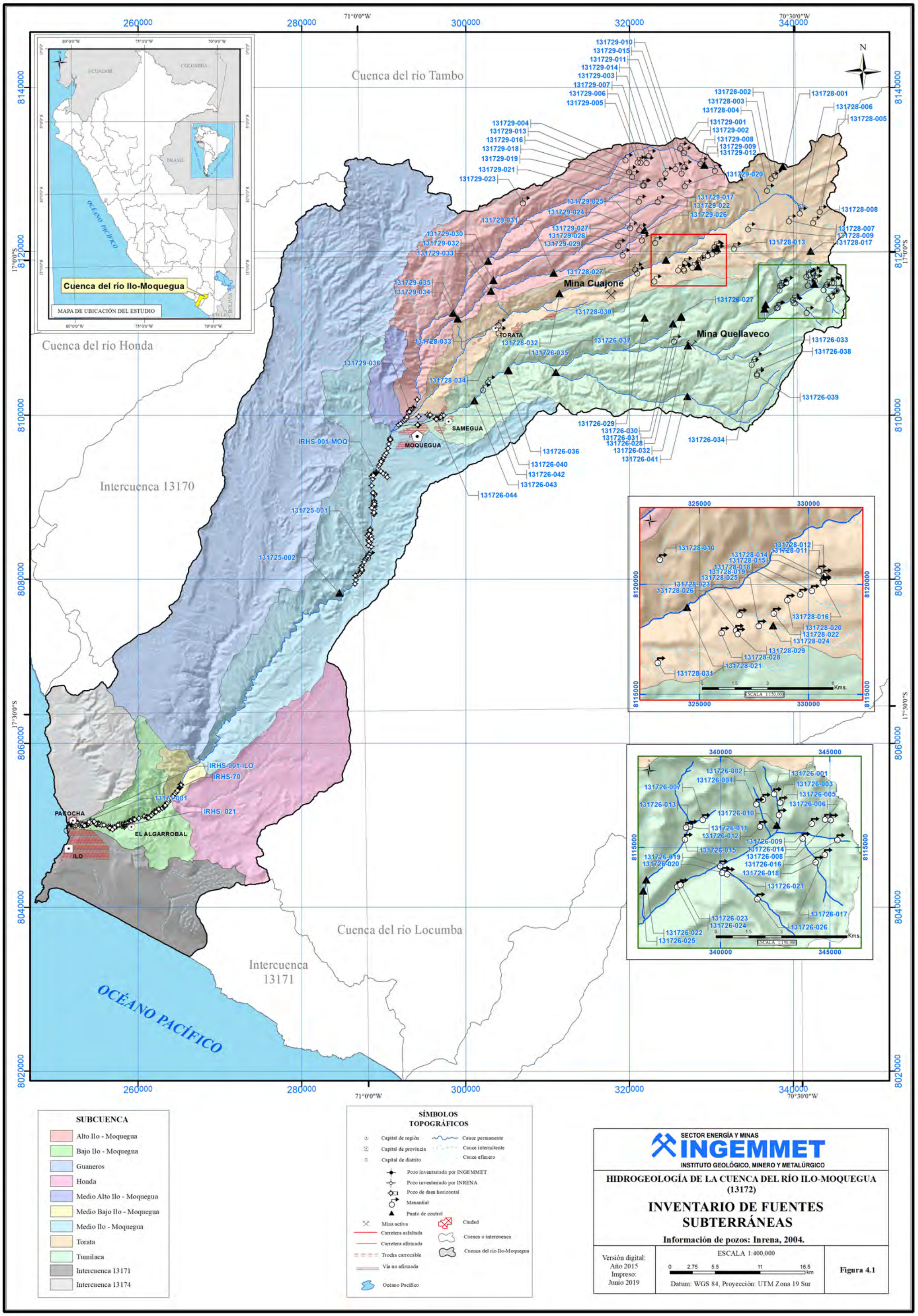
Fotografía 4.7 Pozo IRHS-70 a tajo abierto y revestido, en el sector de El Yaral (distrito de El Algarrobal).

Fotografía 4.8 Pozo IRHS-001-MOQ, viñedo Biondi, cerca del sector de Garibaldi (distrito de Moquegua).

Fotografía 4.9 Pozo IRHS-001-ILO, cuyas aguas se utilizan en el riego de zonas agrícolas, como el viñedo del distrito de Pacocha-Ilo.

4.1.3 Fuentes termales

Las fuentes termales son aguas subterráneas con temperaturas mayores de 20 °C o con una temperatura superior a 4 °C de la temperatura media ambiente. En la cuenca del río Ilo-Moquegua no se registró ninguna fuente termal durante los trabajos de campo realizados. Sin embargo, existe una referencia que considera la presencia de una fuente termal en el Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Minero Quellaveco (Knight Piésold Consulting, 2008). La fuente denominada QE-39, ubicada en las coordenadas Este 316 324 y Norte 8 105 009 a 13.5 km al sureste de Torata, tiene valores físico-químicos típicos de una fuente termal: temperatura = 28.9 °C, conductividad eléctrica = 2010.0 uS/cm, pH = 8.18, Eh = 14.0 mV y alcalinidad = 184 mg/L. Además, a través de sus trabajos de campo del 2007, determinaron que el tipo de agua es clorurada-sulfatada sódica-cálcica, lo que indicaría que el agua subterránea que aflora en este sector tiene un recorrido subterráneo considerable.



SUBCUENCA

- Alto Ilo - Moquegua
- Bajo Ilo - Moquegua
- Guaneros
- Honda
- Medio Alto Ilo - Moquegua
- Medio Bajo Ilo - Moquegua
- Medio Ilo - Moquegua
- Torata
- Tumilaca
- Intercuenca 13171
- Intercuenca 13174

SÍMBOLOS TOPOGRÁFICOS

- Capital de región
- Capital de provincia
- Capital de distrito
- Cauce permanente
- Cauce intermitente
- Cauce efímero
- Pozo inventariado por INGEMMET
- Pozo inventariado por INRENA
- Pozo de dren horizontal
- Manantial
- Punto de control
- Mina activa
- Carretera asfaltada
- Carretera afirmada
- Trocha carrozable
- Vía no afirmada
- Océano Pacífico
- Ciudad
- Cuenca o intercuenca
- Cuenca del río Ilo-Moquegua

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA (13172)

INVENTARIO DE FUENTES SUBTERRÁNEAS

Información de pozos: Inrena, 2004.

Versión digital:
Año 2015
Impreso:
Junio 2019

ESCALA 1:400,000

0 2.75 5.5 11 16.5 km

Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 19 Sur

Figura 4.1

CAPÍTULO V
CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA

5.1 PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS

Un acuífero es una unidad geológica capaz de almacenar y transmitir aguas subterráneas. Esta definición se basa en la presencia de criterios de evaluación o variables de un acuífero, los denominados parámetros hidrogeológicos. Entre los principales parámetros hidrogeológicos, se considera su capacidad de almacenamiento y la de permitir que el agua circule en su interior (Martínez et al., 2006).

La capacidad de una roca para almacenar agua se mide a partir del coeficiente de almacenamiento o porosidad eficaz (Me), mientras que el movimiento del agua a través de las rocas se mide calculando el coeficiente de permeabilidad de Darcy o conductividad hidráulica (K). Existen otros parámetros hidrogeológicos, como la transmisibilidad, gradiente hidráulico, velocidad real, piezometría y factores de flujo de las aguas subterráneas; los cuales se encuentran vinculados a las características físicas de la roca almacén y son diferentes para cada acuífero.

En acuíferos fisurados, la dirección de flujo es controlada por el sistema de fracturas, fisuras, diaclasas y fallas. Estas grandes estructuras generan condiciones para aumentar o disminuir las propiedades de percolación del agua subterránea. En la parte alta de la cuenca del río Ilo-Moquegua, los acuíferos fisurados están presentes en rocas volcánicas, principalmente en flujos de lava.

En acuíferos porosos no consolidados, los materiales sueltos, con espacios vacíos, generan condiciones de percolación, aunque por sectores se encuentran limitados por la presencia de bancos de arcilla y limos. Estos acuíferos se observan en los valles de Moquegua e Ilo, tienen forma estrecha y alargada, y producción importante de aguas subterráneas.

Los principales parámetros hidrogeológicos para elaborar el mapa hidrogeológico de la cuenca del río Ilo-Moquegua (estudio hidrogeológico regional, que considera la cuenca hidrográfica como unidad de análisis) fueron la porosidad y la permeabilidad de las rocas que afloran en la cuenca.

En algunos casos, su clasificación estuvo basada en el componente litológico mayoritario de la formación geológica.

5.1.1 Porosidad total y porosidad eficaz (Me)

La porosidad de las rocas se define como la relación del volumen de huecos respecto a su volumen total. El volumen de agua que puede obtenerse de un medio poroso saturado corresponde al agua almacenada en los poros interconectados y puede ser drenada por gravedad (Meinzer, 1923a).

Para el estudio hidrogeológico regional de la cuenca del río Ilo-Moquegua, se consideraron los valores referenciales de porosidad promedio de distintos estudios, realizados por diferentes autores. Debido a la gran variabilidad de formaciones geológicas que afloran en la cuenca, se tomaron en cuenta los siguientes valores (Cuadro 5.1):

Cuadro 5.1

Valores estimados de porosidad (%)

Litología	Total	Eficaz
Arcillas	40 a 60	0 a 5
Limos	35 a 50	3 a 19
Arenas finas, arenas limosas	20 a 50	10 a 28
Arena gruesa o bien clasificada	21 a 50	22 a 35
Grava	25 a 40	13 a 26
Shale intacta	1 a 10	0.5 a 5
Shale fracturada/alterada	30 a 50	
Arenisca	5 a 35	0.5 a 10
Calizas, dolomías NO carstificadas	0.1 a 25	0.1 a 5
Calizas, dolomías carstificadas	5 a 50	5 a 40
Rocas ígneas y metamórficas sin fracturar	0.01 a 1	0.001
Rocas ígneas y metamórficas fracturadas	1 a 10	0.00005 a 0.01

Fuente: Sanders, 1998.

5.1.2 Conductividad hidráulica

La conductividad hidráulica (LT^{-1}) está estrechamente relacionada con la permeabilidad (L^2), aunque usualmente se confundan ambos términos. Si nos referimos al caudal que pasa por una sección, unidad del acuífero, bajo un gradiente y a una temperatura determinada, pues entonces nos referimos a la conductividad hidráulica (K), que toma en consideración tanto las propiedades del medio, como la del fluido (de densidad "p" y viscosidad "μ"). Sin embargo, la propiedad de un cuerpo o material de dejar pasar un fluido a través de él se denomina permeabilidad (k), (permeabilidad intrínseca, específica, geométrica o coeficiente de permeabilidad), que depende del diámetro de las partículas y su coeficiente de forma (o sea, solamente de las características del medio). Esta permeabilidad k, comúnmente, se compara de forma cualitativa y depende del material, y se menciona como "más o menos permeable" o "tiene mayor o menor permeabilidad que…".

Matemáticamente, la conductividad hidráulica (K) en relación con la permeabilidad se expresa de la siguiente manera:

$$K = k.\rho/\mu$$

Donde k = permeabilidad (m^2), ρ = densidad del fluido (kg/m^3) y μ = viscosidad dinámica (Pa s).

Darcy realizó varios experimentos sobre la cantidad de agua que pasa por un medio poroso a través de una sección A y longitud L, comprobando que el caudal (Q) era proporcional a la sección de paso, diferencias de alturas (Δh) y el inverso de la longitud (Pulido, 1978).

$$Q = K.A.\Delta h/L$$

K es la constante de proporcionalidad, o simplemente la conductividad hidráulica.

En este estudio se considera la conductividad hidráulica vertical (infiltración en superficie) y la conductividad hidráulica horizontal (capacidad de movimiento de agua en el acuífero) (Peña et al., 2010).

En el caso de los acuíferos en rocas volcánicas que tienen litología variable, los flujos de lava, altamente afectados por fallas, fracturas y demás estructuras que condicionan las posibilidades de infiltración y circulación del agua de precipitación en el acuífero, solo aparecen en lugares puntuales.

Las ignimbritas, tobas y cenizas son, por lo general, rocas impermeables; pero, al interactuar con los flujos de lava, crean condiciones para facilitar la circulación y almacenamiento de aguas subterráneas. Finalmente, el agua subterránea se manifestará de forma natural en superficie por medio de un manantial, o será extraída artificialmente desde el subsuelo mediante una captación (pozos o sondajes).

Los trabajos de investigación realizados por diferentes autores permitieron obtener rangos de los valores de permeabilidad en diferentes unidades (m/día, cm/s, entre otras), que se clasificaron cualitativamente y se relacionaron con la clasificación hidrogeológica de rocas y suelos (cuadros 5.2, 5.3, 5.4 y 5.5).

Cuadro 5.2

Clasificación hidrogeológica según los valores de conductividad hidráulica (K, en m/día) MB = muy baja, B = baja, Mo = moderada, M = mediana, A = alta, MA = muy alta

Barrera hidràulica			Mal aqüífer				Bon aqüífer			
10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	100	10^{+1}	10^{+2}	10^{+3}	10^{+4}
MB		B	Mo		M		A		MA	
$K < 10^{-4}$		$10^{-4} < K < 10^{-2}$	$10^{-2} < K < 100$		$1 < K < 50$		$50 < K < 500$		$K > 500$	

Fuente: Mapa Hidrogeológico de Cataluña (2010)

Cuadro 5.3

Clasificación del terreno según los rangos de conductividad hidráulica (K)

Rango de K (m/d)	10^{-7}	$3x10^{-4}$	$5x10^{-2}$	$5x10^{0}$	$4x10^{2}$	$3x10^{5}$
Clasificación	Impermeable	Poco permeable	Algo permeable	Permeable	Muy permeable	
Clasificación de la formación	Acuicludo	Acuitardo	Acuífero pobre	Acuífero regular a bueno	Acuífero excelente	
Ejemplos	Arcilla compacta Pizarra Granito	Limo arenoso Limo Arcilla limosa	Arena fina Arena limosa Caliza fracturada	Arena limpia Grava y arena Arena fina	Grava limpia	

Fuente: Custodio & Llamas (1996)

Cuadro 5.4

Clasificación convencional de unidades hidrogeológicas de acuerdo con la conductividad hidráulica (Benítez, 1963)

Valores (m/día)	Permebilidad										
	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10	10^{2}	10^{3}	10^{4}
Calificación	Impermeable		Poco permeable		Algo permeable			Permeable		Muy permeable	
Clasificación hidrogeológica	Acuicludo		Acuitardo		Acuífero pobre			Acuífero medio a bueno		Acuífero	
Tipos de material	Arcilla compacta Granito		Limo arenoso Limo Arcilla limosa		Arena fina Arena limosa Caliza fracturada			Arena limpia Grava Arena fina		Grava limpia	

Cuadro 5.5

Valores de permeabilidad de terrenos naturales (conductividad hidráulica por sus unidades), **según la clasificación de Silin-bekchurin (en Harr, 1962)**

Material	K (cm/s)	K (m/d)
Grava limpia	> 1	> 1000
Arena gruesa limpia	1 a 10^{-2}	1000 a 10
Mezcla de arena	10^{-2} a $5x10^{-3}$	10 a 5
Arena fina	$5x10^{-3}$ a 10^{-3}	5 a 1
Arena limosa	$2x10^{-4}$ a 10^{-4}	2 a 0,1
Limo	$5x10^{-4}$ a 10^{-5}	0.5 a 0,001
Arcilla	$<10^{-6}$	< 0,001

Desde el punto de vista hidrogeológico, todas las rocas y suelos tienen una característica más o menos permeable. De acuerdo con la descripción de Manuel Ramón Llamas y Andrés Galofré de la clasificación hidrogeológica (Hidrología subterránea, 2.ª ed., tomo I, sección 5) y los cuadros anteriores (5.1, 5.2, 5.3, 5.4 y 5.5), se considera como una unidad hidrogeológica a toda formación geológica con características para almacenar y transmitir aguas subterráneas. A continuación, se realizan 4 clasificaciones de unidades hidrogeológicas (Peña, 2001):

Acuífero: formación geológica capaz de almacenar y transmitir agua subterránea (permeable) en grandes cantidades, que puede ser aprovechada como recurso.

Acuitardo: formación geológica capaz de almacenar agua subterránea en su interior, pero que la transmite muy lentamente (semipermeable).

Acuicludo: formación geológica que almacena agua subterránea, pero no la transmite (impermeable).

Acuífugo: formación geológica que no almacena ni transmite agua subterránea (impermeable).

De acuerdo con los cuadros mencionados (5.1, 5.2, 5.3, 5.4 y 5.5), la clasificación de porosidad y la de conductividad hidráulica están más desarrolladas para materiales detríticos, dado que en rocas consolidadas las fracturas condicionan la presencia de estos parámetros (presentando rangos de valores heterogéneos). La configuración espacial de la cuenca del río Ilo-Moquegua muestra más de un 75 % de material rocoso consolidado (de mayor extensión regional), por lo tanto, para la caracterización hidrogeológica de formaciones geológicas se utilizó el Cuadro 5.6.

Cuadro 5.6

Valores de permeabilidad y porosidad para clasificaciones hidrogeológicas

	Porosidad (m)	**Permeabilidad (k)**
Acuífero	Alta o moderada	Alta
Acuitardo	Alta o moderada	Baja
Acuicludo	Alta	Nula
Acuífugo	Nula o muy baja	Nula

Fuente: Peña et al., 2010.

En la parte media de la cuenca hidrográfica (parte superior de la ciudad de Moquegua), la geología muestra mayor densidad de fracturas relacionadas con el sistema de fallas regionales Incapuquio; sin embargo, la precipitación y características hidrogeológicas en esta zona no favorecen a la circulación ni almacenamiento de agua. Es decir, la zona está fracturada, es permeable, pero la recarga es insignificante, por lo tanto, no existen acuíferos en este sector.

En la parte alta de la cuenca (mayor a 3900 m s. n. m.), existen mejores y variadas condiciones meteorológicas, el comportamiento litológico y estructural de las rocas es favorable, y se observa que las fracturas tienen generalmente una distribución homogénea en rocas volcánicas (algunas de ellas se encuentran en estratos altamente fracturados). Cuando la densidad de fracturas es muy elevada y homogénea en un cuerpo rocoso (medio continuo), el comportamiento hidrogeológico puede asimilarse a las de porosidad intergranular. La porosidad en este tipo de macizos rocosos suele ser inferior al 5 % (Davies, 1969).

En la cuenca del río Ilo-Moquegua, el movimiento del agua a través de las rocas y suelos se desarrolla por porosidad primaria (intergranular) y por porosidad secundaria (fallas, fracturas, diaclasas, entre otras), predominando una de ellas, según sea el caso. Por ejemplo, los factores que permiten la interconexión hidráulica en el sector de Asana son los poros de los horizontes permeables de la Formación Capillune; no obstante, sobreyaciéndolo, se observan afloramientos de flujos de lava del Grupo Barroso altamente fracturados, que constituyen la zona recarga del acuífero. Por lo tanto, existe porosidad combinada que favorece la circulación y almacenamiento de las aguas subterráneas en los acuíferos volcánicos. Ambos tipos de fracturas verticales y diagonales de los flujos de lava del Grupo Barroso y los horizontes porosos de la Formación Capillune se observan también en la carretera de Moquegua a Vizcachas, antes de llegar a Titijones (Fotografía 5.1).

Fotografía 5.1 En la parte superior, en segundo plano, se observan lavas fracturadas del Grupo Barroso. En la parte intermedia e inferior, en primer plano, se observan horizontes permeables e impermeables de la Formación Capillune (margen izquierda de la quebrada Titijones).

Fotografía 5.2 Lavas altamente fracturadas del Grupo Barroso en las inmediaciones de Titijones. Se observa porosidad secundaria (fracturas inclinadas) que permite la circulación y almacenamiento de aguas subterráneas, lo que se evidencia en el manantial Titijones (131728-003). Fotografía tomada hacia el norte.

En el caso de rocas intrusivas, como dioritas y granodioritas, las fracturas son subsuperficiales, con bajo potencial para el almacenamiento y circulación del agua subterránea. En el caso de la rocas volcánicas, en algunos sectores se presentan como "flujo lávico", de manera muy compacta, se aprecian superficialmente fracturas que dan la impresión de ser permeables; pero, la parte compacta en profundidad hace que se clasifiquen como rocas impermeables. En otros sectores puntuales, estas rocas volcánicas están altamente fracturadas y crean importantes conductos para la circulación y el movimiento de agua subterránea (Fotografía 5.2).

Para la caracterización hidrogeológica de la cuenca del río Ilo-Moquegua, se calculó la permeabilidad superficial mediante los ensayos puntuales (método directo o pruebas Lefranc) en algunas formaciones geológicas. Este ensayo consiste en provocar infiltración puntual de agua al subsuelo, bajo una carga determinada y mediante un tubo de PVC (permeámetro) de diámetro fijo (2") introducido en el subsuelo o en la roca, para medir el volumen de agua absorbida (descenso) en función de la carga hidráulica y del tiempo.

Los valores de conductividad hidráulica que se obtienen con este tipo de ensayos varían con la heterogeneidad de la roca, la profundidad de penetración del tubo, el lugar específico (sobre suelo o afloramiento rocoso), el método aplicado (carga constante o variable), el número de ensayos efectuados y el método de tratamiento estadístico. A pesar de dichas variaciones, el ensayo es válido porque el valor de conductividad hidráulica de las formaciones geológicas no es un valor puntual, sino un rango de valores que caracteriza cada formación.

Permeámetros de carga constante. El principio de los permeámetros de carga constante (Figura 5.1; fotografías 5.3 y 5.4) consiste en infiltrar a través de una longitud dada "L" (longitud del permeámetro), un cierto volumen de agua "Q", durante un tiempo determinado "t". Conociendo la altura de la carga de agua "h", y la sección "A" de la muestra (diámetro del tubo), el coeficiente de permeabilidad de Darcy o conductividad hidráulica "K" se obtiene por la expresión (Castany, 1975):

$$K = \frac{Q\,L}{A\,t\,h}$$

En este trabajo se ha utilizado el software Aqtesolv para el cálculo de los resultados de la permeabilidad de los ensayos realizados.

Permeámetros de carga variable. En este caso (Figura 5.1), un volumen determinado de agua "dQ" pasa a través del permeámetro de longitud "L" y de sección "A" en un tiempo determinado "dt", bajo una carga h0–h = dh. Según la Ley de Darcy, tenemos (Castany, 1975):

$$K = \frac{dQ\,L}{A\,dt\,dh}$$

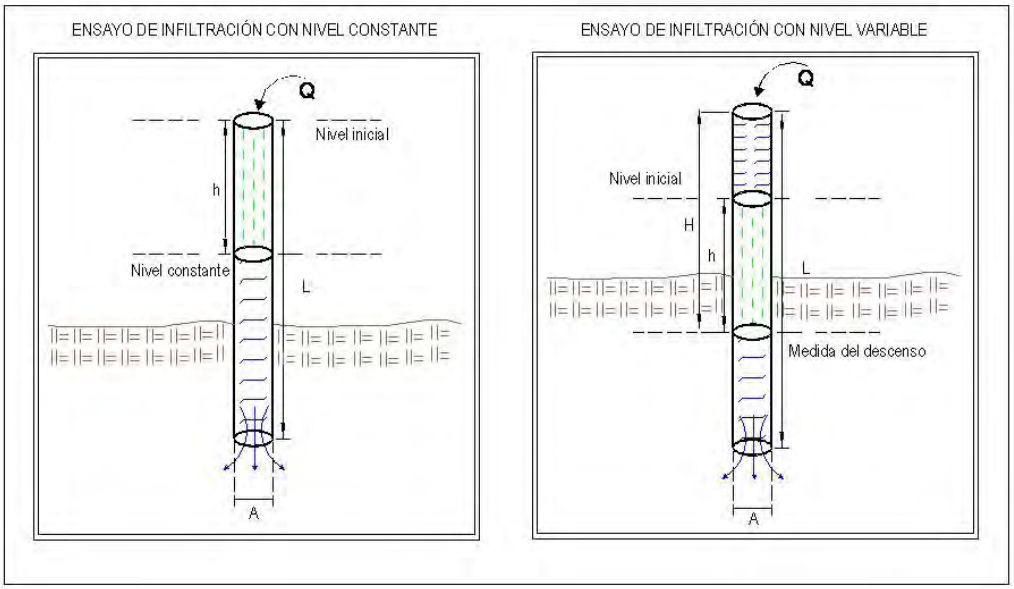


Figura 5.1 Esquema de ensayos de infiltración con carga constante y carga variable (Peña et al.,2010)

Fotografía 5.3 Ensayo de infiltración en rocas volcánicas tobáceas paleógenas de la Formación Toquepala.

Fotografía 5.4 Ensayo de infiltración en depósitos glaciares (material poroso no consolidado, con cantos angulosos a subangulosos y matriz de limo-arcilla-arena).

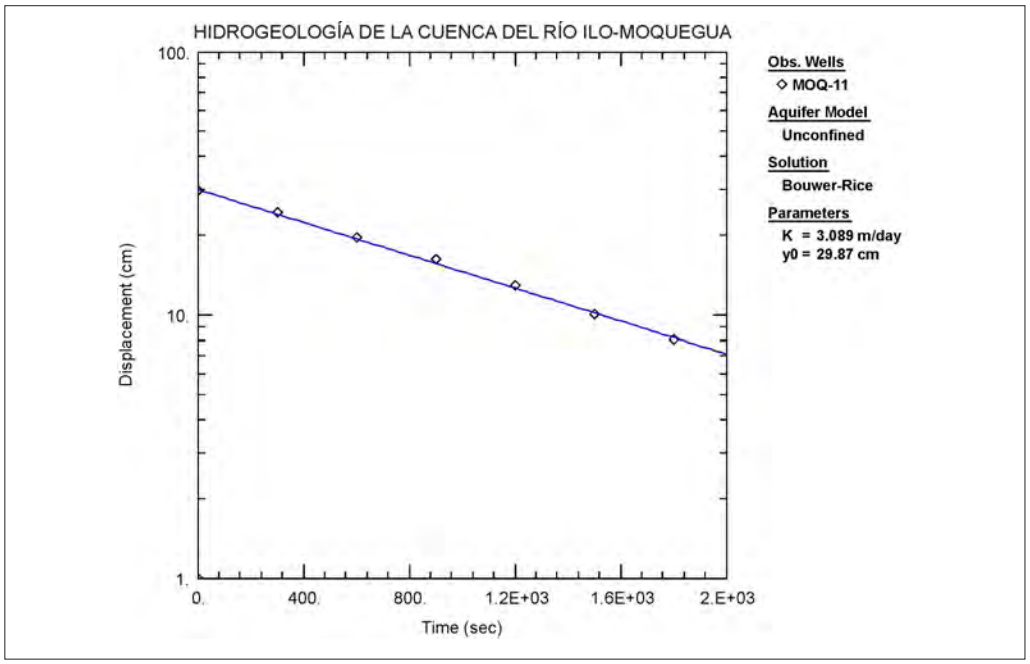


Figura 5.2 Curva de caudal de infiltración realizado en el conglomerado de la Formación Moquegua superior, mediante el ensayo de infiltración a carga constante.

Son muy pocos ensayos, dada la extensión de la cuenca; sin embargo, se realizaron 11 de infiltración puntual (Cuadro 5.8), los cuales permitieron conocer, de forma cuantitativa, los valores de conductividad hidráulica in situ.

Para formaciones geológicas donde no fue posible realizar ensayos, se consideró valores referenciales según los ensayos de laboratorio realizados por distintos autores (Cuadro 5.7). Este cuadro es útil porque proporciona valores de distintos autores y para diferentes litologías, que se encuentran diferenciadas por grupos: sedimentos, rocas sedimentarias y rocas cristalinas.

Cuadro 5.7
Valores de conductividad hidráulica (m/d), según ensayos de laboratorio realizados por distintos autores

		Domenico & Schwartz (1990)	Smith & Weathcraft (1993)	Freeze & Cherry (1979)	Fetter (2001)	Sanders (1988)
Sedimentos	Grava	25 a 2500	100 a 10^5	100 a 10^6	10 a 1000	
	Grava con arena					
	Arena gruesa	0.1 a 500	0.01 a 1000	1 a 1000	1 a 100	1 a 100
	Arena media	0.1 a 50				
	Arena fina	0.02 a 20			0.01 a 1	0.01 a 1
	Arena arcillosa			0.01 a 100	0.001 a 0.1	
	Silt, loess	10^{-4} a 2	10^{-4} a 1	10^{-4} a 1	0.001 a 0.1	10^{-4} a 1
	Arcilla	10^{-6} a $4x10^{-4}$	10^{-7} a 10^{-3}		10^{-6} a 10^{-3}	10^{-6} a 10^{-3}
	Arcilla marina, inalterada	10^{-7} a $2x10^{-4}$		10^{-11} a 10^{-7}		
Rocas sedimentarias	Calizas carstificadas	0.1 a 2000	0.05 a 0.5	0.1 a 1000		0.1 a 10^7
	Calizas, dolomías	10^{-4} a 0.5	0.001 a 0.5	10^{-4} a 1		10^{-4} a 1
	Areniscas	$3x10^{-5}$ a 0.5	10^{-5} a 1	10^{-5} a 1		
	Argilitas *(siltstone)*	10^{-6} a 0.001				
	Pizarras sedimentarias (Shale) intactas	10^{-8} a $2x10^{-4}$	10^{-8} a 10^{-4}	10^{-4} a 10^{-8}		10^{-4} a 10^{-8}
	Pizarras sedimentarias *(Shale)* fracturadas/alteradas		10^{-4} a 1			
Rocas cristalinas	Basalto inalterado, sin fracturar		10^{-6} a 10^{-3}			10^{-6} a 10^{-3}
	Basalto fracturado/ vesicular cuaternario		10 a 1000			0.1 a 10^6
	Escorias basálticas		0.001 a 1000			
	Basalto permeable	0.03 a 2000		0.02 a 1000		
	Rocas ígneas y metamórficas sin fracturar	10^{-9} a 10^{-5}	10^{-9} a 10^{-5}	10^{-9} a 10^{-5}		10^{-9} a 10^{-5}
	Rocas ígneas y metamórficas fracturadas	0.001 a 25	10^{-5} a 1	0.0005 a 20		10^{-5} a 1
	Granito alterado	0.3 a 5				
	Gabro alterado	0.05 a 0.3				

Fuente: Smith & Wheatcraft en Maidment, 1993.

Cuadro 5.8
Ensayos de permeabilidad realizados en la cuenca del río Ilo-Moquegua

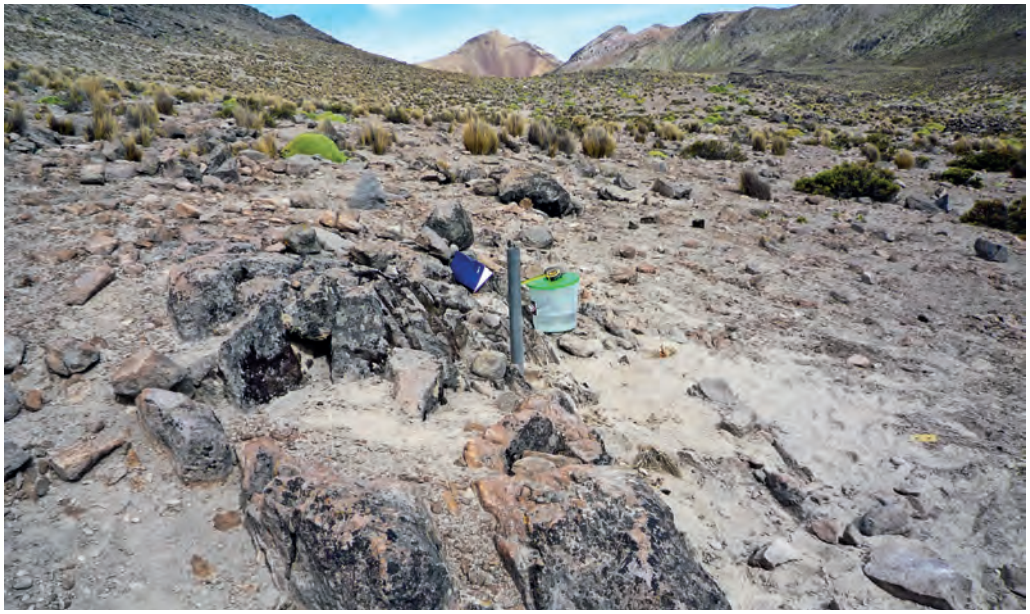
N°	Ensayo	Unidad Geológica	Litología	Coordenadas UTM WGS-84			L (cm)	D (cm)	T (min)	K (m/d)
				X	Y	Z				
1	MOQ-01	Grupo Barroso	Lavas andesíticas porfiríticas fracturadas	342677	8115964	4609	60	5.08	5	0.930
2	MOQ-02	Grupo Barroso	Tobas volcánicas fracturadas con delgada cobertura edáfica	344349	8114660	4827	60	5.08	5	0.297
3	MOQ-03	Formación Quellaveco	Tobas poco fracturadas	305447	8105242	2033	60	5.08	5	0.278
4	MOQ-04	Formación Chocolate	Lavas andesíticas compactas	285102	8077951	881	60	5.08	5	0.129
5	MOQ-05	Formación Moquegua inferior	Material limoarcilloso con niveles de yesos y clastos subangulosos	284980	8075316	1153	60	5.08	5	0.097
6	MOQ-06	Depósitos glaciares	Gravas de bloques y clastos con matriz limo-arcillo-arenosa	328962	8130654	4629	60	5.08	5	1.719
7	MOQ-07	Formación Huaylillas	Toba lítica escasamente fracturadas	322114	8130770	4390	60	5.08	5	0.043
8	MOQ-08	Grupo Barroso	Lava andesítica estratificada moderadamente fracturada	320270	8123175	4194	60	5.08	5	1.335
9	MOQ-09	Grupo Barroso	Tobas fracturadas con mayor densidad de fracturas en zonas puntuales	323429	8127602	4522	60	5.08	5	0.066
10	MOQ-10	Depósitos glaciares	Gravas sueltas con clastos y algunos bloques volcánicos, en matriz areno limosa	322319	8125952	4439	60	5.08	4	3.308
11	MOQ-11	Formación Moquegua superior	Conglomerado con matriz areno tobácea de consistencia inconsolidada	294812	8097510	1551	60	5.08	5	3.089

De acuerdo con los ensayos de permeabilidad realizados (Cuadro 5.8) y tomando patrones de referencia de un cuadro anterior (Cuadro 5.7), las conductividades hidráulicas medidas en el campo varían principalmente dentro del rango de “algo permeable” (ensayo MOQ-07) a “poco permeable”. Estos valores dependen de las características litológicas, estructurales, cronológicas y de compacidad de las distintas formaciones geológicas.

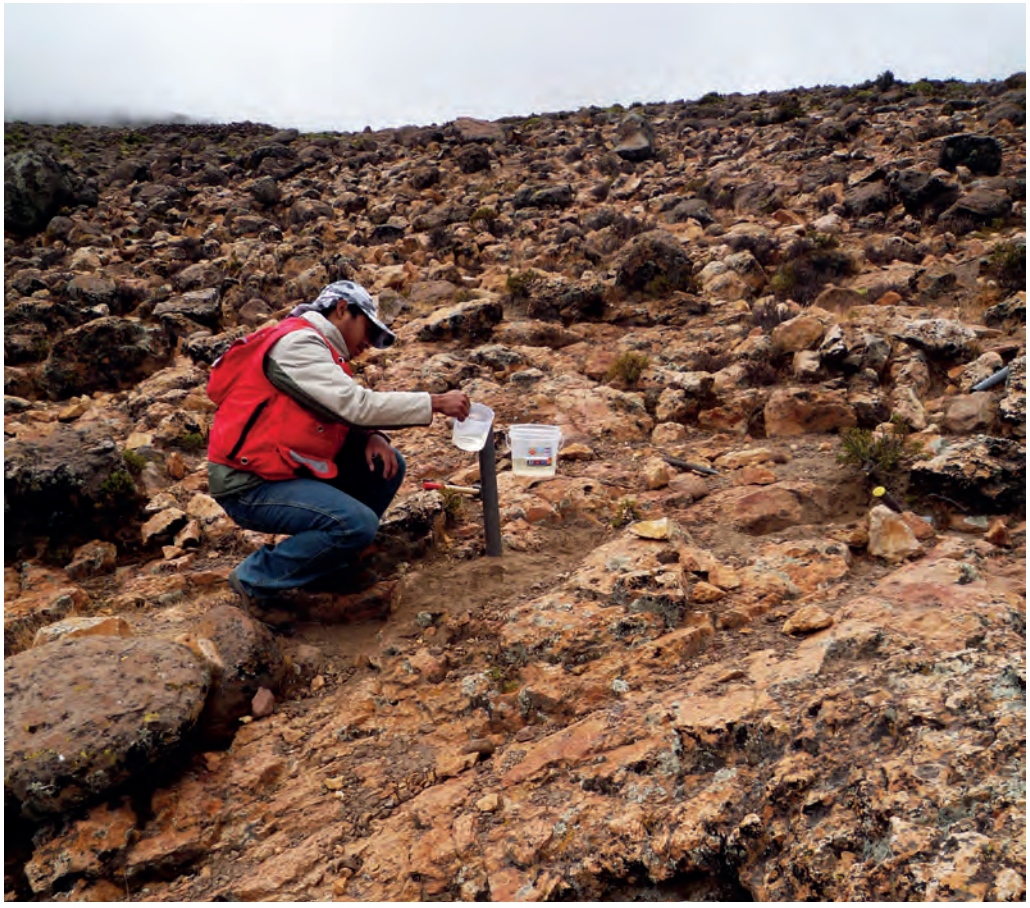
En el primer grupo, se pueden apreciar los valores de conductividad hidráulica para rocas volcánicas lávicas del Grupo Barroso y Formación Chocolate, consideradas como “algo permeable”. Los valores varían entre 0.13, 0.93 y 1.34 m/d en los ensayos MOQ-04, MOQ-01 y MOQ-08, respectivamente. El valor más bajo encontrado corresponde al ensayo MOQ-04, que se acerca al límite de “poco permeable” del Cuadro 5.3 (0.13 m/d); esto se debe a que el ensayo se realizó sobre rocas relativamente antiguas (Jurásico inferior). En cambio, el valor más alto (1.34 m/d) pertenece al ensayo MOQ-08, correspondiente a la parte “permeable” de las rocas volcánicas altamente fracturadas (Fotografía 5.5).

En lo que respecta al segundo grupo, se pueden apreciar los valores de conductividad hidráulica medidas en tobas volcánicas de las formaciones Toquepala, Huaylillas y Grupo Barroso, consideradas como “algo permeables”; a excepción del ensayo MOQ-07, que es “poco permeable” (Cuadro 5.8). Los valores hallados son de 0.07 (MOQ-09), 0.28 (MOQ-03) y 0.30 m/d (MOQ-02), que se clasifican como “algo permeable”; y 0.04 m/d (MOQ-07), “poco permeable”. Las tobas del ensayo MOQ-09 son compactas y macizas, en general, pero en algunas zonas se encuentran más fracturadas (Fotografía 5.6); por lo cual, se obtuvo el valor que se clasifica en la parte inicial de “algo permeable” (Cuadro 5.8). El valor del ensayo MOQ-07 (0.04 m/d), realizado en la Formación Huaylillas, pone en evidencia el comportamiento impermeable de las tobas soldadas (Fotografía 5.7).

Fotografía 5.5 Ensayo de permeabilidad MOQ-08 realizado en rocas volcánicas y flujos de lava del Grupo Barroso (tomada con vista al noreste).



Fotografía 5.6 Ensayo de permeabilidad MOQ-09, en tobas del Grupo Barroso. Fotografía tomada en el sector quebrada Achucallani, con vista hacia el este.



Fotografía 5.7 Ensayo de permeabilidad MOQ-07, en tobas de la Formación Huaylillas. Foto tomada hacia el sur, en el sector de Uyunto.

En el tercer grupo, se pueden apreciar los valores de conductividad hidráulica de la Formación Moquegua y depósitos glaciares, que se clasifican como “algo permeable” (Cuadro 5.8). El ensayo MOQ-05, realizado con material limoarcilloso de la Formación Moquegua inferior, tiene consistencia ligeramente impermeable; no obstante, los valores encontrados se acercan al límite de “poco permeable”. Los valores de los ensayos MOQ-06, MOQ-11 y MOQ-10 son altos, de 1.72, 3.09 y 3.31 m/d, respectivamente; y se acercan más a la clasificación “permeable”, que corresponde a “acuífero pobre” (Cuadro 5.8). Estos 3 últimos ensayos se realizaron sobre materiales porosos no consolidados (fotografías 5.8 y 5.9), de ahí sus altos valores de conductividad hidráulica.

Finalmente, los datos de permeabilidad obtenidos en campo contribuyen a la clasificación del mapa hidrogeológico de la cuenca del río Ilo-Moquegua, aunque no son determinantes. Para las demás formaciones geológicas, que no cuentan con ensayos de infiltración, se usaron los datos experimentales de distintos autores que realizaron pruebas en diferentes rocas y con otra metodología, clasificándose en alta, media, baja e impermeable.

En lo que se refiere al acuífero poroso no consolidado del piso de valle de Moquegua y el valle de Ilo, la permeabilidad se obtuvo de trabajos de campo mediante ensayos de bombeo (Inrena, 2004). Los valores encontrados son variables en 2 zonas: la zona I (Samegua, Moquegua), con valores de conductividad hidráulica de 1.30 a 207.36 m/d y la zona II (El Algarrobal-Pacocha-Ilo), con valores de 7.26 a 247.80 m/d. Las variaciones locales y los análisis más detallados de estos acuíferos corresponden al capítulo sobre sistemas de acuíferos.

La clasificación final de las formaciones geológicas consideró al componente litológico como elemento principal.

Fotografía 5.8 Ensayo de permeabilidad MOQ-11 en conglomerados con matriz arenotobácea inconsolidada, Formación Moquegua superior, sector del mirador de Moquegua.

Fotografía 5.9 Ensayo de infiltración (MOQ-10) realizado sobre gravas no consolidadas, con clastos subangulosos y esporádicos bloques volcánicos, y que presentan abundante matriz arenolimosa, efectuado en las inmediaciones del cerro Pelado.

5.2 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA

Para conocer las propiedades hidrogeológicas de las rocas y suelos dentro de la cuenca Ilo-Moquegua, se ha realizado una caracterización hidrogeológica tomando como base la geología por litología, los puntos de la surgencia de aguas subterráneas, la precipitación pluvial, las condiciones de descarga, así como las propiedades físico-químicas de las aguas subterráneas que provienen de los acuíferos. Estos parámetros nos han permitido establecer un mapa hidrogeológico y zonificar las unidades hidrogeológicas con características de almacenamiento y circulación de aguas subterráneas similares.

El tipo de roca juega un papel importante en la clasificación hidrogeológica y es el punto de partida para la elaboración de mapas de litopermeabilidades (elaborados con base en la característica intrínseca de la roca y su grado de permeabilidad).

La caracterización hidrogeológica en la cuenca del río Ilo-Moquegua, se desarrolló a partir de la necesidad de representar cartográficamente las propiedades hidrogeológicas de las formaciones geológicas y, en particular, representar aquellas que poseen aguas subterráneas con gran potencial para su prospección y explotación como acuíferos.

Es así que, en la parte baja de la cuenca, existen acuíferos porosos no consolidados (valle de Moquegua e Ilo), mientras que, en la parte alta, se encuentran los acuíferos fisurados representados por materiales volcánicos y volcánicos-sedimentarios (Grupo Barroso).

La clasificación hidrogeológica según el tipo de roca (Peña et al., 2010) se organiza en cinco grupos regionales (Cuadro 5.9).

Cuadro 5.9
Unidades hidrogeológicas (según el tipo de roca) en la cuenca del río Ilo-Moquegua

TIPO DE ROCAS	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA
Materiales recientes, porosos y no consolidados	Acuíferos porosos no consolidados y/o acuífero detrítico
Rocas sedimentarias	Acuíferos, acuíferos fisurados y acuitardos
Rocas volcánicas	Acuíferos fisurados y acuitardos
Rocas volcánicas-sedimentarias	Acuíferos
Rocas intrusivas y metamórficas	Acuitardos y acuifugo

En el mapa hidrogeológico (Mapa 2), se representan diferentes unidades hidrogeológicas, que se diferencian entre sí por un color característico dentro del grupo al que pertenecen; además, se añade una codificación hidrogeológica. Para la representación de colores y símbolos, se tomaron, como guía, las recomendaciones establecidas en el manual internacional para la elaboración de mapas hidrogeológicos de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH) (Struckmeier & Margat, 1995).

La caracterización hidrogeológica de cada una de las formaciones se realizó tomando en cuenta la geomorfología y la geología como medios de circulación. Se consideraron los parámetros hidrogeológicos de los materiales, como la conductividad hidráulica, transmisibilidad, porosidad, disposición estructural de las fracturas en los materiales, y el caudal de descarga que tienen los acuíferos (manifestado como surgencias o manantiales). En el Cuadro 5.10, se muestra la caracterización hidrogeológica realizada para la cuenca del río Ilo-Moquegua.

Cuadro 5.10

Clasificación de las unidades hidrogeológicas en la cuenca del río Ilo-Moquegua

N°	Formación geológica		Descripción litológica	Control estructural	Conductividad hidráulica (m/d)	Porosidad total (%)	**Clasificación hidrogeológica**
1	Basamento metamórfico de Arequipa		Gneis con bandas de cuarzo-feldespato.	Forman promontorios y bancos muy erosionados y sumamente fracturados.	Gneis(4): 10^{-9} a 10^{-6}	Gneis(3,4): 0.1, 10^{-5} a 1	Acuifugo
2	Grupo Ambo		Conglomerado basal. Arenisca fina con algunas intercalaciones de lutitas negras y ocasionales bancos de cuarcita. Hacia el tope limolitas, fuertemente silicificadas.	Esporádicamente fracturado	Conglomerado(4): 10^{-4} a 1 Arenisca(1,4): $3x10^{-5}$ a 1, 10^{-2} a 10^{2} Lutitas(1,4): 10^{-6} a 10^{-3}, 10^{-2} a 10^{2} Cuarcita(3): $1.6x10^{-6}$	Conglomerado(4): 5 a 25 Arenisca(2,4,5): 5 a 35, 5 a 20, 4 a 25 Lutitas(2,4): Intacta de 1 a 10 y fracturada de 30 a 50, 5 a 15	Acuitardo sedimentario
3	Formación Chocolate		Lavas andesíticas de color verdoso o chocolate, ocasionalmente bancos de dacita gris clara con estructura amigdaloide; puntualmente hacia el tope calizas gris claras.	Esporádicamente fracturado	Roca volcánica fracturada(1,3,4,7): 0.1 a 10^{6}, 10^{-9} a 10^{-5}, 10^{-6} a 10^{-2}, lavas andesíticas 0.12910 Calizas(1,4): 10^{-4} a 1, 10^{-2} a 10	Lavas andesíticas(2,4): 10^{-2} a 10, 10^{-4} a 50 Calizas(2,4,5): 0.1 a 25, 1 a 10, 0.5 a 17	Acuitardo volcánico
4	Grupo Yura	Formación Puente	Conglomerado basal, areniscas de grano medio a fino con intercalaciones de delgados niveles de limolita.	Localmente afectada por fallas y moderadamente fracturado	Conglomerado: 10^{-4} a 1(4) Arenisca: $3x10^{-5}$ a 1(1), 10^{-2} a 10^{2}(4) Limolitas: 10^{-6} a 10^{-3}(1), 10^{-2} a 10^{2}(4)	Conglomerado(4): 5 a 25 Arenisca(2,4,5): 5 a 35, 5 a 20, 4 a 25 Limolitas(4): 5 a 15	Acuífero fisurado sedimentario
5	Grupo Toquepala	Formación Toquepala	En la parte inferior brechas y derrames de riolitas y andesitas (350m), parte media conglomerádicos, arcosas y limolitas (25m),parte superior brechas y aglomerado riolíticos de color pardo amarillento, macizos o en bancos gruesos.	Fracturado y fallado	Roca volcánica fracturada(1,3,4): 0.1 a 10^{6}, 10^{-9} a 10^{-5}, 10^{-6} a 10^{-2} Conglomerado(4): 10^{-4} a 1 Arenisca(1,4): $3x10^{-5}$ a 1, 10^{-2} a 10^{2} Limolita(1,4): 10^{-6} a 10^{-3}, 10^{-2} a 10^{2}	Lavas andesíticas(2,4): 10^{-2} a 10, 10^{-4} a 50 Conglomerado(4): 5 a 25 Arenisca(2,4,5): 5 a 35, 5 a 20, 4 a 25 Limolitas(4): 5 a 15	Acuitardo volcánico
6		Formación Quellaveco	Base conglomerádica, sobre este conglomerado se distinguieron 40 metros de toba andesítico verdoso; a los cuales se sobreponen derrames de andesitas porfiríticas.	Fracturado y fallado	Conglomerado: 10^{-4} a 1(4) Tobas: $9.6x10^{-3}$ a $3x10^{-4}$(3), fracturada 0.2776(7) Roca volcánica fracturada:0.1 a 10^{6}(1),10^{-9} a 10^{5}(3), 10^{-6} a 10^{-2}(4)	Conglomerado(4): 5 a 25 Tobas(3): 14 a 40 Lavas andesíticas(2,4): 10^{-2} a 10, 10^{-4} a 50	Acuitardo volcánico
7	Grupo Moquegua	Formación Moquegua inferior	En la base areniscas arcósicas con matriz limolitica, intercalada de limolitas y paquetes potentes de arcillas; intercalados indistintamente con niveles de yeso. En otro sector la base está constituída por conglomerados, interestratificado con arcosas de grano grueso a medio.	Poco compactado y fracturado	Arenisca: $3x10^{-5}$ a 1(1), 10^{-2} a 10^{2}(4) Limolita: 10^{-6} a 10^{-3}(1), 10^{-2} a 10^{2}(4) Arcilla: 10^{-6} a 10^{-3}(1), 10^{-2} a 10^{2}(4) Conglomerado: 10^{-4} a 1(4) Limoarcilla: $9.735x10^{-2}$(7)	Arenisca: 5 a 35(2), 5 a 20(4), 4 a 25 (5) Limolita: 5 a 15(4) Arcilla:40 a 60(2) Yeso: 4(5) Conglomerado: 5 a 25(4)	Acuitardo sedimentario
8		Formación Moquegua superior	Conglomerados poco compactos, eventualmente intercalados con limolitas, ignimbritas hacia el tope. En zonas puntuales lutitas regularmente compacta, intercaladas de arcosas; en el tercio superior se intercalan abundantes estratos de yeso, anhidrita, capas finas de sal y diatomita.	Poco compactado y fracturado	Conglomerado: 10^{-4} a 1(4), 3.089(7) Limolita: 10^{-6} a 10^{-3}(1), 10^{-2} a 10^{2}(4) Lutita: 10^{-6} a 10^{-3}(1), 10^{-2} a 10^{2}(4) Arenisca: $3x10^{-5}$ a 1(1), 10^{-2} a 10^{2}(4)	Conglomerado: 5 a 25(4) Limolita: 5 a 15(4) Lutita: Lutitas: Intacta de 1 a 10 y fracturada de 30 a 50(2), 5 a 15(4) Arenisca: 5 a 35(2), 5 a 20(4), 4 a 25 (5) Yeso: 4(5)	Acuífero sedimentario
9	Formación Jaguay inferior		Areniscas de grano medio a grueso en una matriz ligeramente tobácea. Los niveles medios, arcillas intercaladas con capas de yeso.	Poco compactado y fracturado	Arenisca: $3x10^{-5}$ a 1(1), 10^{-2} a 10^{2}(4) Arcilla: 10^{-6} a 10^{-3}(1), 10^{-2} a 10^{2}(4)	Arenisca: 5 a 35(2), 5 a 20(4), 4 a 25 (5) Arcilla: Yeso: 4(5)	Acuitardo sedimentario
10	Formación Jaguay superior		Conglomerados englobados en una matriz arenosa.	Poco compactado y fracturado	Conglomerado: 10^{-4} a 1(4)	Conglomerado: 5 a 25(4)	Acuífero sedimentario

Fuente: (1) Cuadro 5.11, (2) Sanders,1998, (3) Benítez, 1963, (4) Gregory y Walling, 1985, (5) Castany, 1963, (6) Davies, 1969 y (7) Peña & Ng 2012.

Cuadro 5.10

Clasificación de las unidades hidrogeológicas en la cuenca del río Ilo-Moquegua (continuación)

N°	Formación geológica		Descripción litológica	Control estructural	Conductividad hidráulica (m/d)	Porosidad total (%)	Clasificación hidrogeológica
11	Formación Huaylillas		Tobas dacíticos y riolíticos.	En algunas partes poco consolidado, en otras compacto, a veces muy fracturado	Tobas(3,7): $3x10^{-4}$ a $9.6x10^{-3}$, $4.268x10^{-2}$	Tobas(3): 14 a 40	Acuitardo volcánico
12	Grupo Barroso	Formación Capillune	Conglomerados de matriz arenosa, con intercalaciones de areniscas en capas delgadas y lentes. Depósitos de pomez y cenizas no consolidados.	Poco compacto, poco fracturado	Conglomerado(4): 10^{-4} a 1	Conglomerado(4): 5 a 25	Acuífero volcánico-sedimentario
					Arenisca(1,4): $3x10^{-5}$ a 1, 10^{-2} a 10^{2}	Arenisca(2,4,5): 5 a 35, 5 a 20, 4 a 25	
13		Formación Barroso inferior	Derrames (andesitas basálticas con textura porfirítica) intercalados con brechas de flujo y materiales piroclásticos.	Altamente fracturado	Roca volcánica fracturada(1,3,4): 0.1 a 10^{6}, 10^{-9} a 10^{-5}, 10^{-6} a 10^{-2}	Roca volcánica(1,3,4): 1 a 10, 10, 10 a 80	Acuífero fisurado volcánico
					Andesitas(7): 1.335 y 0.92		
					Toba fracturada(7): 0.297 y 0.06579		
14	Formación Millo		En la zona más cercana a la Cordillera Occidental, conglomerados con clastos hasta 1 m, su matriz es escasa y en ocasiones intercaladas con delgadas capas de arcosas de grano grueso a muy grueso. Hacia la Cordillera de la Costa, conglomerados de matriz arenosa de grano medio y estratificado con niveles potentes de areniscas arcósicas.	-	Conglomerado(4): 10^{-4} a 1	Conglomerado(4): 5 a 25	Acuífero sedimentario
					Arenisca(1,4): $3x10^{-5}$ a 1, 10^{-2} a 10^{2}	Arenisca(2,4,5): 5 a 35, 5 a 20, 4 a 25	
15	Depósitos marinos		Arena, coquina y conglomerado.	-	Arena(1,4,6): 0.01 a 10^{3}, 10 a 10^{4}, 0.5 a 20	Arena(2,4,6): 20 a 50, 30 a 40, 41 a 50	Acuífero poroso no consolidado
					Conglomerado(4): 10^{-4} a 1	Conglomerado(4): 5 a 25	
16	Depósitos de terrazas		Gravas subredondeadas y arenas.	-	Grava(1,4): 10 a 10^{6}, 10^{2} a 10^{6}	Grava(2,4): 25 a 40	Acuífero poroso no consolidado
					Arena(1,4,6): 0.01 a 10^{3}, 10 a 10^{4}, 0.5 a 20	Arena(2,4,6): 20 a 50, 30 a 40, 41 a 50	
17	Depósitos aluviales		Gravas semiconsolidadas con intercalaciones lenticulares de arena gruesa, arcillas y tobas redepositados.	-	Grava(1,4): 10 a 10^{6}, 10^{2} a 10^{6}	Grava(2,4): 25 a 40	Acuífero poroso no consolidado
					Arena(1,4,6): 0.01 a 10^{3}, 10 a 10^{4}, 0.5 a 20	Arena(2,4,6): 20 a 50, 30 a 40, 41 a 50	
					Arcilla(1,4): 10^{-7} a 10^{-3}, 10^{-6} a 10^{-4}	Arcilla(2,4,6): 40 a 60, 45 a 60, 40 a 44	
18	Depósitos glaciares		Gravas en matriz areno arcillosa	-	Grava(1,4,7): 10 a 10^{6}, 10^{2} a 10^{6}, 1.719 y 3.308	Grava(2,4): 25 a 40	Acuífero poroso no consolidado
19	Depósitos fluviales		Gravas con lentes de arenas y capas de arcillas.	-	Grava(1,4): 10 a 10^{6}, 10^{2} a 10^{6}	Grava(2,4): 25 a 40	Acuífero poroso no consolidado
					Arena(1,4,6): 0.01 a 10^{3}, 10 a 10^{4}, 0.5 a 20	Arena(2,4,6): 20 a 50, 30 a 40, 41 a 50	
					Arcilla(1,4): 10^{-7} a 10^{-3}, 10^{-6} a 10^{-4}	Arcilla(2,4,6): 40 a 60, 45 a 60, 40 a 44	
20	Depósitos eólicos		Arena suelta.	-	Arena(6): 20	Arena(6): 36	Acuífero poroso no consolidado
21	S.U. Punta Coles		Gabros a dioritas.	Afectado por fallas, Fracturado.	Sin fracturar(1): 10^{-9} a 10^{-5}	Sin fracturar(2): 0.01 a 1	Acuitardo intrusivo
					Fracturadas(1): 10^{-5} a 25	Fracturadas(2): 1 a 10	
22	S.U. Ilo		Varía entre grabrodioritas, dioritas y granodioritas.	Afectado por fallas, Fracturado.	Sin fracturar(1): 10^{-9} a 10^{-5}	Sin fracturar(2): 0.01 a 1	Acuitardo intrusivo
					Fracturadas(1): 10^{-5} a 25	Fracturadas(2): 1 a 10	
23	S.U. Tiabaya		Granodiorita y sienogranito.	Afectado por fallas, Fracturado.	Sin fracturar(1): 10^{-9} a 10^{-5}	Sin fracturar(2): 0.01 a 1	Acuitardo intrusivo
					Fracturadas(1): 10^{-5} a 25	Fracturadas(2): 1 a 10	
24	S.U. Yarabamba		Granodioritas, monzogranitos, monzonita.	Fracturado	Sin fracturar(1): 10^{-9} a 10-5	Sin fracturar(2): 0.01 a 1	Acuitardo intrusivo
					Fracturadas(1): 10^{-5} a 25	Fracturadas(2): 1 a 10	
25	Intrusivos menores		Dacita cuarzosa, granodiorita porfirítica, brechas, diques dacíticos. Diorita y pórfido Los Calatos.	Fracturado	Sin fracturar(1): 10^{-9} a 10^{-5}	Sin fracturar(2): 0.01 a 1	Acuitardo intrusivo
					Fracturadas(1): 10^{-5} a 25	Fracturadas(2): 1 a 10	

Fuente: (1) Cuadro 5.11, (2) Sanders,1998, (3) Benítez, 1963, (4) Gregory y Walling, 1985, (5) Castany, 1963, (6) Davies, 1969 y (7) Peña & Ng 2012.

El mapa hidrogeológico regional de la cuenca del río Ilo-Moquegua (Mapa 2) se muestra a escala 1:100,000 y constituye una cartografía hidrogeológica actualizada. La secuencia estratigráfica de la cuenca del río Ilo-Moquegua comprende rocas volcánicas, intrusivas, sedimentarias, y muy localmente metamórficas. Estas rocas tienen rangos cronológicos comprendidos entre el Paleoproterozoico (basamento metamórfico de Arequipa) y el Cuaternario reciente, cuyas edades de formación influyen también en las características hidrogeológicas.

En función de la historia geológica del área de estudio y de los procesos tectónicos ocurridos, es posible interpretar que estos fenómenos han actuado como control de la sedimentación; de esta forma, las estructuras geológicas y las características litológicas condicionan el límite de los sistemas acuíferos, la geometría de las unidades hidrogeológicas, las áreas de recarga y descarga, así como las direcciones de flujo de las aguas subterráneas. En la cuenca del río Ilo-Moquegua, se pueden diferenciar tres grandes unidades hidrogeológicas (Mapa 2): acuíferos, acuitardos y acuífugo.

5.3 ACUÍFEROS

Según su litología, características estructurales y extensión, los acuíferos se clasificaron en 3 grupos:

- Acuíferos porosos semiconsolidados (no fracturados)
- Acuíferos fisurados o fracturados
- Acuíferos porosos no consolidados

5.3.1 Acuíferos porosos semiconsolidados (no fracturados)

Este tipo de acuíferos son suelos de aspecto semiconsolidado, ubicados en materiales permeables donde la interconexión entre poros es alta. En la cuenca del río Ilo-Moquegua, está representado por rocas sedimentarias que rellenaron los valles, las cuales tuvieron relativa afectación por procesos de tectonismo. En estos materiales, el almacenamiento y circulación del agua subterránea se produce por medio de la porosidad primaria intergranular, que toma en cuenta la porosidad eficaz de las rocas; que depende, a su vez, de la antigüedad de formación (y, por ende, de su grado de compactación). Los acuíferos de este tipo, situados en la cuenca del río Ilo-Moquegua, son de edad paleógena-neógena. De igual modo, se dividen, de acuerdo con su litología, en acuíferos sedimentarios y acuíferos volcánico-sedimentarios (Figura 5.3).

Acuíferos en estratos sedimentarios

Se clasificaron como acuíferos sedimentarios a 3 formaciones: Moquegua superior, Jaguay superior y Millo; todos de naturaleza poco consolidada o poco compactada. Estos materiales son productos de la erosión, transporte y deposición de rocas antiguas en cuencas sedimentarias que se formaron desde el Paleógeno hasta el Neógeno. La actividad tectónica, en este caso, no afectó considerablemente a estos materiales de deposición (por encontrarse en la parte baja de la cuenca sedimentaria), pero sí a los materiales volcánicos de la Cordillera Occidental (que corresponden a otro tipo de acuífero, el cual se mencionará más adelante). Los acuíferos sedimentarios se ubican principalmente en las inmediaciones del cerro Baúl, valle de Moquegua, quebrada Guaneros, Pampas Chollo y Las Pulgas.

Acuífero sedimentario Moquegua superior

Este acuífero se ubica en las proximidades de la ciudad de Moquegua, desde el cerro Baúl hasta Moquegua. También, se expone en la margen derecha de la quebrada Guaneros, de manera continua y alargada (lateralmente, al borde oeste de la cuenca del río Ilo-Moquegua).

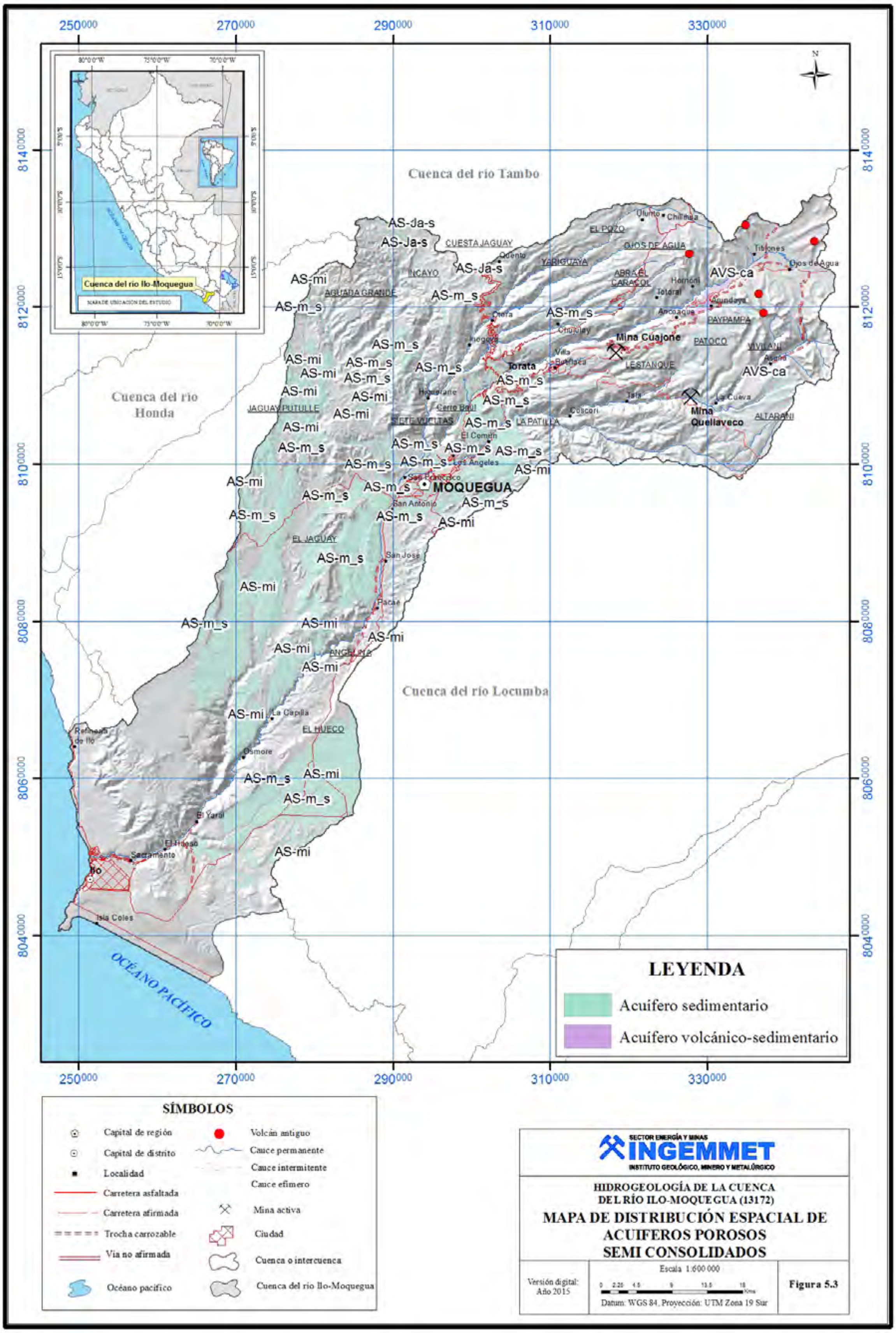
Se debe tener en cuenta que la litología varía de acuerdo con la dinámica de sedimentación en la cuenca de depósito (Figura 5.3). A continuación, se describe la composición litológica en 3 sectores:

Sector 1. Ubicado cerca del cerro Baúl, está compuesto por conglomerados semiconsolidados cuyo espesor es de más de 300 m, y están distribuidos en estratos grano decrecientes. La base de cada secuencia posee los clastos más grandes, que disminuyen su tamaño rápidamente hasta depositar capas de limolitas de color rojo. La parte superior de esta secuencia conglomerádica, observada en lo alto del cerro Baúl, está interestratificada con una capa de más de 10 m de ignimbrita de color beige, y se aprecia al tope otro paquete ignimbrítico del mismo color.

Sector 2. Entre Moquegua y Torata y sobre la Panamericana Sur, desde la quebrada Guaneros hasta la mina Los Calatos; la Formación Moquegua superior está conformada por una serie de conglomerados que se depositan directamente sobre el Grupo Toquepala (en evidente discordancia angular y erosional). Los clastos de estos sedimentos son de rocas volcánicas e intrusivas, con diámetros variados de entre 1 m y algunos centímetros.

Sector 3. Está ubicado en la parte baja de la cuenca del río Ilo-Moquegua, entre Osmore y el sur de la ciudad de Moquegua, antes de la carretera Panamericana Sur (parte distal de la cuenca de sedimentación), y se caracteriza por ser más pelítico y tobáceo; muestra buena estratificación, regularmente compactada e intercalada con areniscas arcósicas, así como algunos niveles de lutitas y limolitas finamente estratificadas. En el tercio superior de esta unidad, se intercalan abundantes estratos de yeso, anhidrita, capas finas de sal y diatomita, que identifican a esta secuencia. A veces, se observan capas con estratificación cruzada, que pueden interpretarse como aportes eólicos de arenas finas. Las evaporitas predominantes son potentes capas de yeso de 2 a 3 m de espesor, de color blanco y, por sectores, algo rojizas, de textura acicular. La anhidrita se presenta en forma lenticular y en nódulos botroidales, con diámetros que varían de 2 a 20 cm, y a veces hasta de 40 cm, son de color blando a traslúcido.

En los sectores 1 y 2, los conglomerados se encuentran poco consolidados (Fotografía 5.10), son de matriz arenosa a arenotobácea. La naturaleza granodecreciente sugiere una distribución espacial ligeramente homogénea, al menos en gran sector de la cuenca del río Ilo-Moquegua. En el sector 3, los depósitos son más finos y su condición de acuífero disminuye por la alternancia eventual de limos y lutitas con las capas de areniscas y por la compactación de los materiales.


Cuenca del río Tambo
Cuenca del río Honda
Cuenca del río Locumba
OCÉANO PACÍFICO
MOQUEGUA
Torata
Mina Cuajone
Mina Quellaveco
Ilo
Cuenca del río Ilo-Moquegua
MAPA DE UBICACIÓN DEL ESTUDIO
LEYENDA
Acuífero sedimentario
Acuífero volcánico-sedimentario
SÍMBOLOS
Capital de región
Capital de distrito
Localidad
Carretera asfaltada
Carretera afirmada
Trocha carrozable
Vía no afirmada
Océano pacífico
Volcán antiguo
Cauce permanente
Cauce intermitente
Cauce efímero
Mina activa
Ciudad
Cuenca o intercuenca
Cuenca del río Ilo-Moquegua
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA (13172)
MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ACUÍFEROS POROSOS SEMI CONSOLIDADOS
Versión digital: Año 2015
Escala 1:600 000
Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 19 Sur
Figura 5.3

Fotografía 5.10 Conglomerados de matriz arenotobácea de la Formación Moquegua superior en el mirador de Moquegua.

Asimismo, la conductividad hidráulica puntual, calculada a través del ensayo de infiltración en MOQ-11, es 3.09 m/d (mayor a lo referido por Gregory y Walling, 1985); además, este punto se ubica en una zona donde prácticamente no existe recarga por lluvias (la precipitación anual es de 40 a 75 mm). La potencia, características moderadas de permeabilidad y porosidad, distribución a nivel regional del sur del Perú, nos permiten clasificarlo como acuífero sedimentario. Esta formación es de alto interés hidrogeológico, ya que tiene condiciones para efectuar prácticas de recarga artificial de acuíferos caracterizando correctamente las zonas más favorables, a partir de un estudio detallado.

Acuífero sedimentario Jaguay superior

Se ubica en los alrededores de Incayo y Cuesta Jaguay. Corresponde a materiales de deposición contemporánea del Grupo Moquegua (Figura 5.3), y constituye un apéndice de sedimentación en el lugar mencionado. Aflora de forma irregular y muy localizada, y se presenta poco compactado y semiconsolidado. La litología es mayormente conglomerádica, con clastos redondeados a subredondeados, de naturaleza volcánica y esporádicas calizas y cuarcitas bastante redondeadas, cuyos diámetros alcanzan hasta 10 cm, predominando diámetros de 4 a 6 cm, englobados en una matriz arenosa con abundancia de feldespatos. Las características de estas rocas poco compactadas y con matriz porosa incrementan la posibilidad de almacenar agua a través de la porosidad primaria; es más, podría tener una porosidad y conductividad hidráulica mayor a lo referido por Gregory y Walling (1985), 5 a 25 % y 10^{-4} a 1 m/d, respectivamente). Es de reducida extensión y pocas posibilidades de recarga natural por medio de precipitación pluvial (alrededor de 80 mm de precipitación media total); sin embargo, con un buen diseño de recarga artificial, se puede utilizar este acuífero como almacenamiento subterráneo.

Acuífero sedimentario Millo

La Formación Millo consiste de sedimentos poco consolidados del Neógeno Cuaternario. Rellena principalmente la quebrada Guaneros, a manera de cuerpos sumamente alargados y delgados; también los bordes centrales, este y oeste de la cuenca del río Ilo-Moquegua, y las pampas Chololo y Las Pulgas, hacia el sur de la cuenca (Figura 5.3). La variación en los tamaños de los clastos de estos sedimentos se desarrolló en aproximadamente 50 km de recorrido; por lo que debe tomarse en cuenta la distribución de los materiales, tanto espacialmente como en profundidad, y, por ende, su variación en porosidad

y permeabilidad. La erosión de rocas ubicadas en la Cordillera Occidental tuvo efecto en rocas del Grupo Barroso, la Formación Huaylillas y la Formación Toquepala, así como en rocas intrusivas granodioríticas y monzoníticas. De esta manera, en la zona más cercana a la Cordillera Occidental, se depositaron conglomerados polimígticos con forma subredondeada a subangulosa, y de diámetros muy variados, de hasta 1 m. Su matriz es escasa y, en ocasiones, aparecen capas delgadas de areniscas arcósicas de grano grueso a muy grueso.

Estos conglomerados deben tener mejores condiciones de porosidad y conductividad hidráulica al propuesto por Gregory y Walling (1985), (de 5 a 25 % y de 10^{-4} a 1 m/d, respectivamente). Esto debido a la existencia de mayores espacios vacíos por la ausencia de matriz; lo que les permite, a su vez, almacenar mayor volumen de agua, así como de circulación por el material.

El tamaño de los clastos (hasta 1 m) va disminuyendo según nos acercamos a la Cordillera de la Costa. Llegando a la pampa Pan de Azúcar y las partes bajas de la quebrada Guaneros, se observa el depósito de conglomerados con clastos polimígticos de formas redondeadas, inmersos en una matriz arenosa de grano medio y estratificado, con niveles potentes de areniscas arcósicas. Esta disponibilidad de rocas con porosidad primaria considerable y ausencia de capas finas o materiales impermeables en la parte baja podrían servir como importantes rocas de almacenamiento de agua subterránea, ya que en la actualidad su posición geográfica y condiciones hidrometereológicas (precipitación media total de 5 mm a 50 mm), no contribuyen a la recarga natural de este acuífero.

Las condiciones hidráulicas de la Formación Millo se han evidenciado en La Joya, en Arequipa (kilómetro 48 de la Panamericana Sur), donde se aprecia la gran capacidad de almacenamiento y transmisión de aguas subterráneas, productos de la recarga por riego. Por lo tanto, consideramos a la Formación Millo como un material importante y de gran interés hidrogeológico, otorgándole una clasificación de acuífero sedimentario.

Acuífero volcánico-sedimentario

En la parte alta de la cuenca (alrededores de Asana) aflora una potente secuencia de rocas volcánicas y sedimentarias intercaladas entre sí, en horizontes permeables (arenas) e impermeables (cenizas, flujos, ignimbritas, etc.), denominada Formación Capillune. Tiene un ambiente de formación volcánica y sedimentaria, y numerosas surgencias en los horizontes permeables. Se trata de una formación en la que los eventos volcánicos y la configuración de ríos y lagos se han intercalado en su constitución.

Las propiedades de almacenamiento y circulación de aguas subterráneas se observan en las múltiples capas de arenas, de alto interés hidrogeológico por pertenecer a acuíferos del tipo confinado, y posiblemente de extensión regional.

Acuífero volcánico sedimentario Capillune

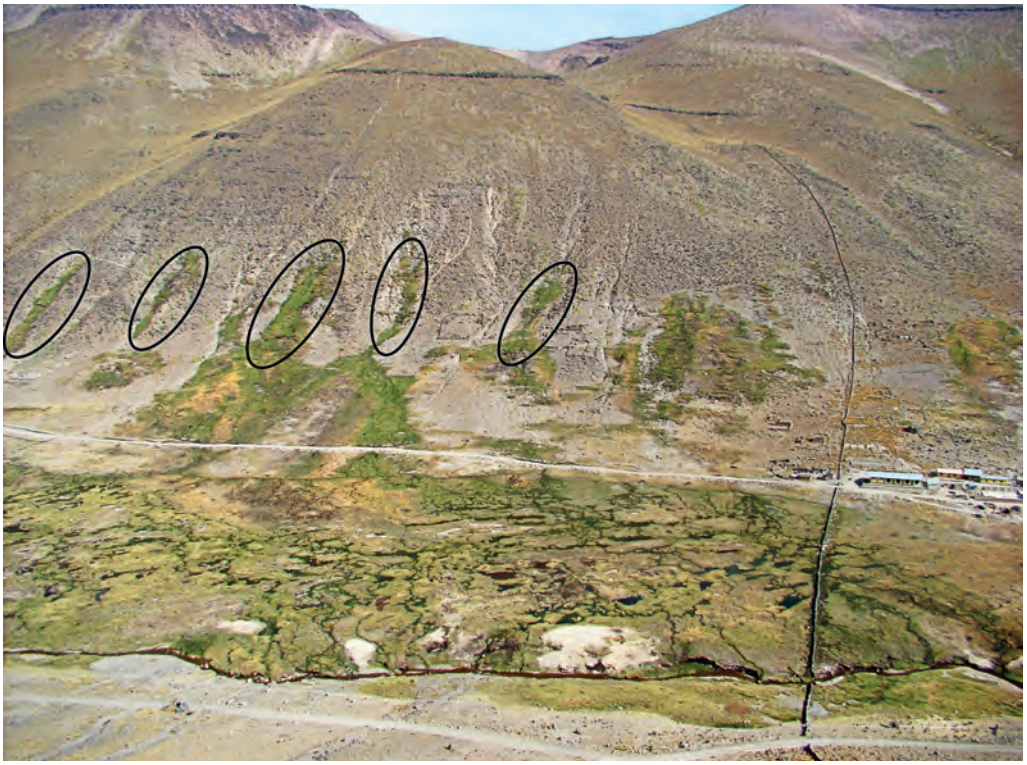
Este acuífero aflora principalmente en los alrededores de las localidades de Asana y Arundaya (Figura 5.3). Se observa en el corte de carretera y las quebradas erosionadas que dejaron en superficie niveles horizontales. Su composición litológica se encuentra estratificada con arenas, lentes y capas de lavas y flujos piroclásticos. En el sector de Asana, predominan capas de arenas saturadas; mientras que, en la quebrada Arundaya, predominan capas gruesas de depósitos piroclásticos. Litológicamente cerca de Asana, se reconoce una sección de 220 m de conglomerados de matriz arenosa, con intercalaciones de areniscas. Visualmente, interpretamos que la conductividad hidráulica y porosidad deben ser elevados, superiores a lo referido por Gregory y Walling (1985), cerca de 25 % y 1 m/d). El espesor de las capas acuíferas, saturación y heterogeneidad, dependen de su ubicación y posición con respecto a los eventos volcánicos y de deposición ocurridos en el pasado. A pesar de ello, el parámetro hidrogeológico más importante que involucra el almacenamiento de agua y la presión es el grado de confinamiento que tienen todos los horizontes acuíferos.

La evidencia de agua subterránea en el sector de Asana, en la parte alta de la cuenca (de recepción y húmeda, Fotografía 5.11), se observa en varias capas de las quebradas con pendiente de moderada a alta. Normalmente, el acuífero Capillune tiene una estrecha relación con el acuífero fisurado volcánico Barroso, que constituye la zona de alimentación y recarga (Fotografía 5.12); por lo tanto, se clasifica esta formación geológica como acuífero volcánico-sedimentario.

En la parte media de la quebrada Asana, se observa que los horizontes acuíferos se encuentran intercalados y, por sectores, disectados por eventos volcánicos de piroclásticos y flujos de lava; lo cual genera acuíferos confinados en horizontes delgados. Esta alternancia de capas permeables e impermeables se evidencia también en la parte alta de la Cordillera Occidental y altiplanicie del sur del Perú, sobre todo en las laderas y quebradas que cortan las secuencias de la Formación Capillune. En muchos sectores, las capas de arenas se observan con leve compactación y parcialmente saturadas con aguas subterráneas.

Adicionalmente debemos tener en cuenta que este acuífero comenzó a estudiarse desde antes de 1970; es el segundo acuífero más importantes de la cuenca, en la cual se realizaron perforaciones con el objetivo de incrementar los recursos hídricos en la cuenca del río Ilo-Moquegua. En la actualidad, la compañía minera Southern Perú explota aguas subterráneas de una parte de este acuífero con fines de abastecimiento.

Fotografía 5.11 Conglomerados de matriz arenosa con intercalaciones de areniscas en capas delgadas de la Formación Capillune, en los alrededores de Asana. Enmarcado en azul, se observan las capas saturadas con aguas subterráneas



Fotografía 5.12 Horizontes permeables y productores de la Formación Capillune, relacionados con el acuífero Barroso por su zona de alimentación y recarga

5.3.2 Acuíferos fisurados

Se presentan en rocas consolidadas con contenido de fracturas, donde la conductividad hidráulica varía de acuerdo a la densidad, tamaño y abertura de las fracturas. La conexión hidráulica entre las fracturas es un factor determinante que incrementa la capacidad de conductividad hidráulica. En sectores donde existen estructuras mayores como fallas e intenso fracturamiento, la conductividad hidráulica es mayor. En sectores donde existen sedimentos inclinados, el flujo preferente de agua subterránea se encuentra a lo largo de los planos de estratificación. La velocidad del agua a través de fracturas individuales es extremadamente alta, aunque usualmente ocupan solo una pequeña parte del acuífero, por lo que el promedio del flujo volumétrico puede ser bajo.

Los acuíferos fisurados se presentan en sedimentos compactados del Caloviano (Formación Puente), y materiales volcánicos fracturados del Mioceno (Formación Barroso inferior). Para diferenciar las propiedades hidrogeológicas de los acuíferos fisurados, se separaron en (Figura 5.4):

- Acuífero fisurado volcánico
- Acuífero fisurado sedimentario

Acuífero fisurado volcánico

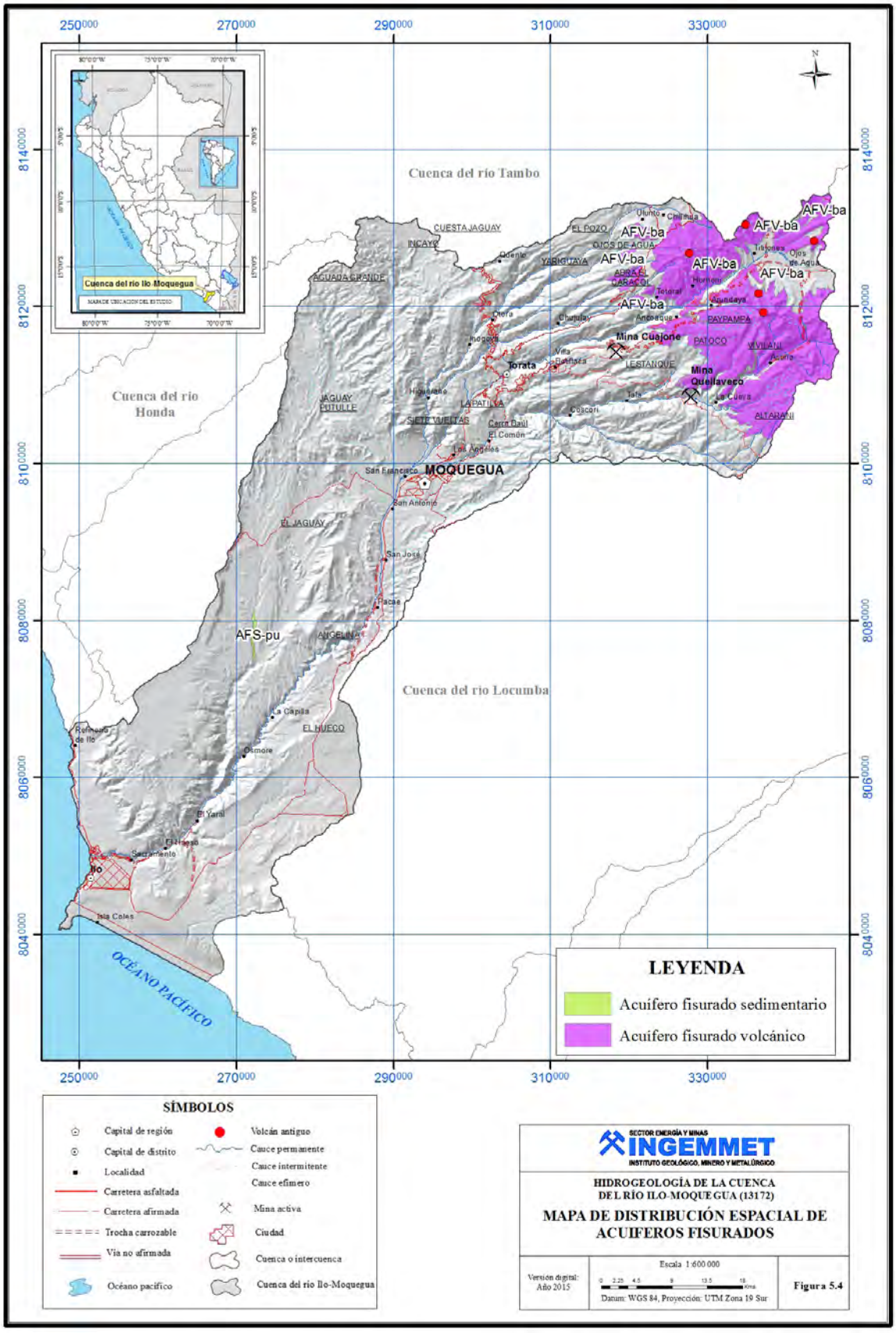
Las rocas volcánicas formadas a partir de materiales fundidos a gran temperatura y a distintas profundidades desarrollan fracturas por enfriamiento y cristalización, y poseen grandes propiedades hidráulicas. La actividad tectónica producida en la Cordillera de los Andes contribuye con la formación de numerosas fracturas y fallas regionales cuya porosidad secundaria genera acuíferos que pueden ser de gran productividad. Dentro de la cuenca, afloran rocas volcánicas de edad neógena en la parte alta de la cuenca del río Ilo-Moquegua, compuestas principalmente por flujos de lava altamente fracturados, y se encuentran también tobas, brechas y aglomerados de forma localizada. Dentro de la cuenca del río Ilo-Moquegua, solo una formación de origen volcánico se encuentra fracturada y tiene grandes condiciones de ser acuífero fisurado: la Formación Barroso inferior.

Acuífero fisurado volcánico Barroso inferior

En la cuenca del río Ilo-Moquegua existen numerosos aparatos volcánicos, en los que, en la mayoría de los casos, se depositaron flujos de lavas andesitas con algunos periodos de depósitos de flujos piroclásticos, que se sobreponen entre uno y otro evento de cada cono, sucediendo por este hecho discontinuidades que al final sirven como conductos de aguas subterráneas. Bellido (1979) sostiene que las rocas de esta formación consisten en derrames de andesitas basálticas intercalados con brechas de flujo y piroclásticos. Estas lavas se encuentran altamente fracturadas, lo que incrementa su porosidad secundaria y permite la circulación de agua subterránea; y se dice que pueden llegar a alcanzar una porosidad de 80 % (Gregory y Walling, 1985) y una conductividad hidráulica de 10^6 m/d (Sanders), dependiendo del grado y densidad de fracturas de cada zona.

La surgencia mediante manantiales está condicionada por estas estructuras en las partes más altas de la cuenca (Figura 5.4), mientras que, hacia el suroeste, las surgencias se producen por el contacto con un nivel impermeable (las tobas de la Formación Huaylillas), aunque en su gran mayoría los caudales de producción son bajos. El acuífero fisurado volcánico Barroso inferior es el acuífero más importante de la cuenca (cerca del 85 % del total de las fuentes inventariadas proviene de este acuífero); además, se encuentra estrechamente relacionado con el acuífero volcánico-sedimentario Capillune, que constituye el sistema acuífero principal en la parte alta de la cuenca.

En sectores donde el acuífero se encuentra totalmente fracturado y tiene contacto con materiales cuaternarios, se generan surgencias que se observan a manera de bofedales poco profundos (fotografías 5.13 y 5.14).


Cuenca del río Tambo
Cuenca del río Honda
Cuenca del río Locumba
Cuenca del río Ilo-Moquegua
MOQUEGUA
Mina Cuajone
Mina Quellaveco
Torata
AFV-ba
AFS-pu
OCÉANO PACÍFICO
LEYENDA
Acuífero fisurado sedimentario
Acuífero fisurado volcánico
SÍMBOLOS
Capital de región
Capital de distrito
Localidad
Carretera asfaltada
Carretera afirmada
Trocha carrozable
Vía no afirmada
Océano pacífico
Volcán antiguo
Cauce permanente
Cauce intermitente
Cauce efímero
Mina activa
Ciudad
Cuenca o intercuenca
Cuenca del río Ilo-Moquegua
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA (13172)
MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ACUIFEROS FISURADOS
Versión digital: Año 2015
Escala 1:600 000
Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 19 Sur
Figura 5.4

Fotografía 5.13 Acuífero Barroso inferior, nótese la surgencia procedente del acuífero fisurado volcánico, la cual forma bofedales en la parte baja.

Fotografía 5.14 Afloramiento de rocas volcánicas del acuífero Barroso inferior, en los alrededores de Titijones (parte alta de la cuenca del río Ilo-Moquegua). Nótese el estado de fracturamiento de las rocas.

Acuíferos fisurados sedimentarios

En la cuenca del río Ilo-Moquegua solo se clasificó a una formación geológica como acuífero fisurado sedimentario. La antigüedad de estas rocas (Caloviano) y la influencia tectónica que tuvo sobre él hizo que aflorara la Formación Puente en los alrededores de la unión de las quebradas Guaneros y Osmore. A pesar de encontrarse restringido en las laderas de este sector y ser de pequeña extensión, las rocas sedimentarias se encuentran altamente fracturadas y afectadas por un sistema complejo de fallas inversas y locales. Por las propiedades de porosidad primaria, más la porosidad secundaria adquirida, se ha determinado a esta formación geológica como acuífero sedimentario, aunque tal vez sea de bajo rendimiento y sin evidencia de agua subterránea.

Acuífero fisurado sedimentario Puente

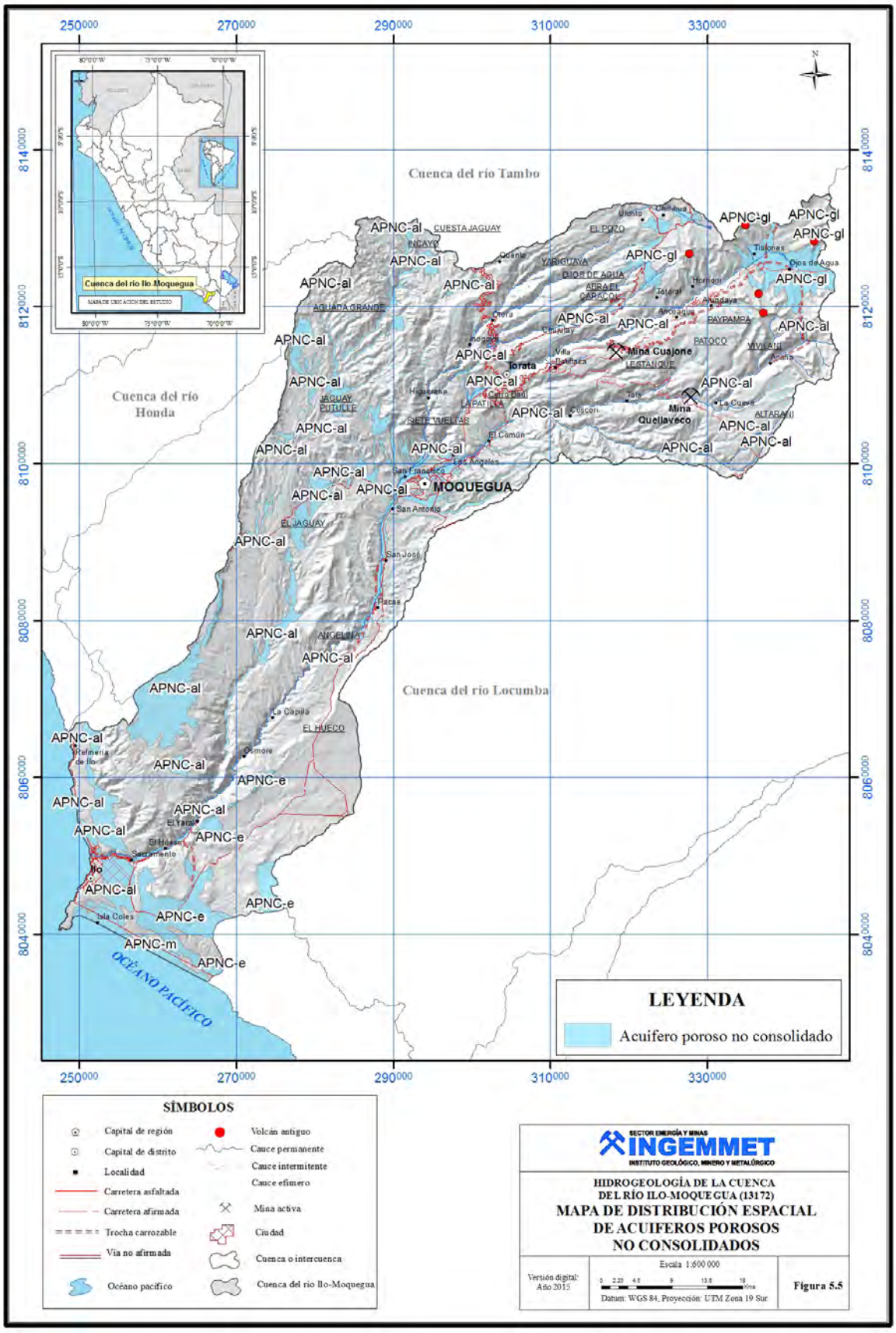
En los alrededores del cerro Osmore, en la quebrada Guaneros y en el sector Bronce (a 4 km aproximadamente al noreste de Osmore Chico), afloran rocas de la parte basal e inferior de la Formación Puente, con un espesor de 200 m. La base de esta secuencia está conformada por conglomerados con clastos volcánicos, en matriz abundante de limolitas, seguido en contacto concordante por areniscas de grano medio a fino, e intercalado con delgados niveles de limolita. Estos estratos tienen espesores de entre 10 y 5 cm, con laminación paralela y, ocasionalmente, intercalados con delgados niveles de sílice. Hacia el techo, las secuencias se vuelven cada vez más finas, con presencia de delgados niveles de arenisca de grano fino de color negro en bancos de 1 a 3 cm de espesor, con laminación paralela; en ocasiones, se aprecian pequeños *slumps.* La antigüedad de estas rocas y su grado de compactación influyen en las características de porosidad y permeabilidad, así como la actividad tectónica ocurrida para esta formación geológica, que produjo muchas fallas y fracturas. La ubicación de este acuífero dentro de la cuenca no permite su recarga o alimentación por la lluvia (Figura 5.4); no obstante, con un estudio hidrogeológico detallado, se puede emplear con otros fines. En este sector, se clasificó esta formación como acuífero fisurado sedimentario por el grado de fracturamiento que tienen estas rocas, lo que aumenta sus condiciones de porosidad y conductividad hidráulica (en areniscas debe ser mayor a 20 % y 100 m/d, respectivamente (Gregory y Walling, 1985).

5.3.3 Acuíferos porosos no consolidados

Dentro de esta clasificación, se consideró a los materiales que se encuentran rellenando los valles (fotografías 5.15 y 5.16), los depositados en altiplanicies, los materiales de la planicie costanera y los depósitos marinos (Figura 5.5). Son formaciones detríticas, no consolidadas, porosas y permeables, compuestas en su gran mayoría por depósitos recientes. En los depósitos fluviales y aluviales, la litología predominante son gravas (de redondeada a subredondeada, y de angulosa a subangulosa) y arenas; las que, por sus propiedades permeables, facilitan la libre circulación y almacenamiento de aguas subterráneas en su interior. En estos depósitos también se encuentran sedimentos finos, a manera de horizontes limo arcillosos y esporádicos bancos de arcilla.

Fotografía 5.15 Acuífero poroso no consolidado del piso del valle Moquegua, en los alrededores de la ciudad del mismo nombre.

Fotografía 5.16 Acuífero poroso no consolidado del piso de valle de Ilo, sector de Loreto viejo.


Cuenca del río Tambo
Cuenca del río Honda
Cuenca del río Locumba
Cuenca del río Ilo Moquegua
MOQUEGUA
Mina Cuajone
Mina Quellaveco
OCÉANO PACÍFICO
LEYENDA
Acuífero poroso no consolidado
SÍMBOLOS
Capital de región
Capital de distrito
Localidad
Carretera asfaltada
Carretera afirmada
Trocha carrozable
Vía no afirmada
Océano pacífico
Volcán antiguo
Cauce permanente
Cauce intermitente
Cauce efímero
Mina activa
Ciudad
Cuenca o intercuenca
Cuenca del río Ilo-Moquegua
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA (13172)
MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ACUÍFEROS POROSOS NO CONSOLIDADOS
Versión digital: Año 2015
Escala 1:600 000
Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 19 Sur
Figura 5.5

En la cuenca del río Ilo-Moquegua, los acuíferos porosos no consolidados más importantes se encuentran en los valles de Moquegua (tipo aluvial) e Ilo (tipo fluvial), y tienen gran extensión y productividad elevada (fotografías 17 y 18). En los últimos años, como producto de la presencia de las aguas de trasvase del proyecto Tambo Grande, la explotación de aguas subterráneas de estos acuíferos (pozos verticales) ha disminuido considerablemente. Y muchos pozos, al dejar de funcionar como fuente de abastecimiento, han quedado abandonados y no se han cerrado correctamente, lo cual constituye el ingreso potencial de agentes contaminantes que podrían degradar la calidad del agua subterránea. También, se encuentran menores extensiones de acuíferos porosos no consolidados aluviales, de forma aislada y reducida; distribuidas en toda la cuenca y caracterizadas como de escaso interés hidrogeológico.

El informe de Inrena (2004) menciona las características más relevantes de los acuíferos porosos no consolidados, de Moquegua e Ilo.

Fotografía 5.17 Pozo tubular IRHS-70, ubicado en el acuífero poroso no consolidado del valle de Ilo, sector de El Yaral.

Fotografía 5.18 Vista de materiales glaciares en la pampa Titijones. Nótese el relleno no consolidado.

En los acuíferos porosos no consolidados de Moquegua e Ilo, se han inventariado 173 pozos; de los cuales, 139 son a tajo abierto (80.35 %), 31 tubulares (17.92 %) y 3 mixtos (1.73 %) (Inrena, 2004). De igual modo, del total de pozos inventariados, 32 son utilizados; 89, utilizables, y 52, no utilizables. Además, en el mismo estudio se registraron 37 manantiales, de los cuales 23 se encontraban usados con fines agrícolas (12) y domésticos. El volumen total explotado del recurso hídrico subterráneo fue de 2 276 453.30 m^3 (caudal continuo de explotación de 0.07 m^3/s), volumen del que 1 683 275.60 m^3 fue producto de la descarga de manantiales y 593 177.70 m^3, de pozos (Inrena, 2004). De la masa total de agua explotada, el mayor porcentaje ha sido utilizado en la agricultura: 2 058 465.80 m^3 (90.42 %), solo el 9.58 % para uso doméstico (217 990.90 m^3). Moquegua es el distrito donde se explota el mayor volumen de agua del acuífero (1 936 718.80 m^3). Se ejecutaron 18 pruebas de bombeo para determinar la conductividad hidráulica (K), transmisibilidad (T) y coeficiente de almacenamiento (s %); los resultados obtenidos de 2 zonas (Zona I: Samegua-Moquegua; y Zona II: El Algarrobal-Pacocha-Ilo) se muestran en el Cuadro 5.11. Las reservas totales de agua almacenada en los acuíferos porosos Moquegua e Ilo, para el 2003, fue de 25 755 585.20 m^3 (25.75 MMC); de los cuales 20 699 409 m^3 (20.69 MMC) corresponde a Moquegua y 5 086 176 m^3, a Ilo (5.09 MMC) (Inrena, 2004).

Cuadro 5.10

Clasificación de las unidades hidrogeológicas en la cuenca del río Ilo-Moquegua

Zona	Parámetros hidráulicos	Variación de los valores
I	T (m^2/s)	0.06×10^{-2} a 24.70×10^{-2}
	K (m/s)	0.15×10^{-4} a 24.00×10^{-4}
	S (%)	1.36 a 3.63
II	T (m^2/s)	0.06×10^{-2} a 1.83×10^{-2}
	K (m/s)	0.84×10^{-4} a 28.68×10^{-4}
	S (%)	2.75 a 3.00

Fuente: Inrena, 2004

En las campañas de campo del Ingemmet, también se observó otros materiales porosos no consolidados, con capacidad de almacenar y transmitir aguas subterráneas. Los acuíferos porosos no consolidados glaciares, en la parte alta de la cuenca, son generalmente de poca extensión. Están compuestas generalmente de gravas en matriz arenoarcillosa, encontrándose algunos manantiales de bajo caudal. En la pampa Titijones, los depósitos glaciares actúan como lugar de recarga, lo que constituye un acuífero localizado.

Los acuíferos que se ubican en la Planicie costera son del tipo eólico. Desde el punto de vista litológico, están constituidos por arenas eólicas sueltas (Fotografía 5.19), gravas subredondeadas y arenas. No obstante, en estos sectores no se evidenció la presencia de aguas subterráneas. Aunque presentan buenas condiciones de porosidad y permeabilidad, estos materiales son de escaso interés hidrogeológico porque no tienen una fuente de recarga y son de dimensión reducida.

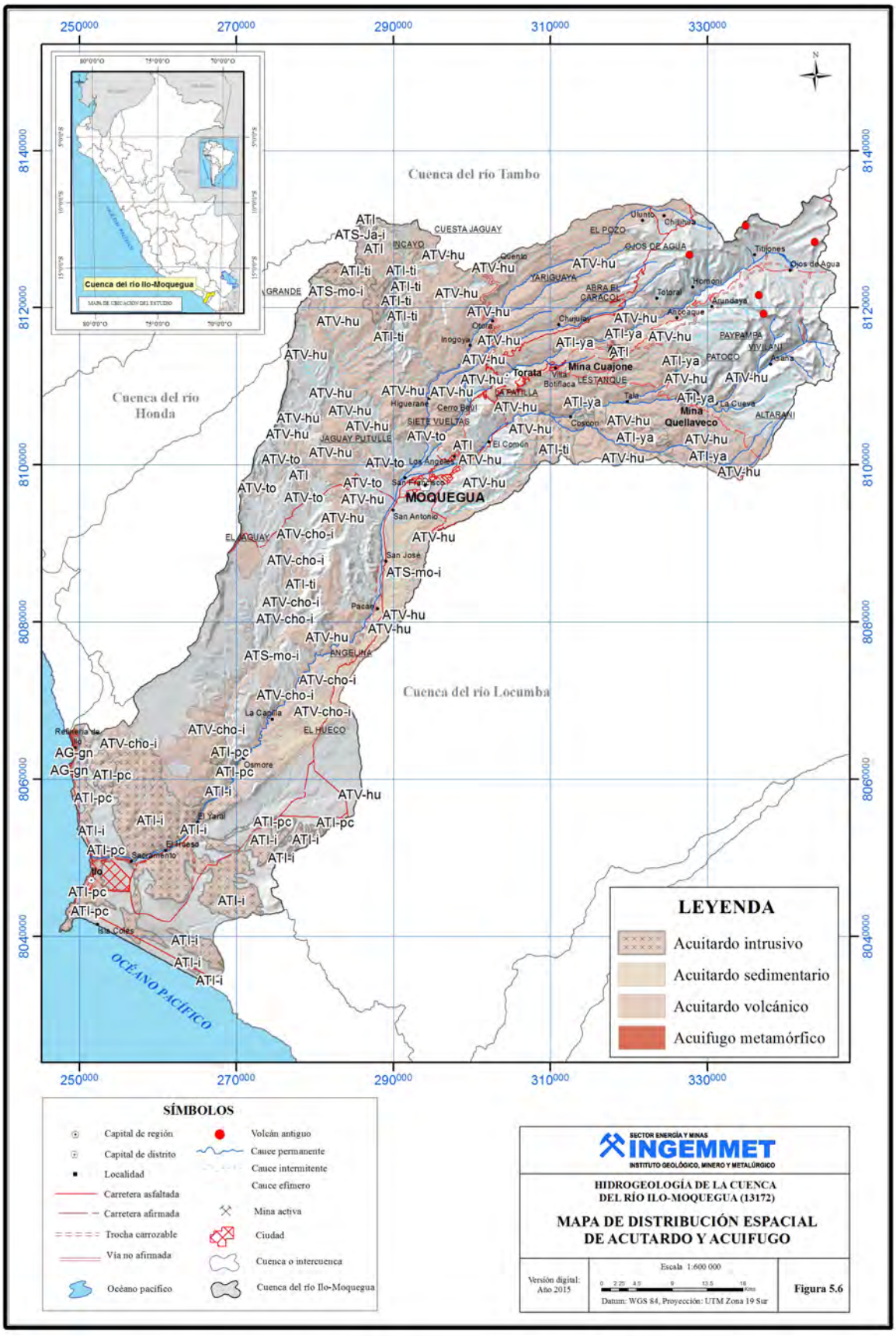
El acuífero poroso no consolidado marino se encuentra en el litoral, en los alrededores de las playas Pozo de Lisas y el aeropuerto de Ilo (arenas, coquina y conglomerados). Presenta una dirección preferente noroeste-sureste y ausencia de recarga directa.

Fotografía 5.19 Depósitos eólicos altamente permeables, en las inmediaciones de Pampas Salinas.

5.4 ACUITARDOS

Son formaciones geológicas que tienen la capacidad de almacenar aguas subterráneas, pero que las transmiten muy lentamente; hidrológicamente, son materiales improductivos y semipermeables. En la cuenca del río Ilo-Moquegua, los acuitardos cubren mayor extensión superficial, y se ubican principalmente en la parte central de la cuenca (Figura 5.6). En general, comprenden rocas ígneas (acuitardos intrusivos y volcánicos) y rocas sedimentarias antiguas y compactas, o con gran contenido de materiales finos.

Algunos materiales intrusivos se encuentran fracturados en la parte superficial, producto del intemperismo y el tectonismo de la zona. En estos materiales, la única forma de circulación que tiene el agua subterránea es a través de fallas o fracturas regionales, las que podrían generar considerables descargas localizadas de agua subterránea.


Cuenca del río Tambo
Cuenca del río Honda
Cuenca del río Locumba
Cuenca del río Ilo-Moquegua
MOQUEGUA
OCÉANO PACÍFICO
LEYENDA
Acuitardo intrusivo
Acuitardo sedimentario
Acuitardo volcánico
Acuífugo metamórfico
SÍMBOLOS
Capital de región
Capital de distrito
Localidad
Carretera asfaltada
Carretera afirmada
Trocha carrozable
Vía no afirmada
Océano pacífico
Volcán antiguo
Cauce permanente
Cauce intermitente
Cauce efímero
Mina activa
Ciudad
Cuenca o intercuenca
Cuenca del río Ilo-Moquegua
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA (13172)
MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ACUTARDO Y ACUÍFUGO
Versión digital: Año 2015
Escala 1:600 000
Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 19 Sur
Figura 5.6

De acuerdo con la amplia exposición de acuitardos en la cuenca del río Ilo-Moquegua, se diferenció en:

- Acuitardos intrusivos
- Acuitardos volcánicos
- Acuitardos sedimentarios

5.4.1 Acuitardos intrusivos

Los acuitardos intrusivos corresponden a las superunidades Punta Coles, Ilo, Tiabaya y Yarabamba, y los intrusivos menores que afloran a lo largo de toda la cuenca. Desde el punto de vista litológico, están compuestos por gabros, gabrodioritas, dioritas, granodioritas, monzonita, monzogranitos, sienogranitos, brechas y diques. Se extienden principalmente en dos sectores: en la Cordillera de la Costa y en los alrededores de los sistemas de fallas Cincha-Lluta-Incapuquio, de orientación NE-SO. En esta última zona en particular, la actividad tectónica condicionó el emplazamiento de las unidades intrusivas y también la mineralización de las minas Cuajone y Quellaveco.

Superficialmente, estas unidades se encuentran fracturadas y en ocasiones intemperizadas, lo cual genera el incremento de porosidad secundaria. Sin embargo, esto se desarrolla de manera superficial, ya que a mayor profundidad tiende a ser masivo y compacto (van reduciendose). Los valores de porosidad y conductividad hidráulica usual varían de 0.01 a 1 %, y de 10^{-9} a 10^{-5} m/d, respectivamente (Sanders, 1998), lo cual limita mucho las posibilidades de almacenar y transmitir aguas subterráneas. Por ello, son de escaso interés hidrogeológico.

Por sus fracturas y sus características de semipermeables a impermeables, se clasificó a estas rocas como acuitardos intrusivos (Figura 5.6).

5.4.2 Acuitardos volcánicos

Estos materiales también cubren gran parte de la cuenca (40 %, aproximadamente) y se ubican generalmente desde Osmore hasta Arundaya. La constituyen básicamente dos tipos de materiales volcánicos: flujos de lavas y depósitos piroclásticos, correspondientes a las formaciones Chocolate, Huaylillas, Toquepala y Quellaveco.

Acuitardo volcánico Chocolate

Se extiende en los alrededores de la parte baja de la quebrada Guaneros y en el tramo comprendido entre la parte baja del piso del valle de Moquegua hasta Osmore (Figura 5.6). Desde el punto de vista litológico, está constituido por lavas andesíticas de color verdoso o chocolate; ocasionalmente, se encuentran bancos de dacita gris clara con estructura amigdaloide, y la parte superior de esta sección presenta calizas grises claro que forman bancos de hasta 8 m de espesor. El volcánico Chocolate se presenta atravesado por numerosos diques de granodiorita y dacita hasta de 4 m de espesor, así como también por diabasa de 1 a 2 m y por vetillas de hematita; las que, al oxidarse, le dan una coloración rojiza a la formación. La naturaleza de estas rocas volcánicas es de aspecto lávico compacto y denso, escasamente fracturado, lo que hace que estas rocas presenten de baja a nula permeabilidad y moderada porosidad. El valor de conductividad hidráulica obtenida a través del ensayo de infiltración en MOQ-04 es 0.12910 m/d, correspondiente a niveles superficiales meteorizadas. En general, la Formación Chocolate es de escaso interés hidrogeológico por su naturaleza impermeable.

Acuitardo volcánico Toquepala

Se considera a esta formación como la acumulación de rocas producidas en la parte intermedia de la evolución del arco volcánico Toquepala. En la cuenca el río Ilo-Moquegua, es de extensión reducida, aflora como una delgada franja en los cerros Los Ángeles (Fotografía 5.20) y Huaracane, y tiene forma irregular en el cerro Trapiche y pampa Guaneros (Figura 5.6). La base de la formación no está expuesta. La secuencia inferior contiene brechas y derrames de riolitas y andesitas color gris oscuro y de tonalidades verdosas por alteración. Estos flujos se presentan en bancos gruesos entre 3 y 5 m, conformando un espesor total calculado en 350 m. La naturaleza compacta de las brechas no tiene condiciones para el almacenamiento ni circulación de aguas subterráneas. El movimiento y almacenamiento de aguas solo es posible a través de grandes fallas y fracturas (principalmente, en zonas con mayor densidad). Por el área reducida de afloramiento, condiciones de precipitación, características compactas y poco fracturadas en general, se clasifica a esta formación como acuitardo volcánico.

Los sedimentos irrumpen con canales conglomerádicos, arcosas y limolitas de colores rojos y negros. Estos sedimentos tienen un espesor aproximado de 25 m y son continuos a gran distancia, entre los poblados de Inogoya y Paralaque.

Acuitardo volcánico Quellaveco

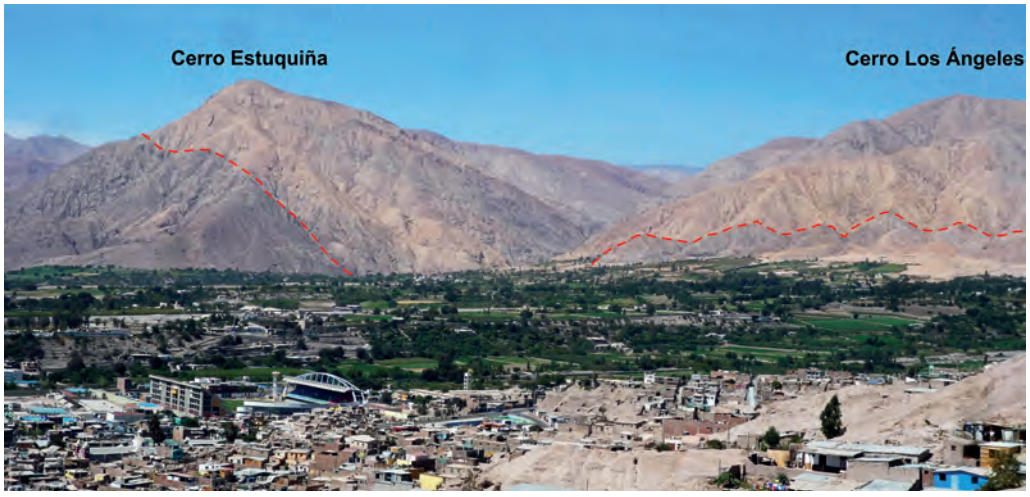
Corresponde a la parte superior del Grupo Toquepala. Sus afloramientos se encuentran corcodante sobre la Formación Toquepala (Fotografía 5.20) y están distribuidos de distintas formas. Se encuentran, de manera irregular, en los sectores de la quebrada Guaneros y Los Calatos y, de forma continua, en los alrededores de los cerros Colana, ríos Cuellar, Torata-Cuajone, así como las quebradas Cocotea, Charaque y Carbonera (Figura 5.6). La Formación Quellaveco constituye la base sobre la cual se depositaron los sedimentos de la Formación Moquegua y las ignimbritas de la Formación Huaylillas.

Estructuralmente, se encuentra afectado por numerosas fallas

que pertenecen a los sistemas Cincha-Lluta-Incapuquio y al de falla de dirección NE-SO. Está conformada en la parte basal por conglomerado volcánico, compuesto de rodados de 1 a 10 cm de diámetro y en matriz arenotobácea (25 a 30 m de potencia). Sobre este conglomerado, se distinguen 40 m de toba andesítico verdoso, compacto, de aspecto brechoide y estratificado en bancos gruesos, a los cuales se sobreponen derrames de andesitas porfiríticas de color verde (en bancos de, aproximadamente, 5 m o más de espesor). De esta sucesión, los derrames volcánicos de la parte superior pueden ser de interés hidrogeológico, ya que las tobas y conglomerados son de naturaleza semipermeable a impermeable. Es conveniente realizar ensayos de permeabilidad a profundidades mayores en los pozos existentes y en los que pertenecen a las minas Cuajone y Quellaveco.

Entre la vertiente oeste de la Cordillera Occidental y la parte superior de la quebrada Guaneros, los afloramientos de la Formación Quellaveco varían en cuanto a la cantidad de elementos líticos que contienen sus diversos eventos volcánicos. Estos se encuentran respetando siempre la dirección de flujos volcánicos, que por lo general va de noreste a suroeste.

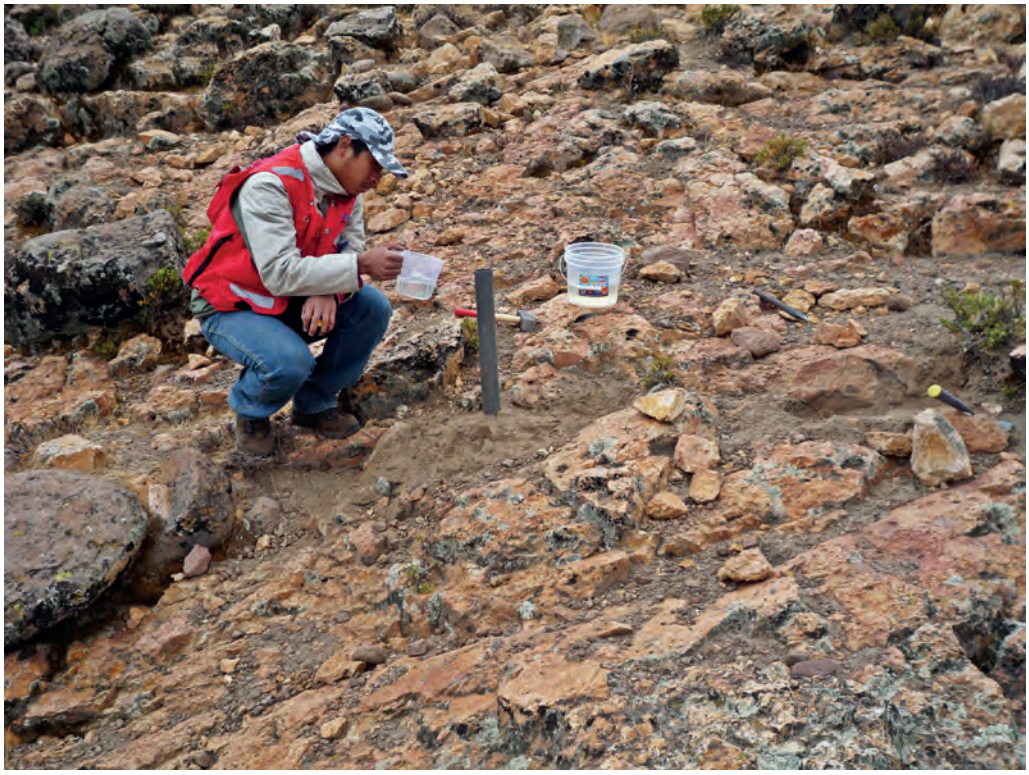
Los depósitos son de gran interés, dado que la interpretación hidrogeológica presentada alude a que el posible flujo de agua subterránea tendría también esta dirección (noreste a suroeste), influenciado por las fallas y fracturas locales que, finalmente, permitirían la formación de algunos conductos más permeables. Al igual que el acuitardo Toquepala, la circulación y almacenamiento importante de agua en esta formación solo sería posible por medio de grandes fallas y fracturas, por lo cual se clasificó como acuitardo.



Fotografía 5.20 Afloramientos de las rocas del Grupo Toquepala, en los alrededores de Moquegua. Separadas por líneas discontinuas rojas y en las partes bajas de ambos cerros, se observan, en tono gris oscuro, rocas de la Formación Toquepala y, en tono rosado claro, rocas de la Formación Quellaveco.

Acuitardo volcánico Huaylillas

Esta unidad hidrogeológica se presenta en horizontes, a manera de una capa compuesta de ignimbritas de variable potencia. Se extiende en la parte alta cubriendo los afloramientos de la Formación Quellaveco; mientras que, hacia el piso de valle de Moquegua, cubre los sedimentos del Grupo Moquegua (Figura 5.6). Las ignimbritas (rocas volcánicas) fundamentalmente están conformadas por tobas dacíticos y riolíticos de colores blanco grisáceo, gris blanquecino y rosado. Estas rocas superficialmente intemperizan originando una arena gruesa, y destacan notablemente en el paisaje por el color que tienen y por sus farallones verticales, que se forman por erosión en el contorno de sus afloramientos. La textura y consistencia de la roca varía, desde la toba de grano grueso, poroso, relativamente blando friable, hasta las facies de toba compacto y macizo con apariencia de derrames (Fotografía 5.21); presenta un amplio valor de porosidad y permeabilidad. En general, se observó la predominancia de tobas compactas y macizas (soldadas), y se calculó una conductividad hidráulica de $4.268x10^{-2}$ m/d en superficie (MOQ-07). También, se percibió que esta unidad hidrogeológica actúa como un límite impermeable a semipermeable, condicionando la mayor parte de las surgencias naturales ubicadas por encima de esta unidad. Los valores pequeños de conductividad hidráulica, calculados por distintos autores, y porosidad baja (14 %; en Benítez, 1972) reflejan el escaso interés hidrogeológico de esta unidad, clasificada como acuitardo volcánico.



Fotografía 5.21 Tobas soldadas del acuitardo Huaylillas, compacta e impermeable.

5.4.3 Acuitardos sedimentarios

Los acuitardos sedimentarios se encuentran en 3 sectores marcados y constituyen materiales con gran cantidad de niveles finos (lutitas, limolitas, arcillas). Otra característica es que en la parte basal están compuestos por conglomerados compactos y, en algunos casos, las capas de posible interés, como areniscas feldespáticas, tienen matriz limosa, lo cual lo hace menos permeable. Los acuitardos sedimentarios Ambo, Moquegua inferior y Jaguay inferior conforman este grupo.

Acuitardo sedimentario Ambo

En los alrededores de los cerros Cuchillas, Boca de Quebrada y localidad Hernández (cerca de la intersección de la quebrada Guaneros y río Osmore), aflora un grupo de rocas donde no se observa la relación de la base, las cuales Sempere (2012) considera pertenecientes al Grupo Ambo (Figura 5.6). Desde el punto de vista litológico, está constituido por una base conglomerádica erosiva de clastos subredondeados a subangulosos de material gnéisico y de granito pegmatítico (en promedio, 8, y, máximo, 30 cm), que se encuentran mal distribuidos y en una escasa matriz arcósica de grano muy grueso. Los afloramientos en la quebrada Osmore son generalmente limolitas, de color gris verdoso a negro, fuertemente silicificadas, y abarcan la mayor parte de la formación. Debajo de las limolitas, yace una arenisca fina gris oscura, con algunas intercalaciones de lutita negra y ocasionales bancos de cuarcita. Hidrogeológicamente, estas rocas no son de interés, ya que constituyen rocas poco permeables de grano fino, compacto, con esporádicas capas de arenisca.

Acuitardo sedimentario Moquegua inferior

Los afloramientos de estas rocas se hallan en los alrededores del piso del valle de Moquegua; coincidentemente, por debajo de la intersección de la carretera Panamericana Sur con el desvío hacia Moquegua (localidad Montalvo); desde la parte baja de la cuenca del río Ilo-Moquegua hasta el sector El Hueco; y cerca de la carretera Panamericana Sur y rumbo al desvío Ilo-Tacna (Figura 5.6). La Formación Moquegua inferior está integrada por los sedimentos que se hallan esencialmente en la parte media de la cuenca sedimentaria Moquegua. Estos, por lo general, se caracterizan por estar constituidos, en la base, por areniscas arcósicas con matriz limolítica roja, y presentan intercalaciones de limolitas color rojo y paquetes potentes de arcillas rojas bien estratificadas. En muchos sectores de la parte central de la cuenca del río Moquegua (entre Osmore y la Hacienda Biondi), estos sedimentos se encuentran entremezclados con niveles de yeso.

En ciertos lugares, la base está constituida por un conglomerado con clastos pequeños, matriz arenosa regularmente compacta, interestratificada, con arcosas de grano grueso a medio y de color rojo ladrillo. Se calculó una conductividad hidráulica de $9.735x10^{-2}$ m/d en material limoarcilloso (MOQ-05); las arcillas presentan aún menor permeabilidad. La predominancia de materiales finos conlleva a que el almacenamiento y circulación de aguas subterráneas sea mucho menor. Se considera a esta unidad hidrogeológica como acuitardo.

Acuitardo sedimentario Jaguay inferior

Se encuentra restringido en los alrededores del sector de Incayo y cerro Los Calatos, de manera irregular y de extensión local, sobreyace a los volcánicos Quellaveco y está cubierto por las ignimbritas de la Formación Huaylillas (Figura 5.6). También, existe un área aislada en la quebrada Astrune a 2 km, aproximadamente, al suroeste de la localidad de Quento. Litológicamente, está conformada por areniscas de grano medio a grueso, en una matriz ligeramente tobácea. Los niveles medios están constituidos por arcillas (50 m) con intercalaciones de capas de yeso de hasta 30 cm. De igual forma, la gran cantidad de material arcilloso y su reducida extensión originan que se clasifique como acuitardo sedimentario, de escaso interés hidrogeológico.

5.5 ACUÍFUGOS

5.5.1 Acuífugo basamento metamórfico de Arequipa

Se ubica en los alrededores de la refinería de Ilo (Figura 5.6) y está asociado con intrusivos de granitos alcalinos rojos y dioritas gnéisicas que afloran en el área de Atico, que también se conoce en otros lugares de la costa sur del Perú. Bellido y Guevara (1963) sostienen que las rocas en el área corresponden a gneis macizo, pero con bandeamiento definido y con alternancia de colores oscuros y claros. El ancho de las bandas es irregular y varía de fino a grueso. Las bandas gris oscuro tienen de pocos milímetros a 3 cm de ancho, y se componen de granos pequeños de cuarzo, feldespatos y ferromagnesianos. Las bandas rosadas incluyen ortosa y cuarzo, son muy irregulares, y es fácil observar en ellas agregados redondeados o lenticulares de ortosa diseminados en la roca y de regulares dimensiones, lo que da la impresión de un gneis augen. Hidrogeológicamente, no es de interés, puesto que es compacto y macizo, y no muestra condiciones de almacenamiento ni circulación de agua subterránea.

CAPÍTULO VI
HIDROQUÍMICA

Las aguas subterráneas cuando afloran a superficie de una manera natural (manantial, fuente termal, etc.) o de una manera artificial (pozo, piezómetro, sondaje, drenaje, etc.) procedente de un acuífero, presentan características químicas que representan la interacciones agua-roca que tuvo en el subsuelo. El tiempo de residencia y la distancia de su recorrido interno de flujo subterráneo caracterizan la familia hidroquímica de agua a la que pertenece. A partir de ello, y con el conocimiento hidrogeológico, litológico y estructural que tienen las formaciones geológicas, se puede interpretar su recorrido y procedencia (de origen por precipitación, agua superficial, infiltración, contaminación, etc.).

Las características químicas del agua subterránea, considerando que sea de origen meteórico (FCIHS, 2009), se adquiere en principio desde las características químicas de las masas de agua de mar al momento de la evaporación, la atmósfera por el cual las nubes hicieron su recorrido hasta la precipitación, y finalmente al momento de su paso por la zona no saturada del subsuelo. En ese instante, durante la infiltración, el agua tiene una característica química definida, que luego de su ingreso y paso por el acuífero (ya como agua subterránea) puede verse modificada por distintos procesos (disolución, precipitación, intercambio iónico, mezclas por ejemplo con agua superficial, etc.) que, como se mencionó anteriormente, se evidencia en el manantial o pozo. Sin embargo, las características químicas (sobre todo de elementos trazas) pueden verse modificadas desde el momento de la infiltración y en el acuífero, de forma temporal o permanente, como sucede por ejemplo en el caso de contaminación, ya sea de modo natural o antrópico, siendo este último insospechado.

Los manantiales —comúnmente llamados en el Perú como “manantes”, “ojos de agua” o “puquios” (este último del idioma quechua)—, así como los pozos y sondeos, representan los diferentes tipos de fuentes de agua subterránea que se han inventariado en la cuenca del río Ilo-Moquegua. A partir de esta información, mediciones de parámetros del agua *in situ* y los resultados químicos obtenidos de laboratorio, se desarrolla el presente capítulo.

6.1 MUESTREO Y DETERMINACIONES DE CAMPO

Durante las 3 campañas de campo realizadas por el Ingemmet, se realizó el inventario de un total de 121 fuentes, de las cuales 34 se muestrearon de una manera puntual, no sistemática (24 manantiales, 2 manantiales captados, 5 pozos y 3 puntos de control, cuadro 6.1); teniendo en cuenta la distribución aleatoria de los manantiales, sus características hidráulicas y la litología. La mayoría de este muestreo corresponde a manantiales ubicados en la parte alta de la cuenca del río Ilo-Moquegua sobre los 3500 m s. n. m.

El análisis químico de 33 fuentes de aguas subterráneas fue realizado por iones mayoritarios (Ca, Na, Mg, K, HCO_3, CO_3, SO_4, Cl y NO_3) y metales disueltos (Fe, As, Pb, etc.) incidiendo en los metales pesados. El análisis de metales disueltos (usual en hidrogeología) refleja el contenido de los elementos en su estado iónico, representativo de la composición química del agua subterránea que adquiere durante su recorrido en el acuífero.

Los puntos de muestreo, sus análisis químicos y los parámetros físico-químicos medidos *in situ*, se presentan en el Anexo V.

Para conocer las características isotópicas de las fuentes de agua subterránea presentes en la cuenca del río Ilo-Moquegua, se tomaron 22 muestras en manantiales y pozos para ser analizados por isótopos ambientales (^{18}O y D).

Cuadro 6.1
Fuentes seleccionadas para el análisis químico e isotópico

N°	Nombre	Código	Tipo de fuente	Tipo de análisis			
				Cationes mayoritarios	Aniones mayoritarios	Metales disueltos	Isótopos (O-18 y D)
1	El Pacae (La Rinconada)	131725-001	MC	x	x	x	x
2	Surapatilla Grande	131726-001	M				x
3	Asana 3	131726-004	M	x	x	x	
4	Asana 8	131726-010	PC	x	x	x	
5	Chocamane 1	131726-020	M	x	x	x	
6	Chiquihure	131726-024	M	x	x	x	x
7	Charaque 1	131726-027	PC	x	x	x	
8	Altarani 5	131726-039	M	x	x	x	
9	El Común	131726-040	M	x	x	x	x
10	Buenavista	131726-042	M	x	x	x	x
11	Río Tumilaca 2	131726-043	PC	x	x	x	
12	Totoral	131726-044	P	x	x	x	x
13	Titijones	131728-003	M	x	x	x	x
14	Ojo de Agua	131728-006	M	x	x	x	x
15	Trinchera	131728-009	M	x	x	x	x
16	Totoral 2	131728-010	M	x	x	x	
17	Lagunita 1	131728-019	M	x	x	x	
18	Santos	131728-022	M	x	x	x	
19	Agua potable Arundaya	131728-023	MC	x	x	x	x
20	Laura	131728-029	M	x	x	x	x
21	Calera	131728-031	M	x	x	x	
22	Uyunto 1	131729-007	M	x	x	x	x
23	Chilligua 1	131729-008	M	x	x	x	x
24	Huertalla 2	131729-011	M	x	x	x	
25	Japu 1	131729-017	M	x	x	x	
26	Jaco 2	131729-019	M	x	x	x	x
27	Agua grande	131729-024	M	x	x	x	x
28	Caracol	131729-025	M	x	x	x	x
29	Ladera	131729-029	M	x	x	x	x
30	Huaracane 1	131729-036	M	x	x	x	x
31	Pozo Ilo 1	IRHS-001-ILO	P	x	x	x	x
32	Biondi	IRHS-001-MOQ	P	x	x	x	x
33	Algarrobal 1	IRHS-021	P	x	x	x	x
34	Algarrobal 2	IRHS-70	P	x	x	x	x

M = manantial, MC = manantial captado, P = pozo y PC = punto de control.

6.2 RESULTADOS DE ANÁLISIS

Los análisis químicos de aguas se realizaron en los laboratorios del Ingemmet e Inspectorate. Los análisis isotópicos de oxígeno 18 y deuterio se realizaron en el Laboratorio de Isótopos Ambientales del Departamento de Aplicaciones Nucleares de Chile. Los análisis, detalles, métodos y documentos adicionales se encuentran en el Anexo V del presente boletín.

6.2.1 Parámetros físico-químicos

Los parámetros físico-químicos de las fuentes de agua subterránea se recolectaron *in situ*, empleando equipos portátiles (multiparámetros y pHmetros) previamente calibrados de acuerdo con los manuales del fabricante. Para el presente estudio se recolectaron datos de temperatura del agua, conductividad eléctrica, total de sólidos disueltos y pH del agua.

El Cuadro 6.2 muestra los valores de los parámetros físico-químicos medidos *in situ* y que cuentan con resultados de laboratorio. Los resultados completos del trabajo de campo se encuentran en fichas de inventario de fuentes y en resultados de los laboratorios (Anexo V).

Cuadro 6.2
Valores de los parámetros físico-químicos de las fuentes inventariadas

N°	Nombre	Código	Tipo de fuente	Parámetros físico-químicos			
				T. Agua (°C)	PH	CE (µS/cm)	TDS (mg/l)
1	El Pacae (La Rinconada)	131725-001	MC	21.5	6.99	2598.0	1273.0
2	Surapatilla Grande	131726-001	M	4.0	8.28	46.8	23.0
3	Asana 3	131726-004	M	6.6	7.52	55.7	27.0
4	Asana 8	131726-010	PC	7.2	7.93	42.9	21.0
5	Chocamane 1	131726-020	M	13.6	7.40	901.0	447.0
6	Chiquihure	131726-024	M	12.6	8.05	221.3	108.0
7	Charaque 1	131726-027	PC	10.3	7.70	53.5	26.0
8	Altarani 5	131726-039	M	9.3	6.95	31.3	15.0
9	El Común	131726-040	M	19.7	6.95	454.0	223.0
10	Buenavista	131726-042	M	18.9	7.45	498.0	244.0
11	Río Tumilaca 2	131726-043	PC	18.6	7.90	3.0	146.0
12	Totoral	131726-044	P	21.8	6.81	696.0	341.0
13	Titijones	131728-003	M	16.5	7.92	71.3	35.0
14	Ojo de Agua	131728-006	M	9.2	8.01	70.7	35.0
15	Trinchera	131728-009	M	5.8	7.90	62.8	31.0
16	Totoral 2	131728-010	M	11.5	9.03	42.4	21.0
17	Lagunita 1	131728-019	M	11.8	8.27	62.8	31.0
18	Santos	131728-022	M	8.9	7.78	40.9	20.0
19	Agua potable Arundaya	131728-023	MC	17.0	7.10	343.0	168.0
20	Laura	131728-029	M	11.3	8.17	55.7	27.0
21	Calera	131728-031	M	8.4	7.35	97.8	48.0
22	Uyunto 1	131729-007	M	14.4	8.27	120.3	59.0
23	Chilligua 1	131729-008	M	7.2	8.63	87.3	43.0
24	Huertalla 2	131729-011	M	9.4	8.40	92.2	45.0
25	Japu 1	131729-017	M	7.1	6.75	93.1	46.0
26	Jaco 2	131729-019	M	9.2	7.37	79.2	39.0
27	Agua grande	131729-024	M	9.6	8.35	47.6	23.0
28	Caracol	131729-025	M	13.8	7.18	52.0	25.0
29	Ladera	131729-029	M	14.4	7.40	106.4	52.0
30	Huaracane 1	131729-036	M	21.3	6.82	752.0	368.0
31	Pozo Ilo 1	IRHS-001-ILO	P	22.0	6.95	2325.0	1139.0
32	Biondi	IRHS-001-MOQ	P	21.8	7.01	3470.0	1700.0
33	Algarrobal 1	IRHS-021	P	23.0	7.10	2012.0	986.0
34	Algarrobal 2	IRHS-70	P	23.8	7.10	2104.0	1031.0

M = manantial, MC = manantial captado, P = pozo y PC = punto de control

Temperatura del agua

La temperatura del agua subterránea normalmente es similar a la temperatura ambiente, que va disminuyendo con respecto al incremento de altitud (salvo si el agua subterránea tiene gran recorrido en profundidad o esté en contacto con una fuente de calor). Del Cuadro 6.2 diferenciamos dos grupos: el primero que corresponde a manantiales y puntos de control menores de 17 °C, y el segundo grupo conformado por manantiales, pozos, y puntos de control con temperaturas superiores a los 18 °C. Las temperaturas del primer grupo guardan relación al promedio de temperatura media anual del ambiente en la que se encuentra la fuente. El segundo grupo de fuentes con temperaturas superiores a 18 °C se debe a, en caso de los pozos, su ubicación geográfica en los pisos de valle, la naturaleza de recarga del acuífero (agua superficial y riego, principalmente), y el contacto con la intensidad solar directa (ya que los pozos no se encuentran cubiertos o cerrados, y el nivel freático está cerca de la superficie).

Para el caso de las temperaturas altas del manantial Huaracane 1, se observó en campo que se mezcla con agua superficial. Así mismo para el manantial El Pacae, la temperatura del agua se debe a que el nivel freático era muy alto (siendo superficial en la captación de este manantial), ubicándose en la zona de evapotranspiración del subsuelo donde la radiación solar tiene mayor incidencia.

La temperatura de las aguas subterráneas juega un papel importante y está en estrecha relación con los otros parámetros físico-químicos del agua. Mientras más elevada sea su temperatura y siga en circulación por el medio, el agua subterránea tendrá mayor efecto de disolución.

Conductividad eléctrica (CE)

Este parámetro físico-químico nos da idea de la capacidad del agua, al permitir el paso de la corriente eléctrica por este medio (Custodio & Llamas, 1996), reflejando de manera cualitativa la mayor o menor cantidad de sales disueltas y de iones que tenga el agua.

Los valores de conductividad eléctrica tienen relación directa con la temperatura (la CE aumenta 2% / °C al aumentar la temperatura), y se dan siempre en referencia a la temperatura de medición del agua in situ.

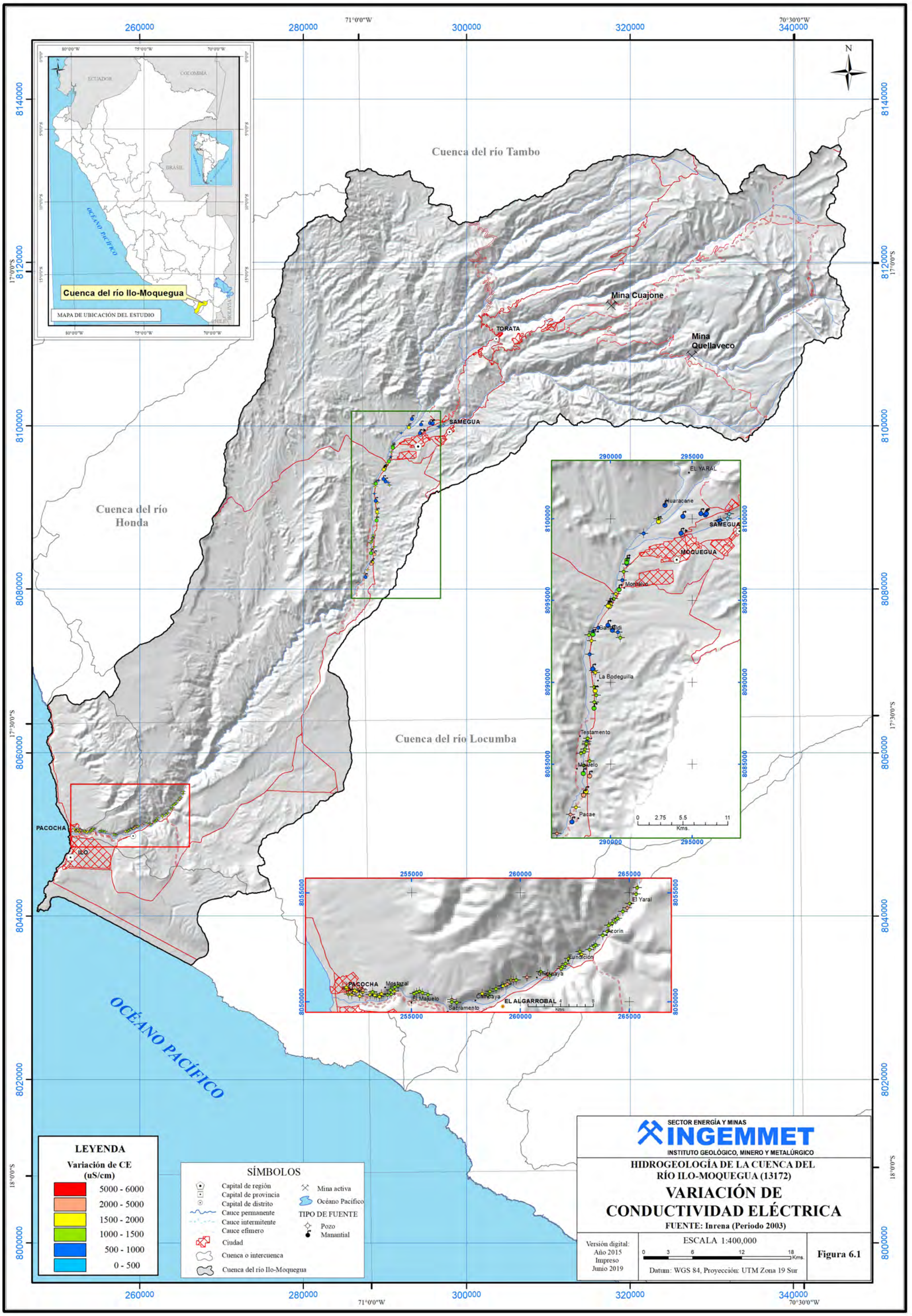
Los valores de conductividad eléctrica de las aguas subterráneas pueden modificarse durante el transcurso del tiempo, sobre todo en los acuíferos de piso de valle de Ilo y Moquegua (debido a la litología del acuífero, sobreexplotación, al tipo de recarga y a la actividad antrópica que se encuentra sobre ella). En los manantiales de la parte alta, en cambio, tienden a mantenerse con un mínimo de variación en los valores de este parámetro. A partir del 2003, y a través de un programa de monitoreo del Inrena, se recolectaron datos de conductividad eléctrica de los distintos pozos en los valles de Ilo y Moquegua, contándose con datos hasta el 2010.

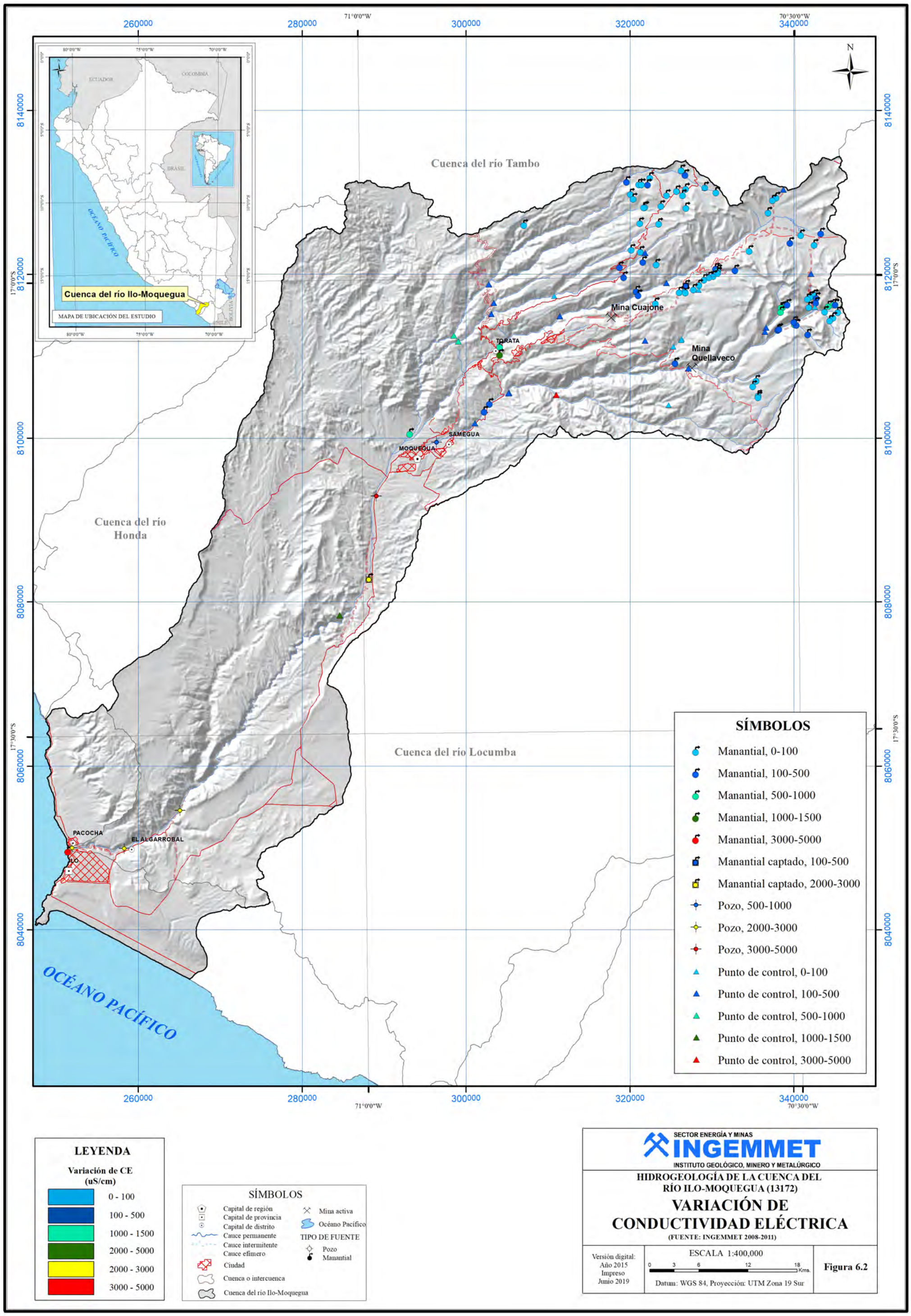
Como los datos recolectados de los últimos años son menores, se tomó el promedio de los datos de conductividad eléctrica del año 2003 para la elaboración de un mapa de variación de conductividad eléctrica en las aguas subterráneas de los valles de Moquegua e Ilo (Figura 6.1). Para ello, se categorizó con rangos acordes a la variabilidad de datos en los valles de Moquegua e Ilo (rangos arbitrarios, no se empleó ningún método estadístico) para poder diferenciarlos de mejor manera.

Para el valle de Moquegua se observa que existe un incremento de CE en aguas subterráneas y manantiales, desde la parte inicial del valle por el sector de Samegua hasta, cerca de El Pacae. Es así que, entre Samegua-Moquegua-Huaracane, las CE varían de 0 a 1000 uS/cm (de color celeste y azul); entre Moquegua-Montalvo-Garibaldi-La Bodeguilla, las aguas subterráneas tienen de 0 a 2000 uS/cm siendo frecuentes entre 1000 y 2000 uS/cm (de color verde claro y amarillo); entre La Bodeguilla-Testamento-Majuelo, las CE varían de 1000 a 1500 uS/cm (de color verde claro); y finalmente entre Majuelo-Pacae las CE son mucho más altas en el rango de 1500 a 5000 uS/cm (de color amarillo y melón, Figura 6.1).

En el valle de Ilo, se observa una predominancia de CE entre 1000 y 1500 uS/cm, con algunos sectores de 2000 a 5000 uS/cm (Figura 6.1). En el sector Yaral-Azorín-Fundición-Chaspaya la gran mayoría de los pozos tienen 1000 y 1500 uS/cm (de color verde claro); luego entre Chaspaya-Chiribaya ocurre un incremento de CE entre 2000-5000 (de color melón) decreciendo posteriormente a 1500 y 1000 uS/cm; entre Sacramento y Mostazal los valores de CE en aguas subterráneas se encuentran entre 1000 y 1500 uS/cm; finalmente en el Mostazal y Pacocha los valores se incrementan progresivamente pasando a 1500, 2000, 5000 hasta menor de 6000 uS/cm en los últimos pisos de valle (Figura 6.1). Los más altos valores se ubican en dos pozos, entre 5000 y 6000 uS/cm (de color rojo), el IRHS-7 (5500.0 uS/cm) e IRHS-12 (5400.0 uS/cm) del distrito de Pacocha.

Los valores de conductividad eléctrica de los trabajos de campo del Ingemmet se muestran en la Figura 6.2 (Mapa de variación de CE en las aguas subterráneas), en las cuales se recolectó información de manantiales, manantiales captados, pozos y puntos de control. Del mismo modo, se categorizó con rangos acordes a la variabilidad de datos en la cuenca (rangos arbitrarios, no se empleó ningún método estadístico) para poder diferenciarlos de mejor manera.


Cuenca del río Tambo
Cuenca del río Honda
Cuenca del río Locumba
Cuenca del río Ilo-Moquegua
MAPA DE UBICACIÓN DEL ESTUDIO
ECUADOR
COLOMBIA
BRASIL
CHILE
BOLIVIA
OCÉANO PACÍFICO
Mina Cuajone
Mina Quellaveco
TORATA
SAMEGUA
MOQUEGUA
PACOCHA
ILO
EL YARAL
Huaracane
Montalvo
La Bodeguilla
Testamento
Pacae
Mostazal
El Malueio
Chimpaya
Sacramento
EL ALGARROBAL
Fundición
Azorín
0 2.75 5.5 11 Kms.
0 3 6 12 18 Kms.
LEYENDA
Variación de CE (uS/cm)
5000 - 6000
2000 - 5000
1500 - 2000
1000 - 1500
500 - 1000
0 - 500
SÍMBOLOS
Capital de región
Capital de provincia
Capital de distrito
Cauce permanente
Cauce intermitente
Cauce efímero
Ciudad
Cuenca o intercuenca
Cuenca del río Ilo-Moquegua
Mina activa
Océano Pacífico
TIPO DE FUENTE
Pozo
Manantial
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA (13172)
VARIACIÓN DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA
FUENTE: Inrena (Periodo 2003)
Versión digital: Año 2015 Impreso Junio 2019
ESCALA 1:400,000
0 3 6 12 18 Kms.
Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 19 Sur
Figura 6.1


260000
280000
71°0'0"W
300000
320000
70°30'0"W
340000
8140000
8120000
8100000
8080000
8060000
8040000
17°0'0"S
17°30'0"S
N
Cuenca del río Tambo
Cuenca del río Honda
Cuenca del río Locumba
Mina Cuajone
Mina Quellaveco
TORATA
SAMEGUA
MOQUEGUA
PACOCHA
EL ALGARROBAL
ILO
OCÉANO PACÍFICO
ECUADOR
COLOMBIA
BRASIL
CHILE
BOLIVIA
Cuenca del río Ilo-Moquegua
MAPA DE UBICACIÓN DEL ESTUDIO
SÍMBOLOS
Manantial, 0-100
Manantial, 100-500
Manantial, 500-1000
Manantial, 1000-1500
Manantial, 3000-5000
Manantial captado, 100-500
Manantial captado, 2000-3000
Pozo, 500-1000
Pozo, 2000-3000
Pozo, 3000-5000
Punto de control, 0-100
Punto de control, 100-500
Punto de control, 500-1000
Punto de control, 1000-1500
Punto de control, 3000-5000
LEYENDA
Variación de CE (uS/cm)
0 - 100
100 - 500
1000 - 1500
2000 - 5000
2000 - 3000
3000 - 5000
SÍMBOLOS
Capital de región
Capital de provincia
Capital de distrito
Cauce permanente
Cauce intermitente
Cauce efímero
Ciudad
Cuenca o intercuenca
Cuenca del río Ilo-Moquegua
Mina activa
Océano Pacífico
TIPO DE FUENTE
Pozo
Manantial
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA (13172)
VARIACIÓN DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA
(FUENTE: INGEMMET 2008-2011)
Versión digital:
Año 2015
Impreso
Junio 2019
ESCALA 1:400,000
0 3 6 12 18 Kms.
Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 19 Sur
Figura 6.2

Se inventariaron surgencias de aguas subterráneas como manantiales (incluyendo los manantiales captados), pozos y puntos de control (medidos en aguas superficiales, zonas donde no se encontraron puntos fijos de surgencia). La mayoría de los valores de CE en la parte alta de la cuenca del río Ilo-Moquegua corresponde a manantiales, que como se aprecia tienen valores de hasta 1500.0 uS/cm (círculos de relleno celeste, azul y verde claro). Estos valores de conductividad eléctrica en manantiales (y manantiales captados) varían de 8.4 uS/cm (131729-001) a 1199.0 uS/cm (131728-034); los cuales pueden estar condicionados por su mayor o menor recorrido en el acuífero, su ubicación topográfica, la litología por donde circula el agua subterránea, el tipo de fuente y la actividad antrópica. No obstante, se identificaron 2 manantiales con mayor de 1500 uS/cm de conductividad eléctrica. El manantial captado El Pacae (131725-001: 2598.0 uS/cm), del cual interpretamos que su alto contenido de sales se debe a la infiltración de aguas de riego en el acuífero producto de la actividad agrícola, las que se mezclan con el agua subterránea. El manantial Puerto Ilo (13171-001: 4210.0 uS/cm) ubicada muy cerca al litoral, cuya surgencia podría estar condicionada por la zona de interfaz y la presencia de mezcla con el agua salada de mar que asciende cuando sube la marea.

Como se observa, no se encuentran manantiales con valores entre 1500 y 2000 uS/cm de conductividad eléctrica. Por otro lado, los pozos y manantiales (5 en total) de los pisos de valle de Moquegua e Ilo representan de manera puntual los valores de CE a lo largo de los pisos de valle (entre 2012.0 uS/cm en el pozo IRHS-021 y 3470.0 uS/cm en el IRHS-001-MOQ). Esto muestra que se encuentran cargadas de sales, sin que signifique que en todo el acuífero las aguas subterráneas presenten este rango de valores.

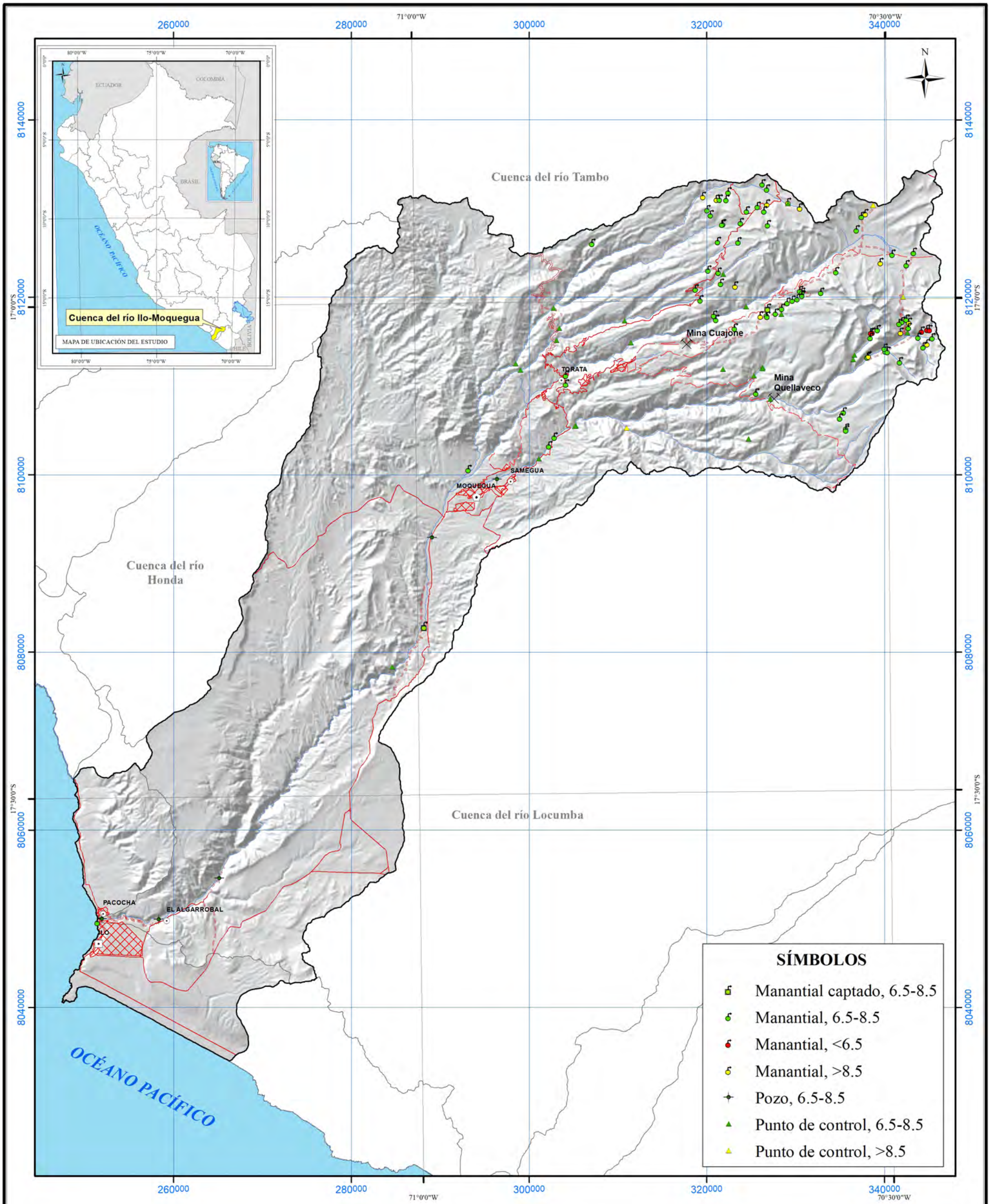
Sólidos totales disueltos (TDS)

Es el peso que tienen todas las sustancias disueltas presentes en el agua, sean volátiles o no. Se suele medir en ppm o mg/L. Este parámetro puede verse afectado por los cambios en el pH y la temperatura, que pueden producir disolución o precipitación de sales.

Los valores de TDS recolectados en campo se hicieron a través de la medición directa *(in situ)* con equipos portátiles (multiparámetros), obteniéndose valores que varían de 4.0 a 2062.0 mg/L en manantiales, de 341.0 a 1700.0 mg/L en pozos, y de 21.0 a 1791.0 mg/L en puntos de control. En general tienen relación con la conductividad eléctrica medida en campo.

pH

El pH del agua es una medida adimensional, que refleja el grado de acidez del agua. Matemáticamente es el inverso del logaritmo de la concentración de iones de hidrógeno. El pH del agua subterránea suele encontrarse entre 6.5 y 8 (Martínez et al., 2006), aunque en algunos casos puede ser más ácido o básico. Analizando el Cuadro 6.2, los valores de pH se caracterizan por variar entre 6.75 y 9.03, siendo de neutras a ligeramente alcalinas. Sin embargo, en el inventario de fuentes de aguas subterráneas (Figura 6.3, Cuadro 6.3 y Anexo V) se observaron 5 fuentes con pH ligeramente ácidos y ácidos. De estas, 3 están en la parte alta de la quebrada Asana (131726-006 con pH = 3.03, 131726-008 con pH = 5.90, y 131726-009 con pH = 4.21) y 2 en la quebrada Panturane (131726-011 con pH = 4.35 y 131726-013 con pH = 4.64); ambos cerca del sector de Asana. Esto se debe a que las partes altas de dichos sectores por donde se produce la recarga de agua subterránea están en contacto con material alterado/meteorizado, que produce la oxidación y descomposición de los minerales que constituyen las rocas, generando acidez en el agua.


260000
280000
71°0'0"W
300000
320000
70°30'0"W
340000
N
8140000
8120000
8100000
8080000
8060000
8040000
17°0'0"S
17°30'0"S
Cuenca del río Tambo
Cuenca del río Honda
Cuenca del río Locumba
Mina Cuajone
Mina Quellaveco
TORATA
SAMEGUA
MOQUEGUA
PACOCHA
EL ALGARROBAL
ILO
OCÉANO PACÍFICO
ECUADOR
COLOMBIA
BRASIL
BOLIVIA
CHILE
Cuenca del río Ilo-Moquegua
MAPA DE UBICACIÓN DEL ESTUDIO
SÍMBOLOS
Manantial captado, 6.5-8.5
Manantial, 6.5-8.5
Manantial, <6.5
Manantial, >8.5
Pozo, 6.5-8.5
Punto de control, 6.5-8.5
Punto de control, >8.5
LEYENDA
Variación de pH
> 8.5
6.5 - 8.5
< 6.5
SÍMBOLOS
Capital de región
Capital de provincia
Capital de distrito
Cauce permanente
Cauce intermitente
Cauce efímero
Ciudad
Cuenca o intercuenca
Cuenca del río Ilo-Moquegua
Mina activa
Océano Pacífico
TIPO DE FUENTE
Pozo
Manantial
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA (13172)
VARIACIÓN DE pH
(FUENTE: INGEMMET 2008-2011)
Versión digital:
Año 2015
Impreso
Junio 2019
ESCALA 1:400,000
0 3 6 12 18 Kms.
Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 19 Sur
Figura 6.3

6.3 ANÁLISIS QUÍMICO

La selección de las fuentes para el muestreo de las aguas subterráneas se realizó tomando como base el mapa de inventario de fuentes de agua subterránea (Figura 4.1 del capítulo IV), se eligieron 33 fuentes de agua para su análisis químico (Cuadro 6.2) y 22 fuentes para análisis isotópico. Adicionalmente 34 fuentes tienen medidas de parámetros físico-químicos *in situ*. En dicho análisis se consideraron los análisis de aniones y cationes mayoritarios, así como de metales pesados (As, Pb, entre otros) incluyendo elementos traza que se ubican en forma disuelta.

Los análisis químicos se realizaron en los laboratorios del Ingemmet y del Inspectorate, y la interpretación de los datos obtenidos se hizo con el cálculo de determinadas relaciones iónicas y mediante la elaboración de diagramas hidroquímicos, cuyo empleo es práctico y común en estudios hidrogeológicos y, sobre todo, en los hidrogeoquímicos. Los resultados de análisis químicos se muestran en los cuadros del Anexo V.

6.4 CLASIFICACIÓN QUÍMICA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Para la clasificación de las aguas se tomó en cuenta los principales aniones (bicarbonato, carbonato, sulfato, cloruro) y cationes (calcio, magnesio, sodio y potasio), correspondiendo a la clasificación geoquímica, por iones dominantes (Custodio & Llamas, 1996; en sección 10 de Hidrología subterránea). Para ello se convierte los valores de mg/L a meq/L (miliequivalentes por litro) de cada catión y anión. Así mismo, según esta clasificación, se nombra primero el anión predominante (50 % o mayor en concentración) seguido del catión predominante (50 % o mayor en concentración). Si uno o ambos no superan el 50 % de concentración con respecto a los otros aniones y cationes, respectivamente, entonces se procede a nombrar los dos primeros aniones o cationes de acuerdo con el mayor porcentaje de presencia.

Los valores obtenidos de los cationes y aniones en mg/L y meq/L, se muestran en el Anexo V. Así mismo, el Cuadro 6.3 muestra la clasificación de las aguas siguiendo la metodología de la clasificación geoquímica por iones dominantes.

Cuadro 6.3

Iones predominantes (facies químicas) en la cuenca del río Ilo-Moquegua

N	Código	Nombre	X	Y	Altura	Tipo de fuente	Catión dominante	Anión dominante	Denominación
1	131725-001	El Pacae (La Rinconada)	288154	8082721	1010	MC	Ca > Na > Mg	SO_{42} > Cl > HCO_3	Sulfatada Cálcica
2	131726-004	Asana 3	341643	8116971	4830	M	Na > Ca > Mg	HCO_3 > SO_4 > Cl	Bicarbonatada Sódica-Cálcica
3	131726-010	Asana 8	342580	8116016	4625	PC	Ca > Mg > Na	SO_4 > HCO_3 > Cl	Sulfatada Cálcica
4	131726-020	Chocamane 1	340081	8113832	4497	M	Ca > Mg > Na	SO_4 > HCO_3 > Cl	Sulfatada Cálcica
5	131726-024	Chiquihure	338024	8113176	4395	M	Ca > Na > Mg	SO_4 > HCO_3 > Cl	Sulfatada Cálcica
6	131726-027	Charaque 1	326297	8112117	3768	PC	Ca > Na > Mg	HCO_3 > SO_4 > Cl	Bicarbonatada Cálcica-Sódica
7	131726-039	Altarani 5	335630	8104940	4320	M	Ca > Na > Mg	HCO_3 > Cl > SO_4	Bicarbonatada Cálcica-Sódica
8	131726-040	El Común	302825	8104119	1839	M	Ca > Na > Mg	SO_4 > HCO_3 > Cl	Sulfatada Cálcica
9	131726-042	Buenavista	302204	8103156	1776	M	Ca > Na > Mg	SO_4 > HCO_3 > Cl	Sulfatada-Bicarbonatada Cálcica
10	131726-043	Río Tumilaca 2	301093	8101822	1704	PC	Na > Ca > Mg	HCO_3 > Cl > SO_4	Bicarbonatada Sódica-Cálcica
11	131726-044	Totoral	296396	8099511	1487	P	Ca > Na > Mg	SO_4 > HCO_3 > Cl	Sulfatada-Bicarbonatada Cálcica
12	131728-003	Titijones	337382	8128967	4555	M	Ca > Mg > Na	HCO_3 > SO_4 > Cl	Bicarbonatada Cálcica-Magnésica
13	131728-006	Ojo de Agua	340852	8124705	4548	M	Ca > Na > Mg	HCO_3 > SO_4 > Cl	Bicarbonatada Cálcica-Sódica
14	131728-009	Trinchera	334525	8122766	4640	M	Na > Ca > Mg	HCO_3 > SO_4 > Cl	Bicarbonatada Sódica-Cálcica
15	131728-010	Totoral 2	323183	8121123	4009	M	Ca > Na > Mg	HCO_3 > SO_4 > Cl	Bicarbonatada Cálcica-Sódica
16	131728-019	Lagunita 1	329618	8119548	4335	M	Ca > Na > Mg	HCO_3 > SO_4 > Cl	Bicarbonatada Cálcica-Sódica
17	131728-022	Santos	328412	8118664	4240	M	Na > Ca > Mg	SO_4 > Cl > HCO_3	Sulfatada-Clorurada Sódica
18	131728-023	Agua potable Arundaya	326827	8118597	3971	MC	Na > Ca > Mg	SO_4 > Cl > HCO_3	Sulfatada-Clorurada Sódica
19	131728-029	Laura	326756	8117731	4282	M	Ca > Na > Mg	HCO_3 > SO_4 > Cl	Bicarbonatada Cálcica-Sódica
20	131728-031	Calera	323093	8116402	3979	M	Ca > Na > Mg	HCO_3 > SO_4 > Cl	Bicarbonatada Cálcica-Sódica
21	131729-007	Uyunto 1	322140	8130874	4374	M	Ca > Mg > Na	HCO_3 > SO_4 > Cl	Bicarbonatada Cálcica-Magnésica
22	131729-008	Chilligua 1	329124	8130533	4616	M	Na > Ca > Mg	HCO_3 > SO_4 > Cl	Bicarbonatada Sódica-Cálcica
23	131729-011	Huertalla 2	325672	8130107	4550	M	Ca > Na > Mg	HCO_3 > SO_4 > Cl	Bicarbonatada Cálcica-Sódica
24	131729-017	Japu 1	323786	8128279	4501	M	Ca > Na > Mg	HCO_3 > SO_4 > Cl	Bicarbonatada Cálcica-Sódica
25	131729-019	Jaco 2	321676	8128111	4306	M	Ca > Na > Mg	HCO_3 > SO_4 > Cl	Bicarbonatada Cálcica-Sódica
26	131729-024	Agua grande	320140	8122915	4098	M	Ca > Na > Mg	HCO_3 > SO_4 > Cl	Bicarbonatada Cálcica-Sódica
27	131729-025	Caracol	321277	8122670	4173	M	Ca > Na > Mg	HCO_3 > Cl > SO_4	Bicarbonatada Cálcica-Sódica
28	131729-029	Ladera	319230	8119580	3908	M	Ca > Na > Mg	HCO_3 > Cl > SO_4	Bicarbonatada Cálcica-Sódica
29	131729-036	Huaracane 1	293127	8100469	1397	M	Ca > Na > Mg	SO_4 > HCO_3 > Cl	Sulfatada-Bicarbonatada Cálcica
30	IRHS-001-ILO	Pozo Ilo 1	251925	8049990	17	P	Ca > Na > Mg	SO_4 > Cl > HCO_3	Sulfatada-Clorurada Cálcica-Sódica
31	IRHS-001-MOQ	Biondi	289058	8092952	1207	P	Ca > Na > Mg	Cl > SO_4 > HCO_3	Clorurada-Sulfatada Cálcica
32	IRHS-021	Algarrobal 1	258316	8049942	84	P	Ca > Na > Mg	SO_4 > Cl > HCO_3	Sulfatada-Clorurada Cálcica
33	IRHS-70	Algarrobal 2	265111	8054583	205	P	Ca > Na > Mg	SO_4 > Cl > HCO_3	Sulfatada-Clorurada Cálcica-Sódica

Tipo de fuente: M = manantial, MC = manantial captado, P = pozo y PC = punto de control.

6.5 REPRESENTACIÓN DE DATOS: MAPA HIDROQUÍMICO Y DIAGRAMAS DE STIFF MODIFICADO

Para representar los datos hidroquímicos se suelen usar diagramas hidroquímicos que se insertan en mapas hidroquímicos. En este caso se usaron los diagramas de Stiff modificado y Piper.

La representación gráfica de los iones mayoritarios, obtenidos a partir de los resultados químicos, se hace empleando el diagrama de Stiff modificado. En este, se ubica un polígono, donde cada vértice del polígono representa los contenidos de sus componentes (Cl, HCO_3, SO_4, Na, Ca, Mg) expresados en miliequivalentes por litro (meq/L).

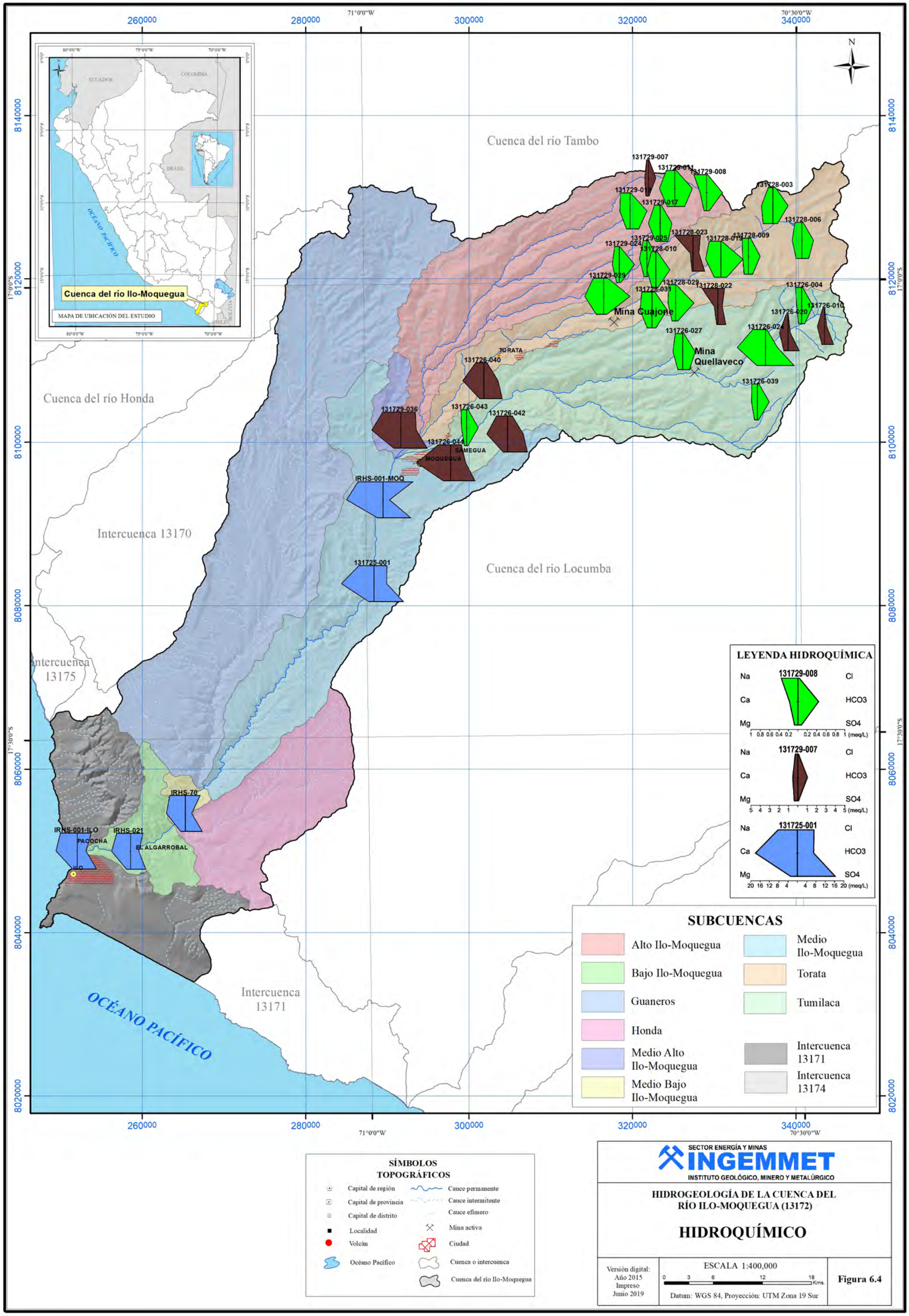
Con estos diagramas, se elaboró el mapa hidroquímico (Figura 6.4). En este se puede observar la evolución y predominancia de las concentraciones de los elementos anteriormente mencionados, se diferenciaron los diagramas por su color y escala gráfica, se clasificaron 3 escalas distintas representadas con distintos colores:

- En el eje X, de 0 a 1 meq/L, polígono de color verde (19 muestras)
- En el eje X, de 0 a 5 meq/L, polígono de color marrón (9 muestras)
- En el eje X, de 0 a 20 meq/L, polígono de color celeste (5 muestras)

Los diagramas de Stiff de colores verde y marrón (Figura 6.4) corresponden a fuentes que están relacionadas directamente a la zona de precipitación, las mismas que indican un leve enriquecimiento iónico con los materiales subsuperficiales y rocas volcánicas (a excepción de la fuente Jiménez ubicada en la parte media de la cuenca). Los diagramas de Stiff de color celeste indican concentraciones altas y mayor enriquecimiento iónico, que corresponden a pozos y manantiales de piso de valle.

El diagrama de Piper está formado por dos diagramas triangulares en la base y un rombo central. En cada triángulo equilátero se representa la concentración de los cationes y aniones al 100 %, obteniéndose una ubicación (punto) en cada triángulo. Luego, estos se proyectan al rombo superior, donde finalmente se aprecian las similitudes y diferencias con otras muestras, pero también al tipo (facie o familia) de agua al que pertenecen. El empleo de este tipo de diagrama se tratará con mayor detalle en el apartado 6.6.

Finalmente, los diagramas de Stiff modificado, Piper y mapa hidroquímico representan la misma clasificación química de aguas, de acuerdo con la clasificación geoquímica por iones predominantes (Cuadro 6.3).



SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA (13172)

HIDROQUÍMICO

Versión digital:
Año 2015
Impreso
Junio 2019

ESCALA 1:400,000

0 3 6 12 18 Kms.

Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 19 Sur

Figura 6.4

6.6 FACIES HIDROQUÍMICAS

Para un análisis más localizado, se hará la descripción por facies hidroquímicas, tomando en cuenta el tipo de fuente (manantial, punto de control), el entorno geológico y los procesos que dieron lugar a la composición química. Para ello, se utilizaron los diagramas de Piper.

Las aguas subterráneas en la cuenca del río Ilo-Moquegua proceden de acuíferos con características diferentes, los acuíferos de la parte alta corresponden a acuíferos volcánicos fisurados y volcánicos sedimentarios de la Formación Barroso inferior y la Formación Capillune, respectivamente; mientras que los acuíferos del piso de valle (Moquegua e Ilo) corresponden a acuíferos porosos no consolidados.

De las 33 muestras analizadas se tiene un predominio común de tres facies hidroquímicas: bicarbonatadas cálcicas, sulfatadas cálcicas y sulfatadas sódicas. Para tener mayores detalles de la composición química se separaron los resultados en dos categorías de análisis: Una para manantiales y puntos de control (Figura 6.5), y otra para pozos ubicados en los acuíferos porosos no consolidados (Figura 6.6).

A) En el primer grupo (Figura 6.5), las fuentes evaluadas corresponden a la parte alta y baja de la cuenca, observándose las tres facies mencionadas: aguas bicarbonatadas cálcicas (19 fuentes), sulfatadas cálcicas (7 fuentes) y sulfatadas sódicas (2 fuentes).

- Las fuentes de predominancia bicarbonatada cálcica (HCO_3-Ca) representan surgencias de agua subterránea muy jóvenes y corresponden a sistemas de flujo locales de muy corto recorrido. Los bicarbonatos están relacionados a la reacción del CO_2, provenientes de los poros del suelo, que presentan una elevada concentración adquirida en los primeros metros de la infiltración (zona no saturada). La predominancia del catión calcio con aportes de sodio y ligeras cantidades de magnesio tienen origen en las plagioclasas intermedias, y en menor grado de biotitas, horblendas o augitas, presentes en las rocas volcánicas andesíticas en la parte alta de la cuenca. Dentro de este mismo grupo, en algunas fuentes existen ligeros incrementos del anión sulfato (figuras 6.4 y 6.5A) lo que indica que estas surgencias son también locales, pero de mayor recorrido y tiempo de permanencia en el acuífero.
- 7 muestras obtenidas en manantiales corresponden a aguas de facies sulfatada cálcica (SO_4-Ca), las que tienen ligeras variaciones a facies sulfatadas-bicarbonatadas y sulfatadas-cloruradas, con contenidos mayoritarios de calcio. Estos grupos corresponden a surgencias relacionadas a sistemas de flujos locales de considerable recorrido, siendo aún aguas jóvenes, con una corta maduración química, la cual se puede corroborar con el diagrama de Scatter (Figura 6.5B). El manantial Pacae ubicado en el piso de valle de Moquegua tiene predominancia sulfatada cálcica y se encuentra relacionado al contacto con sedimentos de ambiente lacustre del Grupo Moquegua. Este piso de valle tiene una intensa actividad agrícola. Según el diagrama de Scatter (Figura 6.5B), el manantial Pacae tiene flujo intermedio, esto se debe a sus valores elevados de Cl y SO_4, que podría no ser del todo real por la influencia de las aguas de riego con fertilizantes y plaguicidas.
- Las aguas de tipo sulfatadas sódicas (SO_4-Na) pertenecen a dos fuentes, al manantial Santos y a la fuente de agua potable de Arundaya, ambos ubicados en la Cordillera Occidental al noreste de la mina Cuajone, las mismas que contienen elementos iónicos por disolución de rocas volcánicas. Estas muestras tienen la predominancia sulfatada, pero a la vez un gran incremento en sodio que proviene, muy probablemente, de la meteorización de silicatos.

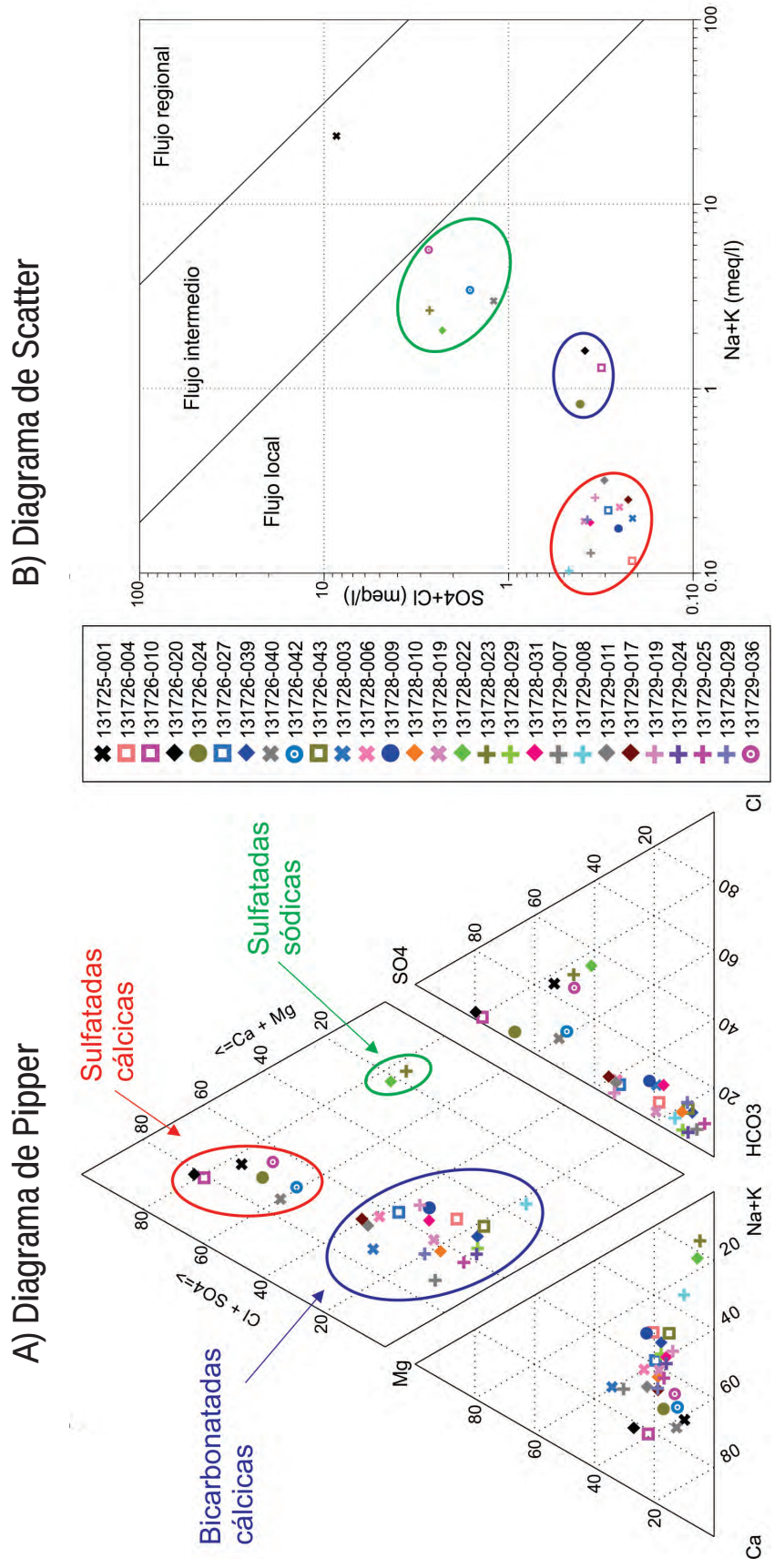


Figura 6.5 A) Diagrama de Piper y B) Diagrama de Scatter de manantiales y puntos de control.

Realizando un análisis cualitativo, relacionando el mayor contenido de Na+K y Cl+SO_4 con el mayor recorrido de flujo subterráneo y tiempo de permanencia del agua en el subsuelo, interpretamos que las fuentes están diferenciadas por 3 grupos (Figura 6.5B). De izquierda a derecha, el primer grupo enmarcado en color rojo contiene 19 fuentes, de las que solo figuran las que sobrepasan el rango mínimo de 0.1 meq/L (13 fuentes); estas presentan características de agua subterránea con poco tiempo de residencia en el subsuelo. El segundo grupo de fuentes enmarcado de color azul agrupa 3 fuentes con flujo de mayor recorrido y tiempo de residencia que el primer grupo (Figura 6.5B). El tercer grupo enmarcado de color verde agrupa 5 fuentes con un recorrido y residencia en el subsuelo considerablemente superior a las anteriores (Figura 6.5B).

B) El segundo grupo de fuentes evaluadas (Figura 6.6) corresponde íntegramente a 5 pozos ubicados en el valle de Moquegua e Ilo, caracterizados como facies sulfatadas cálcicas. Las facies sulfatadas cálcicas (SO_4-Ca) tienen ligeras variaciones en contenido de Cl. En general los pozos se caracterizan por sus niveles freáticos altos, muy cerca de la superficie, por lo cual son aguas poco profundas que están en contacto con aguas de riego. Las aguas del pozo IRHS-001-MOQ actualmente no se usan por sus considerables cantidades de cloruro. Los 5 pozos monitoreados están amenazados por constante contaminación agrícola. Las aguas de predominancia sulfatada cálcica fueron ploteadas también en el diagrama de Scatter (Figura 6.6B) para ver su relación con el recorrido que presentan en el subsuelo. Sin embargo, por el alto contenido de sulfatos de procedencia antrópica (infiltración de aguas superficiales usadas en el riego de zonas agrícolas más el uso de fertilizantes y plaguicidas) se evidencia que no son realmente de flujo intermedio y regional.

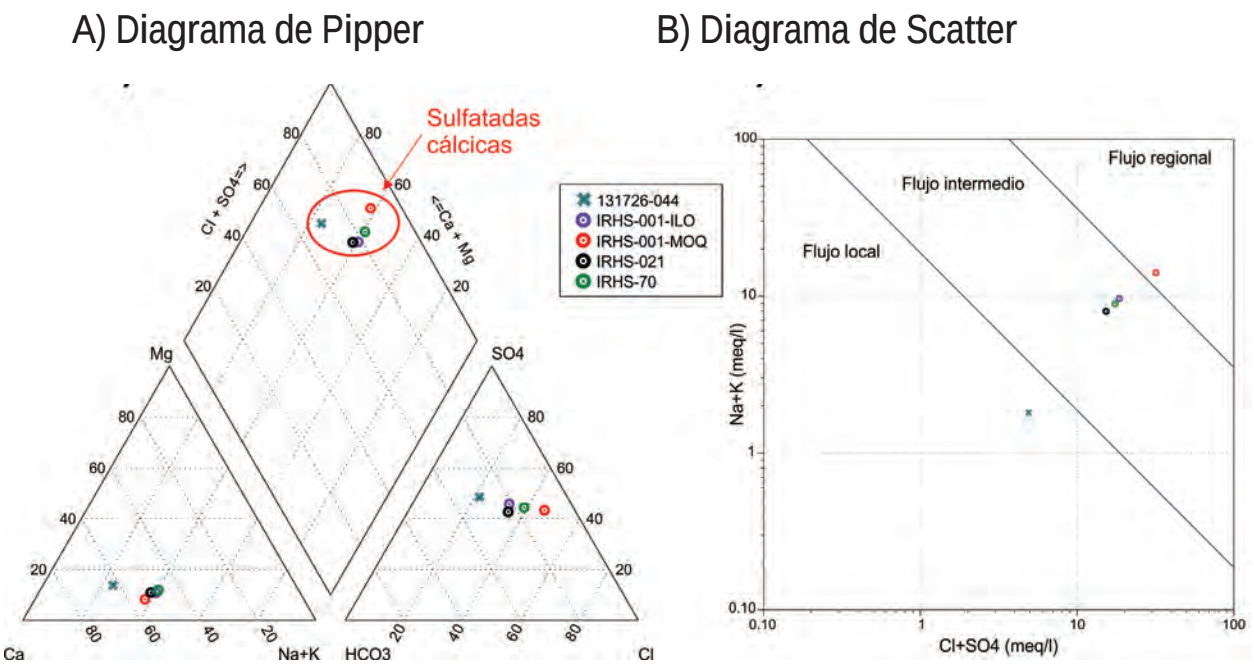


Figura 6.6 A) Diagrama de Piper y B) Diagrama de Scatter de fuentes de aguas subterráneas muestreadas en pozos.

Metales disueltos

Los resultados de análisis de metales disueltos (34 elementos) de las fuentes muestreadas (entre manantiales, manantiales captados, pozos y puntos de control) se encuentran en el Anexo V. Seguidamente se realizará una breve descripción de 12 elementos (Cuadro 6.4) cuyas concentraciones en su mayoría fueron detectados con variabilidad en sus contenidos.

Los valores de aluminio disuelto se encuentran entre 0.0011 (manantial Santos) y 0.04 mg/L (pozo Biondi) presentando pequeñas variaciones y evidenciando que 11 fuentes muestran valores no detectados (que corresponden a concentraciones menores al límite de detección del laboratorio Ingemmet).

Los valores de arsénico disuelto varían considerablemente, encontrándose cantidades por debajo del límite de detección (16 fuentes) hasta valores relativamente altos de 0.0200 (manantiales Agua Grande, Buena Vista y pozo Algarrobal 2) y 0.0234 mg/L (manantial Santos) respecto al grupo.

Para el boro disuelto, el laboratorio Ingemmet no consideró este elemento en su reporte de análisis; registrándose reportes del laboratorio Inspectorate (20 fuentes), las cuales varían de 0.0087 (manantial Japu 1) a 0.0507 mg/L (manantial Ladera). Solo se registró una concentración ligeramente alta en el manantial Santos respecto del grupo, con 0.8229 mg/L de boro disuelto.

Respecto al bario disuelto, los valores son más variados, encontrándose de 0.0010 (manantial Laura) a 0.128 mg/L (Pozo Biondi).

Los valores de flúor disuelto, análisis que solo consideró el laboratorio Ingemmet, son menores al valor mínimo detectable (<0.5 mg/L), a excepción del pozo Algarrobal 1 con 1.07.

En cuanto al contenido de hierro disuelto, 17 valores son menores al límite de detección de ambos laboratorios. De las otras 16 fuentes, los valores varían de 0.0037 mg/L en el punto de control Asana 8, a 0.2585 en el manantial Lagunita 1.

Los valores de litio disuelto en 16 fuentes son menores a los límites de detección de ambos laboratorios, mientras que, para las otras 17 fuentes, varían de 0.0004 mg/L en el punto de control Charaque 1, a 0.1100 mg/L en el pozo Biondi.

Las variaciones de manganeso disuelto van de 0.0001 en el punto de control Charaque 1 a 0.236 en el pozo Ilo 1, presentando un rango de variación apreciable. Además, 15 fuentes presentan valores por debajo del límite de detección.

El antimonio disuelto solo se evidenció en 7 fuentes con variaciones menores que van de 0.007 en el manantial Agua Grande a 0.018 en el pozo Biondi. En las demás fuentes, su concentración no supera el límite de detección.

El selenio disuelto se registra en una muestra del Inspectorate (punto de control del río Tumilaca 2 con 0.0004 mg/L) y en 6 muestras del Ingemmet. Estos últimos, varían de 0.03 en el pozo Biondi a 0.08 mg/L en el manantial Buenavista, lo cual sugiere que este elemento se concentra mayormente en la parte media de la cuenca y piso de valle de Moquegua. Además, se encuentra de forma localizada en la zona Jimenez.

Las cantidades de estroncio disuelto se detectaron en la mayoría de las muestras, presentando valores de 0.018 en el manantial Asana 3, hasta 3.200 mg/L en el manantial captado El Pacae – La Rinconada. El único valor de estroncio disuelto que se encuentra por debajo del límite de detección fue el del manantial Agua Grande (≤0.02 mg/L).

Finalmente, los valores de zinc disuelto reportados varían de 0.0015 en el punto de control río Tumilaca 2, hasta 0.0330 mg/L en el pozo Algarrobal 1.

6.7 ANÁLISIS DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO

Con los resultados químicos de las muestras de agua recolectadas se pueden realizar distintos análisis y comparaciones para poder conocer el posible uso del agua al que se le puede asignar. En este caso, se hace la comparación de acuerdo con el diagrama de potabilidad, conocido como diagrama logarítmico de Schoeller-Berkaloff. En este diagrama, se muestran 8 barras con escalas logarítmicas de las concentraciones de 6 elementos en mg/L, y 2 parámetros físico-químicos: dureza (en grados franceses) y pH (unidad de pH). Los valores de los elementos y parámetros físico-químicos de una muestra se unen con una línea, y se compara con la posible potabilidad del agua que pueda presentar, clasificándose como no potable, muy mala, mala, mediocre, aceptable o buena, según sea el caso. Para el análisis y clasificación de potabilidad en las fuentes evaluadas de la cuenca del río Ilo-Moquegua, se elaboraron los gráficos 6.1, 6.2, 6.3 y 6.4; los 3 primeros corresponden a manantiales y puntos de control divididos en subcuencas, y el último, a pozos en los pisos de valle de Moquegua e Ilo.

El Gráfico 6.1 muestra los valores físico-químicos de 10 fuentes de agua, del cual solo el manantial captado 131725-001 pertenece a la subcuenca medio Ilo-Moquegua, las demás corresponden a la subcuenca Tumilaca. Esta fuente en general presenta potabilidad mediocre, ya que en calcio, dureza y sulfatos sobrepasa el límite normado por la OMS, aunque para los otros componentes del diagrama se encuentren en aceptable y hasta buena para el caso del magnesio. El resto de las fuentes (5 manantiales y 3 puntos de control) presentan potabilidad buena, teniendo en cuenta que los valores de pH

Cuadro 6.4

Metales disueltos en las fuentes muestreadas para análisis químico, en la cuenca del río Ilo-Moquegua

N	Código	Nombre	X	Y	Altura	Tipo de fuente	Metales disueltos (mg/L)												Laboratorio
							Al	As	B	Ba	F	Fe	Li	Mn	Sb	Se	Sr	Zn	
1	131725-001	El Pacae (La Rinconada)	288154	8082721	1010	MC	≤0.02	≤0.01	-	0.058	<0.5	0.080	0.082	0.005	≤0.006	0.030	3.200	≤0.003	INGEMMET
2	131726-004	Asana 3	341643	8116971	4830	M	0.002	<0.0004	0.017	0.003	-	0.022	<0.0012	0.003	<0.0002	<0.0002	0.018	0.003	INSPECTORATE
3	131726-010	Asana 8	342580	8116016	4625	PC	0.013	<0.0004	0.017	0.010	-	0.004	0.002	0.061	<0.0002	<0.0002	0.152	0.006	INSPECTORATE
4	131726-020	Chocamane 1	340081	8113832	4497	M	0.003	<0.0004	0.025	0.016	-	<0.0031	0.001	<0.0003	<0.0002	<0.0002	0.124	0.004	INSPECTORATE
5	131726-024	Chiquihure	338024	8113176	4395	M	0.026	0.001	0.023	0.009	-	0.133	0.002	0.002	<0.0002	<0.0002	0.085	0.003	INSPECTORATE
6	131726-027	Charaque 1	326297	8112117	3768	PC	0.005	0.002	0.026	0.013	-	<0.0031	0.000	0.000	<0.0002	<0.0002	0.053	0.002	INSPECTORATE
7	131726-039	Altarani 5	335630	8104940	4320	M	0.009	0.001	0.018	0.008	-	<0.0031	<0.0012	0.000	<0.0002	<0.0002	0.041	0.006	INSPECTORATE
8	131726-040	El Común	302825	8104119	1839	M	≤0.02	≤0.01	-	0.054	<0.5	0.030	0.021	0.004	≤0.006	≤0.02	0.280	≤0.003	INGEMMET
9	131726-042	Buenavista	302204	8103156	1776	M	≤0.02	0.020	-	0.061	<0.5	0.060	0.021	0.141	0.009	0.080	0.310	0.008	INGEMMET
10	131726-043	Río Tumilaca 2	301093	8101822	1704	PC	0.007	0.001	0.017	0.007	-	0.013	<0.0012	0.005	<0.0002	0.000	0.032	0.002	INSPECTORATE
11	131726-044	Totoral	296396	8099511	1487	P	≤0.02	≤0.01	-	0.095	<0.5	0.030	0.030	≤0.001	0.011	0.040	0.530	0.009	INGEMMET
12	131728-003	Titijones	337382	8128967	4555	M	0.005	0.001	0.039	0.015	-	<0.0031	<0.0012	<0.0003	<0.0002	<0.0002	0.076	0.004	INSPECTORATE
13	131728-006	Ojo de Agua	340852	8124705	4548	M	0.004	0.007	0.030	0.002	-	<0.0031	0.002	<0.0003	<0.0002	<0.0002	0.030	0.004	INSPECTORATE
14	131728-009	Trinchera	334525	8122766	4640	M	0.006	<0.0004	0.045	0.012	-	0.134	<0.0012	0.005	<0.0002	<0.0002	0.040	0.006	INSPECTORATE
15	131728-010	Totoral 2	323183	8121123	4009	M	0.036	0.000	0.021	0.007	-	<0.0031	<0.0012	<0.0003	<0.0002	<0.0002	0.043	0.003	INSPECTORATE
16	131728-019	Lagunita 1	329618	8119548	4335	M	0.003	0.001	0.041	0.014	-	0.259	0.001	0.011	<0.0002	<0.0002	0.068	0.016	INSPECTORATE
17	131728-022	Santos	328412	8118664	4240	M	0.001	0.023	0.823	0.009	-	<0.0031	0.033	<0.0003	<0.0002	<0.0002	0.092	0.006	INSPECTORATE
18	131728-023	Agua potable Arundaya	326827	8118597	3971	MC	≤0.02	≤0.01	-	0.008	<0.5	≤0.01	0.033	≤0.001	0.010	≤0.02	0.080	≤0.003	INGEMMET
19	131728-029	Laura	326756	8117731	4282	M	≤0.02	≤0.01	-	0.001	<0.5	≤0.01	≤0.002	≤0.001	0.017	≤0.02	0.050	≤0.003	INGEMMET
20	131728-031	Calera	323093	8116402	3979	M	0.002	0.002	0.040	0.006	-	<0.0031	<0.0012	0.005	<0.0002	<0.0002	0.059	0.004	INSPECTORATE
21	131729-007	Uyunto 1	322140	8130874	4374	M	0.006	<0.0004	0.023	0.037	-	0.046	<0.0012	0.001	<0.0002	<0.0002	0.129	0.004	INSPECTORATE
22	131729-008	Chilligua 1	329124	8130533	4616	M	0.007	0.001	0.010	0.007	-	<0.0031	<0.0012	<0.0003	<0.0002	<0.0002	0.026	0.006	INSPECTORATE
23	131729-011	Huertalla 2	325672	8130107	4550	M	0.006	0.000	0.012	0.017	-	<0.0031	<0.0012	0.000	<0.0002	<0.0002	0.062	0.004	INSPECTORATE
24	131729-017	Japu 1	323786	8128279	4501	M	0.004	<0.0004	0.009	0.011	-	<0.0031	<0.0012	0.000	<0.0002	<0.0002	0.057	0.008	INSPECTORATE
25	131729-019	Jaco 2	321676	8128111	4306	M	≤0.02	≤0.01	-	0.020	<0.5	≤0.01	≤0.002	≤0.001	0.015	≤0.02	0.070	≤0.003	INGEMMET
26	131729-024	Agua grande	320140	8122915	4098	M	≤0.02	0.020	-	0.006	<0.5	≤0.01	≤0.002	≤0.001	0.007	≤0.02	≤0.02	≤0.003	INGEMMET
27	131729-025	Caracol	321277	8122670	4173	M	0.004	0.001	0.019	0.006	-	<0.0031	<0.0012	<0.0003	<0.0002	<0.0002	0.033	0.004	INSPECTORATE
28	131729-029	Ladera	319230	8119580	3908	M	0.005	0.001	0.051	0.013	-	<0.0031	<0.0012	<0.0003	<0.0002	<0.0002	0.111	0.007	INSPECTORATE
29	131729-036	Huaracane 1	293127	8100469	1397	M	0.030	≤0.01	-	0.088	<0.5	0.030	0.088	0.032	≤0.006	≤0.02	0.540	0.007	INGEMMET
30	IRHS-001-ILO	Pozo Ilo 1	251925	8049990	17	P	≤0.02	≤0.01	-	0.032	<0.5	0.080	0.027	0.236	≤0.006	≤0.02	1.220	0.008	INGEMMET
31	IRHS-001-MOQ	Biondi	289058	8092952	1207	P	0.040	≤0.01	-	0.128	<0.5	0.080	0.110	≤0.001	0.018	0.030	2.300	0.010	INGEMMET
32	IRHS-021	Algarrobal 1	258316	8049942	84	P	≤0.02	≤0.01	-	0.042	1.070	0.070	0.030	0.140	≤0.006	0.040	1.180	0.033	INGEMMET
33	IRHS-70	Algarrobal 2	265111	8054583	205	P	≤0.02	0.020	-	0.085	<0.5	0.070	0.050	≤0.001	≤0.006	0.040	1.510	0.004	INGEMMET

Datum WGS84, Zona 19 S. Tipo de fuente: MC = manantial captado, M = manantial, PC = punto de control.

para los manantiales 131726-039 y 131726-040, son 6.95; superando apenas por centésimas el límite de la OMS en este parámetro. Como se aprecia en el Gráfico 6.1, los valores de los parámetros son similares y tienen tendencia lineal similar, se aprecia valores mínimos de cloruro (< 1.6 mg/L), a excepción de los manantiales 131726-040 y 131726-042, con valores de 14.94 y 23.60 mg/L, respectivamente.

El Gráfico 6.2 muestra los valores físico-químicos de 9 fuentes de agua (8 manantiales y 1 manantial captado), todas de la subcuenca Torata, todas presentan potabilidad buena y no superan los valores de la OMS. Las concentraciones de cloruro también son menores, apreciándose valores considerables en los manantiales 131728-022 y 131728-023 (33.50 y 36.51 mg/L, respectivamente).

Las tendencias en general son similares, se observa que los manantiales anteriormente mencionados tienen mayores valores de sodio+potasio, cloruro, sulfatos y bicarbonatos.

El Gráfico 6.3 muestra los valores físico-químicos de 9 manantiales de la subcuenca Alto Ilo-Moquegua, todos presentan en general potabilidad buena. Solo para el parámetro pH, los manantiales 131729-017 y 131729-036 superan ligeramente los valores de la OMS, presentan 6.75 y 6.82 de pH, respectivamente. Las concentraciones de cloruro están por debajo de 4.0 mg/L, a excepción del manantial 131729-036 con 71.51 mg/L. Para este último manantial, se puede observar que su representación en el diagrama de Schoeller es diferente a las demás, mostrando valores diferentes (mayores generalmente) y, por consiguiente, una curva con distinta tendencia.

Por último, en el Gráfico 6.4 se ven los valores físico-químicos de 5 pozos ubicados en los pisos de valle de Ilo y Moquegua. Las tendencias de las curvas en general son similares, con valores considerables en los parámetros que componen el diagrama. En cuanto a los 2 pozos ubicados en el piso de valle de Moquegua, el pozo 131726-044 presenta potabilidad buena, sobrepasando ligeramente el valor de pH de la OMS (presenta un pH de 6.81). Al 2011, este pozo fue la principal fuente de agua potable de la ciudad de Moquegua. El otro pozo (IRHS-001-MOQ) presenta una potabilidad mediocre, que supera los valores sugeridos por la OMS, en calcio, dureza, sodio+potasio y sulfato.

Respecto a los 3 pozos del piso de valle de Ilo, se puede apreciar en el Gráfico 6.4 que los valores y la tendencia de las 3 curvas son muy similares para estos parámetros, presentando potabilidad mediocre a aceptable. Los valores que superan lo sugerido por la OMS (sobre la línea negra) son calcio, dureza y sulfatos para los 3 pozos, además el pozo IRHS-001-ILO también supera el pH de acuerdo con la misma norma.

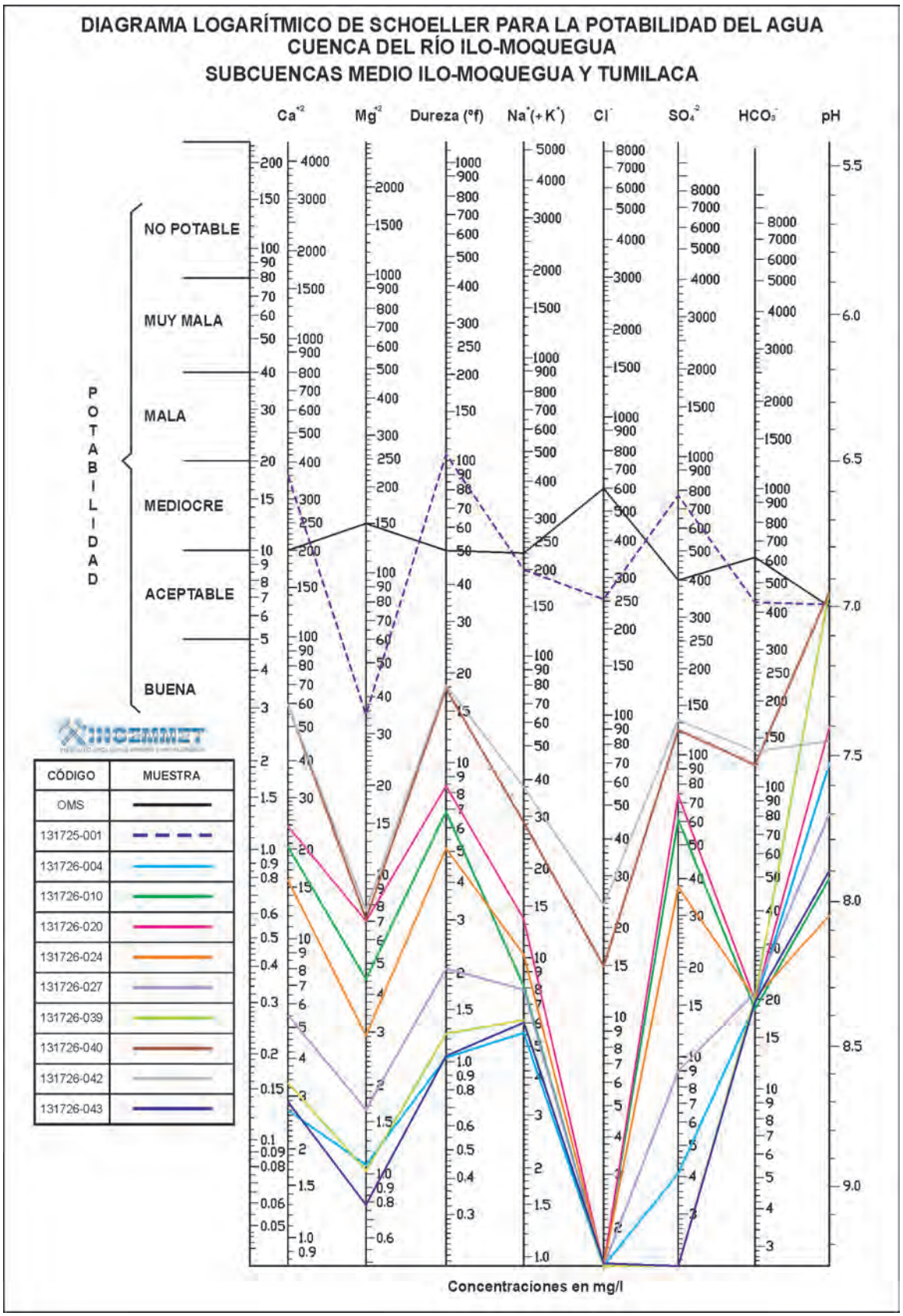


Gráfico 6.1 Diagrama logarítmico de potabilidad Schoeller para las subcuencas medio Ilo-Moquegua y Tumilaca.

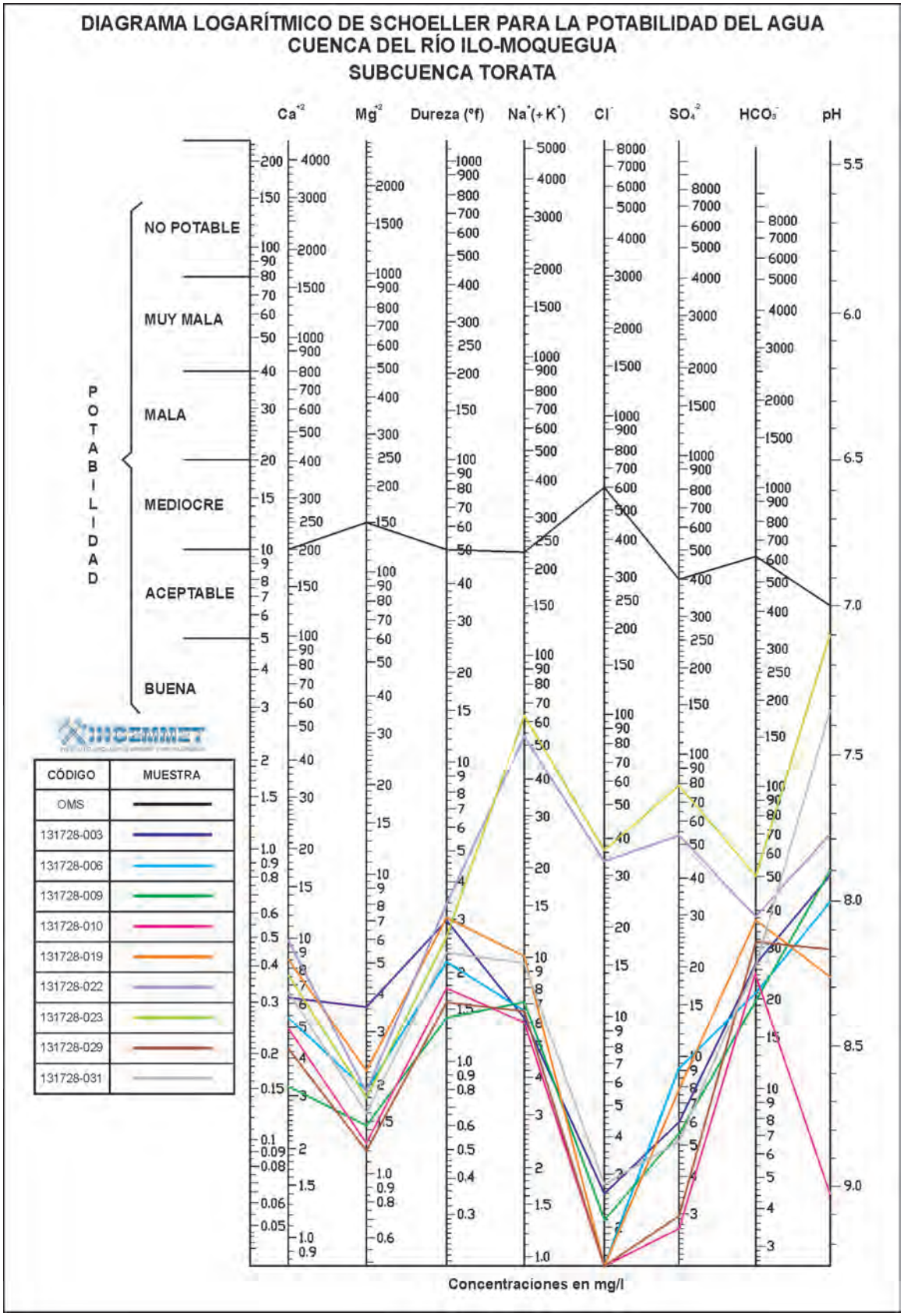


Gráfico 6.2 Diagrama logarítmico de potabilidad Schoeller para la subcuenca Torata.

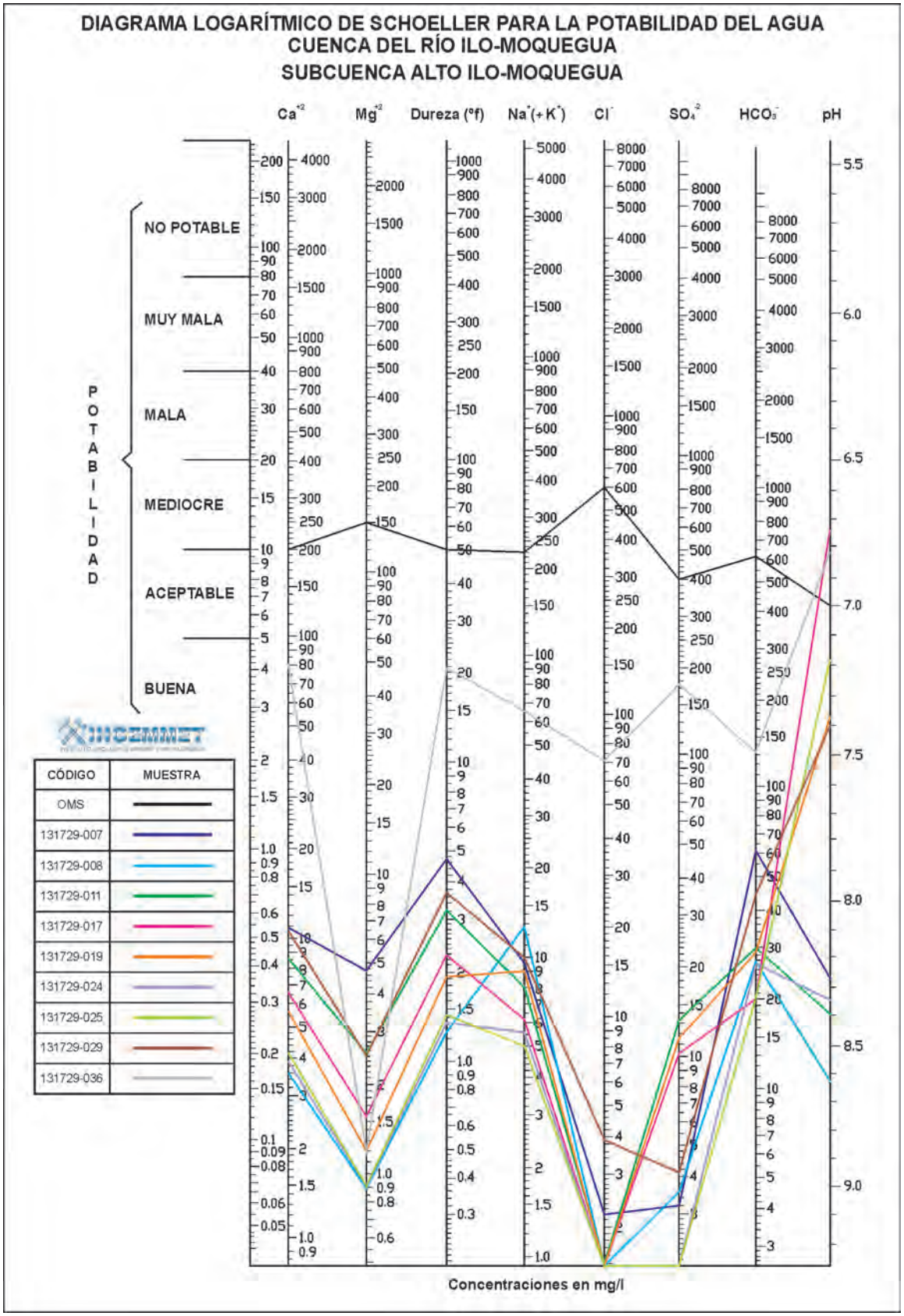


Gráfico 6.3 Diagrama logarítmico de potabilidad Schoeller para la subcuenca Alto Ilo-Moquegua.

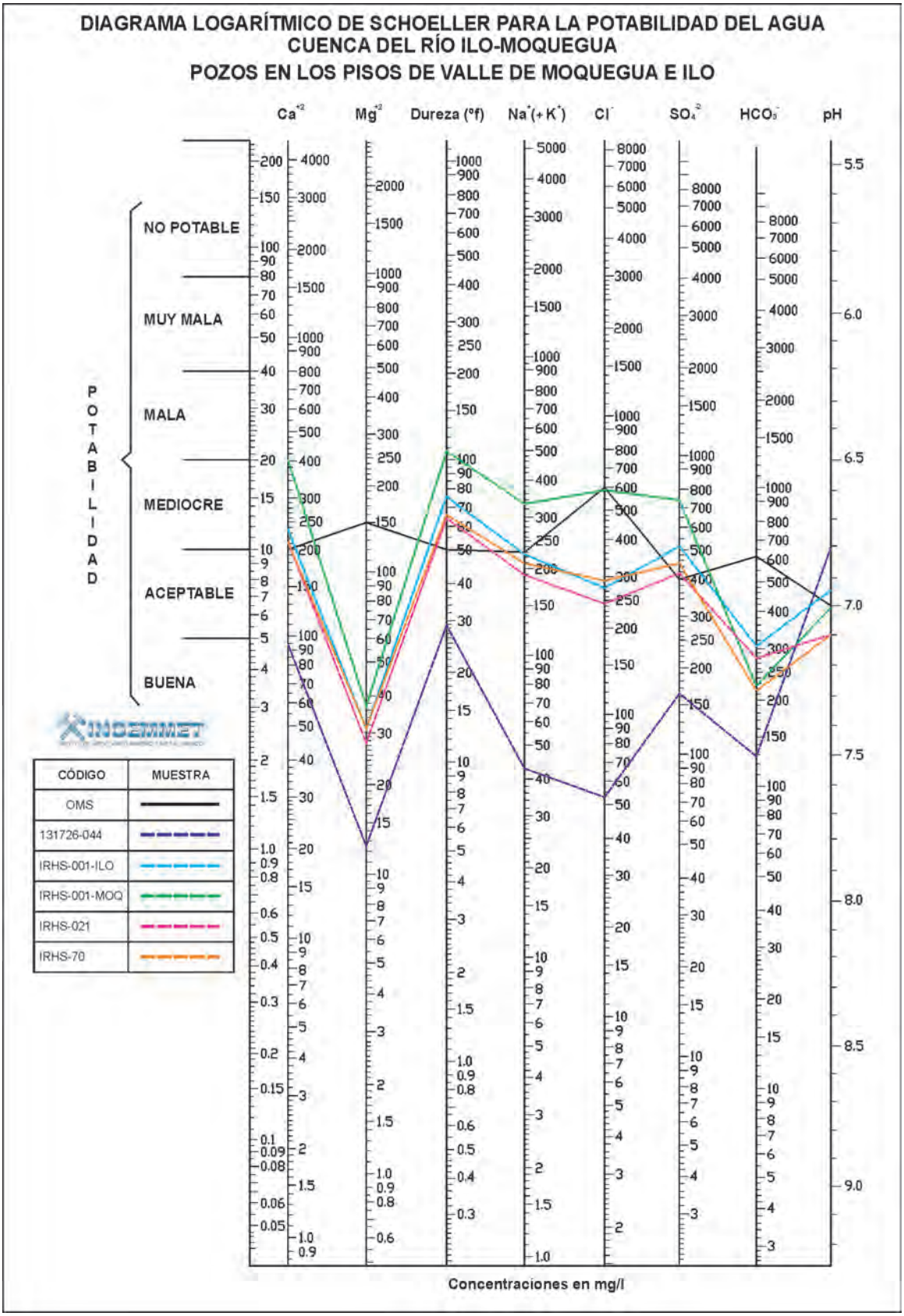


Gráfico 6.4 Diagrama logarítmico de potabilidad Schoeller para los pozos de los pisos de valle de Moquegua e Ilo.

6.8 ANÁLISIS DE AGUA PARA EL USO AGRÍCOLA

Para este análisis, se empleó la relación de absorción de sodio (SAR), la que se obtiene del análisis químico de laboratorio. La concentración relativa del sodio con respecto al calcio y magnesio, denominada índice SAR, es la siguiente:

$$S.A.R. = \frac{Na}{\sqrt{\left(\frac{Ca + Mg}{2}\right)}}$$

Para el ploteo de puntos y clasificación de los datos en el diagrama, se utilizó el software AquaChem 5.1, que calcula los valores de Na, Ca y Mg, en valores de meq/L, utilizando la fórmula del SAR.

La representación se realizó en el Gráfico 6.5, usando las normas de la U.S. Soild Salinity Laboratory Staff (modificado por Thorne y Peterson), para evaluar la calidad de las aguas para uso de riego.

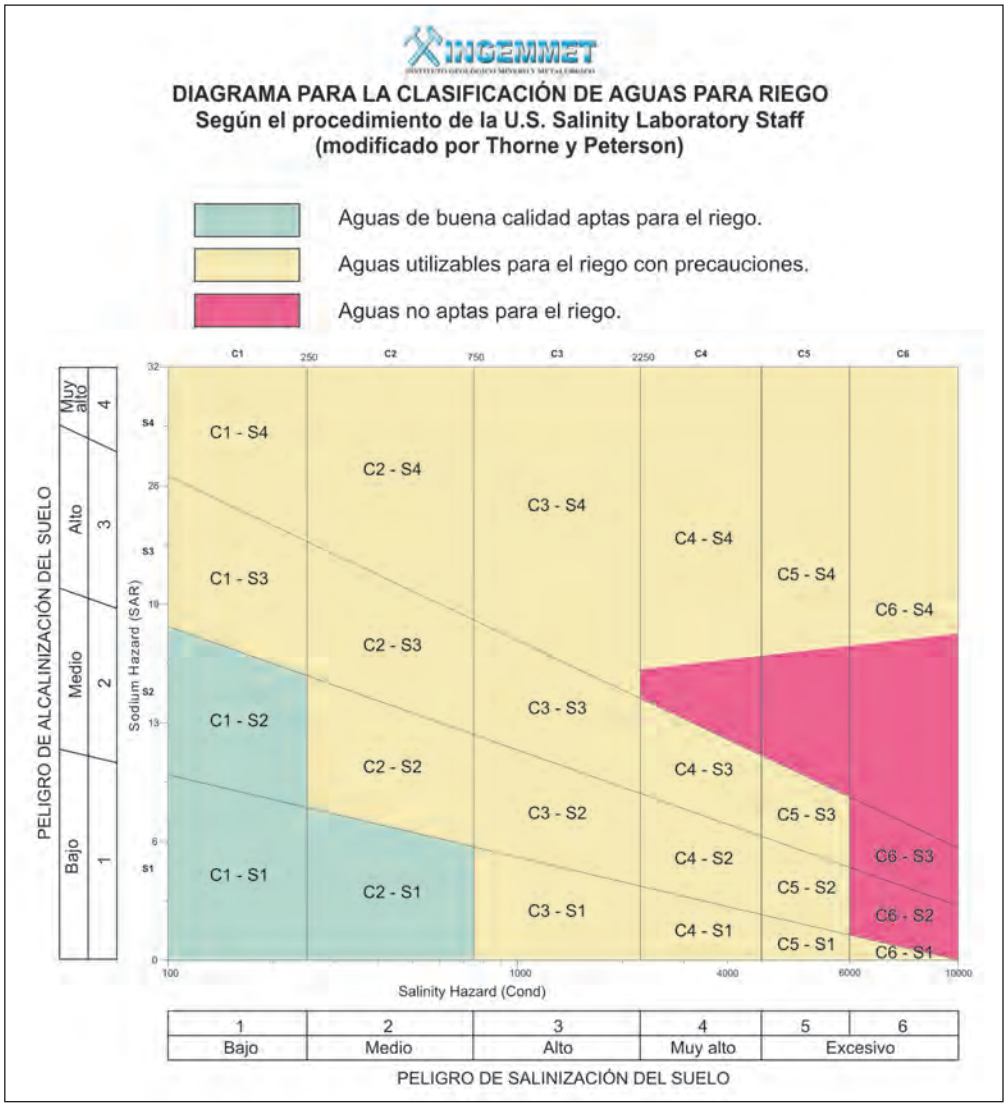


Gráfico 6.5 Clasificación de aguas de riego según el procedimiento del U.S. Salinity Laboratory Staff (modificado por Thorne y Peterson).

Para interpretar los resultados se agruparon todas las muestras en un solo diagrama, según su clasificación para el riego (Gráfico 6.6). En dicho diagrama se puede observar que solo aparece la representación de 15 fuentes (7 manantiales, 2 manantiales captados, 1 punto de control y 5 pozos). Esto debido a que las demás fuentes (16 manantiales y 2 puntos de control) presentan conductividades eléctricas menores a 100.0 uS/cm, encontrándose fuera del límite inferior izquierdo de la clase C1-S1 del gráfico en mención. De manera general y sin considerar el tipo de plantación, se pueden distinguir 3 zonas: la zona verde clara (aguas de buena calidad aptas para el riego) donde se encuentran 8 fuentes; la zona transparente (aguas utilizables para el riego con precauciones) donde existen 7 fuentes; y la zona de color rojo (aguas no aptas para el riego), en la cual no se encuentra ninguna fuente de agua.

Los datos de las 15 fuentes permitieron reconocer 5 categorías o clases (Gráfico 6.6) de acuerdo con el peligro de salinización y alcalinización del suelo en el uso posible de estas aguas para riego, las cuales se describen a continuación:

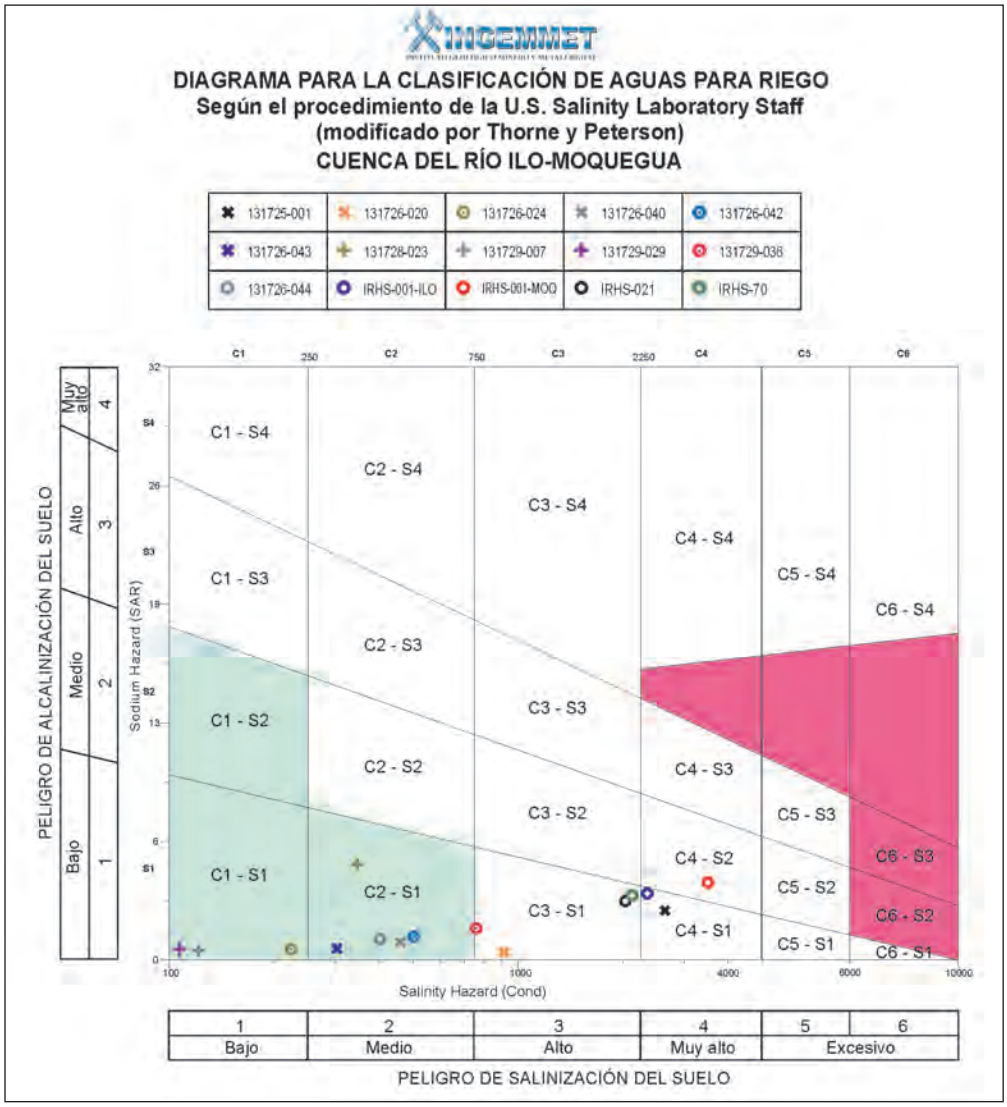


Gráfico 6.6 Diagrama de Wilcox para las fuentes de la cuenca del río Ilo-Moquegua.

C1-S1.- En esta clase las aguas son de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos, a excepción de los cultivos muy sensibles al sodio. También pueden existir problemas con los suelos de muy baja permeabilidad por la acumulación de sales, para lo cual se recomienda algún tipo de lavado. Los 3 manantiales de esta clase son 131729-007, 131729-029 y 131726-024, este último con mayor tendencia de salinización de suelos.

C2-S1.- El agua en esta clase, es de salinidad media (entre 250 y 750 uS/cm), apta para el riego. En ciertos casos puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad de este tipo. Si el suelo presenta muy baja permeabilidad pueden existir problemas de acumulación de sodio. Existen 5 fuentes con esta categorización, las primeras 4 fuentes (131726-040, 131726-042, 131726-043 y 131726-044) se encuentran en el tramo comprendido entre el río Tumilaca (sector de Los Granadillos) hasta el sector de Totoral, a poco menos de 2.5 km al noreste de la ciudad de Moquegua. La última fuente de esta clase (131728-023) corresponde a un manantial captado en los alrededores de Ancoaque, que abastece de agua potable al pueblo de Arundaya, y presenta mayor relación de adsorción de sodio que las fuentes antes mencionadas en este grupo.

C3-S1.- Las fuentes de agua en esta clase, presentan salinidad alta. Estas fuentes no se pueden usar en suelos cuyo drenaje es deficiente, muy contrariamente deben contar con un buen drenaje. Incluso se debe emplear prácticas de control de salinidad y grandes volúmenes de agua en exceso para lavar el suelo, por lo tanto, estas fuentes se deben usar únicamente para aquellas especies vegetales muy tolerantes a la alta salinidad. En esta clase, se aprecian 2 manantiales (131726-020 y 131729-036), el primero se encuentra en el sector de Asana, y el segundo se trata de un manantial cuyo caudal se mezclaba con agua superficial producto del riego en el sector de Huaracane (a 3 km aproximadamente al norte de la ciudad de Moquegua). También existen 2 pozos que se hallan en el límite superior derecho de la clase C3-S1 (Gráfico 6.6), el IRHS-021 en el sector de Chiribaya y el IRHS-70 en el sector de El Yaral, ambos en el piso de valle de Ilo.

C4-S1.- Para esta clase solo existen 2 fuentes, el manantial captado 131725-001 (en el sector de La Rinconada, del piso de valle de Moquegua) y el pozo IRHS-001-ILO (en el sector de Uruhuasi, a 2.5 km aproximadamente al norte de la ciudad de Ilo). Las aguas de esta clase presentan muy alta salinidad, en realidad se recomienda el uso de estas fuentes de manera ocasional y en circunstancias especiales. El suelo debe ser muy permeable y con un buen sistema de drenaje, además se utilizan volúmenes de agua en exceso para lavar las sales acumuladas en el suelo. Estas fuentes de agua pueden utilizarse en ciertos cultivos que toleren altamente esta salinidad.

C4-S2.- Estas aguas tienen salinidad muy alta y un contenido medio de sodio. Por su salinidad deben utilizarse solo en suelos de textura gruesa o en suelos orgánicos muy permeables, que tengan buen drenaje. Por su contenido de sodio, existe cierto peligro de acumulación de este elemento en el suelo, más aún si dichos suelos poseen una alta capacidad de intercambio de cationes y especialmente bajo condiciones de lavado deficiente (a menos que el suelo contenga yeso). En estos suelos se deben vigilar las condiciones físicas y especialmente el nivel de sodio cambiable, corrigiéndose en caso de ser necesario. Como única fuente de agua de esta clase se tiene el pozo IRHS-001-MOQ, ubicado en la bodega Biondi, en el sector de Garibaldi. Este pozo era usado con fines agrícolas para el cultivo de la vid, sin embargo, los propietarios habían constatado que la salinización había aumentado considerablemente, por lo que dejaron de usarlo.

Finalmente, se debe tener en cuenta que existen en los pisos de valle muchos otros pozos de agua y manantiales en condiciones similares a los pozos IRHS-021, IRHS-70, IRHS-001-ILO, IRHS-001-MOQ y el manantial captado 131725-001, en las categorías C3-S1, C4-S1 y C4-S2, cuyos peligros de salinización es latente (categorías alto y muy alto).

6.9 ISOTOPÍA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

En química, las propiedades que caracterizan a los elementos son el número de protones que contiene el átomo. Los isótopos son átomos de un mismo elemento, con el mismo número de protones, pero distintos números de neutrones. Estos, usualmente no tienen nombre, a excepción del hidrógeno ($^{1}H_{1}$, Hidrógeno o Protio, $^{2}H_{1}$ o Deuterio, y $^{3}H_{1}$ o Tritio). Los isótopos que se designan con el símbolo del elemento químico, acompañado de una cifra de nucleones (suma de protones y neutrones, o numero másico), con o sin indicación del número de protones (número atómico). Por ejemplo, para representar al isótopo de oxígeno con 18 nucleones, se representa como $^{18}O_{8}$, ^{18}O o simplemente como O-18.

Existen dos tipos de isótopos: estables y radioactivos. Los isótopos estables (de los que se tratará en este estudio) tienen una vida media superior a 3,000 millones de años, y experimentan el proceso denominado “fraccionamiento isotópico” (por el cual cierto isótopo se enriquece o empobrece principalmente por el cambio de estado, con respecto a un isótopo patrón estándar, para estar en equilibrio).

El fraccionamiento isotópico de una muestra se mide por su desviación estándar (δ) en comparación con un patrón; o dicho

de otro modo, se mide como la relación o reparto de isótopos ligeros respecto a los isótopos pesados en las diferentes fases, comparado con un patrón estándar, expresándose en tanto por mil (‰). Para el caso de los isótopos del agua, se compara con el V-SMOW (Vienna-Standard Mean Ocean Water).

Este fraccionamiento isotópico puede ocurrir mediante la transición de un componente de un estado a otro, mediante su transformación en otro compuesto (dióxido de carbono en carbono orgánico de las plantas), o incluso puede manifestarse como una diferencia en la composición isotópica entre dos componentes en equilibrio químico (bicarbonato disuelto y dióxido de carbono), o físico (agua líquida a vapor de agua).

6.9.1 Isótopos en el ciclo del agua: aplicación de isótopos estables y radioactivos

Los primeros estudios de isótopos se realizaron en el agua de mar y de lluvia, estudiándose la relación $^{18}O/^{16}O$, y posteriormente $^{2}H/^{1}H$. A finales de 1950 se comenzó el primer estudio de ^{14}C en agua subterránea. Esta creciente investigación y aplicación de isótopos se vio apoyado por la introducción de los aceleradores nucleares como espectrómetros de masa y su constante innovación, con medidas cada vez más precisas.

En general, los isótopos estables y radioactivos se pueden aplicar en tres grandes campos:

- Se pueden utilizar isótopos estables y radioactivos como trazadores, para conocer la dirección y velocidad de flujo subterráneo, la procedencia u origen de un contaminante natural o antrópico, etc.
- A través de los isótopos estables, se pueden observar procesos geoquímicos e hidrológicos que sufre el agua durante su recorrido, ya sea superficial o subterránea.
- Siempre que se cumplan ciertas condiciones, a través de los isótopos radioactivos se puede calcular el tiempo de tránsito del agua de un punto a otro (ya sea superficial o subterráneamente), comúnmente y conocido erroneamente como la “edad del agua”.

En la naturaleza, la combinación de los diferentes isótopos del hidrógeno y oxígeno permiten formar hasta 18 moléculas de agua diferentes. De ellas, las más usuales son $H_2{}^{16}O$, $HD^{16}O$ y $H_2{}^{18}O$ (FCIHS, 2009).

6.9.2 Procesos que influyen en los contenidos de ^{18}O y deuterio en la precipitación

La evaporación y la condensación son los procesos que más influyen en el fraccionamiento isotópico. Sin embargo, existen otros factores que contribuyen a las variaciones en los contenidos de ^{18}O y deuterio, modificando la historia de las lluvias (características isotópicas). Estos factores (Mook, 2002; FCIHS, 2009) son:

Temperatura.- Las temperaturas a las cuales se evaporan las aguas de mar y también otras masas de agua no son las mismas ni espacial ni temporalmente, lo mismo sucede con la temperatura a la cual condensó la lluvia, la nieve, etc. Esto genera distintos valores al momento del fraccionamiento isotópico.

Altitud.- Los contenidos de ^{18}O y deuterio en la lluvia disminuyen al aumentar la altitud (convirtiéndose en aguas más ligeras). Esto se debe a dos factores: la primera es que en las partes más altas las lluvias proceden de masas de vapor progresivamente empobrecidas isotópicamente; y la segunda, es que la temperatura es más baja y por tanto el fraccionamiento de la condensación del vapor es mayor. En condiciones geográficas apropiadas se puede llegar a establecer una relación entre la composición isotópica y la altitud.

Continentalidad.- Los contenidos de ^{18}O y D en las lluvias disminuyen (o son más negativos) tierra adentro desde la costa, o dicho de otro modo, son más ligeras cuanto más lejos del mar descargan.

Cantidad o intensidad.- Las lluvias más abundantes son más ligeras, debido a que esta se va haciendo más ligera (^{18}O y D más negativo) conforme va condensando la humedad residual del aire, que está empobrecido en isotopos pesados (por los episodios anteriores de lluvia). Contrariamente, durante las tormentas cortas, los valores de ^{18}O y D son menos negativos.

Estacionalidad.- Las lluvias de invierno son más ligeras (valores de ^{18}O y D más negativos) que las de verano, debido a su temperatura de evaporación y de condensación (a menor temperatura de evaporación, más ligeras son las nubes, mayor es el fraccionamiento y más abundantes son las lluvias). Sin embargo, no es aplicable a zonas del hemisferio norte con lluvias monzónicas de verano.

Latitud.- Los valores de ^{18}O y D disminuyen al aumentar la latitud, desde el Ecuador hacia el norte y hacia el sur. Este efecto es aparente, ya que se debe a la temperatura con la que se generan las masas de vapor y de lluvia (o nieve) a escala mundial, combinado con una escasa mezcla de las masas de aire y de las nubes, que se mueven a distinta latitud.

Intercambio isotópico durante la precipitación.- En regiones húmedas las gotas de lluvia pueden sufrir un intercambio isotópico con la humedad del ambiente si su composición isotópica es diferente. Este efecto tiene importancia solo en lluvias de pequeña intensidad o en los primeros momentos de lluvias intensas y no afecta a la precipitación en forma de nieve.

6.9.3 Relación ^{18}O y deuterio

Está relación es característica de las aguas meteóricas como lo demostró Craig (1961), al tomar muestras de agua de lluvia de todo el mundo. En dicho trabajo y sobre la base de los datos de isótopos obtenidos, observó que la mayor parte de los valores no estaba tan dispersa, ubicándose a lo largo de una recta llamada Línea Meteórica Mundial (LMM, o GMWL = Global Meteoric Water Line por sus siglas en inglés), cuya ecuación es:

$$\delta D = 8\delta^{18}O + 10$$

Craig observó también que para la lluvia de cada lugar sigue una función similar:

$$\delta D = 8\delta^{18}O + d$$

Donde "d" es el exceso de deuterio, que tiene un valor característico de la humedad y temperatura ambiente del lugar donde se forman las nubes que generan la lluvia local (FCIHS, 2009).

6.10 CARACTERÍSTICAS ISOTÓPICAS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA

Luego de conocer los procesos que influyen en los contenidos de ^{18}O y deuterio en la precipitación, las características o valores isotópicos del agua normalmente permanecen inalterados luego de la infiltración, almacenamiento y movimiento del agua subterránea en el acuífero hasta su salida natural en forma de manantiales, o en su recorrido subterráneo mediante pozos. Sin embargo, la composición isotópica del agua subterránea respecto de la lluvia de recarga puede modificarse posterior a dicho fenómeno, ya sea en la superficie antes de infiltrarse, en la zona no saturada, como en la zona saturada por distintos motivos (FCIHS, 2009). Lo anterior se muestra en la Figura 6.7.

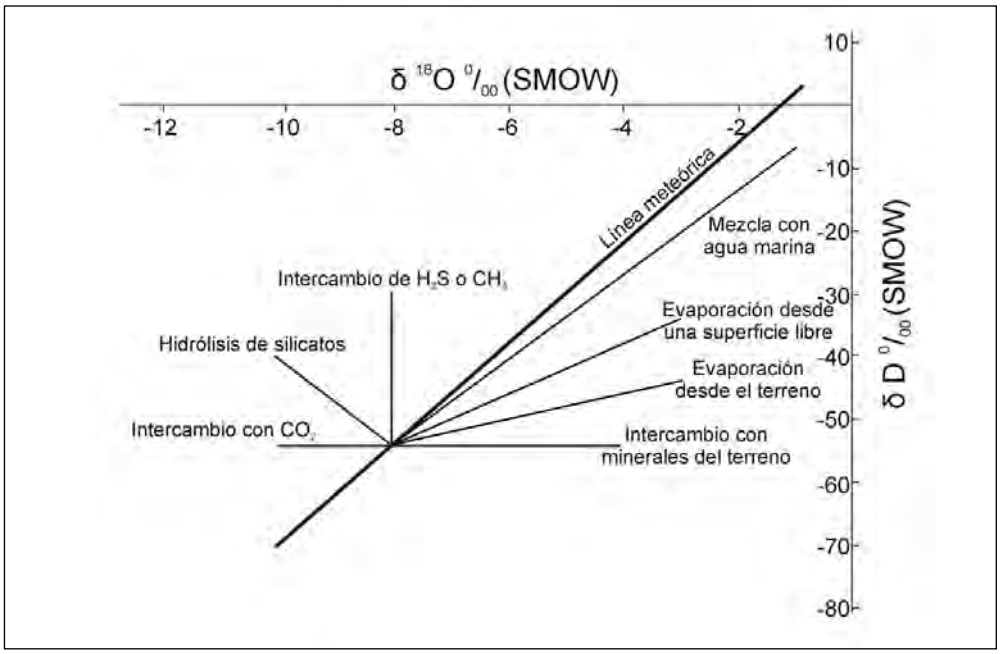


Figura 6.7 Procesos de modificación de la composición isotópica del agua subterránea respecto de la lluvia de recarga (FCIHS, 2009).

Los valores de isótopos se muestran en el Cuadro 6.5 y el Anexo V, observándose que las muestras presentan valores de -7.55 a -15.57 ‰ y de -61.7 a -111.6 ‰, para ^{18}O y D, respectivamente. En general, estos valores son similares a los datos isotópicos medio anual de precipitación en el rango de color verde (Figura 6.8) obtenidos por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA, o IAEA = International Atomic Energy Agency por sus siglas en inglés), para América del Sur y en específico, cerca del área de trabajo (sur del Perú).

Cuadro 6.5
Resultados de análisis isotópicos en la cuenca del río Ilo-Moquegua

N°	Código	Nombre	Tipo de fuente	Cota	**δo/oo**^{2}H	**δ o/oo**^{18}O	d	Fecha
1	131725-001	El Pacae (La Rinconada)	Manantial captado	1010	-74	-8.89	-2.88	26/11/11
2	131726-001	Surapatilla Grande	Manantial	4840	-101	-15.1	19.8	28/11/11
3	131726-024	Chiquihure	Manantial	4395	-94.1	-13.85	16.7	28/11/11
4	131726-040	El Común	Manantial	1839	-79.9	-11.73	13.94	26/11/11
5	131726-042	Buenavista	Manantial	1776	-79.4	-11.52	12.76	30/11/11
6	131726-044	Totoral	Pozo	1487	-76.8	-10.6	8	30/11/11
7	131728-003	Titijones	Manantial	4555	-111.6	-15.35	11.2	29/11/11
8	131728-006	Ojo de Agua	Manantial	4548	-109.6	-15.57	14.96	28/11/11
9	131728-009	Trinchera	Manantial	4640	-96.4	-13.73	13.44	28/11/11
10	131728-023	Agua potable Arundaya	Manantial captado	3971	-82.1	-12.45	17.5	29/11/11
11	131728-029	Laura	Manantial	4282	-86.8	-12.65	14.4	28/11/11
12	131729-007	Uyunto 1	Manantial	4374	-61.7	-7.55	-1.3	20/11/11
13	131729-008	Chilligua 1	Manantial	4616	-93.8	-13.51	14.28	19/11/11
14	131729-019	Jaco 2	Manantial	4306	-77.9	-11.54	14.42	21/11/11
15	131729-024	Agua grande	Manantial	4098	-80.2	-11.9	15	22/11/11
16	131729-025	Caracol	Manantial	4173	-75.8	-10.95	11.8	21/11/11
17	131729-029	Ladera	Manantial	3908	-71.3	-10.02	8.86	19/11/11
18	131729-036	Huaracane 1	Manantial	1397	-79.9	-9.38	-4.86	26/11/11
19	IRHS-001-ILO	Pozo Ilo 1	Pozo	17	-68.3	-8.61	0.58	26/11/11
20	IRHS-001-MOQ	Biondi	Pozo	1207	-65.6	-7.56	-5.12	26/11/11
21	IRHS-021	Algarrobal 1	Pozo	84	-66.3	-8.31	0.18	26/11/11
22	IRHS-70	Algarrobal 2	Pozo	205	-69.5	-8.29	-3.18	26/11/11

Incerteza (μ) en Oxígeno 18 es de +/- 0.08 δo/oo y en Deuterio es de +/- 1.0 δo/oo. El cálculo de “d” se realizó sobre la base de la ecuación de la Recta Meteórica Local (Laboratorio de Isótopos Ambientales, Departamento de Aplicaciones Nucleares, Comisión Chilena de Energía Nuclear).

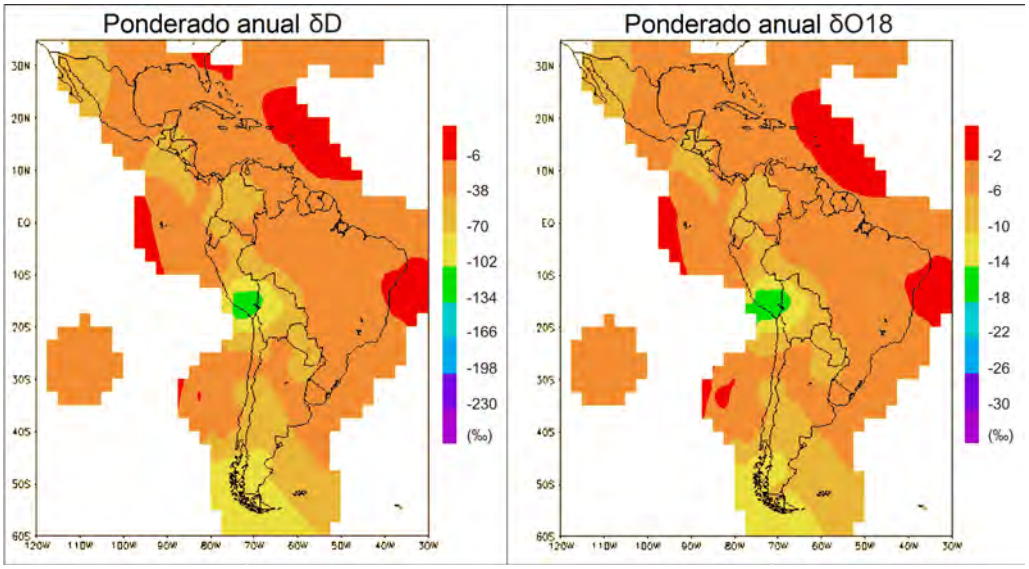


Figura 6.8 Valores medios anuales de deuterio y ^{18}O en lluvias para América del Sur (Fuente: GNIP Maps and Animations, 2002).

Cada región tiene una Línea Meteórica Local (LML) de acuerdo con su realidad geográfica e hidrológica. Los datos del Cuadro 6.5 fueron comparados con la LMM debido a que el sur del Perú no cuenta con una Línea Meteórica Local (LML).

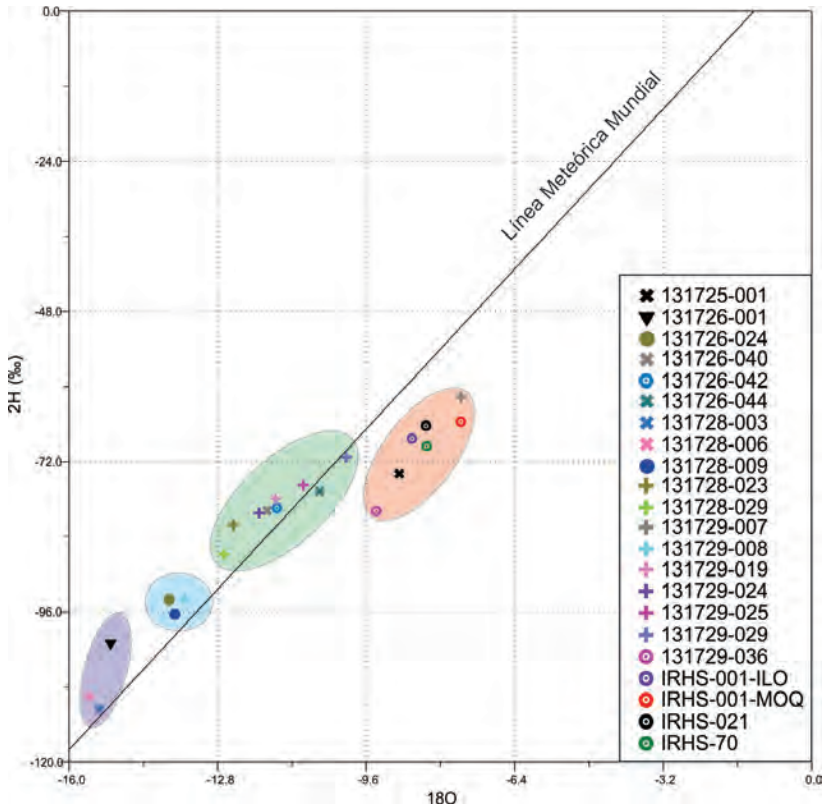


Figura 6.9 Valores de ^{18}O y deuterio de aguas subterráneas en la cuenca del río Ilo-Moquegua.

Tomando como base el fundamento teórico, los trabajos de campo, el conocimiento geológico, hidrogeológico y climático, se puede interpretar lo siguiente:

- Por los valores de ^{18}O y deuterio, se pueden diferenciar 4 grupos en la Figura 6.9: Un primer grupo en fondo rojo, muy por debajo de la LMM; un segundo grupo en fondo verde generalmente por encima de LMM; un tercer grupo por encima de la LMM con valores intermedios de ^{18}O y D; y un cuarto grupo en fondo morado, por encima de la LMM con valores mucho menores de ^{18}O y D.
- Todas las aguas subterráneas son de origen meteórico, ninguna fuente corresponde a paleoaguas o aguas de formación, y guardan una clara relación con la LMM, encontrándose ligeramente por encima de esta y corroborando su origen meteórico.
- De acuerdo con las características regionales y locales de vientos y lluvias, y comparando con datos isotópicos de lluvias en la parte central del Perú (sección transversal Lima-Morococha), las nubes que originan precipitación pluvial pueden provenir de la vertiente del Pacífico y del Atlántico, ciertamente predominando una de estas, e incluyendo una zona mixta (esquema en la Figura 6.10). De acuerdo a ello, las aguas subterráneas de la cuenca del río Ilo-Moquegua, se pueden diferenciar en 3 tipos de acuerdo a la procedencia de la precipitación pluvial que genera la recarga (debería corroborarse con datos isotópicos de lluvias): 9 fuentes con una zona de recarga donde predomina la precipitación pluvial de nubes originadas en la vertiente del Pacífico (en círculo verde en la Figura 6.9), 3 fuentes con una zona de recarga donde predomina la precipitación pluvial de nubes originadas en la vertiente del Atlántico (en círculo celeste en la Figura 6.9), y 3 fuentes en una zona de recarga mixta donde la precipitación pluvial generada por nubes, provenientes de ambas vertientes, es aproximadamente igual (en círculo morado en la Figura 6.9).
- Los manantiales 131728-003 y 131728-006 corresponden a la recarga de lluvias que sufrieron mayor fraccionamiento isotópico antes de producirse la recarga, por lo que se le atribuye gran influencia de las nubes provenientes de la vertiente del Atlántico.
- El manantial polisurgente 131729-024 (a 4,098 m s. n. m.), presenta caudal considerable (aproximadamente 15.0 L/s) que sugiere una mayor zona de recarga y almacenamiento de agua subterránea, que isotópicamente se corrobora con el mayor empobrecimiento de isótopos estables. El manantial 131729-024 tiene valores más negativos de isótopos ^{18}O y D que los de su entorno (131729-025, 131729-029, 131729-007 y 131729-019).
- El grupo de fuentes enmarcados de color rojo (Figura 6.11) sufrió otros procesos de modificación de la composición isotópica del agua subterránea respecto de la lluvia de recarga: (1) evaporación desde una superficie libre o desde el terreno, correspondiente a las muestras de los pozos (IRHS-001-MOQ, IRHS-001-ILO, IRHS-021 e IRHS-70) y del manantial captado 131725-001 en el piso de valle de Moquegua; (2) evaporación desde el terreno para el agua del manantial 131729-007 por la proyección de la línea con pendiente 4 y su proximidad a los manantiales cercanos (Ng, 2015); y (3) evaporación y mezcla con agua superficial. Este último (131729-036), se encuentra en otro contexto hidrogeológico, muy probablemente con recarga por regadío de aguas superficiales cerca de Huaracane.

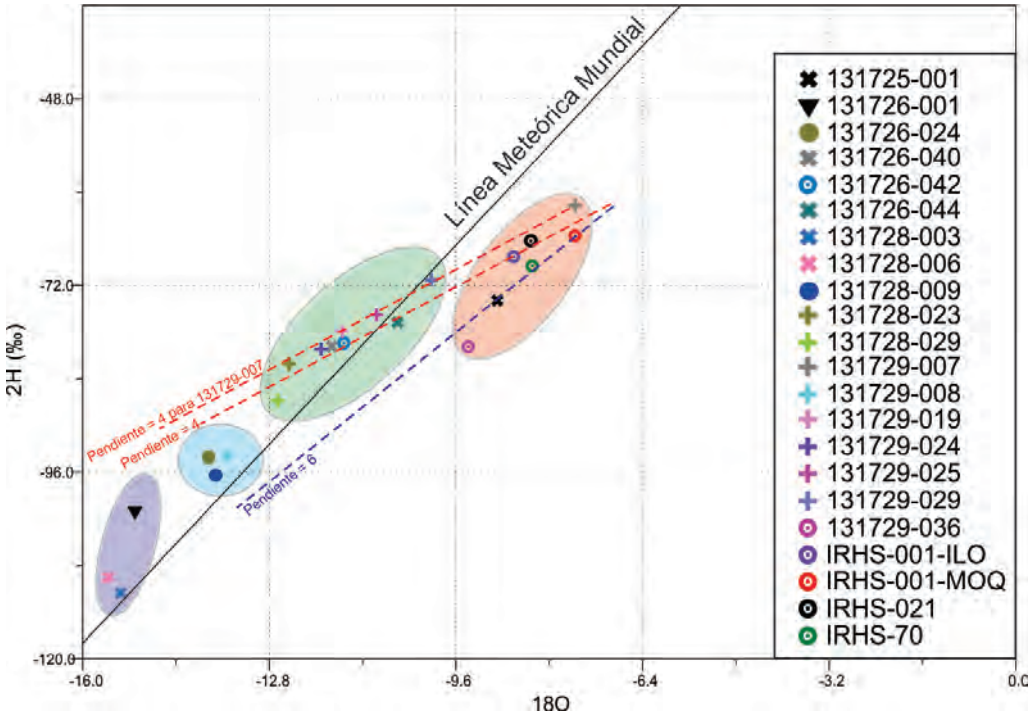


Figura 6.11 Diagrama ^{18}O versus deuterio y procesos de modificación de la composición isotópica del agua subterránea respecto de la lluvia de recarga.

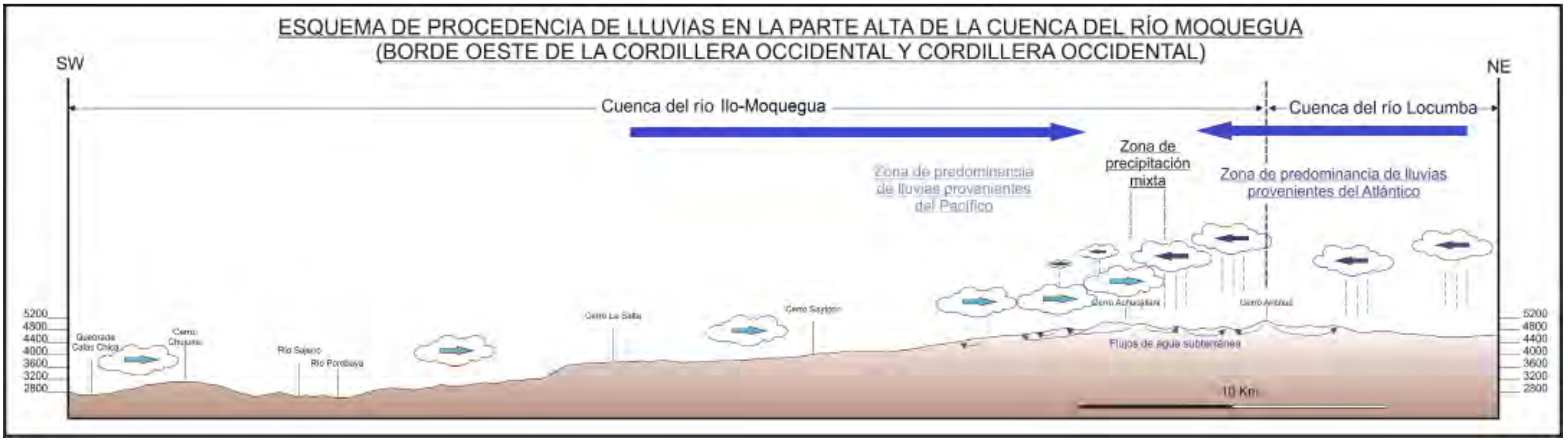


Figura 6.10 Esquema de procedencia de lluvias en la parte alta de la cuenca del río Ilo-Moquegua (Ng, 2015).

CAPÍTULO VII
VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS

Las aguas subterráneas constituyen la fuente de abastecimiento de agua potable para muchas regiones de nuestro país. Sin embargo, en muchos casos, el desconocimiento de los factores que están asociados y protegen este recurso genera contaminación por residuos sólidos y líquidos, producto de la actividad del hombre.

En las zonas agrícola ganaderas puede ocurrir contaminación por el exceso en la aplicación de fertilizantes o plaguicidas, los cuales que tienen contacto directo con aguas de riego, salinizándose e infiltrando en el acuífero. Algo similar sucede con la descomposición de los residuos orgánicos. El deterioro de los acuíferos puede ser irreversible, mientras que su tratamiento y recuperación puede tomar periodos muy prolongados y ser extremadamente costosos.

El primer paso hacia la protección de las aguas subterráneas es tomar conciencia de la escala y de la seriedad del problema. Para ello es necesario cuantificar la debilidad de los factores que están directamente relacionados con los acuíferos a contaminarse, investigar cuáles son los factores que aumentan el riesgo de contaminación y, acorde a esta información, tomar medidas de prevención para evitar problemas futuros (Foster *et a*l., 1993).

La vulnerabilidad a la contaminación de un acuífero es una propiedad intrínseca del material del que está compuesto, la cual establece la susceptibilidad a ser afectado adversamente por una carga contaminante, de modo independiente a la presencia de contaminantes (Foster *et al*., 1987).

Según Auge (2004), el concepto de vulnerabilidad general debe considerarse como una aproximación hacia la determinación de vulnerabilidad específica a algún contaminante en particular (nutriente, patógeno, pesticida, etc.) o de alguna actividad determinada (industrial, saneamiento doméstico, agrícola-ganadera, entre otras).

Existen numerosas metodologías para determinar la vulnerabilidad de un acuífero. Desde que Margat (1968) introdujera el término "vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación", se originaron numerosas definiciones, calificaciones y metodologías sobre el mismo, en muchos casos orientados a su representación cartográfica (Auge, 2004).

Dentro de la vulnerabilidad de acuíferos, existen la vulnerabilidad "intrínseca" y la "específica". La vulnerabilidad "intrínseca", la cual aplica el método GOD, toma en cuenta las condiciones geológicas, hidrológicas e hidrogeológicas del medio; y por tanto es independiente del tipo de contaminante generada por las actividades antropogénicas. Por otro lado, la vulnerabilidad "específica" considera las propiedades de un contaminante específico y sus relaciones con los componentes de la vulnerabilidad intrínseca. Para evaluar la vulnerabilidad específica de un acuífero a la contaminación, uno de los métodos más empleados es el de índice DRASTIC, desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (Aller *et al*., 1987). La información generada mediante este índice se refiere al cálculo ponderado de la contaminación de un acuífero, según su característica intrínseca y la presencia del contaminante.

7.1 CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

La composición natural del agua subterránea puede modificarse drásticamente si un potencial elemento o "contaminante" ingresa al acuífero debido a una actividad antrópica, produciendo la degradación de la calidad de las aguas subterráneas.

En la cuenca del río Ilo-Moquegua se inventariaron determinadas actividades antrópicas en distintos puntos, los que consideramos como potenciales agentes que podrían originar una eventual contaminación de las aguas subterráneas, si no se toman las recomendaciones y medidas del caso, o peor aún, si no se conoce cuán susceptible es el acuífero o cuán tóxico puede ser el contaminante.

Para abordar este tema con mayor importancia y sobre todo como prevención, es indispensable recurrir a estudios más detallados, con ubicación exacta, cartografiado litológico, delimitación geográfica y cuantificación de potenciales agentes que generan el peligro de contaminación de las aguas subterráneas.

La composición del agua subterránea, en lugares puntuales, puede contener de forma natural (por características geológicas y químicas de las rocas principalmente) altos valores de elementos químicos que pueden ser nocivos para la salud. Custodio y Llamas (1996) mencionan que, en condiciones naturales, la calidad intrínseca del agua depende de los siguientes factores:

- Las condiciones originales del acuífero

- Su litología
- La velocidad de circulación
- La calidad del agua de infiltración
- Las relaciones con otras aguas o acuíferos
- Las leyes del movimiento de las sustancias transportadas con el agua
- Factores hidrodinámicos

7.2 POTENCIALES AGENTES DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

En la cuenca del río Ilo-Moquegua se identificaron sectores potenciales como fuentes de contaminación, de los cuales podemos mencionar los siguientes: la actividad agrícola, el uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas, la quema de residuos agrícolas, los botaderos de residuos sólidos y la disposición final de residuos líquidos de la ciudad de Moquegua (aguas servidas vertidas directamente sobre el acuífero), entre otros. A estos puede sumarse la colmatación de pozos abiertos de agua subterránea abandonados, de nivel freático somero o superficial en contacto directo con la superficie.

- La actividad agrícola, el uso de fertilizantes y plaguicidas, y la quema de residuos agrícolas son las principales fuentes de contaminación constatadas en el acuífero poroso no consolidado que se ubica en los pisos de valle de Moquegua e Ilo (Fotografía 7.1). Sobre estos acuíferos pueden estar liberándose principalmente abundantes cantidades de sulfato y nitrato, este último también por descomposición orgánica, abonos agrícolas o por procesos de nitrificación de leguminosas (en este caso el cultivo de habas). En las aguas subterráneas los contenidos naturales de nitratos y sulfatos varía entre 1 a 10 mg/L y entre 2 y 150 mg/L, respectivamente (Custodio & Llamas, 2001); sin embargo, en el piso de valle de Moquegua se evidenciaron valores mayores en 3 fuentes: manantial Huaracane 1 (131729-036, NO_3 = 12.68 y SO_4 = 175.4 mg/L), pozo Totoral (131726-044, NO_3 = 24.9 y SO_4 = 163.1 mg/L) y en el pozo Moquegua 1 (IRHS-001-MOQ, NO_3 = 98.34 y SO_4 = 741.1 mg/L) que podrían estar relacionados, en parte, a estas causas. Se debe tener en cuenta también que el 2002 se desarrollaba solo en el piso de valle de Moquegua un total de 3490.30 hectáreas bajo riego (fuente: cédula de cultivo del distrito de Riego Moquegua); destacando la alfalfa (1446.19 ha), el olivo (452,17 ha) y el maíz (360.58 ha) que representan el 41.43, 12.96 y 10.33 % del área total cultivada, respectivamente.

Fotografía 7.1 Cultivos de vid en el sector de Garibaldi, en el piso de valle de Moquegua.

- Los lugares convertidos indiscriminadamente en lugares de disposición final de residuos sólidos (botaderos) y colmatación de pozos de agua subterránea abandonados representan un gran potencial de ingreso de agentes contaminantes. En el caso de los botaderos de residuos sólidos que se ubiquen en zonas donde las rocas son porosas o altamente fracturadas, existe el alto riesgo que luego de la acción en superficie del ambiente y precipitación pluvial (o escorrentía superficial eventual), arrastre y condicione el ingreso de diversos contaminantes orgánicos e inorgánicos hacia la zona no saturada, que podría llegar a contaminar las aguas subterráneas. Dentro de la cuenca se ubicaron 3 zonas de disposición final de residuos sólidos (botaderos): La primera cerca de la localidad de Ullunto (parte alta de la cuenca. La segunda cerca del cerro Alegoma (E = 301224, N = 8111603, Fotografía 7.2) aproximadamente 2.5 km al noroeste de Torata. La tercera zona de botadero corresponde a la faja litoral de las costas de Ilo, que influencia de modo local sobre la delgada capa permeable costera. Además, no se descarta la existencia de otras zonas de disposición final de residuos sólidos dado que en la cuenca no se visualizó un relleno sanitario
- Algunos pozos que se usaban para el abastecimiento de la actividad agrícola fueron dejados producto de la implementación de aguas de trasvase del Proyecto Pasto Grande. En la mayoría de estos pozos, los niveles de aguas subterráneas se encuentran próximos a la superficie (flujo subsuperficial), y por ende con mayor posibilidad de incorporar agentes contaminantes. Una muestra de ello se aprecia en la Fotografía 7.3 (sólidos arrojados en el pozo), lo cual es perjudicial al contaminar las aguas subterráneas.

Fotografía 7.2 Disposición de residuos sólidos improvisado, ubicado cerca del cerro Alegoma, a 2.5 km aproximadamente al noroeste de Torata. En segundo plano se observa el cerro Baúl.

Fotografía 7.3 Pozo de agua sin uso ubicado en el sector de Julián, en el piso de valle de Moquegua. Nótese la presencia de residuos sólidos de origen antrópico dentro del pozo

- En el valle de Moquegua, el desborde de aguas servidas no tratadas procedente de la ciudad de Moquegua, ocasionalmente ingresa de forma directa en el acuífero e inunda las zonas agrícolas. También se pudo observar que estas aguas se destinaban para riego en las áreas contiguas, las mismas que se encuentran expuestas a la contaminación por sustancias como detergentes, nitratos, materia orgánica, bacterias y virus.
- La emisión de residuos animales puede generar compuestos nitrogenados, fosfatos, bacterias, cloruros y, en algunos casos, metales pesados. Normalmente no ocasionan problemas importantes, salvo en el caso de grandes instalaciones (según Francisco Sánchez en http://hidrologia.usal.es/temas/contaminacion.pdf). En la cuenca del río Ilo-Moquegua se desarrolla poca ganadería, en la parte alta se dedican a la crianza de ovinos y auquénidos, mientras que en la parte baja (en los valles) a la crianza de ganado vacuno.

7.3 VULNERABILIDAD DE ACUÍFERO EN LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA

La vulnerabilidad de acuíferos en la cuenca del río Ilo-Moquegua se desarrolla desde el punto de vista de la prevención. El mapa de vulnerabilidad de acuíferos muestra el estado actual de la cuenca frente a un peligro de contaminación, mediante una ponderación de unidades hidrogeológicas para medir el grado de vulnerabilidad de la cuenca frente a un ocasional peligro de contaminación.

La elaboración del mapa de vulnerabilidad se realizó desde un punto de vista regional, considerando a la cuenca hidrográfica como unidad de análisis, el método empleado fue el GOD, propuesto por Foster (1987). Este método se basa en la asignación de índices entre 0 y 1 a tres variables: G (ground water occurrence = ocurrencia de agua subterránea), O (over all aquifer class = litología del acuífero) y D (depth = profundidad al agua subtrránea).

En el Gráfico 7.1 se muestra el diagrama utilizado para ponderar y valorizar las unidades de vulnerabilidad a la contaminación, el mismo que no considera las cualidades del contaminante y se centra en medir los aspectos físicos y propiedades de las unidades hidrogeológicas. Aplicando la metodología del Gráfico 7.1, se obtuvo la valoración y ponderación de la vulnerabilidad de las formaciones geológicas que afloran en la cuenca del río Ilo-Moquegua, lo que se muestra en el Cuadro 7.1.

Las características intrínsecas de las formaciones geológicas que afloran en la cuenca del río Ilo-Moquegua, y sus respectivas clasificaciones hidrogeológicas, que considera la litología, espesor, valores de permeabilidad y porosidad, permitió reconocer las 5 categorías de vulnerabilidad que tiene la cuenca (cuadros 7.1 y 7.2), la que ha sido representada en el mapa de vulnerabilidad de acuíferos de la cuenca Ilo-Moquegua (Figura 7.1).

Cuadro 7.1

Valores de vulnerabilidad calculados para la cuenca del río Ilo-Moquegua

n°	Formación geológica		Descripción litológica	**Clasificación** hidrogeológica	G	O	D	Valor GOD	Vulnerabilidad
1	Basamento metamórfico de Arequipa		Gneis con bandas de cuarzo-feldespato.	Acuifugo	0.1	0.6	0.4	0.02	DESPRECIABLE
2	Grupo Ambo		Conglomerado basal. Arenisca fina con algunas intercalaciones de lutitas negras y ocasionales bancos de cuarcita. Hacia el tope limolitas, fuertemente silicificadas.	Acuitardo sedimentario	0.4	0.65	0.5	0.13	BAJA
3	Formación Chocolate		Lavas andesíticas de color verdoso o chocolate, ocasionalmente bancos de dacita gris clara con estructura amigdaloide; puntualmente hacia el tope calizas gris claras.	Acuitardo volcánico	0.4	0.6	0.5	0.12	BAJA
4	Grupo Yura	Formación Puente	Conglomerado basal, areniscas de grano medio a fino con intercalaciones de delgados niveles de limolita.	Acuífero fisurado sedimentario	0.8	0.7	0.6	0.34	MODERADA
5	Grupo Toquepala	Formación Toquepala	En la parte inferior brechas y derrames de riolitas y andesitas (350m), parte media conglomerádicos, arcosas y limolitas (25m),parte superior brechas y aglomerado riolíticos de color pardo amarillento, macizos o en bancos gruesos.	Acuitardo volcánico	0.8	0.7	0.4	0.22	BAJA
6		Formación Quellaveco	Base conglomerádica, sobre este conglomerado se distinguieron 40 metros de toba andesítico verdoso; a los cuales se sobreponen derrames de andesitas porfiríticas.	Acuitardo volcánico	0.8	0.7	0.4	0.22	BAJA
7	Grupo Moquegua	Formación Moquegua inferior	En la base areniscas arcósicas con matriz limolitica, intercalada de limolitas y paquetes potentes de arcillas; intercalados indistintamente con niveles de yeso. En otro sector la base está constituída por conglomerados, interestratificado con arcosas de grano grueso a medio.	Acuitardo sedimentario	0.8	0.65	0.5	0.26	BAJA
8		Formación Moquegua superior	Conglomerados poco compactos, eventualmente intercalados con limolitas, ignimbritas hacia el tope. En zonas puntuales lutitas regularmente compacta, intercaladas de arcosas; en el tercio superior se intercalan abundantes estratos de yeso, anhidrita, capas finas de sal y diatomita.	Acuífero sedimentario	1	0.8	0.7	0.56	ALTA
9	Formación Jaguay inferior		Areniscas de grano medio a grueso en una matriz ligeramente tobácea. Los niveles medios, arcillas intercaladas con capas de yeso.	Acuitardo sedimentario	0.4	0.6	0.6	0.14	BAJA
10	Formación Jaguay superior		Conglomerados englobados en una matriz arenosa.	Acuífero sedimentario	1	0.8	0.7	0.56	ALTA

Cuadro 7.1

Valores de vulnerabilidad calculados para la cuenca del río Ilo-Moquegua (continuación)

N°	Formación geológica		Descripción litológica	Clasificación hidrogeológica	G	O	D	Valor GOD	Vulnerabilidad
11	Formación Huaylillas		Tobas dacíticos y riolíticos.	Acuitardo volcánico	0.6	0.6	0.4	0.14	BAJA
12	Grupo Barroso	Formación Capillune	Conglomerados de matriz arenosa, con intercalaciones de areniscas en capas delgadas y lentes. Depósitos de pomez y cenizas no consolidados.	Acuífero volcánico-sedimentario	0.6	0.65	0.8	0.31	MODERADA
13		Formación Barroso inferior	Derrames (andesitas basálticas con textura porfirítica) intercalados con brechas de flujo y materiales piroclásticos.	Acuífero fisurado volcánico	1	0.8	0.8	0.64	ALTA
14	Formación Millo		En la zona más cercana a la cordillera Occidental, conglomerados con clastos hasta 1m, su matriz es escasa y en ocasiones intercaladas con delgadas capas de arcosas de grano grueso a muy grueso. Hacia la Cordillera de la Costa, conglomerados de matriz arenosa de grano medio y estratificado con niveles potentes de areniscas arcósicas.	Acuífero sedimentario	1	0.8	0.6	0.48	MODERADA
15	Depósitos marinos		Arena, coquina y conglomerado.	Acuífero poroso no consolidado	1	0.7	1	0.70	EXTREMA
16	Depósitos de terrazas		Gravas subredondeadas y arenas.	Acuífero poroso no consolidado	0.8	0.75	0.8	0.48	MODERADA
17	Depósitos aluviales		Gravas semiconsolidadas con intercalaciones lenticulares de arena gruesa, arcillas y tobas redepositados.	Acuífero poroso no consolidado	1	0.8	0.95	0.76	EXTREMA
18	Depósitos glaciares		Gravas en matriz areno arcillosa.	Acuífero poroso no consolidado	1	0.7	1	0.70	EXTREMA
19	Depósitos fluviales		Gravas con lentes de arenas y capas de arcillas.	Acuífero poroso no consolidado	1	0.8	1	0.80	EXTREMA
20	Depósitos eólicos		Arena suelta.	Acuífero poroso no consolidado	1	0.6	1	0.60	ALTA
21	S.U. Punta Coles		Gabros a dioritas.	Acuitardo intrusivo	0.5	0.6	0.5	0.15	BAJA
22	S.U. Ilo		Varía entre grabrodioritas, dioritas y granodioritas.	Acuitardo intrusivo	0.5	0.6	0.5	0.15	BAJA
23	S.U. Tiabaya		Granodiorita y sienogranito.	Acuitardo intrusivo	0.5	0.65	0.5	0.16	BAJA
24	S.U. Yarabamba		Granodioritas, monzogranitos, monzonita.	Acuitardo intrusivo	0.5	0.65	0.5	0.16	BAJA
25	Intrusivos menores		Dacita cuarzosa, granodiorita porfirítica, brechas, diques dacíticos. Diorita y pórfido Los Calatos.	Acuitardo intrusivo	0.5	0.65	0.5	0.16	BAJA

Cuadro 7.2
Leyenda establecida para elaborar el mapa de vulnerabilidad de acuíferos según el método GOD (IGME, 1976)

Nº	Característica de los materiales	Color	Categoría GOD
1	Formaciones geológicas donde los acuíferos son muy vulnerables. Zonas donde es necesario extremar las medidas preventivas. Materiales donde la contaminación puede propagarse velozmente y a grandes distancias.		Extrema
2	Formaciones geológicas con acuíferos vulnerables, Terrenos donde la circulación subterránea es rápida.		Alta
3	Formaciones geológicas donde los acuíferos se encuentran parcialmente protegidos de la entrada o de la propagación de agentes contaminantes, por ciertas características específicas de las rocas.		Moderada
4	Formaciones geológicas donde la contaminación puede revestir características variables, por ser poco extenso y de tipo muy diverso.		Baja
5	Formaciones geológicas impermeables, en acuitardos o acuicludos, donde la contaminación es nula, no se excluye la existencia de pequeños acuíferos libres, muy vulnerables, situados en áreas donde existen fallas geológicas con propiedades de conducir aguas subterráneas.		Despreciable

7.3.1 Vulnerabilidad despreciable

En esta categoría, los materiales son generalmente de muy baja permeabilidad o nula, y no constituyen acuíferos. El grado de exposición a la contaminación es muy relativo, en proporción a la escasa importancia de los materiales. En esta categoría se clasificó al acuifugo del basamento metamórfico de Arequipa, con un valor GOD de 0.02. En la Figura 7.1 aparece de fondo blanco, en los alrededores de la refinería de Ilo.

7.3.2 Vulnerabilidad baja

Coincidentemente, el cálculo ponderado GOD nos permite clasificar a esta categoría a todos los acuitardos intrusivos, volcánicos y sedimentarios (12 unidades, Cuadro 7.2), ubicándose en gran parte de la cuenca. Sus características litológicas impermeables, los bajos y muy bajos valores de conductividad hidráulica, lo clasifican dentro de la vulnerabilidad baja. El posible ingreso y circulación de un potencial contaminante es muy bajo, además se considera que estas formaciones no almacenan ni transmiten aguas subterráneas de interés, para su explotación.

En caso de materiales intrusivos fracturados, usualmente las fracturas son superficiales y no genera mayor circulación ni almacenamiento de agua; mientras que, en formaciones sedimentarias, la predominancia de materiales finos otorga a estas formaciones características impermeables.

Esta valoración no considera la posible presencia de fallas regionales, que tenga desplazamiento y separación con materiales de relleno permeables. El nivel de circulación del posible contaminante puede darse a través de este tipo de estructuras.

7.3.3 Vulnerabilidad moderada

El promedio ponderado calculado para esta categoría incluye las formaciones geológicas Puente, Capillune, Millo y los depósitos de terraza. Indistintamente los valores de las variables GOD del método tienen una diferencia mínima para cada formación, clasificándolas dentro del rango de vulnerabilidad moderada. En el caso de la Formación Puente (valor GOD de 0.34), si bien se encuentra fisurada, el valor calculado guarda relación con la antigüedad, grado de compactación y los niveles semipermeables de las rocas que la constituye (presencia de lutitas). Los valores GOD calculados para la Formación Capillune, Millo y los depósitos de terraza son, respectivamente, 0.31, 0.48 y 0.48; y se encuentran en el rango de vulnerabilidad moderada.

7.3.4 Vulnerabilidad alta

Dentro de esta categoría se consideran a los acuíferos fisurados sedimentarios de las formaciones Moquegua superior y Jaguay superior; el acuífero fisurado volcánico Barroso inferior; y el acuífero poroso no consolidado eólico.

Los afloramientos de los materiales fracturados y fallados (volcánicos), presentan índice de vulnerabilidad más alta que los acuíferos sedimentarios. Se observó también que en los acuíferos fisurados volcánicos se halla la mayor cantidad de manantiales. En gran parte de la cuenca, la presencia de lavas altamente fracturadas se ven expuestas directamente a la infiltración del agua de lluvia y, por ende, también al ingreso de potenciales agentes contaminantes.

En el caso de los acuíferos sedimentarios Moquegua y Jaguay superior, sus características semiconsolidadas, porosas y de alta permeabilidad, evidenciado en superficie, pueden facilitar el ingreso de posibles agentes contaminantes por lo que se clasificó como de vulnerabilidad alta. Sin embargo, la ubicación de estos, restringido principalmente en la Planicie Costera, es de precipitación pluvial escasa, donde no se encontraron manifestaciones de agua subterránea.

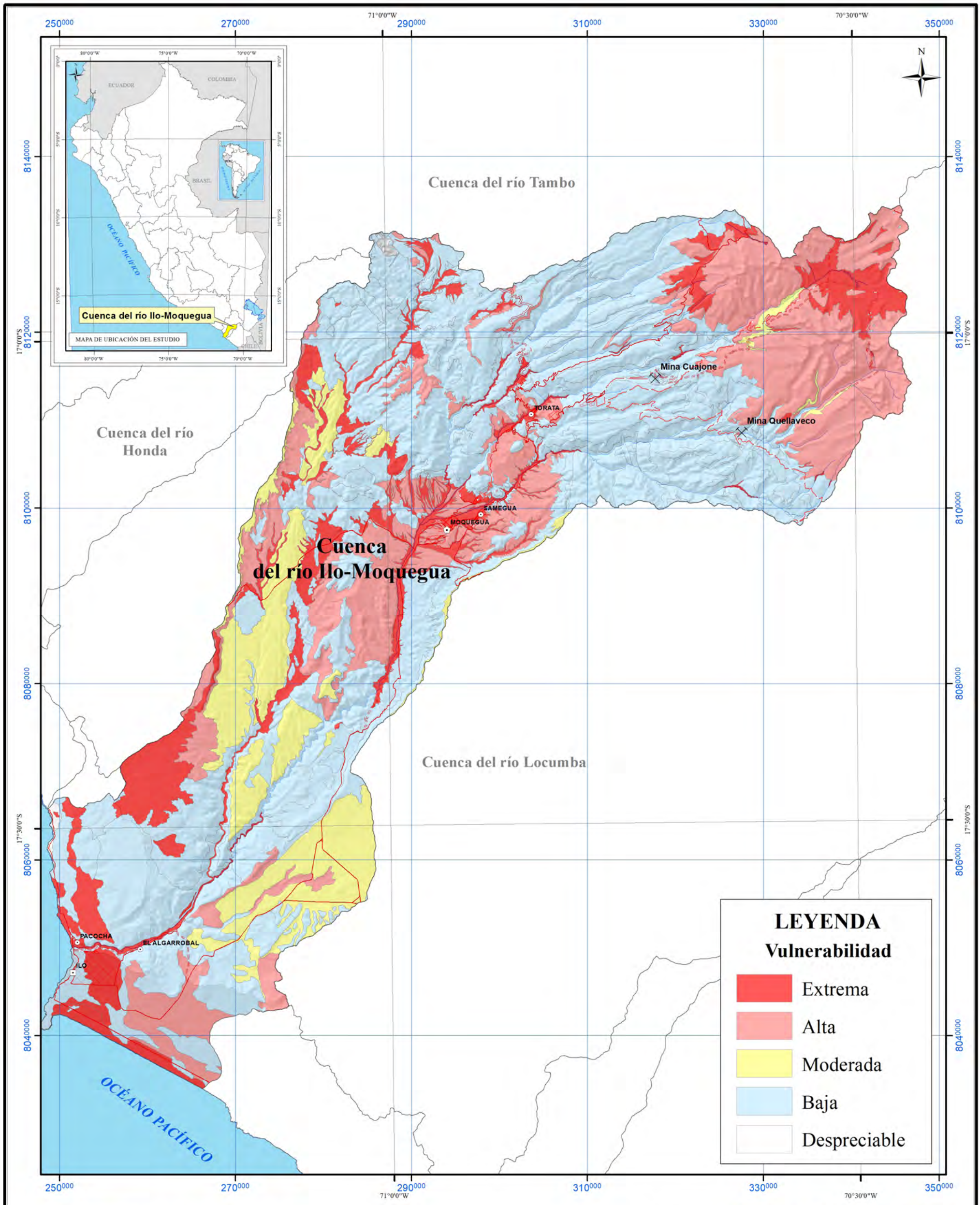
Los valores ponderados de vulnerabilidad en esta categoría son de 0.64 para el acuífero fisurado volcánico, y de 0.56 para los acuíferos sedimentarios Moquegua y Jaguay superior.

Por otro lado, estas formaciones geológicas son muy buenas zonas para plantear estudios localizados de recarga artificial o de vulnerabilidad de acuíferos.

7.3.5 Vulnerabilidad extrema

Los acuíferos más susceptibles de ser contaminados se encuentran en esta categoría, es decir, aquellos que están compuestos de materiales que facilitan filtración y donde el nivel freático está muy cerca de la superficie donde se podrían ubicar numerosos agentes contaminantes. En esta categoría están incluidos los depósitos cuaternarios marinos (cerca de Isla Coles), aluviales (como el piso de valle de Moquegua), glaciares y fluviales (como el piso de valle de Ilo). Estos materiales son depósitos de alta permeabilidad, la cual facilita que los agentes contaminantes tengan infiltración rápida, llegando al subsuelo y aguas subterráneas (como en los pisos de valle de Moquegua e Ilo). Su distribución es irregular y aislada, salvo en las quebradas como relleno y superficies ligeramente planas. Sobre estos depósitos cuaternarios se desarrollan numerosas actividades agrícolas, ganaderas e industriales; también se encuentran ciudades y centros urbanos como Moquegua, Ilo, El Algarrobal, Pacocha, etc.; por lo tanto, son altamente susceptibles a ser contaminados.

En la parte superior de la cuenca del río Ilo-Moquegua se encuentran acuíferos porosos no consolidados discontinuos y de pequeña extensión (salvo en la pampa Titijones), como depósitos glaciares, que tienen características de vulnerabilidad extrema por su alta porosidad y conductividad hidráulica.


250000
270000
71°0'0"W
290000
310000
330000
70°30'0"W
350000
N
8140000
8120000
8100000
8080000
8060000
8040000
17°0'0"S
17°30'0"S
Cuenca del río Tambo
Cuenca del río Honda
Cuenca del río Locumba
Cuenca del río Ilo-Moquegua
Mina Cuajone
Mina Quellaveco
TORATA
SAMEGUA
MOQUEGUA
PACOCHA
EL ALGARROBAL
ILO
OCÉANO PACÍFICO
MAPA DE UBICACIÓN DEL ESTUDIO
ECUADOR
COLOMBIA
BRASIL
BOLIVIA
CHILE
LEYENDA
Vulnerabilidad
Extrema
Alta
Moderada
Baja
Despreciable
SÍMBOLOS
Capital de región
Capital de provincia
Capital de distrito
Carretera asfaltada
Carretera afirmada
Trocha carrozable
Vía no afirmada
Océano Pacífico
Cauce permanente
Cauce intermitente
Cauce efímero
Mina activa
Ciudad
Cuenca o intercuenca
Cuenca del río Ilo-Moquegua
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA (13172)
VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS (MÉTODO GOD)
Versión digital: Año 2014
Impresión Junio 2019
ESCALA 1:400,000
0 3 6 12 18 Kms.
Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 19 Sur
Figura 7.1

CAPÍTULO VIII
SISTEMAS ACUÍFEROS

Según la interpretación literal, basada en el diccionario de la Real Academia Española, un "sistema acuífero" es un conjunto de rocas que, ordenadamente relacionadas entre sí, contribuyen a transportar o almacenar agua subterránea en su interior. Un sistema acuífero no admite una definición lógica rigurosa, en el concepto se aúnan formaciones geológicas de naturaleza litológica y cualidades diversas, con una extensión y propiedades conocidas.

En la cuenca del río Ilo-Moquegua, se observan características hidrogeológicas variadas que determinan una investigación hidrogeológica diferenciada, tomando en consideración las características físicas de la cuenca y la disposición de pisos altitudinales, a los que se suman factores geológicos, estructurales, climáticos y geomorfológicos. Por ello, es necesaria una división en sistemas de análisis para comprender el funcionamiento de los mecanismos de circulación subterránea (Peña et al., 2015).

Se dividieron los acuíferos en dos sistemas: 1) sistema acuífero poroso no consolidado (valles de Moquegua e Ilo) y 2) sistema acuífero fisurado volcánico-sedimentario en la parte alta de la cuenca (donde existe mayor precipitación pluvial, Grupo Barroso). Los acuíferos Moquegua superior, Jaguay superior y Puente no se consideraron dentro de un sistema acuífero, debido a que se encuentran en una zona con escasa o nula recarga pluvial en un ambiente desértico, algunos de los cuales afloran en áreas reducidas. Tampoco se observaron manantiales. Estas unidades hidrogeológicas pueden ser de interés por su naturaleza permeable.

En el sistema acuífero poroso no consolidado, se diferenciaron los pisos de valle de Moquegua e Ilo, cuya interconexión subterránea no es directa, pero pertenece al mismo material y tiene relación similar con la recarga del acuífero (ambos acuíferos se recargan por el mismo río y por las aguas de riego procedente de la actividad agrícola). Se debe tener en cuenta, además, que los acuíferos porosos no consolidados del piso de valle de Moquegua e Ilo se encuentran en el recorrido del mismo río, pero separados por niveles heterogéneos de cerca de 33 km de distancia. El volumen de agua de uso agrario en la cuenca del río Ilo-Moquegua se estimó aproximadamente en 70.108 MMC (Inrena, 2004).

El sistema acuífero Barroso-Capillune muestra predominancia de rocas volcánicas fracturadas del Grupo Barroso inferior, que se encuentran interconectadas hidráulicamente con la Formación Capillune, de naturaleza estratificada en horizontes. Ambas (grupo y formación) son las principales unidades hidrogeológicas del sistema acuífero Barroso-Capillune.

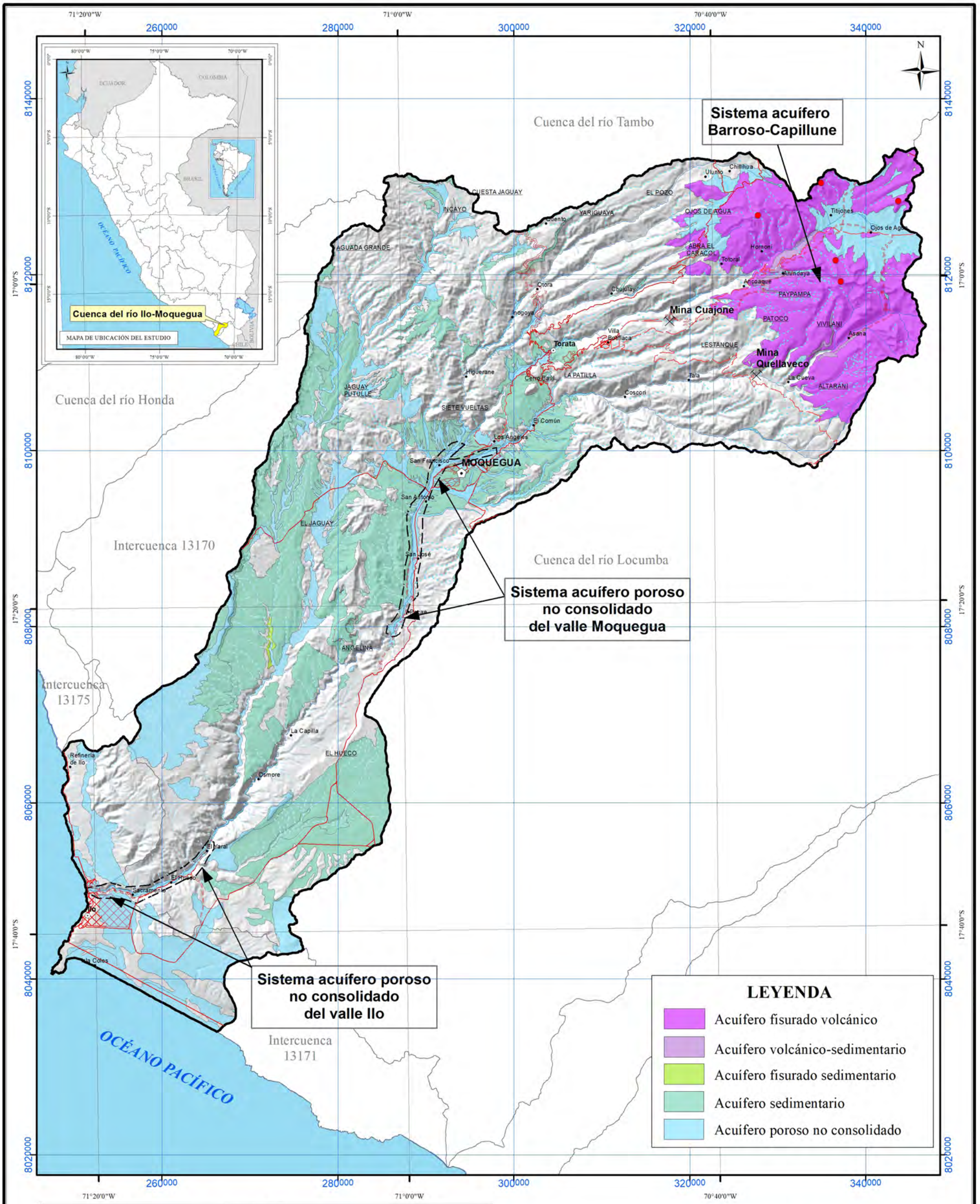
Para el caso de estudios de recarga de acuíferos, captación de aguas subterráneas, perímetros de protección de captaciones o contaminación de acuíferos, estos deben realizarse a nivel de detalle. En el caso del sistema acuífero Barroso, se deberá estudiar individualmente cada formación tomando en cuenta las distintas características geológicas e hidrogeológicas, luego será conveniente integrarla en un solo sistema dado que están muy relacionadas, pues es evidente la interconexión hidráulica subterránea.

La diferenciación en sistemas acuíferos nos permitió dividir la cuenca considerando en primer lugar los contactos geológicos y en segundo término la interconexión hidráulica. No obstante, algunos límites de los acuíferos no se definen por completo porque las formaciones geológicas se extienden más allá de los límites de la cuenca.

Los límites establecidos para el acuífero fisurado volcánico-sedimentario de la parte alta de la cuenca (extremo noreste, acuífero Barroso inferior y Capillune) se restringen, por un lado, a la divisoria de aguas *(divortium aquarium)* y, por el sector suroeste, a los cambios de litología permeable e impermeable. Sin embargo, no se descarta que el acuífero Capillune pueda presentar aportes de agua subterránea provenientes de otra(s) cuenca(s), lo cual confirmaría que el límite hidrológico y el límite hidrogeológico (subterráneo) son diferentes.

Los límites establecidos en los mapas hidrogeológicos a escala 1:100 000 de cada sistema acuífero están sujetos a modificaciones futuras en función de nueva información basada principalmente en datos de perforaciones y pruebas hidráulicas, con los que actualmente no se cuenta.

Para discretizar los sistemas acuíferos en la cuenca del río Ilo-Moquegua, se utilizó un mapa hidrogeológico. Estos sistemas acuíferos corresponden a diferentes tipos de reservorio (Figura 8.1).


Sistema acuífero Barroso-Capillune
Sistema acuífero poroso no consolidado del valle Moquegua
Sistema acuífero poroso no consolidado del valle Ilo
Cuenca del río Tambo
Cuenca del río Honda
Intercuenca 13170
Cuenca del río Locumba
Intercuenca 13175
Intercuenca 13171
OCÉANO PACÍFICO
MOQUEGUA
Mina Cuajone
Mina Quellaveco
Torata
CUESTA JAGUAY
INCAYO
YARIGUAYA
EL POZO
OJOS DE AGUA
AGUADA GRANDE
ABRA EL CARACOL
PAYPAMPA
PATOCO
VIVILANI
LESTANQUE
ALTARANI
LA PATILLA
JAGUAY PUTULLE
SIETE VUELTAS
EL JAGUAY
ANGELINA
EL HUECO
Cuento
Ulunto
Chillihua
Titijones
Hornoni
Totoral
Arundaya
Ancoaque
Asana
Otora
Chululay
Ingoyo
Villa Botiflaca
Higuerane
Cerro Baúl
Tala
La Cueva
Coscori
El Común
Los Angeles
San Francisco
San Antonio
San José
La Capilla
Osmore
Refinería de Ilo
El Arenal
El Hueso
Sacramento
Ilo
Punta Coles
ECUADOR
COLOMBIA
BRASIL
CHILE
Cuenca del río Ilo-Moquegua
MAPA DE UBICACIÓN DEL ESTUDIO
71°20'0"W
71°0'0"W
70°40'0"W
260000
280000
300000
320000
340000
8140000
8120000
8100000
8080000
8060000
8040000
8020000
17°0'0"S
17°20'0"S
17°40'0"S
N
LEYENDA
Acuífero fisurado volcánico
Acuífero volcánico-sedimentario
Acuífero fisurado sedimentario
Acuífero sedimentario
Acuífero poroso no consolidado
SÍMBOLOS TOPOGRÁFICOS
Capital de región
Capital de provincia
Capital de distrito
Localidad
Volcán
Océano Pacífico
Carretera asfaltada
Carretera afirmada
Trocha carrozable
Vía no afirmada
Cauce permanente
Cauce intermitente
Cauce efímero
Mina activa
Ciudad
Cuenca o intercuenca
Cuenca del río Ilo-Moquegua
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA (13172)
DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ACUÍFEROS
Versión digital: Año 2015
Impreso: Junio 2019
ESCALA 1:400,000
0 2.75 5.5 11 16.5 km
Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 19 Sur
Figura 8.1

8.1 SISTEMAS ACUÍFEROS POROSOS NO CONSOLIDADOS

8.1.1 El acuífero del valle de Moquegua

El principal sistema acuífero de la cuenca está constituido por los acuíferos porosos no consolidados de piso de valle, los que se ubican en la parte central de la cuenca, en las inmediaciones del valle y la ciudad de Moquegua (Fotografía 8.1). Los límites y condiciones de borde de estos acuíferos son diversos; el ancho máximo aproximado es de 3.8 km y el ancho mínimo aproximado, de 300 m. Su ubicación altitudinal con respecto al nivel del mar es variable, de 1500 m s. n. m. (en el sector Benavides) y 1600 m s. n. m. (en el sector Yunguyo), a una altura mínima de 920 m s. n. m. (en el sector Molle). El drenaje que permite la recarga es sinuoso y alargado, de dirección noreste-suroeste en los sectores de los ríos Huaracane, Torata; y en menor grado en Tumilaca, cuya confluencia forma el río Moquegua. Luego de ello, la dirección del drenaje cambia a norte-sur. Geomorfológicamente constituyen los valles transversales de la cuenca.

La actividad económica principal en el piso de valle de Moquegua es la agricultura. En el 2004 había 3490.30 hectáreas bajo riego, los cultivos que más destacaban era la alfalfa (1446.19 ha), el olivo (452.17 ha) y el maíz (360.58 ha) que representaban el 41.43 , 12.96 y 10.33 % del área total cultivada, respectivamente.

Dentro de esta clasificación están considerados también los afloramientos de depósitos aluviales de los ríos Huaracane y Torata en los alrededores del sector El Yaral; las del río Tumilaca en los alrededores del sector Yunguyo; hasta el sector El Molle, hacia el sur, en el río Moquegua.

Geometría del acuífero

El depósito sedimentario es poroso y no consolidado, de clastos redondeados a subredondeados y matriz arenolimosa, por lo general. Es producto de los depósitos aluviales y fluviales, erosionados y transportados desde la parte alta de la cuenca, cuyo relleno sedimentario se produjo por el curso de los ríos, y fueron depositados formando el valle de Moquegua, donde se ubica también la ciudad del mismo nombre. Esta secuencia tiene intercalación de horizontes permeables y, eventualmente, presencia de capas impermeables, de edad cuaternaria, que rellena el valle, lo que hace evidente la variabilidad de su espesor y sus características hidrogeológicas. El depósito poroso no consolidado es un acuífero de tipo libre, porque su techo lo establece la superficie del terreno, sin embargo, existen esporádicos sectores donde los niveles impermeables confinan al acuífero, otorgándole propiedades de ser un acuífero de tipo semiconfinado. La base o piso del acuífero (basamento impermeable) está compuesto por rocas volcánicas del Grupo Toquepala y la Formación Chocolate inferior y rocas sedimentarias del Grupo Moquegua.

Los ríos Huaracane, Torata, Tumilaca y Moquegua, a lo largo de sus recorridos, van formando terrazas escalonadas producto de la erosión lateral producida por las variaciones de la escorrentía superficial (caudales extraordinarios en periodos lluviosos y caudales ordinarios en periodos de estío). Estas terrazas, por lo general, son de material cuaternario, constituidas por gravas redondeadas a subredondeadas y angulosas a subangulosas de matriz arenosa y arenolimosa. Ocasionalmente, en superficie, se pueden observar bancos de arcillas con limos.

Los horizontes saturados de agua subterránea se calcularon, en la investigación geofísica, por el método de sondeo eléctrico vertical, SEV (Inrena, 2004, Cuadro 8.1). Además, utilizando el mismo método, se calcularon los espesores del material cuaternario en diversos sectores (Cuadro 8.1).

Fotografía 8.1 Vista panorámica de la parte superior del acuífero poroso no consolidado del valle de Moquegua.

Cuadro 8.1
Espesor del horizonte saturado y espesor del depósito aluvial del piso de valle de Moquegua

N°	Sector	Variación del espesor total del depósito cuaternario (m)	Variación del espesor del horizonte saturado (m)
1	Estuquiña – Ocayita Chica	16.00 – 53.00	32.00 – 33.00
2	Huaracane – Loma Quemada	25.00 – 47.00	18.20 – 42.80
3	Tombolombo – San Cara	–	65.10 – 70.20
4	San Cara – Alto Villa	41.00 – 72.00	–
5	El Crucero – Escapalaque	41.00 – 71.00	40.70 – 58.10
6	Escapalaque – Alto La Villa	–	47.50 – 65.80
7	Los Cerrillos– Villa	35.00 – 59.00	–
8	Quilancha – La Chimba	28.00 – 73.00	24.90 – 68.10
9	Buenavista	–	12.60 – 33.90
10	La Villa	39.00 – 59.00	35.00 – 54.00
11	Yaravico – Locumbilla	–	36.18 – 75.10
12	Yaravico – Montalvo	37.00 – 77.00	–
13	Belén	34.00 – 69.00	33.10 – 67.52
14	Mono – San Antonio	–	16.90 – 38.10
15	Calaluna – San Antonio	20.00 – 42.00	–
16	Los Angulo – Garibaldi	26.00 – 45.00	23.50 – 43.31
17	Cruz Verde – Garbanzo	13.00 – 41.00	11.80 – 37.00
18	Hacienda Grande – La Bodeguilla	19.00 – 39.00	16.40 – 36.32
19	Corpanto Pomareda – Corpanto Chersi	20.00 – 40.00	18.18 – 38.20
20	Corpantito – San José	34.00	32.12 – 33.00
21	Santa Ana – Testamento	22.00 – 24.00	20.00 – 21.90
22	La Merced – Soledad	10.00 – 19.00	07.72 – 15.25
23	Cupine – Sacata	11.00 – 21.00	08.90 – 18.20
24	Chamos	16.00 – 29.00	15.50 – 28.35
25	Los Enriquez – Sacatilla	–	09.65 – 13.60
26	Conde – Sacatilla	10.00 – 14.00	–
27	Tapia – Flores	14.00 – 15.00	13.00 – 14.90
28	Mayorazgo – Tamayo	16.00 – 21.00	13.50
29	Pacae – El Ramadón	11.00 – 13.00	07.30 – 08.20
30	San Luis – Rodríguez Piedra	08.00 – 15.00	08.50 – 14.05

Fuente: Inrena, 2004 (calculado sobre la base de estudios geofísicos SEV).

Inventario de pozos y manantiales

Los pozos constituyen una fuente artificial de explotación de agua subterránea, mientras que los manantiales son descargas naturales del acuífero en zonas donde el nivel piezométrico intercepta el relieve del terreno (Peña *et al*., 2015). Para conocer la cantidad de agua extraída se deben inventariar los pozos y manantiales existentes, para luego llevar un registro de explotación de aguas subterráneas de manera controlada y justificada. Según información de Inrena (2004), reporta un inventario de 63 pozos (5 en el distrito de Samegua, y 58 en el distrito de Moquegua). Así mismo en el Cuadro 8.2 se puede observar el tipo de pozo en cada distrito, el estado de los pozos y el uso de los pozos categorizados como "utilizados".

Cuadro 8.2
Inventario de fuentes de agua subterránea en el piso de valle de Moquegua

N°	Distrito	Cantidad	Tipo de fuente	Tipo de pozo			Estado de los pozos			Uso de pozos	
				Tubular	Tajo abierto	Mixto	Utilizado	Utilizable	No utilizable	Doméstico	Agrícola
1	Moquegua	58	P	12	46	0	11	25	22	6	5
		37	M	-	-	-	23	14	0	12	11
2	Samegua	5	P	5	0	0	1	3	1	1	0

Fuente: Inrena, 2004.

Niveles piezométricos

El nivel piezométrico representa la carga hidráulica del agua subterránea en el punto del pozo perforado, sin embargo, se considera que este punto es dinámico, puede ascender o descender debido a la extracción de aguas subterráneas o a las variaciones de recarga del acuífero. El acuífero del valle de Moquegua, por lo general, es del tipo libre, donde los niveles piezométricos coinciden con el nivel freático (límite de saturación).

El acuífero aluvial tiene niveles de fluctuación por sectores, ocasionados principalmente por la densidad de los pozos construidos que realizan explotación simultánea de pozos cercanos, y por la ampliación de la zona de recarga cuando se produce el riego de zonas agrícolas que tienen contacto directo con el acuífero.

Con los datos piezométricos del 2003 (Inrena, 2004), se elaboró un mapa piezométrico. Durante los trabajos de campo, se evidenció que, en algunos lugares, el nivel piezométrico alcanza la superficie, produciendo descargas naturales en forma de manantiales.

Antes de utilizar los datos, se realizó una aproximación a la decena inmediata (nivel piezométrico 2, en el Cuadro 8.3). Los datos originales se encuentran en la columna del nivel piezométrico 1, en el Cuadro 8.3, correspondientes al promedio de niveles piezométricos de tres registros de datos durante el 2003

Cuadro 8.3

Pozos y niveles piezométricos del acuífero poroso no consolidado Moquegua para la elaboración del mapa **piezométrico (S = Samegua, M = Moquegua)**

N°	X	Y	Z	Distrito	Número IRHS	Propietario	Sector	Nivel piezométrico	
								1	2
1	296608	8099889	1460.97	S	1	Seda Moquegua	Escapalaque	1459.15	1460.00
2	296953	8099966	1473.45	S	3	Seda Moquegua	Escapalaque	1469.84	1470.00
3	297166	8100042	1481.52	S	4	Seda Moquegua	Escapalaque	1477.72	1480.00
4	289251	8093321	1207.00	M	1	Antonio Biondi Bernales	Omo	1205.59	1210.00
5	290989	8097216	1267.00	M	8	INIA 01	Locumbilla	1266.25	1270.00
6	290805	8096765	1244.10	M	9	INIA 02	Montalvo	1242.73	1240.00
7	290729	8096240	1237.90	M	10	INIA 03	Cala Luna	1234.12	1230.00
8	288199	8085651	1030.50	M	16	Toribio Muños Ramos	Cupine	1025.15	1030.00
9	288528	8086257	1034.50	M	20	Pedro Pare Tobala	La Soledad	1032.43	1030.00
10	288923	8093077	1159.60	M	22	CORDEM	Omo	1158.22	1160.00
11	297291	8100312	1495.10	M	25	Escapalaque	Escapalaque	1490.02	1490.00
12	288721	8091691	1167.10	M	27	Francisco Peñaloza Mamani	Omo	1163.59	1160.00
13	288963	8090700	1125.60	M	34	Francisco Ponce Pacheco	La Bodeguilla	1123.38	1120.00
14	289016	8088781	1088.60	M	37	Sucesiòn Flores Revilla	Corpando Chico	1086.52	1090.00
15	292023	8099107	1307.40	M	40	Isidro Coayla Coayla	Santa Rosa	1302.80	1300.00
16	288377	8084903	1023.60	M	41	Bartolome Ortiz Quinatanilla	Sacata	1021.83	1020.00
17	288450	8083152	1022.00	M	42	Manuel Tala Luìs	La Rinconada	1021.37	1020.00
18	289012	8089709	1099.70	M	47	Jesùs Visa Quispe	Corpando Grande	1096.17	1100.00
19	287900	8082342	1000.00	M	51	Lidya Campos	La Rinconada	995.52	1000.00
20	286718	8080735	970.00	M	54	Antonio Biondi Bernales	La Rinconada	968.84	970.00

Fuente: Inrena, 2004.

71°0'0"W 288000 292000 296000

8100000 8096000 8092000 8088000 8084000

ATV-to AS-m_s ATV-hu APNC-al

Quilancha
Aeropuerto
Alto la Villa
Superficie Dura
Loma Quemada
Tombolombo
El Crucero
La Villa
Escapalaque
Navarro
La Chimba
San Francisco
Cruz del Pertillo
Yaravico
San José
San Valentín
MOQUEGUA
Lucumbilla
Belen
Montalvo
Altillo
Sorzano
La Condesa
San Antonio
Calaluna
Los Angulo
Homo
Garibaldi
Cruz Verde
Grande
El Palmo
La Bodeguilla
Corpanto Pomareda
Corpanto Ghersi
Corpanto Artieda
Corpantito
Santo Domingo
San José
Navarrete
AGUADA PAJARITOS
Santa Ana
Tres Quebradas
Testamento
ATS-mo-i
La Merced
Chamos
Soledad
Cupine
TUDELA
Maquelo
Sacata
Sacatita
Sacatilla
Los Enriquez
Conde
San Julian
Churrucos
Chincha
Pacae
LA RINCONADA
ATV-cho-i
AS-mi

104704-070
104705-038
104702-002

1490 1480 1470 1460 1450 1440 1430 1420 1410 1400 1390 1380 1370 1360 1350 1340 1330 1320 1310 1300 1290 1280 1270 1260 1250 1240 1230 1220 1210 1200 1190 1180 1170 1160 1150 1140 1130 1120 1110 1100 1090 1080 1070 1060 1050 1040 1030 1020 1010 1000 990 980

SÍMBOLOS

- Capital de región
- Capital de distrito
- Localidad
- Caserío
- Escuela
- Iglesia
- Casa aislada
- Cementerio
- Aerodromo
- Ciudad
- Cuenca o intercuenca
- Cuenca del río Ilo-Moquegua

TIPO DE FUENTE

- Pozo
- Manantial
- Pozo de dren horizontal
- Punto de control
- Dirección de flujo subterráneo
- Isopiezas
- Cauce permanente
- Cauce intermitente
- Cauce efímero
- Mina activa

LEYENDA

- Acuífero del valle de Moquegua
- Acuífero poroso no consolidado
- Acuífero sedimentario de escasa a nula productividad
- Acuitardo

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA (13172)

PIEZOMETRÍA DEL ACUÍFERO POROSO NO CONSOLIDADO MOQUEGUA

Información piezométrica: Inrena, 2004.

Versión digital: Año 2015
Impreso: Junio 2019

ESCALA 1:50,000

0 0.5 1 2 Kms.

Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 19 Sur

Figura 8.2

Parámetros hidrogeológicos del acuífero aluvial (poroso no consolidado)

Todo acuífero es evaluado para conocer la difusión, el orden, las condiciones y la profundidad de almacenamiento de agua, así como las características cualitativas y cuantitativas que posee el acuífero. Para cumplir con estos objetivos, se desarrollan pruebas hidráulicas como: ensayos de permeabilidad, pruebas de bombeo, campañas de medición de los niveles piezométricos del agua subterránea, entre otros.

Sobre la base de los datos de campo y los datos proporcionados por el Inrena (2004), para el acuífero del valle de Moquegua, se elaboró un cuadro que muestra los valores de los principales parámetros hidrogeológicos (Cuadro 8.4).

Cuadro 8.4
Parámetros hidrogeológicos calculados a través de ensayos de bombeo en el valle de Moquegua

N°	Parámetro	Unidades	Valor
1	Transmisibilidad (T)	m^2/s	De 0.06×10^{-2} a 24.70×10^{-2}
2	Permeabilidad o conductividad hidráulica (K)	m/s	De 0.15×10^{-4} a 24.00×10^{-4}
3	Coeficiente de almacenamiento (s)	%	De 1.36 a 3.63

Fuente: Inrena, 2004.

Entre los sectores de Garibaldi, La Merced y Rodríguez Piedra (parte media y baja del piso de valle de Moquegua) se presentan valores altos de permeabilidad (6.35×10^{-4} a 23.02×10^{-4} m/s), mientras que en los sectores de Montalvo y La Condesa la permeabilidad es baja (0.15×10^{-4} a 0.72×10^{-4} m/s).

Origen y recarga del acuífero

El origen de las aguas que alimentan el acuífero es meteórico (FCIHS, 2009), específicamente el agua superficial del río Moquegua que incluye aguas de trasvase del Proyecto Pasto Grande. Este último, es una mezcla de manantiales, fuentes termales, ríos, quebradas y descongelamiento de nieve en las partes más altas de la cuenca Tambo.

Las aportaciones al acuífero del piso de valle de Moquegua se producen principalmente por la recarga directa de los ríos Torata, Huaracane, Tumilaca y Moquegua. Adicionalmente, y en menor medida, existen aportes provenientes del riego de las zonas agrícolas (comúnmente agua procedente del mismo acuífero mediante pozos, o procedente del río a través de canales), utilizando técnicas de riego de inundación, y esporádicamente aspersión.

Se debe tener en cuenta que el cauce de los ríos depende en principio de las precipitaciones pluviales y de descargas de manantiales en la parte alta de la cuenca. Otras consideraciones que también influyen en ello son:

a) Las características hidrogeológicas de las formaciones geológicas permeables en relación con el cauce del río Moquegua.
b) La situación relativa de los niveles del río y de los niveles piezométricos en la zona del acuífero contigua al río.

Descarga y explotación del acuífero

El uso del agua subterránea ocurre principalmente por explotación para el riego de áreas agrícolas y eventualmente para el consumo humano de la ciudad de Moquegua. Otro factor que contribuye con la disminución del agua es la evapotranspiración, principalmente en los cultivos de arroz u otros donde realizan riego por inundación. También y en menor grado, se producen pérdidas por evaporación directa de la escorrentía superficial que alimenta el acuífero del piso de valle Moquegua.

El volumen de agua subterránea explotado en el piso de valle de Moquegua durante el 2003, reportado por el Inrena (2004), es de 1 936 718.8 m^3 (Cuadro 8.5), con un caudal aproximado de 0.06137 m^3/s o 61.37 l/s.

Cuadro 8.5
Volumen de explotación de agua subterránea en el piso de valle Moquegua, distribuido por el tipo de fuente y el uso

N°	Distrito	Tipo	Explotación						
			Por tipo de pozo		Por manantial	Volumen explotado (m^3)	Por tipo de uso		Volumen explotado (m^3)
			Tubular	Tajo abierto			Doméstico	Agrícola	
1	Moquegua	P	71859.60	178203.20	-	250062.80	152015.30	98047.50	250062.80
		M	-	-	1683275.60	1683275.60	13418.60	1669857.00	1683275.60
2	Samegua	P	3380.40	0.00	-	3380.40	3380.40	0.00	3380.40
SUBTOTAL			75240.00	178203.20	1683275.60	1936718.80	168814.30	1767904.50	1936718.80
			TOTAL			1936718.80	TOTAL		1936718.80

Fuente: Inrena, 2004. P = Pozo y M = Manantial.

En el Cuadro 8.5 se observa la distribución de la explotación de agua subterránea en el piso de valle de Moquegua, el tipo de pozo y el uso. Además, se consideró la producción natural por descarga de los manantiales, que representan el mayor volumen de agua subterránea explotada, con uso principalmente agrícola.

De manera general, la mayor explotación de agua subterránea por el tipo de pozo corresponde al de tajo abierto, debido a que el acuífero es del tipo libre, el nivel piezométrico se encuentra muy cerca de la superficie y los trabajos de bombeo requieren de usos controlados de energía eléctrica (Fotografía 8.2).

Fotografía 8.2 Sondeo de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Moquegua procedente del acuífero poroso no consolidado del valle Moquegua.

8.1.2 El acuífero del valle de Ilo

El acuífero poroso del valle de Ilo se encuentra en la parte baja de la cuenca, en los alrededores de los distritos El Algarrobal, Pacocha e Ilo. Este acuífero está formado por depósitos aluviales de los ríos Osmore e Ilo, desde los alrededores del sector El Yaral hasta su desembocadura al mar (Fotografía 8.3).

Las características dimensionales este acuífero son diversas, el ancho máximo es de 500 m y el ancho mínimo de 100 m, aproximadamente. La altura es de 200 m (en el sector El Yaral) hasta 10 m s. n. m. (en el sector Uruhuasi, cerca al litoral).

El drenaje es sinuoso y alargado, la dirección preferencial es de noreste a suroeste desde El Yaral hasta El Algarrobal, luego cambia de dirección aproximada a este-oeste. Geomorfológicamente constituye los valles transversales rellenados por material detrítico y permeable, donde el agua subterránea se encuentra almacenada.

La actividad económica principal en el piso de valle de Ilo es la agricultura. Onern (1976) menciona que existían 471 hectáreas de cultivo, representadas principalmente por el olivo con un 95 %.

Geometría del acuífero

El depósito de relleno sedimentario, poroso y no consolidado, que conforma el acuífero del valle de Ilo es producto de los depósitos aluviales y fluviales, que proviene de la erosión de toda la cuenca, transportada y depositada en el curso del río y alrededores de la ciudad de Ilo. Esta secuencia tiene intercalación de horizontes permeables, y eventualmente de capas impermeables, de edad cuaternaria.

Los depósitos son porosos con características de conformar un acuífero libre, porque la naturaleza de su techo (superficie del terreno) es evidentemente permeable. La base del acuífero (basamento impermeable) está compuesta por rocas intrusivas de la Cordillera de la Costa.

Los ríos Osmore e Ilo a lo largo de sus recorridos van formando terrazas, producto de la erosión lateral producida por las variaciones de nivel de escorrentía (gran caudal en periodos lluviosos y caudales bajos en periodos de estío). Estas terrazas por lo general son de material fino en superficie, algunas capas de arcillas con limos, aunque también se observan en las paredes de las terrazas gravas redondeadas a subredondeadas y angulosas a subangulosas de matriz limoarenosa.

Los horizontes saturados (Cuadro 8.6) se calcularon, en la investigación geofísica, por el método de sondeo eléctrico vertical, SEV (Inrena, 2004). Además, utilizando el mismo método, se calcularon los espesores del material cuaternario en diversos sectores.

Cuadro 8.6
Variación de espesores del depósito aluvial y horizonte saturado en el piso de valle de Ilo

N°	Sector	Variación del espesor total del depósito cuaternario (m)	Variación del espesor del horizonte saturado (m)
1	El Yaral	16.00 – 23.00	12,60 – 17,00
2	Las Pampas – La Florida	13.00 – 25.00	11,00 – 22,50
3	Ozorín – Chiviquina	11.00 – 25.00	09,50 – 22,50
4	Chiviquina - Loreto Viejo	13.00 – 19.00	–
5	Loreto Viejo – Fundición	–	12,50 – 23,00
6	Fundición - Higueral	20.00 – 30.00	–
7	Higueral – El Hueso	–	17,00 – 26,80
8	El Hueso - La Salvadora	17.00 – 39.00	–
9	La Salvadora – Algarrobal	–	16,50 – 26,50
10	La Salvadora – Chiribaya	23.00 – 34.00	–
11	Chiribaya – Santo Domingo	10.00 – 26.00	08,20 – 23,00
12	La Compañía – Sacramento	–	21,20 – 31,50
13	Majuelo – La Glorieta	21.00 – 35.00	08,50 – 33,00
14	Uruhuasi – Mostazal	20.00 – 43.00	18,00 – 41,59

Fuente: Inrena, 2004.

Inventario de pozos

Los pozos y sondeos constituyen una fuente artificial de explotación de agua subterránea, construida para su aprovechamiento en distintos usos. Inrena (2004) reporta un inventario de 110 pozos (78 en el distrito El Algarrobal, 17 en Pacocha y 15 en el distrito Ilo). Así mismo, en el Cuadro 8.7 se puede observar el tipo de pozo en cada distrito, el estado y el uso de los pozos categorizados como “utilizados”.

Cuadro 8.7
Inventario de pozos en el piso de valle Ilo

N°	Distrito	Cantidad	Tipo de fuente	Tipo de pozo			Estado de los pozos			Uso de pozos	
				Tubular	Tajo abierto	Mixto	Utilizado	Utilizable	No utilizable	Doméstico	Agrícola
1	El Algarrobal	78	P	8	67	3	14	40	24	3	11
2	Pacocha	17	P	1	16	0	3	14	0	0	3
3	Ilo	15	P	5	10	0	3	7	5	1	2

Fuente: Inrena, 2004.

Fotografía 8.3 Parte baja del acuífero poroso no consolidado del valle de Ilo. Nótese en color verde la vegetación donde se usa agua subterránea para la agricultura.

Niveles piezométricos

El acuífero poroso del valle de Ilo es angosto y alargado, en él se ubican numerosos pozos de explotación (110 pozos). La explotación constante del agua subterránea hace que el nivel piezométrico se concentre alrededor de los sondeos explotables, por lo tanto, la distancia del nivel del terreno al nivel piezométrico es variado. Sin embargo, la tendencia general tiene dirección preferencial de la escorrentía superficial de noreste a suroeste hasta el sector de Sacramento, que luego cambia de este a oeste antes de la desembocadura en el mar (Figura 8.3).

Desde la parte media y baja de la cuenca, el comportamiento hidráulico acuífero-río Ilo es variado, en la mayoría de los sectores el río Ilo es perdedor, es decir, la escorrentía recarga al acuífero (Figura 8.3b). Pueden existir sectores donde el río es ganador (Figura 8.3a), pero no se visualizó en las campañas de campo. Lo que sí se visualiza es que el río en la parte baja mantiene su nivel de flujo (Figura 8.3c).

En general, los niveles piezométricos en el acuífero poroso de Ilo son variables, van desde los 0.5 a 4.5 m, en los 39 pozos monitoreados para este acuífero (fotografía 8.4)

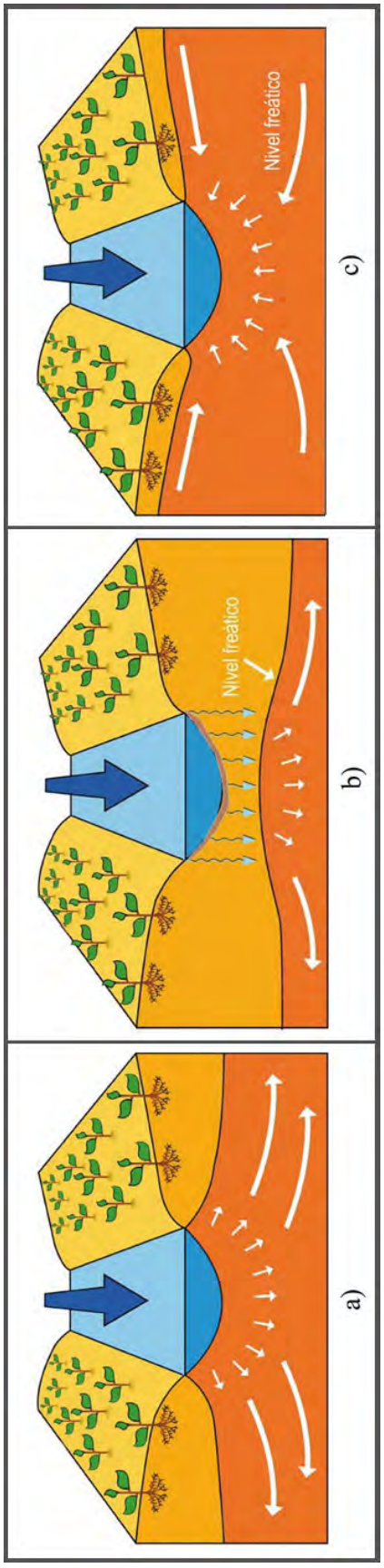


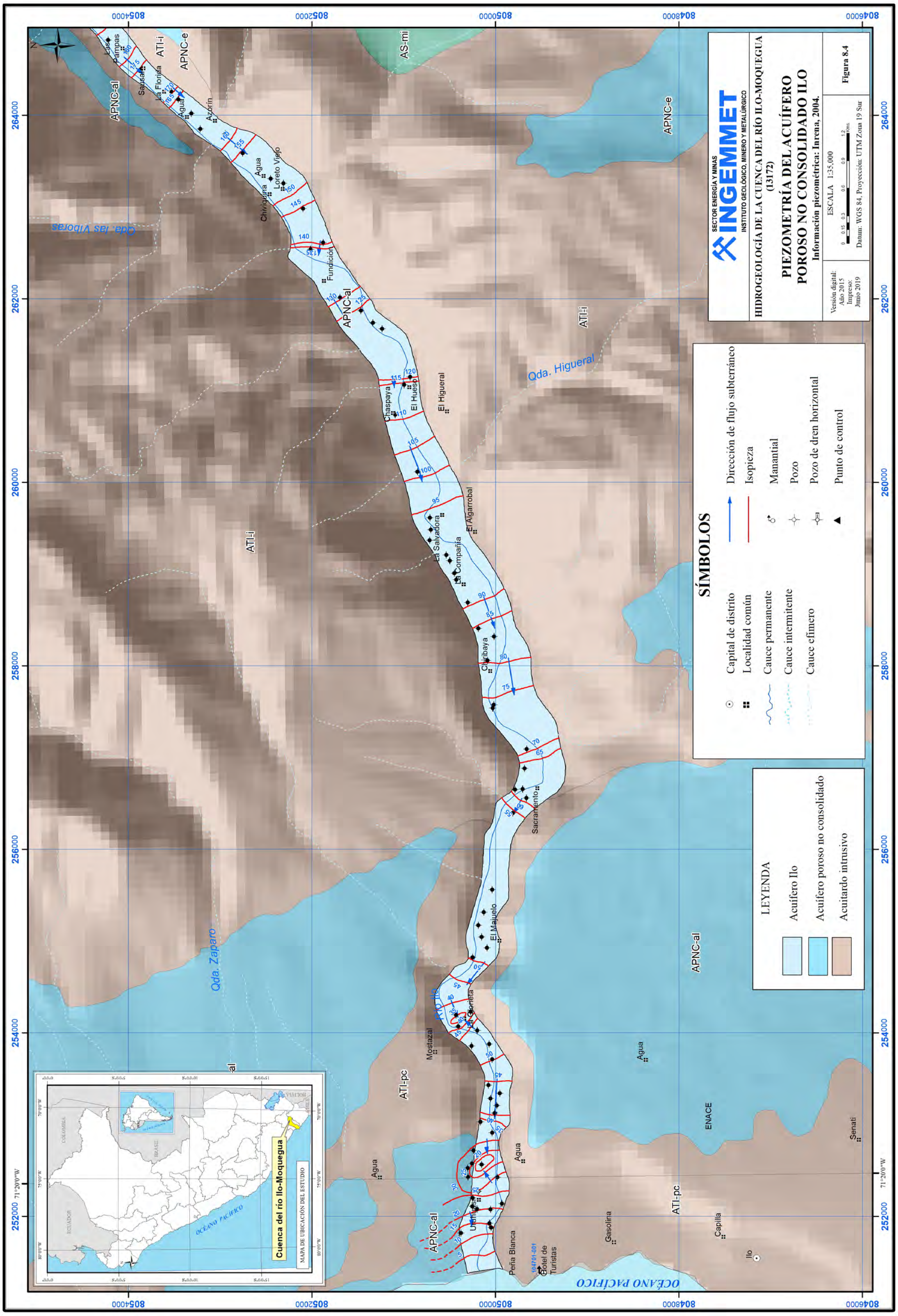
Figura 8.3 Interacción hipotética de agua superficial-subterránea en acuíferos porosos no consolidados del piso de valle.

Cuadro 8.8

Nivel piezométrico de los pozos utilizados para interpretar el mapa piezométrico en el piso de valle Ilo

N°	X	Y	Z	Distrito	Número IRHS	Propietario	Sector	Nivel piezométrico	
								1	2
1	254396	8050718	46.50	A	3	Sara Rospigliosi Rivera	Sacudi	44.38	40.00
2	255247	8050438	48.00	A	7	Francisco Pinto Ramirez	Poquera	44.61	50.00
3	255516	8050416	51.50	A	10	Josè Baldarrago Rivera	Santo Domingo	47.44	50.00
4	255761	8050322	49.00	A	12	Alejandro Flores Bedoya	Santo Domingo	46.52	50.00
5	256597	8050097	54.50	A	15	Hernan Chocano Guerly	Santo Domingo	52.29	50.00
6	258892	8050589	88.00	A	19	Ricardo Mena	Los Mendoza	85.12	90.00
7	258522	8050301	86.00	A	21	Eduardo Jimenez	Pampita Baja	81.61	80.00
8	258260	8050373	79.50	A	23	Eduardo Jimenez	Pampita Baja	78.47	80.00
9	257085	8049970	66.00	A	27	Filidelfia Pino	Sacramento	63.88	60.00
10	261876	8051520	123.50	A	32	Victor Porras	El Hueso	120.10	120.00
11	259347	8050786	90.50	A	35	Luìs Crossy Bonfardini	Salvadora (fundo)	86.91	90.00
12	262218	8051980	131.00	A	38	Miriam Lopez de Jimenez	La Fundicion	127.92	130.00
13	259818	8051003	96.20	A	43	Juana Davila	Salvadora	93.88	90.00
14	262816	8052165	139.30	A	44	Enrique Ansaldo N.	Loreto Viejo	138.84	140.00
15	260317	8051137	107.00	A	45	Manuel Espejo	Chaspalla	103.55	100.00
16	260939	8051377	114.50	A	47	Luìs Lapenta	Chaspalla	110.91	110.00
17	263185	8052383	144.00	A	48	Zoilo Valencia Aponte	Loreto Viejo	143.36	140.00
18	261353	8051219	119.50	A	51	Albino Flores	El Hueso	117.52	120.00
19	254432	8050558	44.50	A	55	Sara Rospigliosi Rivera	Sacudi	39.22	40.00
20	263512	8052736	147.20	A	56	Marcial Davila Rivera	Chiviquina Bajo	145.52	150.00
21	263790	8053040	155.00	A	58	Marcial Davila Rivera	Chiviquina Bajo	152.16	150.00
22	257294	8049948	68.70	A	59	Ernesto Becerra Valcarcel	Sacramento	66.57	70.00
23	264055	8053502	158.50	A	62	Gustavo Cueto	Chiviquina Alto	156.31	160.00
24	264464	8053819	168.00	A	66	Juan de Dios Choqueño Chacolla	La Florida	164.85	170.00
25	264712	8054137	173.80	A	67	Nely Merino Calle	Sausal	172.27	170.00
26	265023	8054507	184.20	A	69	Josè Filinich	Sausal	181.95	180.00
27	265323	8054940	193.50	A	70	Juan Vasquez Mamani	Yaral 2	189.68	190.00
28	257779	8050304	70.50	A	77	Santiago Cocty Rivera	Chiribaya	67.38	70.00
29	252127	8050352	17.50	P	1	Eduardo Jimenez Lazo	Mostazal	16.36	20.00
30	252920	8050527	28.35	P	5	Josè Arias	Montalvo	25.89	30.00
31	253631	8050366	43.00	P	6	Francisco Pinto Ramirez	Montalvo	40.88	40.00
32	252020	8050665	14.60	P	9	Juan Barriga Aranibar	Mostazal	13.89	10.00
33	252401	8050536	22.86	P	15	Justo Lenz pastor	Mostazal	21.50	20.00
34	253230	8050451	36.60	P	16	Hernan Chocano	Uruhuasi	33.80	30.00
35	254057	8050549	40.90	P	17	Pablo Romero	La Glorieta	38.95	40.00
36	252626	8050267	31.50	I	1	Josè Cerdeña	Uruhuasi	29.95	30.00
37	253543	8050241	43.50	I	5	Roberto Barreda Becerra	Parral Grande	41.01	40.00
38	253913	8050323	47.00	I	7	Aida Lazo De Jimenez	La Glorieta	44.99	50.00
39	252339	8050217	21.60	I	11	Ricado Palomino	Mostazal	20.10	20.00

Fuente: Inrena, 2004. (A = El Algarrobal, P = Pacocha e I = Ilo)


INGEMMET
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA (13172)
PIEZOMETRÍA DEL ACUÍFERO POROSO NO CONSOLIDADO ILO
Información piezométrica: Inrena, 2004.
Figura 8.4
Versión digital: Año 2015
Impreso: Junio 2019
ESCALA 1:35,000
Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 19 Sur
SÍMBOLOS
Capital de distrito
Localidad común
Cauce permanente
Cauce intermitente
Cauce efímero
Dirección de flujo subterráneo
Isopieza
Manantial
Pozo
Pozo de dren horizontal
Punto de control
LEYENDA
Acuífero Ilo
Acuífero poroso no consolidado
Acuitardo intrusivo
Cuenca del río Ilo-Moquegua
MAPA DE UBICACIÓN DEL ESTUDIO
OCÉANO PACÍFICO
Qda. Las Víboras
Qda. Higueral
Qda. Zaparo
Río Ilo
APNC-al
APNC-e
ATI-i
ATI-pc
AS-mi
ENACE
Ilo
Chaspaya
El Hueso
El Higueral
El Algarrobal
La Salvadora
La Compañía
Chiribaya
Sacramento
El Majuelo
Mostazal
Agua
Gasolina
Capilla
Senati
Peña Blanca
Hotel de Turistas
Fundición
Loreto Viejo
Chiriguaya
Azorín
Sausal
La Florida
Las Pampas

Fotografía 8.4 Pozo IRHS-70 ubicado en el acuífero poroso no consolidado del valle de Ilo, sector de El Yaral, cuyo nivel piezométrico se encuentra a 3.5 m de la superficie.

Parámetros hidrogeológicos

De igual forma, se desarrollaron ensayos de permeabilidad, pruebas de bombeo, mediciones de los niveles piezométricos del agua subterránea, entre otros, para conocer las principales características hidrogeológicas del acuífero sobre la base de los datos de campo proporcionados por el Inrena (2004) (Cuadro 8.9).

Cuadro 8.9
Nivel piezométrico de los pozos utilizados para interpretar el mapa piezométrico en el piso de valle Ilo

N°	Parámetro	Unidades	Valor
1	Transmisibilidad (T)	m^2/s	De 0.06×10^2 a 1.83×10^{-2}
2	Permeabilidad o conductividad hidráulica (K)	m/s	De 0.84×10^{-4} a 28.68×10^{-4}
3	Coeficiente de almacenamiento (s)	%	De 2.75 a 3.00

Fuente: Inrena 2004. P = Pozo.

Además menciona que entre los sectores de Yaral, Chiviquina, Loreto Viejo, El Hueso y La Compañía (parte alta de Ilo), la permeabilidad varía entre 1.09×10^{-4} y 28.68×10^{-4} m/s; mientras que entre los sectores Majuelo, La Glorieta, Uruhuasi y Mostazal (parte media y baja del valle Ilo), la permeabilidad fluctúa de 0.84×10^{-4} a 17.66×10^{-4} m/s (Inrena, 2004).

Origen y recarga del acuífero

Al igual que el acuífero del piso de valle de Moquegua, la recarga del acuífero en el piso de valle de Ilo se produce a través del agua superficial de los ríos Osmore e Ilo, y en menor medida, por el riego de zonas agrícolas (extraen agua subterránea del mismo acuífero, convirtiéndolo en un ciclo cerrado).

Sin embargo, se debe tener en cuenta que el cauce de los ríos depende en principio de las precipitaciones pluviales y de descargas de manantiales situadas en la parte alta de la cuenca, y de las pérdidas y aportaciones de agua superficial en el piso de valle de Moquegua. Asimismo, la recarga se produce con aguas más salinizadas que recorren toda la cuenca hasta llegar al valle

de Ilo, como se pudo observar en la variación de conductividad eléctrica en el capítulo 6.

Descarga y explotación del acuífero

Al igual que en el acuífero de piso de valle Moquegua, en el piso de valle Ilo la pérdida del agua subterránea ocurre principalmente por extracción descontrolada de agua para uso doméstico y agrícola. La disminución de este recurso se produce por la alta evapotranspiración de las zonas de regadío y cultivo que se encuentran próximas del litoral. Otro tipo de pérdida y en menor grado se produce por evaporación directa de la escorrentía superficial que alimenta el acuífero del piso de valle de Ilo. Se debe considerar que la evapotranspiración en este sector es mucho mayor que en la parte media de la cuenca.

El volumen de aguas subterráneas explotado en el piso de valle de Ilo durante el 2003, reportado por Inrena (2004), es de 339734.50 m³ (Cuadro 8.10), con un caudal aproximado de 0.01077 m³/s o 10.77 l/s.

Cuadro 8.10

Volumen de explotación de agua subterránea en el piso de valle Ilo, distribuido por el tipo de fuente y el uso

N°	Distrito	Tipo	Explotación					
			Por tipo de pozo		Volumen explotado (m³)	Por tipo de uso		Volumen explotado (m³)
			Tubular	Tajo abierto		Doméstico	Agrícola	
1	El Algarrobal	P	0.00	293821.80	293821.80	48428.40	245393.40	293821.80
2	Pacocha		0.00	35526.00	35526.00	0.00	35526.00	35526.00
3	Ilo		0.00	10386.70	10386.70	748.80	9637.90	10386.70
SUBTOTAL			0.00	339734.50	339734.50	49177.20	290557.30	339734.50
			TOTAL		339734.50	TOTAL		339734.50

Fuente: Inrena 2004. P = Pozo.

En el Cuadro 8.10 se observa que la mayor explotación se produce en el distrito El Algarrobal, por uso doméstico mayoritariamente. Esto se debe a que en este distrito se encuentra la mayor cantidad de pozos del piso de valle de Ilo (78 pozos, Cuadro 8.7)

8.1.3 Otros acuíferos porosos no consolidados

En la parte alta de la cuenca también se observan acuíferos porosos no consolidados de escasa a baja productividad. Estos son pequeños depósitos del cuaternario, de origen morrénico, fluvioglaciar y aluvial (Fotografía 8.5). También se activaron otros sectores agrícolas con el riego de zonas de ladera, con aguas provenientes del Proyecto Pasto Grande (Fotografía 8.6).

Estos acuíferos son de reducida extensión y de bajo interés hidrogeológico.

Fotografía 8.5 Acuífero poroso no consolidado de reducida extensión. Nótese el nivel freático y la acumulación de aguas subterráneas en el canal rústico de la parte inferior.

Fotografía 8.6 Zonas agrícolas de ladera, sector Rincón a 5.2 km al noroeste de Cerro Baúl, donde la presencia de aguas de trasvase satura los suelos, generando la aparición de manantiales. Fotografía tomada hacia el sur.

8.2 SISTEMA ACUÍFERO FISURADO VOLCÁNICO Y VOLCÁNICO-SEDIMENTARIO BARROSO-CAPILLUNE

El tercer sistema acuífero identificado en la cuenca está conformado por rocas consolidadas altamente fracturadas y rocas semiconsolidadas permeables. Es un sistema totalmente diferente a los descritos anteriormente. Este sistema acuífero está conformado por rocas volcánicas del acuífero fisurado Barroso inferior y las rocas volcánicas-sedimentarias del acuífero Capillune. Se extienden al noreste de la cuenca del río Ilo-Moquegua, en la parte alta de esta, su extensión abarca ampliamente sectores que incluso llegan fuera de la cuenca hidrográfica, donde su evidencia se hace más notoria.

En la cuenca del río Ilo-Moquegua se observan zonas donde la recarga es directa (por precipitación pluvial) sobre las rocas fracturadas del acuífero fisurado Barroso, mientras que no existe zona de recarga directa para el acuífero Capillune. Es por ello que la interconexión hidráulica se produce de la siguiente manera: El acuífero Barroso constituye la zona de recarga de aguas subterráneas, estas aguas llegan a la base del acuífero y al encontrar la alternancia de capas permeables del acuífero Capillune pasan por esta última por donde también se mueven, produciéndose la interconexión de acuíferos (sectores de Asana y Arundaya). Finalmente, se observan manantiales que tienen surgencia en el acuífero Capillune, es este último una zona de descarga de aguas subterráneas.

En otros sectores de la parte alta de la cuenca del río Ilo-Moquegua (zona de mayor precipitación) existen afloramientos de rocas volcánicas (cerros Huertalla, Arundaya, Lallanuai, Asana, Capillune, entre otros) y volcánicas-sedimentarias del Grupo Barroso (sectores Arundaya, Piedragrande, Asana, La Cueva), que se encuentran sobreyaciendo los materiales impermeables de la Formación Huaylillas y Formación Quellaveco, con un comportamiento hidrogeológico diferente (impermeable), constituyendo el piso o límite inferior del acuífero Barroso.

El interés de este sistema acuífero es el comportamiento hidrogeológico complejo que presentan estas dos formaciones, con superposición e interconexión hidrogeológica, bajo determinadas condiciones y en determinadas zonas.

Geometría del acuífero

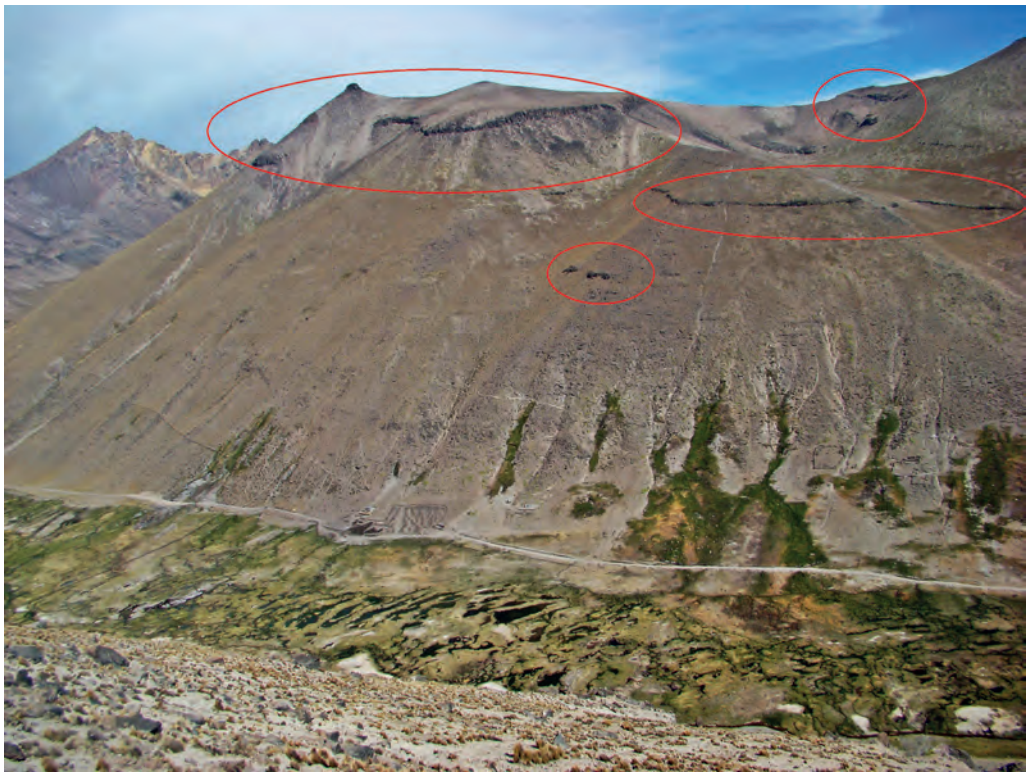
Las características litológicas relacionadas al agua subterránea en el presente sistema acuífero se describen de tres maneras:

1. El acuífero fisurado volcánico Barroso está compuesto por flujos de lava y basaltos altamente fracturados, cuyos afloramientos son amplios y presentan surgencias de aguas subterráneas a distintas cotas a manera de manantiales y bofedales (fotografías 8.7 y 8.8). También presentan surgencias por contacto con materiales impermeables (acuitardo), ya sea con la Formación Huaylillas, Formación Quellaveco o con los niveles impermeables de la Formación Capillune.
2. Existen zonas donde la parte superior del sistema acuífero consta de rocas cristalinas compactas (flujos de lavas y basaltos) con considerables fracturas que permite la recarga, mientras que, en la parte inferior, está conformada por una intercalación de materiales porosos y permeables (arenas) y eventualmente materiales impermeables (tobas, cenizas y esporádicamente estratos delgados de flujos de lava). La interpretación hidrogeológica que tenemos para este sistema está condicionada por la recarga de la precipitación pluvial, que se produce en épocas de lluvia sobre los materiales fracturados del acuífero Barroso inferior, desde donde inicia su percolación en profundidad por medio de las fracturas, hasta llegar a la intercalación de horizontes de arena (permeable) y ceniza, tobas u otros (impermeable) de la Formación Capillune. En sectores como Asana y Arundaya, se observan los horizontes de arena completamente saturados de aguas subterráneas, y los horizontes de ceniza y tobas, como horizontes secos. El contacto de los materiales permeables con los materiales impermeables permite el afloramiento y surgencia de manantiales.

Fotografía 8.7 Acuífero fisurado Barroso, nótese en segundo plano los afloramientos de roca volcánica totalmente fracturada; y en la parte baja, niveles saturados de agua subterránea en forma de bofedales.

Fotografía 8.8 Acuífero Capillune con horizontes permeables e impermeables (izquierda), y acuífero fisurado Barroso (superior derecha). En la parte inferior derecha se observa los horizontes saturados de agua subterránea.

3. Este sistema también evidencia la presencia de flujos de lava en forma alargada-estratificada, que se extiende de modo horizontal alrededor de la pendiente de manera lineal. Estas características hacen que los flujos de lava funcionen como una especie de diques altamente fracturados que permite la infiltración de aguas de lluvia (Peña *et al*., 2019, *en prensa*), convirtiéndose en zonas de recarga. En el sector de Asana, se observan flujos de lava en forma de diques que afloran en sectores de ladera y media ladera con características muy fracturadas que permiten la circulación de aguas en el subsuelo (Fotografía 8.9). En la parte baja de estos afloramientos se pueden visualizar las surgencias de aguas subterráneas en forma de manantiales.



Fotografía 8.9 Flujos de lava en forma de diques fracturados (sector Asana), que permiten la recarga. Parte baja, en primer plano se observan las surgencias de aguas subterráneas

CAPÍTULO IX
PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN

Luego de la evaluación hidrogeológica de la cuenca del río Ilo-Moquegua, en este capítulo se analizan las propuestas de intervención en recursos hídricos subterráneos con el fin de incrementar la oferta hídrica en la cuenca. Se debe tener en cuenta que el Proyecto Especial Pasto Grande trasvasa aguas superficiales de la cuenca del río Tambo a la cuenca del río Ilo-Moquegua, desarrollando propuestas de intervención enfocadas a la gestión de recursos hídricos. Las propuestas se diferenciaron en cuatro grupos:

- Recarga artificial de acuíferos: mediante zanjas de infiltración, barreras hidráulicas y pozos/sondeos de inyección profunda.
- Zonas de acuitardos para utilización/ubicación de la disposición final de los residuos sólidos y líquidos (rellenos sanitarios y plantas de tratamiento de aguas servidas, etc.).
- Zonas de interés para la captación de aguas de neblina.
- Mejoramiento de almacenamiento del acuífero Barroso inferior mediante fracturamiento hidráulico.

El presente capítulo establece ejemplos aplicativos que pueden desarrollarse considerando la variedad de rocas y suelos que albergan los acuíferos dentro de la cuenca (porosos en materiales no consolidados o fisurados en roca). Estas propuestas o perfiles de intervención proponen técnicas de recarga de acuíferos, que se realizaron sobre la base del mapa hidrogeológico en estrecha relación con la geología e hidrogeoquímica (Peña et al., 2015).

En los pisos de valle, el acuífero poroso no consolidado presenta una recarga casi permanente, la variación se produce por las actividades de riego y la estacionalidad (en temporadas de avenidas, el río Moquegua e Ilo son caudalosos, es en esta época cuando se producen mejores condiciones para realizar obras de recarga artificial). A lo anteriormente mencionado, se suma la explotación de agua subterránea mediante pozos, ocurriendo en muchos sectores una sobreexplotación del acuífero. En este último caso, se propone limitar las captaciones estableciendo técnicas de perímetro de protección, a fin de no sobreexplotar el acuífero ni ponerlos en peligro de contaminación, mucho menos si existen pozos adjudicados a distintos propietarios.

Para intervenir con recarga artificial de acuíferos en medios porosos no consolidados, además de conocer las características geológicas e hidrogeológicas del acuífero, se debe tener en cuenta la fuente de agua que se utilizará en la recarga, a fin de escoger la mejor técnica. Estas aguas deben ser de óptima calidad para no impactar en el acuífero, como la contaminación del mismo.

Los acuíferos fracturados volcánicos se pueden aprovechar realizando técnicas para incrementar su capacidad de almacenamiento, como el fracturamiento hidráulico (que requiere inversión económica considerable). Para la recarga de este tipo de acuífero se sugieren pozos inyectores o zanjas de infiltración, esta última de menor costo económico. La explotación de agua subterránea en rocas volcánicas se puede realizar mediante perforaciones dirigidas (vertical y horizontalmente) o verticales a manera de galerías filtrantes, esta es muy empleada en la zona andina del Perú, y en las islas Canarias en España.

En la zona comprendida entre el tramo de la carretera que va de Ilo a Moquegua, se observó una densa neblina durante los trabajos de campo. Este sector es un área potencialmente interesante para desarrollar técnicas de captación de neblina, que podría finalmente contribuir a generar recursos hídricos para distintos usos.

De acuerdo con las características hidrogeológicas que tiene la cuenca del río Ilo-Moquegua, se plantea las siguientes propuestas de intervención:

9.1 RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS

Las técnicas de recarga artificial de acuíferos se basan en técnicas de inyección de agua (no natural) a un acuífero para aumentar la disponibilidad de su reserva o mejorar su calidad. Se puede practicar en cualquier tipo de formación geológica permeable que tenga condiciones para almacenar y transmitir agua subterránea (Peña et al., 2015).

Para proponer un sistema de recarga artificial de acuíferos, se requiere conocer las características morfológicas e hidrogeológicas del medio subterráneo a recargar (Peña et al., 2015). Por ello, las propuestas se ubican en la parte media y alta de la cuenca del río Ilo-Moquegua, como técnicas de sondeos de inyección y zanjas de infiltración, respectivamente. Se proponen además pozos de inyección en materiales porosos no consolidados de pisos de valle y en rocas sedimentarias en la parte media de la cuenca.

9.1.1 Recarga artificial mediante zanjas de infiltración

La zanja de infiltración es una franja abierta de sección longitudinal, forma trapezoidal y ancho pequeño, donde se acumula el agua de lluvia, que va a infiltrar en el acuífero (Peña et al., 2015). Para la parte alta de la cuenca del río Ilo-Moquegua, se plantea este tipo de recarga en zonas altamente fracturadas en superficie, sobre rocas lávicas andesíticas de la Formación Barroso inferior.

Las zanjas de infiltración se construyen en forma transversal a la máxima pendiente del terreno, deben tener de 0 a 1 % de pendiente en su parte interna y distancias de 11 a 13 metros entre ellas. Como este distanciamiento es horizontal, según la topografía que presente debe ser corregida en función de la pendiente (Peña et al., 2015). Asimismo, si el distanciamiento horizontal es conocido y fijo, pueden variar las otras dimensiones, ampliando la base, el ancho y la profundidad, pero manteniendo el principio de igualdad de volúmenes de agua. El material extraído de la zanja debe depositarse en la parte baja de la zanja, formando un pequeño montículo a unos 50 cm de distancia, para que la tierra no retorne a la zanja con la primera lluvia intensa. En el espacio lateral que existe entre una y otra zanja, debe excavarse un paso o canaleta hasta una profundidad de 20 cm. Esto es importante porque permitirá que el agua de una zanja llena pueda pasar a otra zanja, llenando así todas las zanjas por igual (Peña et al., 2015).

Las zanjas de infiltración sugeridas para la cuenca del río Ilo-Moquegua deben tener una profundidad de 0.40 m de altura y 0.50 m de base, mientras que su longitud ideal debe ser los 5 m (Figura 9.1) para terrenos con cobertura menor. El diseño considera, además, un rebaje en el borde aguas arriba para facilitar la entrada de agua y evitar la erosión de las paredes (Figura 9.2). En el caso de que existan zonas de roca fracturada expuesta, se recomienda realizar las zanjas aprovechando las fracturas más superficiales de las rocas, creando una zanja lo más homogénea posible con el menor esfuerzo de extracción de rocas (Figura 9.3).

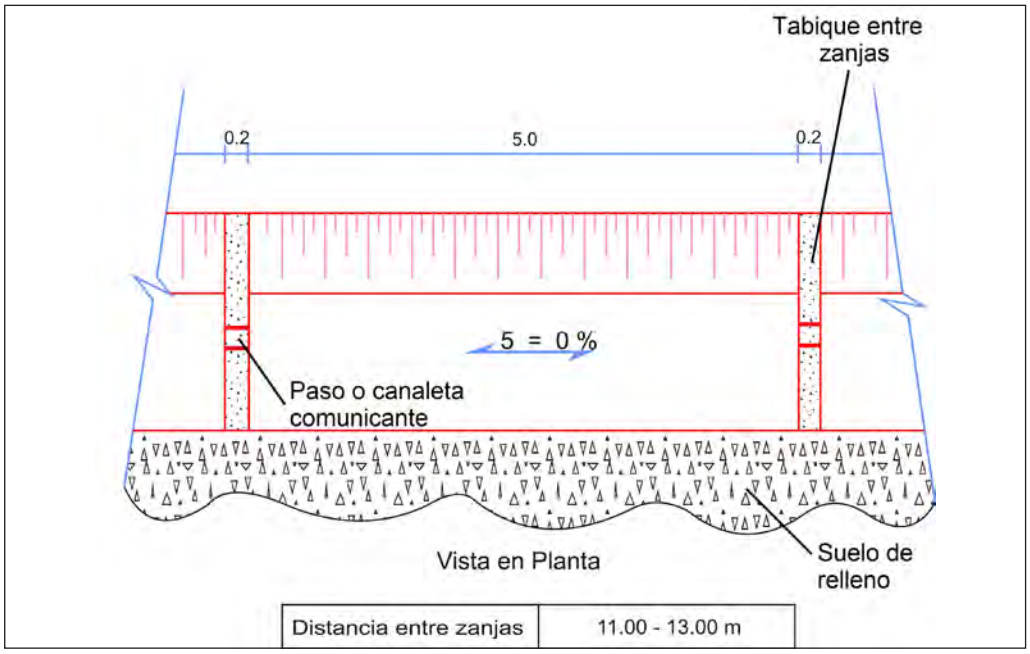


Figura 9.1 Diseño en planta de una zanja de infiltración, nótese la longitud de zanja recomendada para la cuenca del río Ilo-Moquegua de 5 m (Peña et al., 2015).

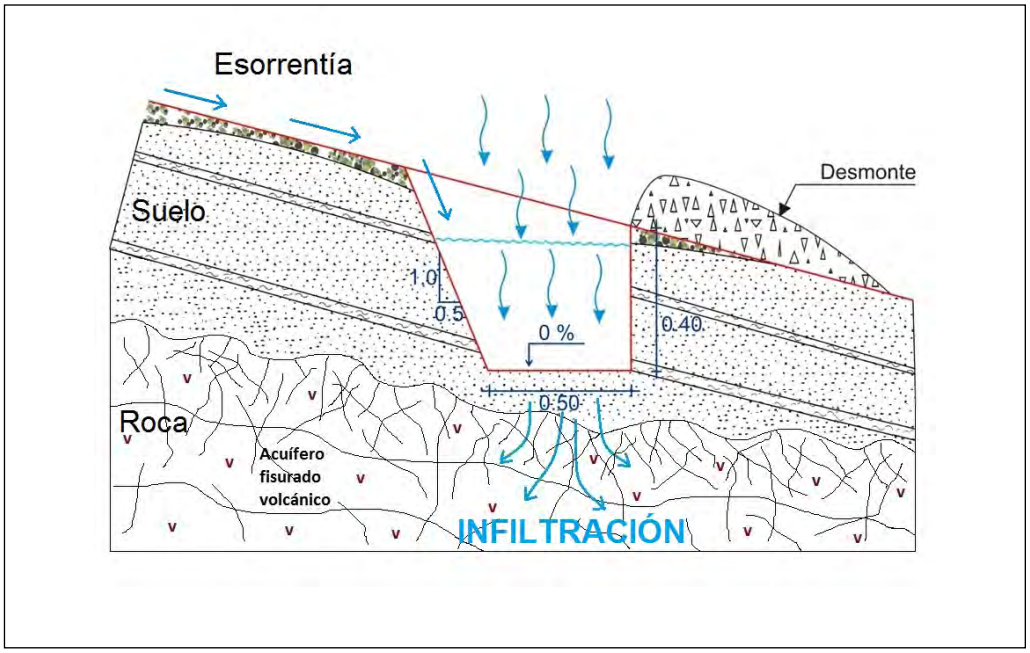


Figura 9.2 Sección transversal de una zanja de infiltración, nótese la profundidad, ancho y pendiente para una zanja de recarga artificial recomendada para la parte alta de la cuenca del río Ilo-Moquegua (modificado y adaptado de Peña et al., 2015).

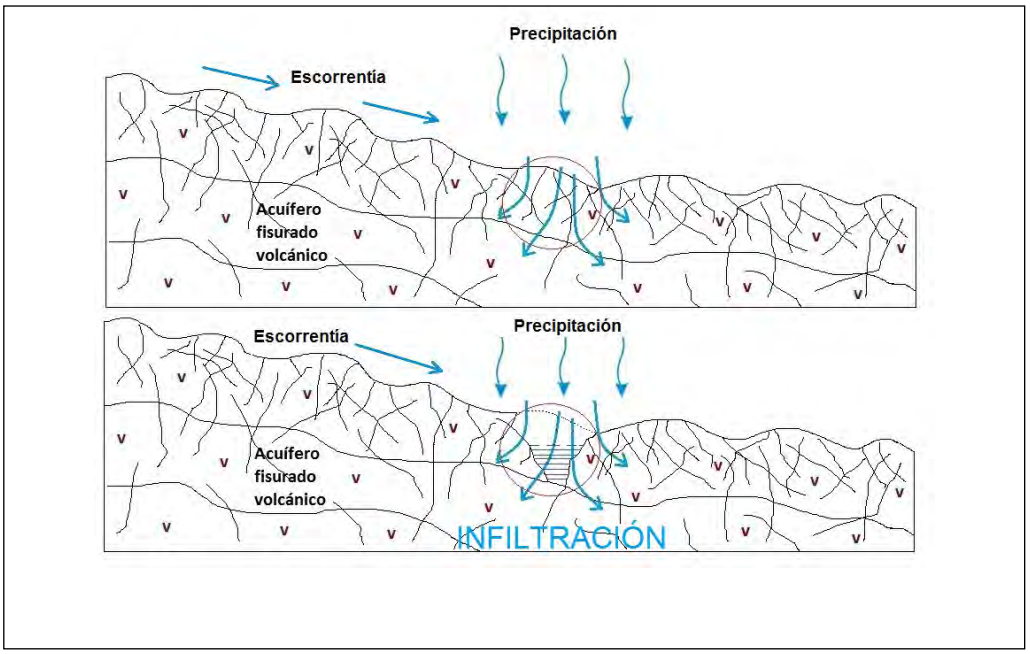


Figura 9.3 Sección transversal de una zanja de infiltración en roca fracturada expuesta, recomendada para la parte alta de la cuenca del río Ilo-Moquegua.

Las zanjas de infiltración también fueron diseñadas para mejorar los suelos, controlar la erosión y generar humedad local en las coberturas semiáridas. Sin embargo, cuando las zanjas se diseñan sobre materiales permeables, generan importantes caudales de recarga que hoy en día es usada como una de las técnicas más eficientes de recarga artificial de acuíferos, sobre todo en los acuíferos fisurados de alta montaña (Peña et al., 2015).

La construcción de las zanjas de infiltración debe responder a que la cantidad de agua de lluvia que cae desde la zona a ser recargada debe ser menor o igual a la que capta y absorbe la zanja, en un diferencial de tiempo. La capacidad de escorrentía e infiltración no debe ser sobrepasada por el total de aportaciones que a ella converjan. En la cuenca alta del río Ilo-Moquegua, la zona de recarga está marcada por un régimen estacional de lluvias, la precipitación en la zona propuesta para la recarga es baja, varía entre 100 y poco más de 200 mm. Para que la infiltración sea eficiente, se recomienda una limpieza anual de zanjas con el objetivo de mejorar y mantener la eficiencia de recarga. Esto debe realizarse antes de que comience la época de avenidas (entre diciembre y marzo), de tal manera que las primeras lluvias sean retenidas y generen caudales de infiltración renovando la recarga del acuífero fisurado volcánico Barroso inferior (Peña et al., 2015).

9.1.2 Recarga artificial mediante barreras hidráulicas en la escollera del cauce

La construcción de barreras hidráulicas tiene como objetivo contener y disipar la energía del agua, generando una especie de pequeña represa que hará que la altura de columna de agua se incremente entre 30 y 40 cm, y al mismo tiempo condicionar que el agua retenida infiltre en el acuífero (Figura 9.4). Esto produce una mayor recarga que la que se produciría en épocas húmedas de forma natural.

En el valle de Moquegua, esta técnica se realizaría en el sector comprendido entre Locumbilla y Garibaldi (cuya longitud aproximada es de 5.5 km), espaciados cada 150 m como mínimo y 200 m como máximo, dependiendo de la sección o tamaño del río. Estas barreras hidráulicas tendrían un ancho variable de acuerdo con la forma de la ribera del río.

También se propone realizar barreras hidráulicas en el valle de Ilo, desde el sector El Yaral hasta La Fundición, tomando en cuenta no poner en riesgo las actuales construcciones del sistema de riego. En este sector la ubicación de barreras hidráulicas estará de acuerdo con el cauce del río, sin que represente potencial peligro de generar inundación, ya que el valle de Ilo es estrecho. Los anchos serán variables, al igual que el espaciamiento entre ellos.

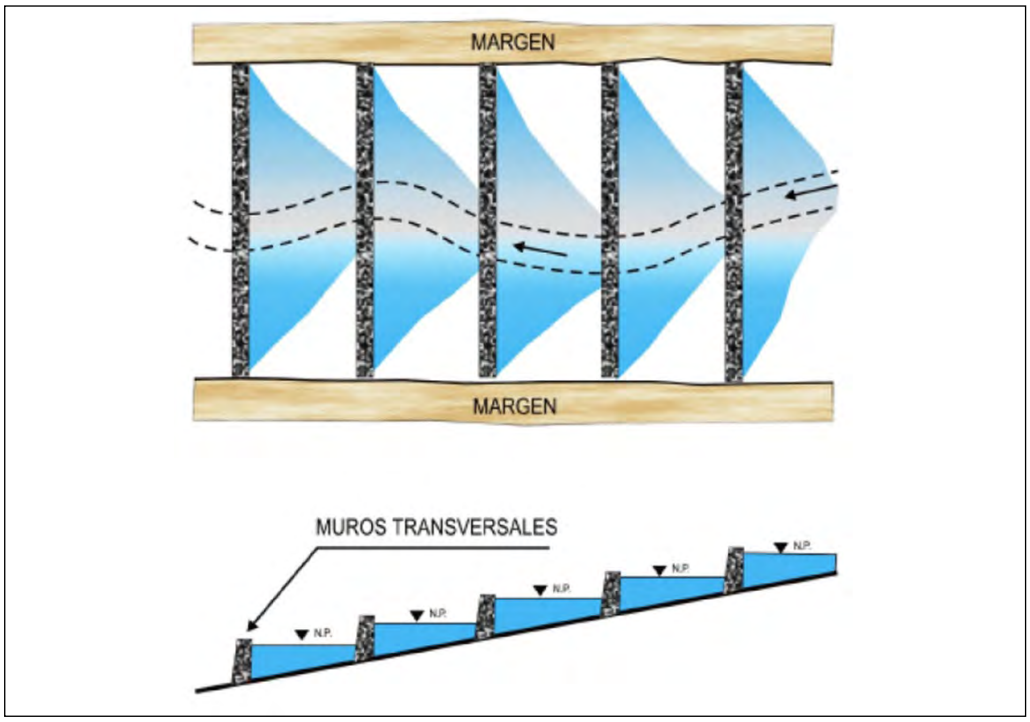


Figura 9.4 Esquema de recarga artificial empleando barreras hidráulicas (tomado de Peña et al., 2010).

9.1.3 Recarga artificial mediante inyección de sondeos profundos

En las cumbres más altas de la cuenca del río Ilo-Moquegua, se encuentran rocas volcánicas del acuífero Barroso que actualmente almacenan agua subterránea a través de fracturas y conductos volcánicos permeables. Además de esta recarga natural y las propuestas de recarga artificial en superficie (zanjas de infiltración), se pueden realizar sondeos para inyección de agua de calidad, que permitirá una mejor exploración y conocimiento de los medios fracturados.

Para ello se debe primero definir la fuente de recarga, su calidad y su disponibilidad; sobre todo intentando que dicho recurso definido para la inyección no genere conflictos ante otros usos o deteriore significativamente la cantidad y calidad de otros cuerpos de agua.

Esta fuente podría ser en parte aguas de escorrentía superficial que se acumula en las pampas de Titijones, agua del manantial Ojo de Agua (131728-006 con caudal aproximado de 15.0 L/s), o aguas de trasvase procedente del proyecto especial Pasto Grande.

9.2 MEJORA DE ALMACENAMIENTO EN EL ACUÍFERO VOLCÁNICO BARROSO MEDIANTE FRACTURAMIENTO HIDRÁULICO (FRACKING)

Esta técnica es bastante utilizada en la industria de hidrocarburos y fue desarrollada por primera vez en los Estados Unidos en 1947. Un año después empezó a utilizarse comercialmente y a mediados de los años 60 era empleada en miles de pozos de campos petroleros para mejorar el rendimiento de la explotación de hidrocarburos.

Los principales objetivos de este método son:

- Mejorar el rendimiento de pozos, abriendo y limpiando las fracturas cerradas previamente con agua a alta presión.
- Generar canales de flujo (fracturas) y colocar un elemento de empaque (arena o partículas de vidrio) que permita incrementar la conductividad y almacenamiento del acuífero y, por ende, la circulación de fluidos.

El método consiste en la inyección de un fluido fracturante, altamente viscoso, por encima de la presión de fractura de una formación; para que pueda producirse fracturamiento de las rocas extendiéndose espacialmente. Una vez producida la rotura, se continúa aplicando presión para extenderla más allá del punto de fractura y crear un canal de flujo de gran tamaño que conecte las fracturas naturales y produzca una gran área de drenaje de fluidos de la roca.

El efecto de incremento del drenaje decrece rápidamente con el tiempo a causa de que las fisuras vuelven a sus condiciones originales hasta cerrarse. Para ello se utiliza arena en el fluido que actúa como columnas y relleno, evitando el cierre de la fisura y permitiendo el paso de fluidos.

Es de vital importancia comprender hasta qué punto se pueden propagar las fracturas hidráulicas. Una investigación reciente dirigida por el Instituto de Energía de Durham (Inglaterra) indica que existe una probabilidad menor de 1 % de que una fractura hidráulica se propague hacia arriba por una distancia mayor de 350 m, y que la distancia más grande registrada para una fractura sea de 600 m (Davies *et al*., 2012). En general, la fisura producida suele tener un ancho milimétrico, pero con fuerte componente horizontal, extendiéndose varias decenas de metros (en ocasiones más de cien metros). Cada fisura creada supone un aumento de transmisibilidad de 1 a varias decenas de m²/día.

Este método se podría aplicar, previo estudio geológico local o de registro de perforación de pozos existentes, teniendo en consideración: el impacto en la parte más superficial que causará esta técnica, el incremento de zonas fracturadas en la zona saturada del acuífero volcánico, y la apertura de nuevas zonas capaces de almacenar y transmitir aguas subterráneas en la parte basal del acuífero.

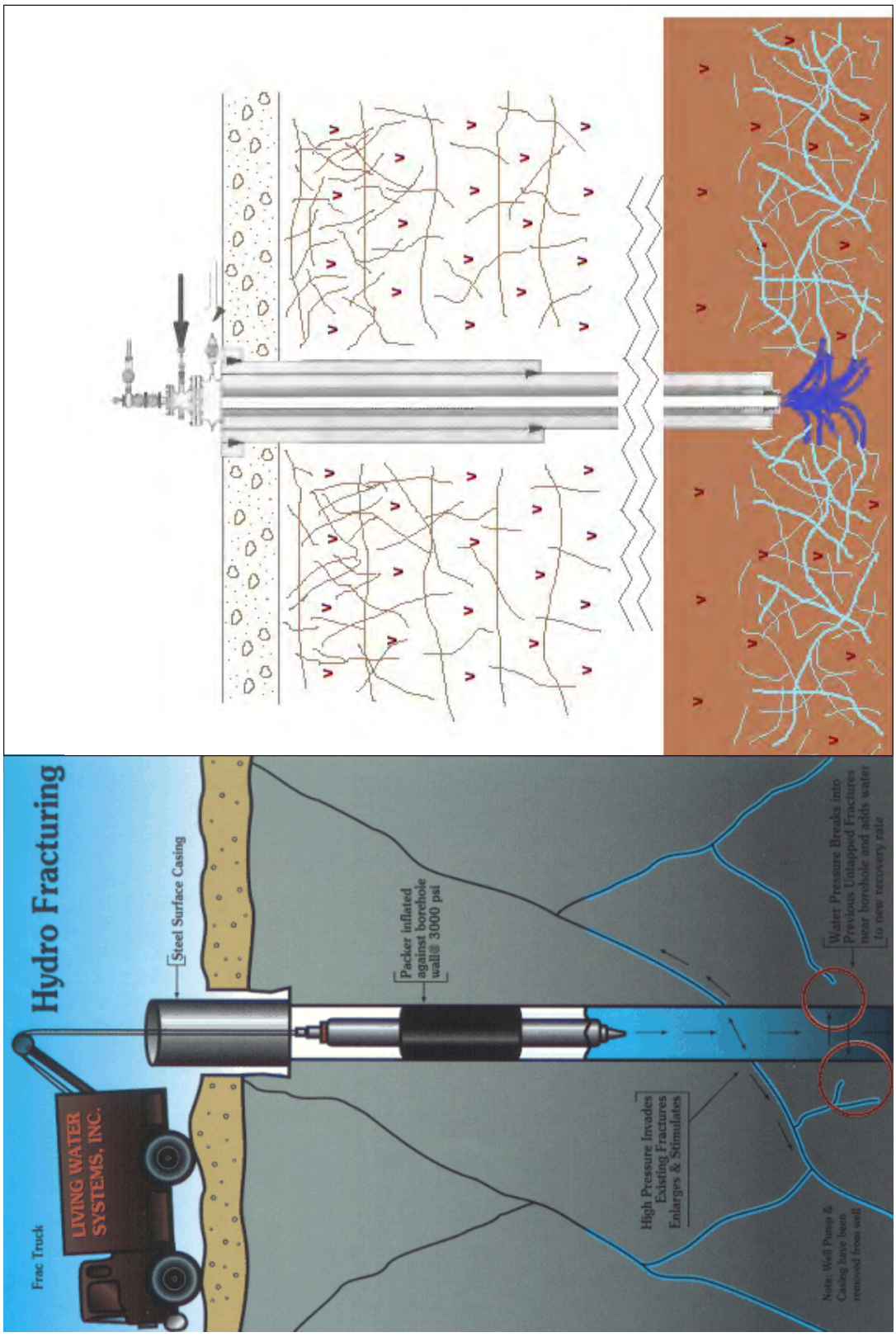


Figura 9.6 Fracturamiento hidráulico provocado en: a) roca compacta y b) modelo acuífero Barroso.

9.3 PROPUESTA DE ZONAS PARA UTILIZACIÓN DE ACUITARDOS PARA RELLENOS SANITARIOS

Sobre el mapa hidrogeológico de la cuenca del río Ilo-Moquegua, no solo se zonifican las rocas con capacidad para almacenar y transmitir aguas subterráneas; sino también los acuitardos y acuicludos, que son rocas de naturaleza impermeable. Estos materiales, dependiendo de la densidad de fracturas, tienen condiciones aptas para emplazar rellenos sanitarios controlados; ya que el nivel de contaminación sobre las aguas subterráneas es bajo, tanto cerca de la ciudad de Moquegua como de Ilo. La implementación de tipo tiene que ser evaluada en el ámbito local ya que, en sectores, algunos acuitardos o acuicludos suelen estar interconectados por fallas regionales o fracturamiento intenso (Peña *et al*., 2015).

En la cuenca del río Ilo-Moquegua se ubican dos ciudades importantes dentro de dos valles igual de importantes, Moquegua e Ilo. El mapa hidrogeológico clasifica a los materiales impermeables como acuitardos, principalmente ubicados en rocas intrusivas. Sobre este tipo de formaciones se puede diseñar el emplazamiento de rellenos sanitarios controlados para ambas ciudades (Moquegua e Ilo). Este emplazamiento debe incluir todas las normas técnicas que requiere la instalación de este tipo de infraestructuras; el carácter impermeable de la roca contribuirá a que no se presente algún tipo de contaminación por los lixiviados y materiales contaminantes.

Sobre este tipo de materiales se debe disponer también la ubicación de plantas de tratamiento de aguas servidas, siempre y cuando las condiciones topográficas y sobre todo las de gravedad favorezcan al emplazamiento de dicha infraestructura. En la ciudad de Moquegua las características fisiográficas no favorecen a la ubicación de plantas de tratamiento de aguas servidas, ya que las formaciones impermeables se encuentran en la parte más alta. Sin embargo, en la parte baja de la cuenca algo distante de la ciudad de Moquegua, podría explorarse un espacio ideal sobre los acuitardos que cumpla con las condiciones para el emplazamiento de una planta de tratamiento.

Además, se debe considerar que, para cualquier obra de disposición final de rellenos sanitarios o planta de tratamiento de aguas servidas, por más que se trabaje sobre materiales impermeables (rocas sello), los trabajos se deben diseñar con elementos de impermeabilización (geomembranas o rellenos de arcilla). Esto para un óptimo funcionamiento de los depósitos de disposición final y para minimizar el riesgo de contaminación de acuíferos.

9.4 CAPTACIÓN DE AGUAS DE NEBLINA

Son aguas procedentes de la humedad atmosférica preferentemente ubicadas a una distancia aproximada de 10 m de la superficie. Esta fuente puede generar recursos hídricos de importancia si se capta a través de las “atrapaneblinas” o mallas que retienen la humedad atmosférica. Esta técnica se ha desarrollado tomando como modelo el comportamiento natural de las copas de los árboles y ha sido ampliamente estudiado en el desierto de Atacama (en Chile desde los años 60), islas Canarias (España), Perú y Bolivia.

Para el desarrollo de esta técnica, se deben tener en cuenta las condiciones meteorológicas locales y realizar monitoreos anuales, que recoja información de por lo menos dos años. El recojo de información debe plantearse en diversas zonas de la Planicie Costera de la cuenca del río Ilo-Moquegua, a fin de caracterizar y evaluar la variabilidad del rendimiento de estas estructuras de captación. Los datos de clima, temperatura, humedad relativa, dirección del viento y pluviometría son indispensables, para orientar la ubicación de las estructuras y el diseño final de captación.

Esta técnica de captación, que ocupa poca extensión y cuyos materiales son de bajo costo, ha sido empleada en Chincha y otros sectores de la costa peruana, con muy buenos resultados (Zabalketa & NER GROUP, 2014).

En Chincha, bajo las condiciones que muestra el estudio (Zabalketa & NER GROUP, 2014), se pudo captar agua atmosférica en un volumen de 1 a 4 l/m²/d. Entre agosto y septiembre se registró la mayor captura de agua atmosférica con 70 y 82 l/m² (valor acumulado mensual); mientras que en los meses de mayo, junio, julio, octubre y diciembre se captó entre 30 l/m²/mes y 50 l/m²/mes. Durante los meses de enero, febrero y marzo, se recolectaron algunas trazas (hasta 2 l/m²/mes).

El sistema de captación de neblina consta de cuatro partes: Un sistema de captación (panel captador y canaleta), un sistema de conducción, un sistema de almacenamiento y un sistema de distribución generalizada. El agua en suspensión contenido en la neblina choca con el panel captador (que es una malla doble), mientras se juntan varias gotas en la malla, estas van descendiendo hasta la canaleta (sistema de conducción). Luego, mediante una manguera conectada a uno de los extremos de la canaleta, el agua se traslada por gravedad hasta llegar a un tanque (sistema de colección) que se encuentra en el piso (enterrado o en un nivel inferior que permite la circulación por gravedad). Finalmente, desde el tanque se distribuye mediante una red (sistema de distribución) hacia el usuario o finalidad de la captación (FAO, 2013).

En la cuenca del río Ilo-Moquegua se debe primero delimitar las áreas de mayor ocurrencia de neblina, sobre todo aquellas donde la neblina sea frecuente durante el año y que contenga una neblina densa, para que la captación pueda almacenar la mayor cantidad de agua por unidad de área. Analizando las características de presencia de neblina de la cuenca del río Ilo-Moquegua, preliminarmente podría considerarse una potencial zona de neblinas entre el tramo de la carretera Ilo (sector Botadero) y el desvío hacia Moquegua y Tacna, esto observado en la salida de campo del 2011.

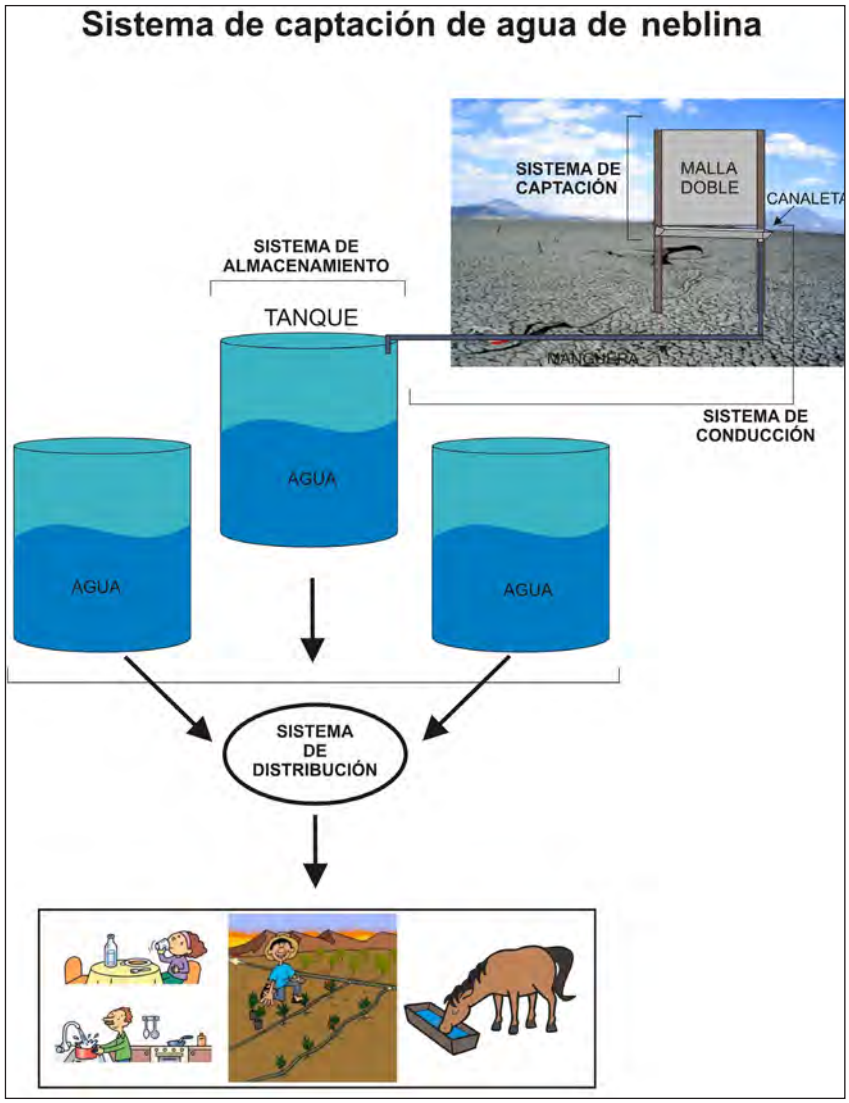


Figura 9.7 Esquema de sistema de captación de agua de neblina.

CONCLUSIONES

- La cuenca tiene un relieve agreste y variado, producto de una compleja actividad volcánica y tectónica. Los sectores altos con afloramientos de rocas volcánicas fracturadas, por lo general, constituyen zonas de recarga de acuíferos fisurados. En los valles de Moquegua e Ilo la presencia de depósitos fluviales y aluviales forman acuíferos porosos no consolidados poco profundos y muy relacionados al escurrimiento de los ríos.
- Se realizó un inventario total de 121 fuentes de aguas subterráneas, de las cuales tenemos 86 manantiales, 2 manantiales captados, 5 pozos y 28 puntos de control.
- Los valores de conductividad hidráulica obtenidos de las formaciones geológicas se realizaron mediante ensayos de infiltración puntual en superficie. Esto ayudó a conocer cualitativamente el grado de permeabilidad, mencionando si son poco, algo o muy permeables; información que también se consideró para la clasificación hidrogeológica. El menor valor corresponde al ensayo MOQ-04 muy cerca al límite de "poco permeable" (0.1291 m/día) realizado sobre rocas relativamente antiguas (del Jurásico inferior). El mayor valor corresponde al ensayo MOQ-08 (1.335 m/día), de la parte "permeable", en rocas volcánicas altamente fracturadas.
- Las formaciones geológicas caracterizadas como acuíferos sedimentarios son: El acuífero Moquegua Superior, Jaguay y Millo, los cuales tienen características permeables y porosas, pero sin alimentación ni recarga. El acuífero volcánico sedimentario corresponde al acuífero Capillune cuya evidencia se observó en el sector de Asana. El acuífero fisurado volcánico corresponde al Grupo Barroso y el acuífero fisurado sedimentario pertenece a la Formación Puente (altamente fracturada), aunque esta última no tiene recarga.
- En el valle de Moquegua se observa un acuífero detrítico donde existen 63 pozos de explotación y 38 manantiales, este acuífero se recarga a través del río Moquegua y también de las aguas de trasvase del proyecto Pasto Grande que se usan en el riego de zonas agrícolas. En el valle de Ilo, el acuífero detrítico es más angosto, pero con similares condiciones hidrogeológicas al valle de Moquegua, tiene 110 pozos de explotación y se recarga a través del río Osmore o Ilo.
- En cuanto a la contaminación de las aguas subterráneas, durante los trabajos de campo se observó que algunos pozos del valle de Moquegua e Ilo se han convertido en focos contaminantes, con alto riesgo de ingreso de elementos nocivos al acuífero, lo cual perjudica la calidad química de las aguas subterráneas, elevando su salinidad e incrementando el contenido de sólidos suspendidos. También se observaron algunos lugares como botaderos de residuos sólidos.
- Se realizó una caracterización hidrogeológica, tomando como base la geología detallada por litología, los puntos de surgencia de aguas subterráneas, la precipitación pluvial, las condiciones de descarga y las propiedades físico-químicas de las aguas subterráneas que provienen de los acuíferos. Según su litología, extensión y productividad, los acuíferos se clasificaron en: acuíferos porosos no consolidados y acuíferos fisurados (o fracturados) en roca. Para diferenciar mejor las propiedades de los acuíferos fisurados, los subdividimos en: acuíferos fisurados sedimentarios y acuíferos fisurados volcánicos.
- Los valores de conductividad eléctrica en manantiales varían de 8.4 uS/cm (131729-001) a 1199.0 uS/cm (131728-034), los cuales están condicionados por el acuífero, su recorrido subterráneo, ubicación, litología por donde circula el agua subterránea, tipo de fuente o la actividad antrópica. No obstante, se identificaron 2 manantiales con más de 1500 uS/cm de conductividad eléctrica. El manantial captado El Pacae (131725-001: 2598 uS/cm), del cual interpretamos que su alto contenido de sales se debe a la infiltración de aguas de riego en el acuífero producto de la actividad agrícola, las que se mezclan con el agua subterránea. El manantial Puerto Ilo (13171-001: 4210.0 uS/cm) ubicado muy cerca del litoral, cuya surgencia podría estar condicionada por la mezcla con el agua salada de mar cuando sube la marea.
- Las 19 fuentes de predominancia bicarbonatada cálcica (HCO_3-Ca) representan surgencias de agua subterránea muy jóvenes y corresponden a sistemas de flujo locales de corto recorrido. Los bicarbonatos están relacionados a la reacción del CO_2, provenientes de los poros del suelo en los primeros metros de infiltración (zona no saturada). Existen 7 muestras de manantiales de facies sulfatada cálcica (SO_4-Ca) con ligera variación a facies sulfatadas-bicarbonatadas y sulfatadas-cloruradas, con contenidos

mayoritarios de calcio. Las aguas de tipo sulfatadas sódicas (SO4-Na) pertenecen a dos fuentes; al manantial Santos y a la fuente de agua potable de Arundaya, ambos ubicados en la Cordillera Occidental al noreste de la mina Cuajone. Estas aguas sulfatadas sódicas, con características hidroquímicas distintas, tienen un recorrido subterráneo relacionado a una litología no identificada en el acuífero Capillune (de carácter localizado).

- En general los pozos se caracterizan por la presencia de niveles freáticos altos, muy cerca de la superficie, por lo tanto, las aguas están en contacto con aguas superficiales de riego cargados de plaguicidas y fertilizantes. Sus aguas son de predominancia sulfatada cálcica, debido al alto contenido en sulfatos de procedencia antrópica (infiltración de aguas de riego en zonas agrícolas más el uso de fertilizantes y plaguicidas).
- Las formas de contaminación de aguas subterráneas se relacionan con la disposición y quema de residuos agrícolas, lugares de vertido de aguas residuales y residuos sólidos en basureros ubicados a lo largo de la cuenca del río Ilo-Moquegua.
- Las zonas más vulnerables de la cuenca del río Ilo-Moquegua corresponden al acuífero poroso no consolidado de los valles de Moquegua e Ilo, porque están compuestos por materiales que facilitan infiltración (permeabilidad alta) y sus niveles freáticos se encuentran muy cerca de la superficie. Las zonas de vulnerabilidad alta corresponden a los acuíferos fisurados en la parte alta de la cuenca. También existen zonas de vulnerabilidad moderada, baja y despreciable que tienen como litología rocas impermeables.
- Se definieron dos sistemas acuíferos: el sistema acuífero poroso no consolidado (que involucra los valles de Moquegua e Ilo) y el sistema acuífero fisurado volcánico y volcánico-sedimentario en la parte alta de la cuenca (donde existe mayor precipitación pluvial, que involucra principalmente a las rocas del Grupo Barroso).
- En el sistema acuífero poroso no consolidado, se identificaron los pisos de valle de Moquegua e Ilo, cuya interconexión subterránea no es directa, pero pertenece al mismo material y tiene una relación similar en la recarga del acuífero (ambos acuíferos se recargan por el mismo río y por las aguas de riego procedente de la actividad agrícola). Se debe tener en cuenta, además, que los acuíferos porosos no consolidados del piso de valle Moquegua e Ilo se encuentran en el recorrido del mismo río, pero separados por 33 km aprox., cada uno con niveles heterogéneos. El segundo sistema acuífero (sistema acuífero Barroso) está constituido principalmente por rocas volcánicas del Grupo Barroso inferior de naturaleza fracturada, las mismas que evidencian interconexión hidráulica con las rocas de la Formación Capillune, de naturaleza estratificada en horizontes. Ambas (grupo y formación) son las principales unidades hidrogeológicas del sistema acuífero Barroso.
- Para encaminarnos a una adecuada gestión de los recursos hídricos en la cuenca del río Ilo-Moquegua, en el presente boletín se plantean propuestas de intervención en captación de aguas subterráneas, recarga artificial de acuíferos y la zonificación de lugares con condiciones impermeables que pueden ser utilizados como disposición final de residuos o como rellenos sanitarios. Estas propuestas requieren la elaboración de un expediente de factibilidad para hacerlo viable, con estudios más detallados.

RECOMENDACIONES

- Para un mejor entendimiento de las estructuras geológicas que controlan la transmisividad de las aguas subterráneas, es necesario un estudio estructural detallado al menos en los principales acuíferos, como en los principales sectores de conexión hidráulica entre el acuífero Barroso y Capillune.
- Realizar el inventario detallado de las surgencias y monitorear su caudal en época de avenida y estiaje, para precisar y delimitar zonas de recarga de acuíferos, sectores de interés, geometría de surgencias, etc.
- Realizar el monitoreo hidroquímico en manantiales en épocas de lluvia y estiaje, para comprobar la variabilidad de los componentes iónicos mayoritarios. El monitoreo piezométrico e hidroquímico de los pozos también es importante, para el cálculo de reservas y del caudal útil de explotación futura. Además, se deben formalizar los pozos ilegales, y obtener datos de las aguas subterráneas que se extraen en la cuenca.
- Delimitar zonas de recarga natural de acuíferos empleando el mapa hidrogeológico, para desarrollar proyectos de intervención en recarga artificial, a fin de mejorar las condiciones de infiltración con aguas de lluvia.
- Considerando las necesidades de riego, se recomienda el cambio del sistema de riego de gravedad a tecnificado; así la extracción excesiva de agua disminuirá a causa del bombeo de agua subterránea en los pisos de valle.
- Se propone utilizar el mapa hidrogeológico para ubicar áreas para la disposición final de residuos sólidos y líquidos. En el mapa se zonifican formaciones impermeables (acuitardos y acuifugos) que pueden ser usadas con fines ambientales.

BIBLIOGRAFÍA

Acosta, H.; Alván, A.; Oviedo, M. & Rodríguez, J. (2010) - Actividad tectónica del sistema de fallas Cincha-Lluta Incapuquio durante la evolución de la cuenca Arequipa en el Jurásico. En: Congreso Peruano de Geología, 15, Cusco 2010. *Resúmenes extendidos.* Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 742-745.

Acosta, H.; Rodríguez, J.; Ccallo, W. & Cutipa, M. (2012) - Actividad tectónica del sistema de fallas Cincha-Lluta-Incapuquio (SFCLLI) durante el Cretácico y Paleógeno en el sur del Perú. En: Congreso Peruano de Geología, Lima, 16. *Resúmenes extendidos*. Lima: Sociedad Geológica del Perú. 5 p.

Adams, J.I. (1906) - Caudal, procedencia y distribución de aguas de los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna. *Boletín Cuerpo de Ingenieros de Minas del Perú,* (45): 1-61.

Aller, L.; Bennet, T.; Lehr, J.H.; Petty, R.J. & Hackett, G. (1987) – DRASTIC: *a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings.* Ada, Oklahoma: U.S. Environmental Protection Agency, 641 p. EPA /600/2-87-036

Auge, M. (2004) – Vulnerabilidad de acuíferos. *Revista Latino-Americana de Hidrogeología,* 4: 85-103.

Autoridad Nacional del Agua (2008) - *Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Perú: resumen ejecutivo* (en línea). Lima: ANA, 36 p. (consulta: 21 noviembre 2014). Disponible en: <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/1880>

Autoridad Nacional del Agua (2012a) - *Recursos hídricos en el Perú* (en línea). 2. ed. Lima: ANA, 491 p. (consulta: 21 noviembre 2014). Disponible en: <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/1888>

Autoridad Nacional del Agua (2012b) - *Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Perú: Memoria descriptiva.* Lima: ANA, 104 p. (consulta: 18 octubre 2017). Disponible en: <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/597>

Bellido, E. & Guevara, C. (1963) - Geología de los cuadrángulos de Punta de Bombón y Clemesí. C*omisión Carta Geológica Nacional*, 5, 92 p.

Bellido, E. (1979) - Geología del cuadrángulo de Moquegua. INGEMMET, Boletín, *Serie A: Carta Geológica Nacional*, 15, 78 p.

Bellon, H., Lefèvre, C. (1976) - Données géochronométriques sur le volcanisme andin dans le sud du Pérou. Implications volcano-tectoniques. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, Série D: Sciences Naturelles, 283*(1): 1-4.

Benítez, A. (1963) - *Captación de aguas subterráneas, nuevos métodos de prospección y de cálculo de caudales.* Madrid: Dossat, 157 p.

Campos, A. (1992) - *Procesos del ciclo hidrológico.* 2 ed. San Luis Potosí: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 550 p.

Castany, G. (1963) – *Traité practique des eaux souterraines.* Paris: Dunod, 677 p.

Castany, G. (1971) - *Tratado práctico de las aguas subterráneas.* Barcelona: Omega, 672 p.

Castany, G. (1975) - *Prospección y explotación de las aguas subterráneas*. Barcelona: Omega, 738 p.

Cobbing, E.J.; Pitcher, W.S. & Taylor, W.P. (1977) - Segments and super-units in the Coastal Batholith of Peru. *Journal of Geology*, 85(5): 625-631.

Cobbing, E.J. & Pitcher, W.S. (1983) - Andean plutonism in Peru and its relationship to volcanism and metallogenesis at a segmented plate edge. En: Roddick, J.A., ed. *Circum-Pacific plutonic terranes. Boulder,* CO: Geological Society of America, Memoir 159, p. 277-291.

Custodio, E. & Llamas, M. (1996) - *Hidrología subterránea.* 2. ed. Barcelona: Omega, 2 t.

Dalmayrac, B.; Lancelot, J.R. & Leyreloup, A. (1977) - Two billion

year granulites in the Late Precambrian metamorphic basement along the Southern Peruvian coast. *Science*, 198(4312): 49-51.

Davies, R.J.; Mathias, S.A.; Moss, J.; Hustoft, S. & Newport, L. (2012) - Hydraulic fractures: how far can they go?. *Marine and Petroleum Geology,* 37 (1): 1-6.

Davies, S.N. (1969) - Porosity and permeability of natural materials. En: De Wiest, R.J.M., ed. *Flow through porous media*. New York: Academic Press, p. 53-89.

Domenico, P. A. & Schwartz, F. W. (1990) – *Physical and chemical hydrogeology.* New York: Wiley, 846 p.

Escuder, R.; Fraile, J.; Jordana, S.; Ribera, F.; Sánchez-Vila, X. & Vázquez, E., eds. (2009) – *Hidrogeología: conceptos básicos de hidrología subterránea.* Barcelona: Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea, 768 p.

FAO (2013) - *Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe.* Santiago: FAO y FIDA, 272 p.

Fetter, C W. (2001) - *Applied hydrogeology.* 4. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 598 p.

Foster, S.; Ventura, M. & Hirata, R. (1987) - *Contaminación de las aguas subterráneas: un enfoque ejecutivo de la situación en América Latina y el Caribe en relación con el suministro de agua potable.* Lima: CEPIS y Organización Panamericana de la Salud, 49 p.

Foster, S.; Adams, B.; Morales, M. & Tenjo, S. (1993) – *Groundwater protection strategies: a guide towards implementation.* Lima: CEPIS & Pan American Health Organization, 88 p.

Freeze, R.A. & Cherry, J.A. (1979) - *Groundwater.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 604 p.

García, W. (1978) - Geología de los cuadrángulos de Puquina, Omate, Huaitiri, Mazo Cruz y Pizacoma. *Instituto de Geología y Minería, Boletín*, 29, 64 p.

Harr, M.E. (1962) – *Groundwater and seepage.* New York: McGraw-Hill Book Co., 315 p.

Institut Geòlogic de Catalunya; Agència Catalana de l'Aigua & Institut Cartogràfic de Catalunya (2010) - *Mapa Geòlogic de Catalunya. Geotreball V. Mapa hidrogeològic. Sarrià de Ter. 296-1-2 (77-24), 1:25 000.* Catalunya: IGC / ACA / ICC, mapa

Instituto Geológico y Minero de España (1976) – *Mapa de vulnerabilidad a la contaminación de los mantos acuíferos de la España Peninsular, Baleares y Canarias.* Primer esquema cualitativo. 2a. ed. Madrid: IGME, 10 p., 2 mapas.

Instituto Nacional de Recursos Naturales (1995) - *Mapa ecológico del Perú: guía explicativa.* Lima: INRENA, 219 p. Mapa a escala 1:1.000.000.

Instituto Nacional de Recursos Naturales (2004) - *Estudio hidrogeológico del valle Moquegua – Ilo* (en línea). Lima: INRENA, 319 p. (consulta: 21 noviembre 2014). Disponible en <http://www.ana.gob.pe/media/296999/estudio_hidrogeologico_moquegua_ilo.pdf>

International Atomic Energy Agency (2002) – *GNIP Maps and Animations. Version* 1.1 (en línea). Vienna & Waterloo, Ontario: IAEA & University of Waterloo. (consulta: 26 agosto 2015). Disponble en: <http://www-naweb.iaea.org/napc/ih/documents/userupdate/Waterloo/index.html>

Knight Piésold Consulting (2008) – Proyecto Quellaveco: *Modificación del estudio de impacto ambiental, informe final.* Lima: Knight Piésold, 1505 p. Informe preparado para Anglo American Quellaveco S.A. (consulta: 15 mayo 2014). Disponible en <https://es.scribd.com/doc/70279160/Eia-Anglo-American>

Llamas, J. (1993) – *Hidrología general: principios y aplicaciones.* Bilbao: Universidad del País Vasco, 635 p.

Loewy, S.L.; Connelly, J.N. & Dalziel, I.W.D. (2004) - An orphaned basement block: The Arequipa-Antofalla basement of the Central Andean margin of South America. *Geological Society of America Bulletin*, 116(1-2): 171-187.

Maidment, D.R., ed. (1993) - *Handbook of hydrology*. New York: McGraw-Hill, 1424 p.

Mamani, M.; Carlotto, V.; Santos, A.; Rodríguez, R.; Martiarena, R., et al. (2009) - Resultados de la interpolación regional de las anomalías de Bouguer y su correlación con los dominios geotectónicos del Perú. *Boletín Sociedad Geológica del Perú,* (103): 255-263.

Margat, J. (1968) - *Vulnérabilité des nappes d'eau souterraine a la pollution. Bases de la cartographie. Orléans*: BRGM, Doc 68 SGC 198, HYD.

Marocco, R. & Del Pino, M. (1966) - Geología del cuadrángulo de Ichuña. *Comisión Carta Geológica Nacional, Boletín* 14, 57 p.

Marocco, R.; Delfaud, J. & Lavenu, A. (1985) - *Ambiente deposicional de una cuenca continental intramontaña* andina: el Grupo Moquegua (Sur del Perú): primeros resultados. Boletín Sociedad Geológica del Perú. (75): 73-90.

Martínez, E.; Martínez, P. & Castaño, S. (2006) - *Fundamentos de hidrogeología.* Madrid: Mundi-Prensa, 284 p.

Meinzer, O.E (1923) - Outline of ground-water hydrology, with definitions. U.S. G*eological Survey Water Supply Paper* (en línea), 494, 71 p. (consulta: 15 mayo 2015). Disponible en: <http://pubs.er.usgs.gov/publication/wsp494>

Mendívil, S. (1965) - Geología de los cuadrángulos de Maure y Antajave (hojas 35-x, 35-y). *Comisión Carta Geológica Nacional,* 10, 99 p.

Mook, W.G., ed. (2002) - *Isótopos ambientales en el ciclo hidrológico: principios y aplicaciones.* Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, 596 p., Guías y Manuales, 1.

Ng, W. (2015) – *Estudio hidrogeológico de la parte alta de la cuenca del río Ilo-Moquegua.* Tesis Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Cusco, 152 p.

Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (1976) - *Mapa ecológico del Perú a Escala 1:1.000.000: guía explicativa* (en línea). Lima: ONERN, 146 p. (consulta: 21 noviembre 2014). Disponible en: <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/1052>

Palacios, O.; De La Cruz, J.; De La Cruz, N.; Klinck, B.A.; Allison, R.A. & Hawkins, M.P. (1993) - Geología de la Cordillera Occidental y Altiplano al oeste del Lago Titicaca – Sur del Perú (Proyecto Integrado del Sur). *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 42, 257 p.

Pemex Exploración y Producción (2008) - *Guía de diseño para fracturamientos hidráulicos* (en línea). México: PEMEX, 40 p. (consulta 15 noviembre 2015). Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/56565624/07-Fracturamiento-Hidraulico>

Peña, F. (2001) - *Estudio hidrogeológico del acuífero poroso no consolidado entre Saylla y Choquepata*. Tesis Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional San Antonio Abad, Cusco, 170 p.

Peña, F.; Sánchez, M. & Pari, W. (2010) - *Hidrogeología de la cuenca del río Ica. INGEMMET. Boletín. Serie H: Hidrogeología,* 3, 349 p.

Peña, F., Carpio, J. & Vargas, V. (2015). - *Hidrogeología de la cuenca de los ríos Jequetepeque (13774) y Chamán (137752), Regiones Cajamarca, La Libertad y Lambayeque. INGEMMET. Boletín*. Serie H: Hidrogeología, 4, 304 p.

Pérez, G. (1966) - *Estudio hidrogeológico del valle de Moquegua* (en línea). Lima: Instituto Nacional de Investigación y Fomento Mineros, 142 p. (consulta: 21 noviembre 2014). Disponible en: <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/1674>

Pino, A.; Sempere, T; Jacay, J. & Fornari, M. (2004) - Estratigrafía, paleogeografía y paleotectónica del intervalo Paleozoico superior-Cretáceo inferior en el área de Mal Paso - Palca (Tacna). En: Jacay, P. & Sempere, T., eds. *Nuevas contribuciones del IRD y sus contrapartes al conocimiento geológico del sur del Perú.* Lima: Sociedad Geológica del Perú, Publicación Especial, 5, p. 15-44.

Pulido, J. (1978) - *Hidrogeología práctica. Bilbao*: URMO, 314 p.

Ramos, V. (2008) – The basement of the Central Andes: the Arequipa and related terranes. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences,* 36, p. 289-324.

Richard, K.E. & Courtright, J.H. (1958) – Geología de Toquepala, Perú. Minería, 6(27): 158-162.

Sánchez, A.; Rosell, W. & Raymundo, T. (2000) - *Memoria explicativa de la revisión geológica en los cuadrángulos de Punta de Bombon (35-s), Clemesí (35-t), Ilo (36-t), Locumba (36-u), La Yarada (37-u), Tacna (37-v), Huaylillas (37-x), Juli (33-y), Pizacoma (34-y) e Isla Anapia (33-z)*, Escala 1:100 000, informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 39 p. 10 mapas.

Sánchez, F. (s.a.) - *Contaminación de las aguas subterráneas* (en línea). Salamanca: Universidad de Salamanca, Departamento de Geología, 6 p. (consulta: 25 agosto 2015). Disponible en: <http://hidrologia.usal.es/temas/contaminacion.pdf>

Sanders, L.L. (1998) - *A manual of field hydrogeology. Upper Saddle River,* NJ: Prentice-Hall, 381 p.

Sempere, T.; Boekhout, F.; Noury, M.; Taipe, E.; García, F., et al. (2012) - Reinstauración del Grupo Yamayo (Bellido y Guevara, 1963), y su significado en la evolución de la margen peruana del Carbonífero al Triásico (CD-ROM). En: Congreso Peruano de Geología, 16, Lima, 2012. *Resúmenes extendidos*. Lima: Sociedad Geológica del Perú, 5 p.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2010) - *Balance hídrico superficial cuenca del río Ilo- Moquegua,* informe inédito. Lima: Senamhi, 225 p.

Struckmeier, W.F. & Margat, J. (1995) - *Hydrogeological maps: a guide and a standard legend.* Hannover: International Association of Hydrogeologists, 193 p. International Contributions to Hydrogeology, 17.

Wilson, J.J. & García, W. (1962) - Geología de los cuadrángulos de Pachía y Palca. *Comisión Carta Geológica Nacional, Boletín* 4, 81 p.

Zabalketa & NER GROUP (2014) - *Experiencias de captación de agua de niebla para reforestación: investigación de campo en territorios con escasez pluvial de Bolivia y Perú* (en línea). Bizkaia (España): Asociación Zabalketa, 80 p. (consulta: 15 abril 2015). Disponible en: <http://zabalketa.org/wp-content/uploads/2016/02/Aguadeniebla.pdf>

ANEXOS

ANEXO I

- CÁLCULO DE PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS

CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA

En base a los datos obtenidos del plano de la cuenca se ha procedido a determinar los siguientes parámetros:

1.- Superficie de la cuenca

Área de drenaje	A =	3406.5692	Km^2
Área de la cuenca de recepción	Ac =	876.8	Km^2
Área de la cuenca húmeda	Ah =	563.7	Km^2
Perímetro de la cuenca	P =	383.2	Km^2

2.- Forma de la cuenca

2.1.Índice de Gravellus o coefiente de compacidad (kc) $kc = 0.28\ P/\ A^{1/2}$

P = 383.2 Km (Perímetro de la cuenca)

kc = 0.28 * 383.2 / 3406.5692 ^ 1/2

kc = 1.84

Según Taylor

kc	≤ kc >	1	Cuencas redondas
1	>	kc	Cuencas alargadas

2.2.Factor de forma (kf) $Kf = A / Lmr^2$

Lmr = 153.27002 Km (Longitud axial de la cuenca,longitud de máximo recorrido)

Kf = 3406.5692 / 153.270017^2

Kf = 0.145

3.- Sistema de drenaje

3.1. Orden de las corrientes de agua : 6

3.2. Densidad de drenaje (Dd) | Dd = Lt / A (Km / Km2) |

Lt = 1593.373 (Longitud total de corrientes de agua: suma de causes)

Dd = 1593.373022 / 3406.5692

Dd = 0.468 Km / Km^2

N° DE ORDEN 1

	LONG
1-100	0
101-200	0
201-300	0
301-400	0
401-500	0
501-600	0
601-700	0
	889.7496
SUMA	889.75

N° DE ORDEN 2

	LONG
1-30	0.0
31-60	0.0
61-90	0.0
91-120	0.0
121-150	0.0
151-90	341.6
SUMA	341.61

N° DE ORDEN 3

	LONG
1-30	0.0
31-60	0.0
61-90	0.0
91-120	158.9
SUMA	158.94

N° DE ORDEN 4

	LONG
1-30	0.0
31-60	0.0
61-90	139.0
SUMA	138.97

N° DE ORDEN 5

	LONG
1-3	0.0
4-6	64.1
SUMA	64.11

LONG. TOTAL = 889.749565+341.609932+158.935193+138.967015+64.111317

LONG. TOTAL = 1593.37 km

LONG. TOTAL = 1593.37 Km

LONG. TOTAL= 1593373 metros

3.3. Longitud media de la Escorrentía Superficial (l) | l = A / 4Lt = 1/4Dd |

l = 0.534188 Km | l = 534.18803 m |

3.4. Sinuosidad del cauce principal (S) | S = Lcp / LT |

Lcp = 153270.02 m (Longitud del cause principal)
LT = 134553.00 m (Longitud en línea recta ó curva, para este caso se considero línea recta)
S = 1.14

4.- Características del relieve

4.1. Pendiente de la cuenca

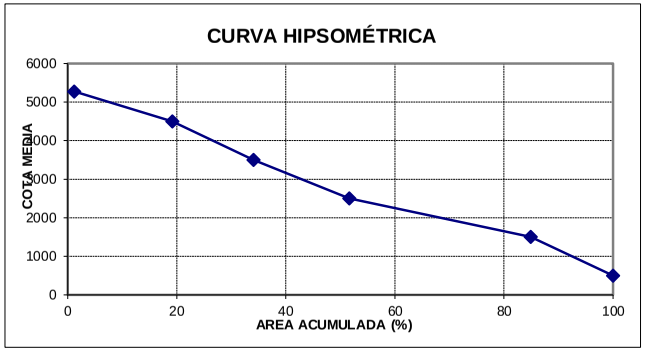
CURVA DE NIVEL	COTAS m.s.n.m.		AREA Km2	EQUIDIST m	LONG CURV Km
H-H1	0	1000	514.2	1000	0.096
H1-H2	1000	2000	1134.4	1000	380.249
H2-H3	2000	3000	597.1	1000	242.797
H3-H4	3000	4000	506.5	1000	201.843
H4-H5	4000	5000	613.1	1000	193.333
H5-H6	5000	5550	41.2	1000	122.420
TOTAL			3406.6		1140.738

Sc = (1000 / 1000) * 1140.738409 / 3406.5692

Sc = 0.3349 = 33.49 %

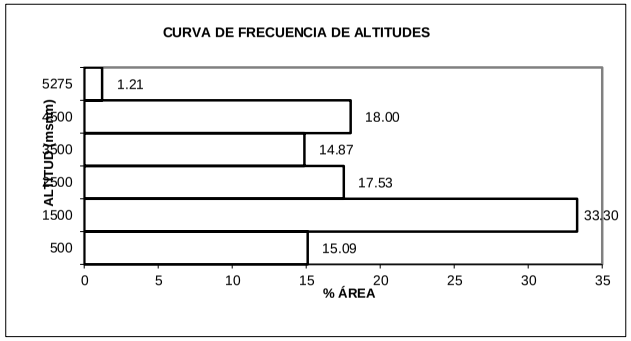
4.2. Curva Hipsométrica

COTAS m.s.n.m.		COT MED m.s.n.m	AREA Km^2	AREA ACUM	% AREA	% ACUM	COT MED X AREA
0	1000	500	514.2	3406.5692	15.094227	100	257097.65
1000	2000	1500	1134.4	2892.3739	33.300782	84.90577	1701621.3
2000	3000	2500	597.1	1757.9597	17.526601	51.60499	1492639.5
3000	4000	3500	506.5	1160.9039	14.869145	34.07839	1772847
4000	5000	4500	613.1	654.3762	17.998874	19.20924	2759148.5
5000	5550	5275	41.2	41.2321	1.2103702	1.21037	217499.33
TOTAL			3406.6		100		8200853.2



4.3. Curva de frecuencia de altitudes

COTAS m.s.n.m.		PUNTO MEDIO	AREA Km^2	% AREA
0	1000	500	514.2	15.09
1000	2000	1500	1134.4	33.30
2000	3000	2500	597.1	17.53
3000	4000	3500	506.5	14.87
4000	5000	4500	613.1	18.00
5000	5550	5275	41.2	1.21
TOTAL			3406.6	100.00



4.4. Elevación media de la cuenca (Altitud media)

COTAS m.s.n.m.		Ai Km2	Ai (sobre) Km2	Cota Debajo	Altitud Media (Hi)	Hi * Ai
0	1000	514.2	2892.4	1000	500	257097.7
1000	2000	1134.4	2272.2	2000	1500	1701621
2000	3000	597.1	2809.5	3000	2500	1492640
3000	4000	506.5	2900.0	4000	3500	1772847
4000	5000	613.1	2793.4	5000	4500	2759148
5000	5550	41.2	3365.3	5550	5275	217499.3
TOTAL		3406.5692				8200853

H = 2407.36 m.s.n.m.

$$\overline{H} = \frac{\sum \text{Cot.Med} * \text{Ai}}{\text{A}}$$

H = 2407.3643

4.5. Pendiente de la corriente de máximo recorrido (Lmr)

COTAS m.s.n.m.		Diferencia de cotas (m)	Distancia Horizonta (m)	Distancia inclinada (m)	Distancia inclinada Acumul.	Pendiente por segme Si	$Si^{1/2}$	li / $Si^{1/2}$
0	1000	1000	65553.7	65561.31	65561.31	0.0153	0.1237	530002.5
1000	2000	1000	32322.2	32337.67	97898.98	0.0309	0.1758	183945.8
2000	3000	1000	12930.2	12968.85	110867.83	0.0771	0.2777	46700.94
3000	4000	1000	20073.2	20098.12	130965.95	0.0498	0.2232	90045.34
4000	4970	970	22390.7	22411.67	153377.62	0.0433	0.2081	107696.6
TOTAL			153270	153377.62				958391.2

$$Seq = \left[\frac{\Sigma\, li}{\Sigma\, \frac{li}{Si^{1/2}}} \right]^2$$

Seq = (153377.62 / 958391.22) ^ 2

Seq =	0.0256	=	2.56	%

4.6. Rectángulo equivalente

$$L = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.12}\left[1+\sqrt{1-\frac{(1.12)^2}{Kc^2}}\right]$$

$$l = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.12}\left[1-\sqrt{1-\frac{(1.12)^2}{Kc^2}}\right]$$

ó

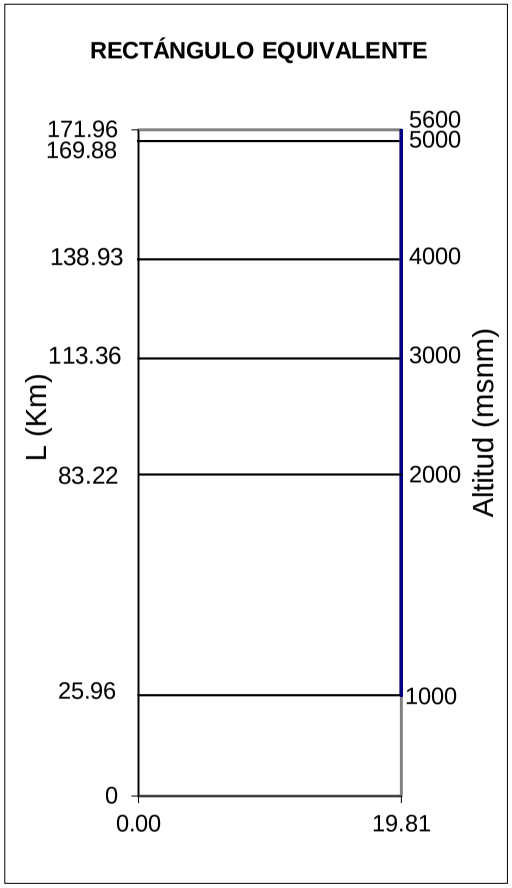
l = A / L

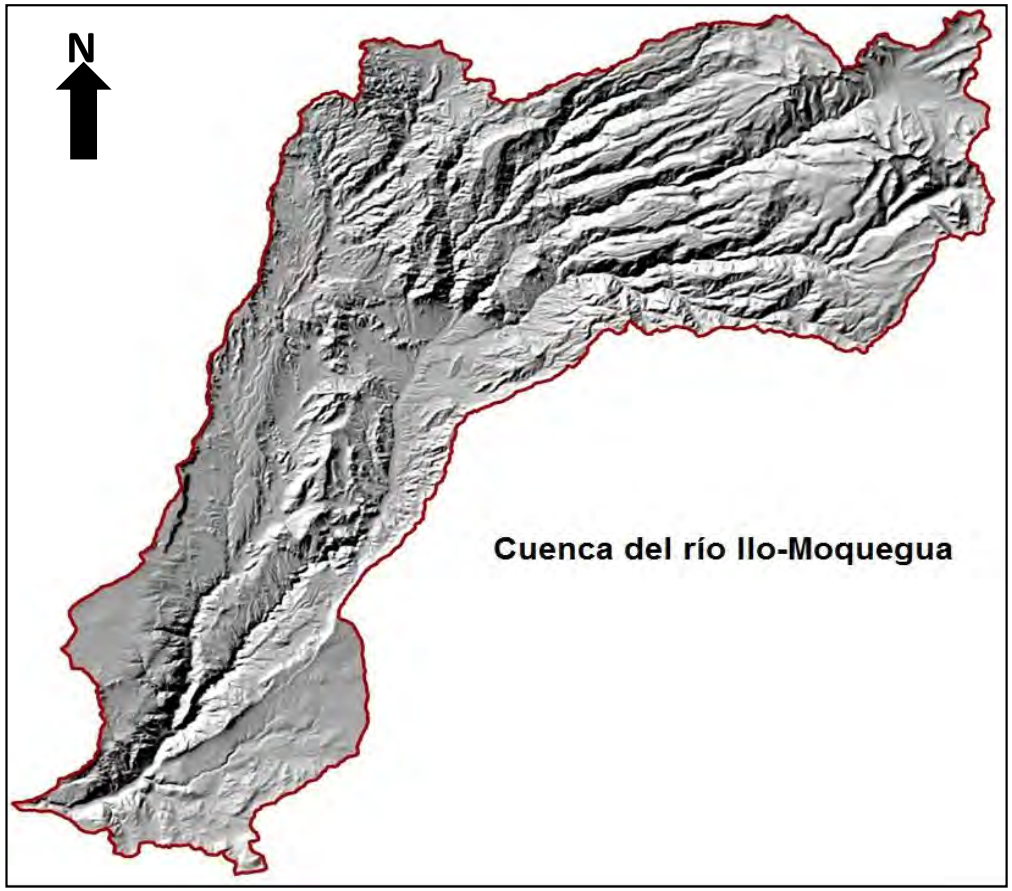
L =	171.96

l =	19.81

l =	19.81

COTAS m.s.n.m.		AREA Km2	AREA ACUM	L Km	LONG ACUM	l Km
0	1000	514.2	514.2	171.96	25.96	19.81
1000	2000	1134.4	1648.6	171.96	83.22	19.81
2000	3000	597.1	2245.7	171.96	113.36	19.81
3000	4000	506.5	2752.2	171.96	138.93	19.81
4000	5000	613.1	3365.3	171.96	169.88	19.81
5000	5550	41.2	3406.6	171.96	171.96	19.81
TOTAL		3406.5692				





4.7. COEFICIENTE DE MASIDAD (Cm)

$$Cm = \frac{\overline{H}}{A}$$

$\overline{H}$ = Altitud media = 2407.36

Cm = 0.71

ANEXO II

- REGISTRO METEOROLÓGICO: ESTACIONES, PRECIPITACIÓN, TEMPERATURA, HUMEDAD RELATIVA, EVAPORACIÓN, EVAPOTRANSPIRACIÓN, DESCARGAS

Cuadro 2.1

Ubicación de estaciones meteorológicas

Estación	Altitud	Latitud	Longitud	Tipo
Punta Coles	30	-17.70	-71.37	CO
Ilo	60	-17.63	-71.29	CO
Moquegua	1420	-17.18	-70.93	CP
Yacango	2191	-17.09	-70.87	CO
Huaracane	1480	-17.15	-70.93	HLG(1)
Tumilaca	1950	-17.13	-70.83	HLG

(CO = Estación climatológica ordinaria, CP = Estación principal, HLG = Estación Hidrológica Limnigráfica).
Fuente: SENAMHI 2010.

Cuadro 2.2

Ubicación de estaciones meteorológicas

Grupo	Estaciones			
N°1	Pampa Blanca	La Hacienda	Mollendo	La Joya
N°2	Locumba	Sama Grande	Hda. Puquio	
N°3	Cairani	Candarave	Susapaya	Sitajara
N°4	Mirave	Curibaya	Ilabaya	
N°5	Coalaque	Qunistaquillas	Omate	
N°6	Vilacota	Challapalca	Chuapalca	Paucarani
N°7	Ilo	Ite	Pta. Coles	
N°8	Yacango	Moquegua		
N°9	Calacoa	Carumas	Pampa Humalzo	

Fuente: SENAMHI 2010.

Cuadro 2.3

Precipitación media mensual (1969-1999)

Mes	Precipitación Total Ilo-Moquegua (Mm)
Enero	37.94
Febrero	36.03
Marzo	24.29
Abril	3.60
Mayo	1.29
Junio	0.93
Julio	0.00
Agosto	0.95
Setiembre	1.29
Octubre	1.34
Noviembre	2.40
Diciembre	5.23
Promedio	9.61

Fuente: SENAMHI 2010.

Cuadro 2.4
Temperaturas mínimas, máximas y medias mensuales (en °C)

Estación	Punta Coles			Moquegua			Yacango			Ilo		
Mes	Mínima	Máxima	Media	Mínima	Máxima	Media	Mínima	Máxima	Media	Mínima	Máxima	Media
Enero	19.3	25.2	22.2	13.3	26.3	19.8	11.7	21.8	16.8	18.4	27.4	22.9
Febrero	19.3	25.3	22.3	13.6	26.3	20.0	11.9	21.9	16.9	18.5	27.9	23.2
Marzo	18.8	24.6	21.7	13.3	26.4	19.9	11.8	22.1	16.9	17.7	27.2	22.4
Abril	17.8	23.1	20.4	11.9	26.0	19.0	11.3	22.5	16.9	16.0	24.8	20.4
Mayo	16.8	21.4	19.1	10.5	25.8	18.1	10.2	22.7	16.5	13.8	22.4	18.1
Junio	15.7	19.6	17.7	9.8	25.1	17.5	9.5	22.4	15.9	12.1	20.0	16.1
Julio	15.0	18.5	16.8	9.6	25.3	17.4	9.4	22.4	15.9	11.1	19.0	15.0
Agosto	14.7	18.4	16.6	9.7	25.5	17.6	9.6	22.6	16.1	11.2	19.1	15.2
Septiembre	15.1	19.0	17.0	10.2	25.9	18.0	9.9	22.8	16.3	12.0	20.0	16.0
Octubre	16.2	20.6	18.4	10.9	26.6	18.8	10.6	22.9	16.8	13.2	21.9	17.5
Noviembre	17.2	22.5	19.9	11.4	26.5	19.0	11.2	22.7	16.9	14.9	23.9	19.4
Diciembre	18.2	24.0	21.1	12.4	26.8	19.6	11.6	22.5	17.0	16.8	25.8	21.3
Promedio	17.0	21.8	19.4	11.4	26.0	18.7	10.7	22.4	16.6	14.6	23.3	19.0

Fuente: SENAMHI 2010.

Cuadro 2.5
Relación de estaciones con información de humedad relativa media (%) periodo 1969-1999

Estación	Altitud	Latitud	Longitud	Humedad
Punta Coles	30	-17.70	-71.37	85.6
Ilo	60	-17.63	-71.29	74.3
Moquegua	1420	-17.18	-70.93	55.7
Yacango	2191	-17.09	-70.87	54.0

Fuente: SENAMHI 2010.

Cuadro 2.6

Valores mensuales de evaporamiento de referencia (ETo) - PENMAN - MONTEINH

Estación	Punta Coles	Moquegua	Yacango	Ilo
Enero	122.8	154.8	121.4	157.1
Febrero	116.0	134.7	105.2	145.8
Marzo	116.0	141.4	111.2	149.8
Abril	93.8	129.9	103.6	121.0
Mayo	70.7	118.7	110.9	95.8
Junio	52.6	109.1	97.7	76.6
Julio	52.7	112.5	107.9	75.6
Agosto	56.7	131.7	121.3	81.8
Septiembre	64.6	142.8	130.4	90.7
Octubre	86.4	164.9	147.3	115.3
Noviembre	97.3	166.1	145.2	128.0
Diciembre	118.4	167.5	121.6	166.3
Promedio	87.3	139.5	118.6	117.0

Fuente: SENAMHI 2010.

Cuadro 2.7

Valores promedios de Kc

Cultivo	Estación	Kc inicial	Kc medio	**Kc final**
Alfalfa, olivo	Ilo	0.40	1.20	1.15
Vid, palta, tuna, cebolla, frutales	Yacango	0.56	0.71	0.64
Vid, frutales, maiz	Moquegua	0.60	0.60	0.60
Hortaliza, maiz	Punta Coles	0.50	1.00	0.80

Fuente: SENAMHI 2010.

Cuadro 2.8

Valores medios mensuales de evapotranspiración de cultivo en mm/mes

MES	SUBCUENCA			TUMILACA	TOTAL ILO-MOQUEGUA
	1	2	3		
ENERO	80.9	69.6	98.9	47.5	78.9
FEBRERO	80.8	66.7	98.8	48.7	76.9
MARZO	84.0	65.4	101.0	52.5	75.2
ABRIL	79.8	59.8	92.7	46.5	69.2
MAYO	101.3	82.3	97.5	68.5	86.4
JUNIO	95.1	95.4	108.3	80.2	99.5
JULIO	101.5	98.3	106.2	84.0	98.3
AGOSTO	114.6	103.2	112.6	89.5	107.4
SEPTIEMBRE	80.6	72.8	93.8	62.5	73.4
OCTUBRE	91.3	75.3	101.1	67.5	83.0
NOVIEMBRE	83.7	70.0	96.5	60.6	86.4
DICIEMBRE	88.5	74.9	105.8	48.1	86.1
PROMEDIO	90.2	77.8	101.1	63.0	85.1

Fuente: SENAMHI 2010.

Cuadro 2.9

Valores de descarga (en m³/s) en las estaciones Tumilca y Huaracane

Mes	Senamhi		Ana	
Estación	Tumilaca	Huaracane	Tumilaca	Huaracane
Periodo	1969-1991		1956-2008	1956-1999
Enero	1.72	0.58	1.707	0.276
Febrero	2.46	0.49	2.469	0.336
Marzo	2.25	0.47	2.210	0.394
Abril	1.09	0.26	1.180	0.258
Mayo	0.82	0.18	0.852	0.184
Junio	0.75	0.17	0.788	0.171
Julio	0.77	0.17	0.728	0.168
Agosto	0.69	0.17	0.650	0.166
Septiembre	0.71	0.14	0.613	0.143
Octubre	0.72	0.14	0.590	0.142
Noviembre	0.69	0.14	0.570	0.140
Diciembre	0.75	0.15	0.653	0.151
Promedio	1.12	0.26	1.084	0.211

Cuadro 2.10

Descarga media de la cuenca Ilo-Moquegua según distintos autores

Caudales en m³/s				
ELECTROPERÚ	ONERN	CEDEX	ANA	PROMEDIO ANUAL
4.3	2.87	1.8	2.13	2.78

Fuente: SENAMHI 2010.

ANEXO III

- CUADRO RESUMEN DE INVENTARIO DE FUENTES.

3.1 Resumen del inventario de fuentes de aguas de la cuenca del río Ilo-Moquegua

N°	Subcuenca	Tipo de agua	Código	Nombre	Tipo de fuente	Caudal (l/s)	T (°C)	pH	CE (µS/cm)	TDS (mg/l)	Uso
1	Intercuenca 13171	Agua subterránea	13171-001	Manantial Puerto Ilo	♂	0.5	26.2	7.49	4210.0	2062.0	Ninguno
2	Medio Ilo-Moquegua	Agua subterránea	131725-001	Manantial cap. El Pacae (La Rinconada)	♂	2.0	21.5	6.99	2598.0	1273.0	Agrícola
3	Medio Ilo-Moquegua	Agua superficial	131725-002	Quebrada Pozo de Buitres	▲	0.5	16.2	8.16	1259.0	614.0	Ninguno
4	Tumilaca	Agua subterránea	131726-001	Manantial Surapatilla Grande	♂	14.0	4.0	8.28	46.8	23.0	Ninguno
5	Tumilaca	Agua subterránea	131726-002	Manantial Asana 1	♂	2.0	6.5	7.76	54.8	27.0	Ninguno
6	Tumilaca	Agua subterránea	131726-003	Manantial Asana 2	♂	< 0.5	4.9	8.97	120.8	59.0	Ninguno
7	Tumilaca	Agua subterránea	131726-004	Manantial Asana 3	♂	0.5	6.6	7.52	55.7	27.0	Ninguno
8	Tumilaca	Agua subterránea	131726-005	Manantial Asana 4	♂	< 0.5	11.8	7.48	244.0	121.0	Ninguno
9	Tumilaca	Agua subterránea	131726-006	Manantial Asana 5	♂	< 0.5	8.0	3.03	646.0	315.0	Ninguno
10	Tumilaca	Agua subterránea	131726-007	Quebrada Panturane 4	♂	3.0	8.5	7.28	280.6	138.0	Ninguno
11	Tumilaca	Agua subterránea	131726-008	Manantial Asana 6	♂	0.5	9.1	5.90	262.0	129.0	Ninguno
12	Tumilaca	Agua subterránea	131726-009	Manantial Asana 7	♂	< 0.5	5.2	4.21	531.0	251.0	Ninguno
13	Tumilaca	Agua superficial	131726-010	Quebrada Asana 8	▲	80.0	7.2	7.93	42.9	21.0	Ninguno
14	Tumilaca	Agua subterránea	131726-011	Manantial Panturane 1	♂	-	10.0	4.35	554.0	267.0	Ninguno
15	Tumilaca	Agua subterránea	131726-012	Manantial Asana 9	♂	2.0	5.4	8.82	46.2	23.0	Ninguno
16	Tumilaca	Agua subterránea	131726-013	Manantial Panturane 2	♂	-	13.0	4.64	551.0	266.0	Ninguno
17	Tumilaca	Agua subterránea	131726-014	Manantial Huañuma 3	♂	3.0	11.7	7.41	66.6	33.0	Ninguno
18	Tumilaca	Agua subterránea	131726-015	Manantial Panturane 3	♂	10.0	19.4	6.73	668.0	327.0	Ninguno
19	Tumilaca	Agua subterránea	131726-016	Manantial Asana 10	♂	1.0	10.0	7.30	26.0	23.0	Ninguno
20	Tumilaca	Agua subterránea	131726-017	Manantial Huañuma 1	♂	1.0	9.0	9.10	85.4	44.0	Ninguno
21	Tumilaca	Agua subterránea	131726-018	Manantial Huañuma 2	♂	2.0	8.0	7.87	39.4	19.0	Ninguno
22	Tumilaca	Agua subterránea	131726-019	Manantial Asana 11	♂	2.3	14.9	8.41	199.1	98.0	Ninguno
23	Tumilaca	Agua subterránea	131726-020	Manantial Chocamane 1	♂	< 0.5	13.6	7.40	901.0	447.0	Ninguno
24	Tumilaca	Agua subterránea	131726-021	Manantial Chocamane 2	♂	< 0.5	6.0	7.84	154.3	75.0	Ninguno
25	Tumilaca	Agua superficial	131726-022	Quebrada Panturane 5	▲	2.0	4.3	6.99	153.6	74.0	Ninguno
26	Tumilaca	Agua subterránea	131726-023	Manantial Asana 12	♂	20.0	17.3	9.02	207.2	102.0	Ninguno
27	Tumilaca	Agua subterránea	131726-024	Manantial Chiquihure	♂	10.0	12.6	8.05	221.3	108.0	Consumo humano
28	Tumilaca	Agua superficial	131726-025	Quebrada Panturane 6	▲	12.0	9.0	8.02	361.0	175.0	Ninguno
29	Tumilaca	Agua subterránea	131726-026	Manantial Chocamane 3	♂	0.6	12.0	7.25	255.0	124.0	Ninguno
30	Tumilaca	Agua superficial	131726-027	Quebrada Charaque 1	▲	36.4	10.3	7.70	53.5	26.0	Ninguno
31	Tumilaca	Agua superficial	131726-028	Quebrada Charaque 2	▲	-	14.1	8.01	50.2	25.0	Ninguno
32	Tumilaca	Agua superficial	131726-029	Quebrada Viña Blanca	▲	-	6.7	8.07	131.7	65.0	Ninguno
33	Tumilaca	Agua superficial	131726-030	Quebrada Charaque 3	▲	30.0	20.0	8.15	83.6	41.0	Ninguno
34	Tumilaca	Agua subterránea	131726-031	Manantial Altarani 1	♂	< 0.5	17.7	6.57	131.5	65.0	Ninguno
35	Tumilaca	Agua superficial	131726-032	Río Asana	▲	-	10.6	6.94	129.7	64.0	Ninguno
36	Tumilaca	Agua subterránea	131726-033	Manantial Altarani 2	♂	< 0.5	8.4	7.60	43.8	21.5	Ninguno
37	Tumilaca	Agua subterránea	131726-034	Manantial Altarani 3	♂	< 0.5	8.4	7.45	23.9	11.5	Ninguno
38	Tumilaca	Agua superficial	131726-035	Río Tumilaca 1	▲	-	9.5	7.86	205.0	101.0	Ninguno
39	Tumilaca	Agua superficial	131726-036	Quebrada El Rincón	▲	3.0	8.5	7.79	208.0	103.0	Ninguno
40	Tumilaca	Agua superficial	131726-037	Río Porquene	▲	20.0	13.1	8.59	3650.0	1791.0	Ninguno
41	Tumilaca	Agua subterránea	131726-038	Manantial Altarani 4	♂	< 0.5	9.2	8.25	32.8	16.0	Riego de pastizales
42	Tumilaca	Agua subterránea	131726-039	Manantial Altarani 5	♂	< 0.5	9.3	6.95	31.3	15.0	Ninguno

3.1 Resumen del inventario de fuentes de aguas de la cuenca del río Ilo-Moquegua (continuación)

N°	Subcuenca	Tipo de agua	Código	Nombre	Tipo de fuente	Caudal (l/s)	T (°C)	PH	CE (µS/cm)	TDS (mg/l)	Uso
43	Tumilaca	Agua subterránea	131726-040	Manantial El Común	♂	28.5	19.7	6.95	454.0	223.0	Agrícola
44	Tumilaca	Agua superficial	131726-041	Río Capillune	▲	10.0	16.3	7.38	42.4	21.0	Ninguno
45	Tumilaca	Agua subterránea	131726-042	Manantial Buenavista	♂	7.0	18.9	7.45	498.0	244.0	Agrícola
46	Tumilaca	Agua superficial	131726-043	Río Tumilaca 2	▲	-	18.6	7.90	299.0	146.0	Ninguno
47	Tumilaca	Agua subterránea	131726-044	Pozo Totoral	●	-	21.8	6.81	696.0	341.0	Consumo humano
48	Torata	Agua superficial	131728-001	Laguna Chaquirine 1	▲	<0.5	14.6	9.86	484.0	239.0	Ninguno
49	Torata	Agua subterránea	131728-002	Manantial Chaquirine 2	♂	< 0.5	13.5	9.70	70.4	34.0	Ninguno
50	Torata	Agua subterránea	131728-003	Manantial Titijones	♂	< 0.5	16.5	7.92	71.3	35.0	Ninguno
51	Torata	Agua subterránea	131728-004	Manantial Tiehirohuma	♂	1.5	10.6	8.48	78.6	39.0	Ninguno
52	Torata	Agua subterránea	131728-005	Manantial Umajalso	♂	0.5	3.3	7.80	115.4	55.5	Ninguno
53	Torata	Agua subterránea	131728-006	Manantial Ojo de Agua	♂	15.0	9.2	8.01	70.7	35.0	Riego de pastizales
54	Torata	Agua subterránea	131728-007	Manantial Cañojahuira 1	♂	1.0	12.1	8.54	115.8	56.0	Ninguno
55	Torata	Agua subterránea	131728-008	Manantial Cañojahuira 2	♂	< 0.5	13.1	8.38	84.4	22.0	Ninguno
56	Torata	Agua subterránea	131728-009	Manantial Trinchera	♂	0.5	5.8	7.90	62.8	31.0	Riego de pastizales
57	Torata	Agua subterránea	131728-010	Manantial Totoral 2	♂	2.2	11.5	9.03	42.4	21.0	Ninguno
58	Torata	Agua subterránea	131728-011	Manantial Arundaya 1	♂	< 0.5	9.7	7.22	162.6	80.0	Ninguno
59	Torata	Agua subterránea	131728-012	Manantial Arundaya 2	♂	< 0.5	5.8	7.88	69.8	34.0	Ninguno
60	Torata	Agua subterránea	131728-013	Manantial Arundaya 5	♂	1.0	1.9	7.30	307.0	152.0	Ninguno
61	Torata	Agua superficial	131728-014	Quebrada Arundaya	▲	10.0	8.7	8.68	286.0	141.0	Ninguno
62	Torata	Agua subterránea	131728-015	Manantial Arundaya 3	♂	< 0.5	6.9	7.62	82.6	41.0	Ninguno
63	Torata	Agua subterránea	131728-016	ManantialArundaya 4	♂	3.0	5.0	6.94	49.9	25.0	Ninguno
64	Torata	Agua superficial	131728-017	Laguna Apacheta Limani	▲	-	13.4	11.04	146.9	72.0	Ninguno
65	Torata	Agua subterránea	131728-018	Manantial Arundaya 6	♂	3.0	6.2	8.19	42.7	21.0	Ninguno
66	Torata	Agua subterránea	131728-019	Manantial Lagunita 1	♂	1.1	11.8	8.27	62.8	31.0	Ninguno
67	Torata	Agua subterránea	131728-020	Manantial Lagunita 2	♂	< 0.5	4.6	8.01	62.6	31.0	Ninguno
68	Torata	Agua superficial	131728-021	Río Malpaso	▲	-	4.7	7.80	131.6	65.0	Ninguno
69	Torata	Agua subterránea	131728-022	Manantial Santos	♂	16.0	8.9	7.78	40.9	20.0	Ninguno
70	Torata	Agua subterránea	131728-023	Manantial cap. Agua potable Arundaya	♂	1.8	17.0	7.10	343.0	168.0	Consumo humano
71	Torata	Agua superficial	131728-024	Quebrada Ancoaque	▲	10.0	7.3	8.25	60.7	30.0	Ninguno
72	Torata	Agua subterránea	131728-025	Manantial Corral Blanco 1	♂	1.0	8.1	7.88	55.9	27.0	Ninguno
73	Torata	Agua subterránea	131728-026	Manantial Corral Blanco 2	♂	1.5	9.3	8.27	49.8	24.5	Ninguno
74	Torata	Agua subterránea	131728-027	Manantial Sayrane 1	♂	0.5	2.9	8.37	222.0	109.0	Ninguno
75	Torata	Agua subterránea	131728-028	Manantial Corral Blanco 3	♂	1.0	9.2	9.10	51.3	25.5	Ninguno
76	Torata	Agua subterránea	131728-029	Manantial Laura	♂	1.5	11.3	8.17	55.7	27.0	Ninguno
77	Torata	Agua subterránea	131728-030	Manantial Sayrane 2	♂	< 0.5	14.1	7.81	110.0	54.0	Ninguno
78	Torata	Agua subterránea	131728-031	Manantial Calera	♂	0.5	8.4	7.35	97.8	48.0	Ninguno
79	Torata	Agua superficial	131728-032	Río Torata	▲	-	9.1	8.30	208.0	102.0	Ninguno
80	Torata	Agua subterránea	131728-033	Manantial Jorge Chávez 1	♂	1.3	21.9	7.92	681.0	334.0	Ninguno
81	Torata	Agua subterránea	131728-034	Manantial Jorge Chávez 2	♂	< 0.5	22.0	7.78	1199.0	587.0	Ninguno
82	Alto Ilo-Moquegua	Agua subterránea	131729-001	Manantial Quello Apacheta	♂	< 0.5	6.9	7.91	8.4	4.0	Ninguno
83	Alto Ilo-Moquegua	Agua subterránea	131729-002	Manantial Chilligua 2	♂	< 0.5	13.9	8.47	135.3	66.0	Ninguno
84	Alto Ilo-Moquegua	Agua subterránea	131729-003	Manantial Uyunto 2	♂	< 0.5	20.6	8.25	99.7	49.0	Ninguno

3.1 Resumen del inventario de fuentes de aguas de la cuenca del río Ilo-Moquegua (continuación)

N°	Subcuenca	Tipo de agua	Código	Nombre	Tipo de fuente	Caudal (l/s)	T (°C)	PH	CE (µS/cm)	TDS (mg/l)	Uso
85	Alto Ilo-Moquegua	Agua subterránea	131729-004	Manantial Sajeno 1	♂	0.5	7.6	8.83	179.7	86.0	Ninguno
86	Alto Ilo-Moquegua	Agua subterránea	131729-005	Manantial Uyunto 4	♂	< 0.5	12.8	9.00	84.2	41.0	Ninguno
87	Alto Ilo-Moquegua	Agua subterránea	131729-006	Manantial Uyunto 3	♂	0.5	16.1	7.60	92.8	45.0	Ninguno
88	Alto Ilo-Moquegua	Agua subterránea	131729-007	Manantial Uyunto 1	♂	1.0	14.4	8.27	120.3	59.0	Ninguno
89	Alto Ilo-Moquegua	Agua subterránea	131729-008	Manantial Chilligua 1	♂	6.5	7.2	8.63	87.3	43.0	Ninguno
90	Alto Ilo-Moquegua	Agua superficial	131729-009	Quebrada Chilligua	▲	2.5	13.2	7.17	76.4	37.0	Ninguno
91	Alto Ilo-Moquegua	Agua subterránea	131729-010	Manantial Huertalla 1	♂	< 0.5	14.7	8.92	72.3	36.0	Ninguno
92	Alto Ilo-Moquegua	Agua subterránea	131729-011	Manantial Huertalla 2	♂	2.0	9.4	8.40	92.2	45.0	Ninguno
93	Alto Ilo-Moquegua	Agua subterránea	131729-012	Manantial Chilligua 3	♂	< 0.5	7.6	8.70	13.5	6.5	Ninguno
94	Alto Ilo-Moquegua	Agua subterránea	131729-013	Manantial Apacheta Amarilla 1	♂	< 0.5	6.9	7.98	45.0	22.0	Ninguno
95	Alto Ilo-Moquegua	Agua subterránea	131729-014	Manantial El Cruce	♂	1.0	7.8	7.93	68.5	34.0	Ninguno
96	Alto Ilo-Moquegua	Agua subterránea	131729-015	Manantial Huertalla 3	♂	1.5	8.6	8.44	28.4	14.0	Ninguno
97	Alto Ilo-Moquegua	Agua subterránea	131729-016	Manantial Apacheta Amarilla 2	♂	< 0.5	7.3	8.40	33.3	16.0	Ninguno
98	Alto Ilo-Moquegua	Agua subterránea	131729-017	Manantial Japu 1	♂	0.5	7.1	6.75	93.1	46.0	Ninguno
99	Alto Ilo-Moquegua	Agua subterránea	131729-018	Manantial Jaco 1	♂	<0.5	8.9	7.83	67.3	33.0	Ninguno
100	Alto Ilo-Moquegua	Agua subterránea	131729-019	Manantial Jaco 2	♂	10.0	9.2	7.37	79.2	39.0	Ninguno
101	Alto Ilo-Moquegua	Agua subterránea	131729-020	Manantial Huertalla 4	♂	< 0.5	8.6	7.83	28.4	14.0	Ninguno
102	Alto Ilo-Moquegua	Agua subterránea	131729-021	Manantial Achupalla	♂	1.5	14.2	7.81	57.8	28.0	Ninguno
103	Alto Ilo-Moquegua	Agua subterránea	131729-022	Manantial Escalera	♂	< 0.5	7.6	8.17	69.3	34.0	Ninguno
104	Alto Ilo-Moquegua	Agua subterránea	131729-023	Manantial Huaytabe Trampas	♂	3.0	10.9	8.26	79.3	39.0	Ninguno
105	Alto Ilo-Moquegua	Agua subterránea	131729-024	Manantial Agua grande	♂	15.0	9.6	8.35	47.6	23.0	Consumo humano, agropecuario
106	Alto Ilo-Moquegua	Agua subterránea	131729-025	Manantial Caracol	♂	1.0	13.8	7.18	52.0	25.0	Ninguno
107	Alto Ilo-Moquegua	Agua superficial	131729-026	Quebrada Cuellar	▲	3.1	1.9	7.87	100.5	49.0	Ninguno
108	Alto Ilo-Moquegua	Agua subterránea	131729-027	Manantial Quelaquelani	♂	< 0.5	10.2	7.70	124.1	61.0	Ninguno
109	Alto Ilo-Moquegua	Agua subterránea	131729-028	Manantial Calapujio	♂	0.5	14.7	8.09	125.4	61.0	Consumo humano
110	Alto Ilo-Moquegua	Agua subterránea	131729-029	Manantial Ladera	♂	0.5	14.4	7.40	106.4	52.0	Consumo humano
111	Alto Ilo-Moquegua	Agua superficial	131729-030	Río Otora	▲	1800.0	8.6	7.89	379.0	187.0	Ninguno
112	Alto Ilo-Moquegua	Agua superficial	131729-031	Río Chujulay 1	▲	80.0	7.4	8.30	98.2	44.0	Ninguno
113	Alto Ilo-Moquegua	Agua superficial	131729-032	Río Paralaque	▲	3.5	9.6	8.17	171.7	84.0	Ninguno
114	Alto Ilo-Moquegua	Agua superficial	131729-033	Río Chujulay 3	▲	2.5	11.4	8.40	380.0	182.0	Ninguno
115	Alto Ilo-Moquegua	Agua superficial	131729-034	Canal	▲	2.0	15.2	7.60	507.0	248.0	Agrícola
116	Alto Ilo-Moquegua	Agua superficial	131729-035	Río Chujulay	▲	18.0	19.5	8.50	627.0	307.0	Ninguno
117	Alto Ilo-Moquegua	Agua subterránea	131729-036	Manantial Huaracane 1	♂	12.0	21.3	6.82	752.0	368.0	Agrícola
118	Piso de valle	Agua subterránea	IRHS-001 - ILO	Pozo Ilo 1	◆	-	22.0	6.95	2325.0	1139.0	Agrícola, industrial
119	Piso de valle	Agua subterránea	IRHS-001-MOQ	Pozo Biondi	◆	-	21.8	7.01	3470.0	1700.0	Agrícola, industrial
120	Piso de valle	Agua subterránea	IRHS-021	Pozo Algarrobal 1	◆	-	23.0	7.10	2012.0	986.0	Agrícola, consumo humano
121	Piso de valle	Agua subterránea	IRHS-70	Pozo Algarrobal 2	◆	-	23.8	7.10	2104.0	1031.0	Agrícola, consumo humano

INGEMMET

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código: DGAR-F-141 | Versión: 00 | Aprobado por: DGAR | Fecha aprob.: 01 ABR. 2009 | Página: 1 de 1

Código: 13171- 001 **Nombre:** Puerto Ilo

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Hotel de turistas	Longitud:	251381
Distrito:	Ilo	Latitud:	8049472
Provincia:	Ilo	Altitud:	1
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente				Descripción del entorno	
Manantial	Tº Agua (C°):	26.20			
	Tº Ambiente (C°):				
	pH:	7.49	Intrusivo	X	
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	-	
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	4210.00	Metamórfico	-	
Vertiente	TDS (mg/l):	2062.00	Sedimentario	-	
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X	
	Olor:	Inodoro	Geomorfología		
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insipido	Morfología	Litoral	
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	0.50	Pendiente (°)	15	
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno		
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-	
	X		Rural	X	
			Otro:		

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manatial cuya surgencia se ubica muy cerca de la linea de costa, el afloramiento a superficie se encuentra condicionado por la zona de interfase.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , W. Ng | Fecha: 01.12.2011 | Hora 13:21

INGEMMET

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código: DGAR-F-141 | Versión: 00 | Aprobado por: DGAR | Fecha aprob.: 01 ABR. 2009 | Página: 1 de 1

Código: 131725 - 002 **Nombre:** Pozo de Buitres

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Pozo de buitres	Longitud:	284596
Distrito:	Moquegua	Latitud:	8078352
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	880
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente				Descripción del entorno	
Punto de Control	Tº Agua (C°):	16.20			
	Tº Ambiente (C°):				
	pH:	8.16	Intrusivo	-	
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X	
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	1259.00	Metamórfico	-	
Vertiente	TDS (mg/l):	614.00	Sedimentario	-	
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X	
	Olor:	Inodoro	Geomorfología		
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insipido	Morfología	Quebrada	
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	0.50	Pendiente (°)	35	
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno		
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-	
Medio Ilo - Moquegua	X	-	Rural	X	
			Otro:		

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez , F. Peña | Fecha: 25.04.2008 | Hora 10:42

INGEMMET

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código: DGAR-F-141 | Versión: 00 | Aprobado por: DGAR | Fecha aprob.: 01 ABR. 2009 | Página: 1 de 1

Código: 131725 - 001 **Nombre:** El Pacae (La Rinconada)

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	El Pacae	Longitud:	288154
Distrito:	Moquegua	Latitud:	8082721
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	1010
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente				Descripción del entorno	
Manantial Captado	Tº Agua (C°):	21.50			
	Tº Ambiente (C°):				
	pH:	6.99	Intrusivo	-	
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	-	
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	2598.00	Metamórfico	-	
Vertiente	TDS (mg/l):	1273.00	Sedimentario	-	
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X	
	Olor:	Inodoro	Geomorfología		
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insipido	Morfología	Piso de valle	
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	2.00	Pendiente (°)	5	
	Uso:	Agrícola	Uso del Terreno		
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-	
Medio Ilo - Moquegua	X	Químico, Isotópico	Rural	X	
			Otro:		

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial de captaciòn rustica, ubicado en el acuifero poroso no consolidado del piso de valle de Moquegua

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , W. Ng | Fecha: 26.11.2011 | Hora 12:41

INGEMMET

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código: DGAR-F-141 | Versión: 00 | Aprobado por: DGAR | Fecha aprob.: 01 ABR. 2009 | Página: 1 de 1

Código: 131729 - 001 **Nombre:** Quello Apacheta

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Quello Apacheta	Longitud:	326237
Distrito:	Torata	Latitud:	8132638
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4404
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente				Descripción del entorno	
Manantial	Tº Agua (C°):	6.90			
	Tº Ambiente (C°):				
	pH:	7.91	Intrusivo	-	
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X	
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	8.40	Metamórfico	-	
Vertiente	TDS (mg/l):	4.00	Sedimentario	-	
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X	
	Olor:	Inodoro	Geomorfología		
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insipido	Morfología	Altiplanicie	
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	< 0.5	Pendiente (°)	10	
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno		
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-	
Alto Ilo - Moquegua	X	-	Rural	X	
			Otro:		

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial cuya surgencia se produce en medio de relleno cuaternario.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , M. Sánche; | Fecha: 24.04.2008 | Hora 09:50

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código: DGAR-F-141 | Versión: 00 | Aprobado por: DGAR | Fecha aprob.: 01 ABR. 2009 | Página: 1 de 1

Código: 131729 - 002 **Nombre:** Chilligua 2

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Chilligua	Longitud:	326727
Distrito:	Torata	Latitud:	8132077
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4446
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente				Descripción del entorno	
Manantial	Tº Agua (Cº):	13.90			
	Tº Ambiente (Cº):				
	pH:	8.47		Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:			Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	135.30		Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	66.00		Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro		Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro		Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido		Morfología	Altiplanicie
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	< 0.5		Pendiente (°)	10
	Uso:	Ninguno		Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo		Urbano	-
Alto Ilo - Moquegua	X	-		Rural	X
				Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial cuya surgencia se produce en la naciente de una quebrada

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , M. Sánche; Fecha: 24.04.2008 Hora 11:34

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código: DGAR-F-141 | Versión: 00 | Aprobado por: DGAR | Fecha aprob.: 01 ABR. 2009 | Página: 1 de 1

Código: 131729 - 003 **Nombre:** Uyunto 2

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Uyunto	Longitud:	322408
Distrito:	Torata	Latitud:	8131725
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4288
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente				Descripción del entorno	
Manantial	Tº Agua (Cº):	20.60			
	Tº Ambiente (Cº):				
	pH:	8.25		Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:			Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	99.70		Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	49.00		Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro		Dep. Superficial	-
	Olor:	Inodoro		Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido		Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	< 0.5		Pendiente (°)	45
	Uso:	Ninguno		Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo		Urbano	-
Alto Ilo - Moquegua	X	-		Rural	X
				Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial cuya surgencia proviene del acuifero fisurado Barroso y forma un bofedal.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , M. Sánche; Fecha: 25.04.2008 Hora 12:51

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código: DGAR-F-141 | Versión: 00 | Aprobado por: DGAR | Fecha aprob.: 01 ABR. 2009 | Página: 1 de 1

Código: 131729 - 004 **Nombre:** Sajeno 1

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Sajeno	Longitud:	319560
Distrito:	Torata	Latitud:	8131206
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4178
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente				Descripción del entorno	
Manantial	Tº Agua (Cº):	7.60			
	Tº Ambiente (Cº):				
	pH:	8.83		Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:			Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	179.70		Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	86.00		Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro		Dep. Superficial	-
	Olor:	Inodoro		Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido		Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	0.50		Pendiente (°)	35
	Uso:	Ninguno		Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo		Urbano	-
Alto Ilo - Moquegua	X	-		Rural	X
				Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manatial procedente de tobas volcanicas.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , M. Sánche; Fecha: 26.04.2008 Hora 09:57

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código: DGAR-F-141 | Versión: 00 | Aprobado por: DGAR | Fecha aprob.: 01 ABR. 2009 | Página: 1 de 1

Código: 131729 - 007 **Nombre:** Uyunto 1

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Uyunto	Longitud:	322140
Distrito:	Torata	Latitud:	8130874
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4374
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente				Descripción del entorno	
Manantial	Tº Agua (Cº):	14.40			
	Tº Ambiente (Cº):				
	pH:	8.27		Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:			Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	120.30		Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	59.00		Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro		Dep. Superficial	-
	Olor:	Inodoro		Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido		Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	1.00		Pendiente (°)	15
	Uso:	Ninguno		Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo		Urbano	-
Alto Ilo - Moquegua	X	Químico, Isotópico		Rural	X
				Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Surgencia que nace en contacto entre andesitas y tobas en la margen izquierda de la quebrada Huacuyo, las tobas están altamente alteradas.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , W. Ng Fecha: 20.11.2011 Hora 12:30

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131729 - 005 **Nombre:** Uyunto 4

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Uyunto	Longitud:	321067
Distrito:	Torata	Latitud:	8130915
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4339
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	12.80	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	9.00	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	84.20	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	41.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	< 0.5	Pendiente (°)	30
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	

Subcuenca	Parámetros	Muestreo		
Alto Ilo - Moquegua	X	-	Urbano	-
			Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial cuya surgencia, se produce en medio da las fracturas de las rocas volcanicas, manantial de escaso caudal, menor a 0.5 L/s.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , M. Sánche; Fecha: 25-04-2011 Hora 15:19

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131729 - 006 **Nombre:** Uyunto 3

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Uyunto	Longitud:	321412
Distrito:	Torata	Latitud:	8130904
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4357
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	16.10	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	7.60	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	92.80	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	45.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	0.50	Pendiente (°)	25
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	

Subcuenca	Parámetros	Muestreo		
Alto Ilo - Moquegua	X	-	Urbano	-
			Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial de escaso caudal, procedente de flujos sub superficiales y de rocas volcanicas.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , M. Sánche; Fecha: 25-04-2008 Hora 15:05

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131729 - 008 **Nombre:** Chilligua 1

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Chilligua	Longitud:	329124
Distrito:	Torata	Latitud:	8130533
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4616
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	7.20	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	8.63	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	87.30	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	43.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Altiplanicie
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	6.50	Pendiente (°)	20
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	

Subcuenca	Parámetros	Muestreo		
Alto Ilo - Moquegua	X	Químico, Isotópico	Urbano	-
			Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Surgencia de manatial que forma gran bofedal, procedente de rocas volcanicas fracturadas.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , W. Ng Fecha: 19-11-2011 Hora 12:45

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131729 - 010 **Nombre:** Huertalla 1

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Huertalla	Longitud:	326778
Distrito:	Torata	Latitud:	8130356
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4576
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	14.70	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	8.92	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	72.30	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	36.00	Sedimentario	X
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	-
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Altiplanicie
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	< 0.5	Pendiente (°)	25
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	

Subcuenca	Parámetros	Muestreo		
Alto Ilo - Moquegua	X	-	Urbano	-
			Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial procedente de rocas volcanicas y depositos morrenicos.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , M. Sánche; Fecha: 23-04-2008 Hora 14:53

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código : DGAR-F-141
Versión : 00
Aprobado por : DGAR
Fecha aprob. : 01 ABR. 2009
Página : 1 de 1

Código: 131728 - 001 **Nombre:** Chaquirine 1

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Chaquirine	Longitud:	338706
Distrito:	Carumas	Latitud:	8130342
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4624
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	T° Agua (C°):	14.60	Descripción del entorno	
Punto de Control	T° Ambiente (C°):			
	pH:	9.86	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	484.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	239.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Altiplanicie
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	<0.5	Pendiente (°)	10
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Torata	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Sector con acumulacion de agua, no se observa un surgencia o manantial por lo que se considero como punto de control.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez , F. Peña Fecha: 22.04.2008 Hora 13:48

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código : DGAR-F-141
Versión : 00
Aprobado por : DGAR
Fecha aprob. : 01 ABR. 2009
Página : 1 de 1

Código: 131729 - 011 **Nombre:** Huertalla 2

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Huertalla	Longitud:	325672
Distrito:	Torata	Latitud:	8130107
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4550
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	T° Agua (C°):	9.40	Descripción del entorno	
Manantial	T° Ambiente (C°):			
	pH:	8.40	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	92.20	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	45.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	2.00	Pendiente (°)	25
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Alto Ilo - Moquegua	X	Químico	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manatial de flujo sub superficial.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , M. Sánche; Fecha: 24.04.2008 Hora 12:29

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código : DGAR-F-141
Versión : 00
Aprobado por : DGAR
Fecha aprob. : 01 ABR. 2009
Página : 1 de 1

Código: 131729 - 012 **Nombre:** Chilligua 3

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Chilligua	Longitud:	330464
Distrito:	Torata	Latitud:	8129923
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4737
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	T° Agua (C°):	7.60	Descripción del entorno	
Manantial	T° Ambiente (C°):			
	pH:	8.70	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	13.50	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	6.50	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Altiplanicie
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	< 0.5	Pendiente (°)	10
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Alto Ilo - Moquegua	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manatial de procedencia del acuifero fisurado Barroso, cuyo afloramiento en forma de diques se distingue al fondo, en segundo plano

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , M. Sánche; Fecha: 23.04.2008 Hora 12:39

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código : DGAR-F-141
Versión : 00
Aprobado por : DGAR
Fecha aprob. : 01 ABR. 2009
Página : 1 de 1

Código: 131729 - 013 **Nombre:** Apacheta Amarilla 1

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Apacheta Amarilla	Longitud:	320028
Distrito:	Torata	Latitud:	8129736
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4364
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	T° Agua (C°):	6.90	Descripción del entorno	
Manantial	T° Ambiente (C°):			
	pH:	7.98	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	45.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	22.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	< 0.5	Pendiente (°)	20
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Alto Ilo - Moquegua	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial en el sector Apacheta, tiene bajo caudal y procedencia sub superficial.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , M. Sánche; Fecha: 25.04.2008 Hora 16:21

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Vesrión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131729 - 014 **Nombre:** El Cruce

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	El Cruce	Longitud:	324462
Distrito:	Torata	Latitud:	8129586
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4487
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	7.80	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	7.93	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	-
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	68.50	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	34.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	1.00	Pendiente (°)	35
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Alto Ilo - Moquegua	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial cuya surgencia se produce en la linea de contacto entre las rocas volcanicas fracturadas (flujos de lava) y materiales impermeables de procedencia volcanica (cenizas, tobas, etc.)

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , M. Sánche; Fecha: 24.04.2008 Hora 13:03

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Vesrión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131729 - 015 **Nombre:** Huertalla 3

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Huertalla	Longitud:	326423
Distrito:	Torata	Latitud:	8129584
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4616
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	8.60	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	8.44	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	28.40	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	14.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Altiplanicie
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	1.50	Pendiente (°)	10
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Alto Ilo - Moquegua	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial cuya surgencia se desarrolla en la parte baja de la quebrada y que tiene origen en las rocas volcanicas del acuifero Barroso.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez , F. Peña Fecha: 23.04.2008 Hora 16:51

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Vesrión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131728 - 002 **Nombre:** Chaquirine 2

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Chaquirine	Longitud:	337825
Distrito:	Carumas	Latitud:	8129289
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4550
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	13.60	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	9.70	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	70.40	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	34.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Altiplanicie
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	< 0.5	Pendiente (°)	15
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Torata	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial de procedencia del acuifero fisurado Barroso.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez , F. Peña Fecha: 29.04.2008 Hora 12:07

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Vesrión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131729 - 016 **Nombre:** Apacheta Amarilla 2

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Apacheta Amarilla	Longitud:	320397
Distrito:	Torata	Latitud:	8129156
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4341
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	7.30	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	8.40	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	33.30	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	16.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	< 0.5	Pendiente (°)	35
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Alto Ilo - Moquegua	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Zona de humedad o presencia de nivel freático en medio de los depositos poroso no consolidados.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez Fecha: 25.04.2008 Hora 16:42

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131728 - 003 **Nombre:** Titijones

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Titijones	Longitud:	337382
Distrito:	Carumas	Latitud:	8128967
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4555
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (C°):	16.50	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (C°):			
	pH:	7.92	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	71.30	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	35.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Altiplanicie
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	< 0.5	Pendiente (°)	5
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Torata	X	Químico, Isotópico	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manatial cuya procedencia son las rocas volcanicas fracturardas del acuífero Barroso

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , W. Ng Fecha: 29.11.2011 Hora 12:00

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131729 - 017 **Nombre:** Japu 1

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Japu	Longitud:	323786
Distrito:	Torata	Latitud:	8128279
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4501
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (C°):	7.10	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (C°):			
	pH:	6.75	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	93.10	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	46.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Altiplanicie
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	0.50	Pendiente (°)	10
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Alto Ilo - Moquegua	X	Químico	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial de flujo sub superficial.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez , F. Peña Fecha: 27.04.2008 Hora 10:09

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131729 - 020 **Nombre:** Huertalla 4

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Huertalla	Longitud:	326821
Distrito:	Torata	Latitud:	8128019
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4754
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (C°):	8.60	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (C°):			
	pH:	7.83	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	28.40	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	14.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	-
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Altiplanicie
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	< 0.5	Pendiente (°)	15
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Alto Ilo - Moquegua	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez Fecha: 23.04.2008 Hora 16:51

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131728 - 004 **Nombre:** Tiehirohuma

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Tiehirohuma	Longitud:	336832
Distrito:	Torata	Latitud:	8127469
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4520
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (C°):	10.60	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (C°):			
	pH:	8.48	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	-
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	78.60	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	39.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Altiplanicie
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	1.50	Pendiente (°)	10
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Torata	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Surgencia o Manantial de bajo caudal.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez , F. Peña Fecha: 29.04.2008 Hora 12:37

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Vesrión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131729 - 021 **Nombre:** Achupalla

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Achupalla	Longitud:	321195
Distrito:	Torata	Latitud:	8126152
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4332
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	14.20	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	7.81	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	57.80	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	28.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	1.50	Pendiente (°)	30
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Alto Ilo - Moquegua	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Depositos volcanicos fracturados que dan origen a surgencias o manantiales en la aparte baja.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , M. Sánche; Fecha: 27.04.2008 Hora 15:07

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Vesrión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131729 - 022 **Nombre:** Escalera

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Escalera	Longitud:	323500
Distrito:	Torata	Latitud:	8126100
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4550
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	7.60	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	8.17	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	69.30	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	34.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	< 0.5	Pendiente (°)	10
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Alto Ilo - Moquegua	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial cuya surgencia genera la presecia de escorrentia.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez , F. Peña Fecha: 27.04.2008 Hora 11:00

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Vesrión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131729 - 023 **Nombre:** Huaytabe Trampas

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Huaytabe Trampas	Longitud:	307042
Distrito:	Torata	Latitud:	8125940
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	3449
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	10.90	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	9.26	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	79.30	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	39.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	-
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	3.00	Pendiente (°)	35
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Alto Ilo - Moquegua	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez Fecha: Hora

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Vesrión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131728 - 005 **Nombre:** Umajalso

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Umajalso	Longitud:	343273
Distrito:	Torata	Latitud:	8124912
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4607
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	3.30	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	7.80	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	115.40	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	55.50	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Altiplanicie
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	0.50	Pendiente (°)	8
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Torata	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial cuya surgencia genera un bofedal.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , M. Sánche; Fecha: 29.04.2008 Hora 10:35

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código : DGAR-F-141
Versión : 00
Aprobado por : DGAR
Fecha aprob. : 01 ABR. 2009
Página : 1 de 1

Código: 131728 - 006 **Nombre:** Ojo de Agua

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Titijones	Longitud:	340852
Distrito:	Torata	Latitud:	8124705
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4548
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	T° Agua (C°):	9.20	Descripción del entorno	
Manantial	T° Ambiente (C°):			
	pH:	8.01	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	70.70	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	35.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Altiplanicie
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	15.00	Pendiente (°)	15
	Uso:	Riego de pastizales	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Torata	X	Químico, Isotópico	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial de 15 L/s que se origina en el contacto entre flujos de lavas totalmente fracturadas y materiales finos en la base.

Detalle

Referentes Geográficos

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código : DGAR-F-141
Versión : 00
Aprobado por : DGAR
Fecha aprob. : 01 ABR. 2009
Página : 1 de 1

Código: 131728 - 007 **Nombre:** Cañojahuira 1

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Cañojahuira	Longitud:	339530
Distrito:	Torata	Latitud:	8123756
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4571
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	T° Agua (C°):	12.10	Descripción del entorno	
Manantial	T° Ambiente (C°):			
	pH:	8.54	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	115.80	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	56.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Altiplanicie
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	1.00	Pendiente (°)	10
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Torata	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial cuya surgencia procede de flujos sub superficiales.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , M. Sánche; Fecha: 29.04.2008 Hora 15:24

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código : DGAR-F-141
Versión : 00
Aprobado por : DGAR
Fecha aprob. : 01 ABR. 2009
Página : 1 de 1

Código: 131728 - 008 **Nombre:** Cañojahuira 2

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Cañojahuira	Longitud:	342453
Distrito:	Torata	Latitud:	8123542
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4697
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	T° Agua (C°):	13.10	Descripción del entorno	
Manantial	T° Ambiente (C°):			
	pH:	8.38	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	84.40	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	22.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Altiplanicie
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	< 0.5	Pendiente (°)	10
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Torata	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial ubicado en medio de un bofedal.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez , F. Peña Fecha: 29-04-2008 Hora 15:07

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código : DGAR-F-141
Versión : 00
Aprobado por : DGAR
Fecha aprob. : 01 ABR. 2009
Página : 1 de 1

Código: 131728 - 009 **Nombre:** Trinchera

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Trinchera	Longitud:	334525
Distrito:	Torata	Latitud:	8122766
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4640
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	T° Agua (C°):	5.80	Descripción del entorno	
Manantial	T° Ambiente (C°):			
	pH:	7.90	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	62.80	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	31.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	0.50	Pendiente (°)	25
	Uso:	Riego de pastizales	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Torata	X	Químico, Isotópico	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial procedente del acuifero fisurado volcanico Barroso, cuy surgencia se observa en la paste baja.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , W. Ng Fecha: 28-11-2011 Hora 15:24

FORMATO	Código	: DGAR-F-141
	Vesrión	: 00
	Aprobado por	: DGAR
FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA	Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
	Página	: 1 de 1

Código: 131729 - 025 **Nombre:** Caracol

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Caracol	Longitud:	321277
Distrito:	Torata	Latitud:	8122670
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4173
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente			Descripción del entorno	
Manantial	Tº Agua (Cº):	13.80		
	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	7.18	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	52.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	25.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	1.00	Pendiente (°)	30
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	

Subcuenca	Parámetros	Muestreo		
Alto Ilo - Moquegua	X	Químico, isotópico	Urbano	-
			Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial cuya surgencia forma fobedal.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , W. Ng Fecha: 21-11-2011 Hora 15:05

FORMATO	Código	: DGAR-F-141
	Vesrión	: 00
	Aprobado por	: DGAR
FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA	Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
	Página	: 1 de 1

Código: 131729 - 026 **Nombre:** Cuellar

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Cuellar	Longitud:	321842
Distrito:	Torata	Latitud:	8122574
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4162
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente			Descripción del entorno	
Punto de Control	Tº Agua (Cº):	1.90		
	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	7.87	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	-
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	100.50	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	49.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	3.10	Pendiente (°)	15
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	

Subcuenca	Parámetros	Muestreo		
Alto Ilo - Moquegua	X	-	Urbano	-
			Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial cuya surgencia se considera como la naciente de un riachuelo.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez , F. Peña Fecha: 03-05-2008 Hora 10:34

FORMATO	Código	: DGAR-F-141
	Vesrión	: 00
	Aprobado por	: DGAR
FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA	Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
	Página	: 1 de 1

Código: 131729 - 027 **Nombre:** Quelaquelani

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Quelaquelani	Longitud:	321559
Distrito:	Torata	Latitud:	8121480
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4098
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente			Descripción del entorno	
Manantial	Tº Agua (Cº):	10.20		
	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	7.70	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	124.10	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	61.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	< 0.5	Pendiente (°)	35
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	

Subcuenca	Parámetros	Muestreo		
Alto Ilo - Moquegua	X	-	Urbano	-
			Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Material poroso no consolidado cuyo nivel freático es notorio. En la parte inferior derecha se produce la surgencia de un manantial.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , M. Sánche: Fecha: 30-04-2008 Hora 16:18

FORMATO	Código	: DGAR-F-141
	Vesrión	: 00
	Aprobado por	: DGAR
FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA	Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
	Página	: 1 de 1

Código: 131728 - 010 **Nombre:** Totoral 2

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Totoral	Longitud:	323183
Distrito:	Torata	Latitud:	8121123
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4009
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente			Descripción del entorno	
Manantial	Tº Agua (Cº):	11.50		
	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	9.03	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	42.40	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	21.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	-
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	2.20	Pendiente (°)	35
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	

Subcuenca	Parámetros	Muestreo		
Torata	X	Químico	Urbano	-
			Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial ubicado en la parte alta de la cuenca. Tiene moderada productividad.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez , F. Peña Fecha: 03-05-2008 Hora 12:52

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131728 - 011 **Nombre:** Arundaya 1

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)			
Lugar:	Arundaya	Longitud:	330458		
Distrito:	Torata	Latitud:	8120613		
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4357		
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona	19S	

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente			Descripción del entorno	
Manantial	Tº Agua (Cº):	9.70		
	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	7.22	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	162.60	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	80.00	Sedimentario	X
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	-
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	< 0.5	Pendiente (°)	35
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Torata	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial de esporadico caudal

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez , F. Peña | Fecha: 30.04.2008 | Hora 11:20

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131728 - 012 **Nombre:** Arundaya 2

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)			
Lugar:	Arundaya	Longitud:	330705		
Distrito:	Torata	Latitud:	8120423		
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4335		
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona	19S	

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente			Descripción del entorno	
Manantial	Tº Agua (Cº):	5.80		
	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	7.88	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	69.80	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	34.00	Sedimentario	X
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	-
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	< 0.5	Pendiente (°)	30
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Torata	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez | Fecha: 30.04.2008 | Hora 11:28

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131728 - 013 **Nombre:** Arundaya 5

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)			
Lugar:	Arundaya	Longitud:	332814		
Distrito:	Torata	Latitud:	8120412		
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4495		
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona	19S	

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente			Descripción del entorno	
Manantial	Tº Agua (Cº):	1.90		
	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	7.30	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	307.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	152.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	1.00	Pendiente (°)	35
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Torata	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez | Fecha: | Hora

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131728 - 014 **Nombre:** Quebrada Arundaya

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)			
Lugar:	Arundaya	Longitud:	330674		
Distrito:	Torata	Latitud:	8120324		
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4346		
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona	19S	

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente			Descripción del entorno	
Punto de Control	Tº Agua (Cº):	8.70		
	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	8.68	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	286.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	141.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	10.00	Pendiente (°)	25
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Torata	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Curso de un riachuelo, cuyo contenido de agua es muy intermitente, por lo que se categorizo como punto de control.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez , F. Peña | Fecha: 30.04.2008 | Hora 11:43

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código : DGAR-F-141
Versión : 00
Aprobado por : DGAR
Fecha aprob. : 01 ABR. 2009
Página : 1 de 1

Código: 131729 - 029 **Nombre:** Ladera

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Ladera	Longitud:	319230
Distrito:	Torata	Latitud:	8119580
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	3908
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	14.40	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	7.40	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	106.40	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	52.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	0.50	Pendiente (°)	50
	Uso:	Consumo Humano	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Alto Ilo - Moquegua	X	Químico, Isotópico	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial que proviene de material volcánico, bolones subredondeados en matriz limo areno arcillosa. Esta surgencia o manantial se produce en media ladera.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , W. Ng Fecha: 19.11.2011 Hora 14:30

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código : DGAR-F-141
Versión : 00
Aprobado por : DGAR
Fecha aprob. : 01 ABR. 2009
Página : 1 de 1

Código: 131728 - 015 **Nombre:** Arundaya 3

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Arundaya	Longitud:	330675
Distrito:	Torata	Latitud:	8120130
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4365
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	6.90	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	7.62	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	82.60	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	41.00	Sedimentario	X
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	-
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	< 0.5	Pendiente (°)	30
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Torata	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial que proviene de flujos subsuperficiales, aflora em medio de un bofedal.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez , F. Peña Fecha: 30.04.2008 Hora 11:52

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código : DGAR-F-141
Versión : 00
Aprobado por : DGAR
Fecha aprob. : 01 ABR. 2009
Página : 1 de 1

Código: 131728 - 016 **Nombre:** Arundaya 4

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Arundaya	Longitud:	330691
Distrito:	Torata	Latitud:	8120075
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4369
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	5.00	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	6.94	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	49.90	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	25.00	Sedimentario	X
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	-
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	3.00	Pendiente (°)	25
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Torata	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Descarga de un manantial que proviene del acuifero Barroso en contacto con materiales finos, nótese el caudal mediano de producción (3 L/s)

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez Fecha: 30.04.2008 Hora 11:59

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código : DGAR-F-141
Versión : 00
Aprobado por : DGAR
Fecha aprob. : 01 ABR. 2009
Página : 1 de 1

Código: 131728 - 017 **Nombre:** Apacheta Limani

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Apacheta Limani	Longitud:	342108
Distrito:	Torata	Latitud:	8120023
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4890
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	13.40	Descripción del entorno	
Punto de Control	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	11.04	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	146.90	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	72.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	-
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Altiplanicie
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	Ninguno	Pendiente (°)	10
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Torata	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

En segundo plano se observa afloramientos de flujos de lava altamente fracturada que corresponde al acuifero Barroso, en la parte baja en primer plano se observa acumulaciones de agua producto de la surgencia del manatial.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez Fecha: 29.04.2008 Hora 13:42

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO	Código	: DGAR-F-141
	Versión	: 00
	Aprobado por	: DGAR
FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA	Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
	Página	: 1 de 1

Código: 131728 - 018 **Nombre:** Arundaya 6

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Arundaya	Longitud:	330151
Distrito:	Torata	Latitud:	8119706
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4355
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente			Descripción del entorno	
	Tº Agua (C°):	6.20		
Manantial	Tº Ambiente (C°):			
	pH:	8.19	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	42.70	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	21.00	Sedimentario	X
	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	-
Pacífico	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
	Caudal (l/s):	3.00	Pendiente (°)	30
Cuenca Ilo - Moquegua	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
			Rural	X
Torata	X	-	Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial de produccion moderada (3L/s), cuyo afloramiento se produce a través de gravas angulosas.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez , F. Peña Fecha: 30.04.2008 Hora 12:19

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO	Código	: DGAR-F-141
	Versión	: 00
	Aprobado por	: DGAR
FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA	Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
	Página	: 1 de 1

Código: 131728 - 019 **Nombre:** Lagunita 1

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Lagunita	Longitud:	329618
Distrito:	Torata	Latitud:	8119548
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4335
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente			Descripción del entorno	
	Tº Agua (C°):	11.80		
Manantial	Tº Ambiente (C°):			
	pH:	8.27	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	62.80	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	31.00	Sedimentario	-
	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	-
Pacífico	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
	Caudal (l/s):	1.10	Pendiente (°)	35
Cuenca Ilo - Moquegua	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
			Rural	X
Torata	X	Químico	Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez Fecha: 30.04.2008 Hora 12:41

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO	Código	: DGAR-F-141
	Versión	: 00
	Aprobado por	: DGAR
FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA	Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
	Página	: 1 de 1

Código: 131728 - 020 **Nombre:** Lagunita 2

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Lagunita	Longitud:	329031
Distrito:	Torata	Latitud:	8119279
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4310
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente			Descripción del entorno	
	Tº Agua (C°):	4.60		
Manantial	Tº Ambiente (C°):			
	pH:	8.01	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	62.60	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	31.00	Sedimentario	-
	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	-
Pacífico	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
	Caudal (l/s):	< 0.5	Pendiente (°)	30
Cuenca Ilo - Moquegua	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
			Rural	X
Torata	X	-	Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial de escaso caudal, producto de flujos subsuperficiales.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez , F. Peña Fecha: 30.04.2008 Hora 12:59

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO	Código	: DGAR-F-141
	Versión	: 00
	Aprobado por	: DGAR
FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA	Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
	Página	: 1 de 1

Código: 131728 - 021 **Nombre:** Malpaso

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Malpaso	Longitud:	324441
Distrito:	Torata	Latitud:	8118960
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	3568
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente			Descripción del entorno	
	Tº Agua (C°):	4.70		
Punto de Control	Tº Ambiente (C°):			
	pH:	7.80	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	131.60	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	65.00	Sedimentario	-
	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
Pacífico	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
	Caudal (l/s):	-	Pendiente (°)	20
Cuenca Ilo - Moquegua	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
			Rural	X
Torata	X	-	Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Monitoreo de fuente procedente de aguas superficiales, como punto de control.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez Fecha: Hora

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131729 - 030 **Nombre:** Otora

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Otora	Longitud:	302758
Distrito:	Torata	Latitud:	8118792
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	2563
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	8.60	Descripción del entorno	
Punto de Control	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	7.89	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	379.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	187.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	1800.00	Pendiente (°)	15
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Alto Ilo - Moquegua	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Monitoreo de feunte de aguas supeficial.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez , F. Peña Fecha: 09.05.2008 Hora 10:34

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131728 - 022 **Nombre:** Santos

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Santos	Longitud:	328412
Distrito:	Torata	Latitud:	8118664
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4240
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	8.90	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	7.78	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	40.90	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	20.00	Sedimentario	X
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	-
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	16.00	Pendiente (°)	35
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Torata	X	Químico	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Fuente o manantial que proviene de rocas volcanicas fracturadas ubicadas en la parte alta de la cuenca, cuya circulacion se produce hasta llegar al contacto con materiales finos, donde se produce la surgencia con un caudal considerable (16 L/s)

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , M. Sánche; Fecha: 30.04.2008 Hora 13:37

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131728 - 024 **Nombre:** Quebrada Ancoaque

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Ancoaque	Longitud:	328375
Distrito:	Torata	Latitud:	8118124
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4223
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	7.30	Descripción del entorno	
Punto de Control	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	8.25	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	60.70	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	30.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	10.00	Pendiente (°)	25
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Torata	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Fuente o manantial que proviene de la infiltracion en rocas volcanicas fracturadas ubicadas en la parte alta de la cuenca, cuya circulacion se produce hasta llegar al contacto con materiales finos, donde se produce la surgencia a superficie con un caudal considerable (10 L/s)

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , M. Sánche; Fecha: 30.04.2008 Hora 13:54

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131728 - 025 **Nombre:** Corral Blanco 1

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Corral Blanco	Longitud:	327723
Distrito:	Torata	Latitud:	8118094
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4212
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	8.10	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	7.88	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	55.90	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	27.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	-
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	1.00	Pendiente (°)	35
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Torata	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial de escaso caudal, producto de flujos subsuperficiales.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez Fecha: 30.04.2008 Hora 14:14

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131728 - 026 **Nombre:** Corral Blanco 2

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Corral Blanco	Longitud:	326681
Distrito:	Torata	Latitud:	8117893
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4206
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente			Descripción del entorno	
Manantial	Tº Agua (C°):	9.30		
	Tº Ambiente (C°):			
	pH:	8.27	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	-
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	49.80	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	24.50	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	1.50	Pendiente (°)	15
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Torata	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial de escaso caudal, producto de flujos subsuperficiales y que genera pequeños bofedales.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez , F. Peña | Fecha: 30.04.2008 | Hora 14:31

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131728 - 027 **Nombre:** Sayrane 1

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Sayrane	Longitud:	320754
Distrito:	Torata	Latitud:	8117871
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	3547
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente			Descripción del entorno	
Manantial	Tº Agua (C°):	2.90		
	Tº Ambiente (C°):			
	pH:	8.37	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	222.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	109.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	-
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	0.50	Pendiente (°)	35
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Torata	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manatial de escaso caudal.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez | Fecha: 02.05.2008 | Hora 11:15

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131728 - 028 **Nombre:** Corral Blanco 3

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Corral Blanco	Longitud:	326018
Distrito:	Torata	Latitud:	8117775
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4184
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente			Descripción del entorno	
Manantial	Tº Agua (C°):	9.20		
	Tº Ambiente (C°):			
	pH:	9.10	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	-
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	51.30	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	25.50	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	1.00	Pendiente (°)	30
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Torata	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manatial cuya surgencia se encuentra en medio de un bofedal

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez | Fecha: 30.04.2008 | Hora 14:55

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131728 - 030 **Nombre:** Sayrane 2

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Sayrane	Longitud:	321006
Distrito:	Torata	Latitud:	8117383
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	3546
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente			Descripción del entorno	
Manantial	Tº Agua (C°):	14.10		
	Tº Ambiente (C°):			
	pH:	7.81	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	110.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	54.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	-
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	< 0.5	Pendiente (°)	30
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Torata	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial de escaso caudal y flujos sub superficiales

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez | Fecha: | Hora

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131729 - 031 **Nombre:** Río Chujulay 1

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Chujulay	Longitud:	310750
Distrito:	Torata	Latitud:	8117360
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	3058
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (C°):	7.40	Descripción del entorno	
Punto de Control	Tº Ambiente (C°):			
	pH:	8.30	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	98.20	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	44.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	80.00	Pendiente (°)	20
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Alto Ilo - Moquegua	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Punto de control monitoreado en agas superficiales.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez Fecha: 07-05-2008 Hora 10:10

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131729 - 032 **Nombre:** Paralaque

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Paralaque	Longitud:	303386
Distrito:	Torata	Latitud:	8116522
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	2590
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (C°):	9.60	Descripción del entorno	
Punto de Control	Tº Ambiente (C°):			
	pH:	8.17	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	171.70	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	84.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	3.50	Pendiente (°)	20
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Alto Ilo - Moquegua	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Punto de control monitoreado en agas superficiales.

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez Fecha: 09-05-2008 Hora 10:05

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131728 - 031 **Nombre:** Calera

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Calera	Longitud:	323093
Distrito:	Torata	Latitud:	8116402
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	3979
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (C°):	8.40	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (C°):			
	pH:	7.35	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	97.80	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	48.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	0.50	Pendiente (°)	35
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Torata	X	Químico	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manatial cuya surgencia es de bajo caudal (0.5 L/s) y proveniente de flujos sub superficiales

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez Fecha: 30-04-2008 Hora 09:33

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131729 - 033 **Nombre:** Río Chujulay 3

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Quele	Longitud:	303081
Distrito:	Torata	Latitud:	8115169
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	2494
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (C°):	11.40	Descripción del entorno	
Punto de Control	Tº Ambiente (C°):			
	pH:	8.40	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	380.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	182.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	2.50	Pendiente (°)	18
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Alto Ilo - Moquegua	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Punto de control monitoreada en el cauce de un ricahuelo de clastos redondeados a subredondeados.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez Fecha: 09-05-2008 Hora 09:50

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131728 - 032 **Nombre:** Rio Torata

UBICACIÓN

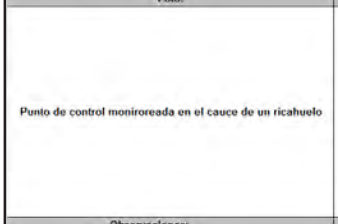
Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Ichupampa	Longitud:	311454
Distrito:	Torata	Latitud:	8114881
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	3014
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (C°):	9.10	Descripción del entorno	
Punto de Control	Tº Ambiente (C°):			
	pH:	8.30	Intrusivo	X
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	208.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	102.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	-	Pendiente (°)	20
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	

Subcuenca	Parámetros	Muestreo		
Torata	X	-	Urbano	-
			Rural	X
			Otro:	

Foto:



Punto de control moniroreada en el cauce de un ricahuelo

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez Fecha: Hora

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131729 - 009 **Nombre:** Quebrada Chilligua

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Quebrada Chilligua	Longitud:	329124
Distrito:	Torata	Latitud:	8130533
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4633
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (C°):	13.20	Descripción del entorno	
Punto de Control	Tº Ambiente (C°):			
	pH:	7.17	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	76.40	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	37.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	2.50	Pendiente (°)	12
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	

Subcuenca	Parámetros	Muestreo		
Alto Ilo - Moquegua	X	-	Urbano	-
			Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Punto de control generada por la circulacion del agua moniroreada en el cauce de un ricahuelo

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , W. Ng Fecha: 19.11.2011 Hora 12:30

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131729 - 018 **Nombre:** Jaco 1

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Ojos de Agua	Longitud:	321798
Distrito:	Torata	Latitud:	8128156
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4347
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (C°):	8.90	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (C°):			
	pH:	7.83	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	67.30	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	33.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	<0.5	Pendiente (°)	40
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	

Subcuenca	Parámetros	Muestreo		
Alto Ilo - Moquegua	X	-	Urbano	-
			Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial que forma bofedal.
Surgencia en materiales coluviales volcánicos. El entorno lo representan las lavas andesiticas.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , W. Ng Fecha: 21.11.2011 Hora 12:40

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131729 - 019 **Nombre:** Jaco 2

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Ojos de agua	Longitud:	321676
Distrito:	Torata	Latitud:	8128111
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4306
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (C°):	9.20	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (C°):			
	pH:	7.37	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	79.20	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	39.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	10.00	Pendiente (°)	40
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	

Subcuenca	Parámetros	Muestreo		
Alto Ilo - Moquegua	X	Químico, Isotópico	Urbano	-
			Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial polisurgente que forma un gran bofedal.
Surgencia principal 2 l/s, y posiblemente por contacto entre andesitas y tobas, con material fino o cuaternario.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , W. Ng Fecha: 21.11.2011 Hora 13:06

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Vesrión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131729 - 028 **Nombre:** Calapujio

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Calapujio	Longitud:	318707
Distrito:	Torata	Latitud:	8120774
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	3898
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	14.70	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	8.09	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	125.40	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	61.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insipido	Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	0.50	Pendiente (°)	35
	Uso:	Consumo Humano	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Alto Ilo - Moquegua	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial de escaso caudal, pero que genera un gran bofedal.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , W. Ng — Fecha: 21.11.2011 — Hora 16:22

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Vesrión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131729 - 024 **Nombre:** Agua grande

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Agua grande	Longitud:	320140
Distrito:	Torata	Latitud:	8122915
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4098
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	9.60	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	8.35	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	47.60	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	23.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insipido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	15.00	Pendiente (°)	25
	Uso:	Consumo Humano , Agropecuaria	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Alto Ilo - Moquegua	X	Químico, Isotópico	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial posurgente procedente de rocas volcánicas andesiticas.
Caudal de la surgencia prinicpal (toma de parámetros) 2 l/s.
Forma bofedal y riachuelo Agua Grande.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , W. Ng — Fecha: 22.11.2011 — Hora 09:30

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Vesrión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131729 - 034 **Nombre:** Canal

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Perane	Longitud:	299488
Distrito:	Torata	Latitud:	8112514
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	2200
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	15.20	Descripción del entorno	
Punto de Control	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	7.60	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	507.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	248.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insipido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	2.00	Pendiente (°)	15
	Uso:	Agrícola	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Alto Ilo - Moquegua	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Punto de control monitoreada en el canal proveniente de Pasto Grande.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , W. Ng — Fecha: 24.11.2011 — Hora 10:28

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Vesrión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131729 - 035 **Nombre:** Río Chujulay

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Chuvilaque	Longitud:	299031
Distrito:	Torata	Latitud:	8111795
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	2219
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	19.50	Descripción del entorno	
Punto de Control	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	8.50	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	627.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	307.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insipido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	18.00	Pendiente (°)	10
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Alto Ilo - Moquegua	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial cuya surgencia se produce en medio de materiales porosos no consolidados, el caudal de surgencia (18 L/s) indica la i presencia de un acuifero de alto interes hidrogeologico.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , W. Ng — Fecha: 24.11.2011 — Hora 11:02

INGEMMET	FORMATO	Código : DGAR-F-141 Versión : 00 Aprobado por : DGAR Fecha aprob. : 01 ABR. 2009 Página : 1 de 1
	FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA	

Código: 131728 - 033 **Nombre:** Jorge Chávez 1

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Jorge Chávez	Longitud:	304108
Distrito:	Torata	Latitud:	8111098
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	2231
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	21.90	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	7.92	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	681.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	334.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	1.30	Pendiente (°)	65
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Torata	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial de escaso caudal y procedente de acuifero poroso no consolidado.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , W. Ng Fecha: 24.11.2011 Hora 11:56

INGEMMET	FORMATO	Código : DGAR-F-141 Versión : 00 Aprobado por : DGAR Fecha aprob. : 01 ABR. 2009 Página : 1 de 1
	FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA	

Código: 131728 - 034 **Nombre:** Jorge Chávez 2

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Jorge Chávez	Longitud:	304108
Distrito:	Torata	Latitud:	8110117
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	2263
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	22.00	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	7.78	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	1199.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	597.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	-
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	< 0.5	Pendiente (°)	65
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Torata	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Tobas retrabajadas con contenidos en carbonatos y/o sulfatos, en la parte inferior se tiene la surgencia de un manantial de bajo caudal (menor a 0.5 L/s)

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , W. Ng Fecha: 24.11.2011 Hora 12:28

INGEMMET	FORMATO	Código : DGAR-F-141 Versión : 00 Aprobado por : DGAR Fecha aprob. : 01 ABR. 2009 Página : 1 de 1
	FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA	

Código: 131729 - 036 **Nombre:** Huaracane 1

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Huaracane	Longitud:	293127
Distrito:	Torata	Latitud:	8100469
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	1397
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	21.30	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	6.82	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	-
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	752.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	368.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Piso de valle
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	12.00	Pendiente (°)	15
	Uso:	Agrícola	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Alto Ilo - Moquegua	X	Químico, Isotópico	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Sector Huaracane, zona donde existe riego intensivo con agua superficiales, cuya surgencia o manantial posblemente provenga de la infiltración de aguas de riego. NP 1.20 m.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , W. Ng Fecha: 26.11.2011 Hora 14:26

INGEMMET	FORMATO	Código : DGAR-F-141 Versión : 00 Aprobado por : DGAR Fecha aprob. : 01 ABR. 2009 Página : 1 de 1
	FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA	

Código: 131728 - 029 **Nombre:** Laura

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Corral Blanco	Longitud:	326756
Distrito:	Torata	Latitud:	8117731
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4282
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	11.30	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	8.17	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	-
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	55.70	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	27.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	1.50	Pendiente (°)	15
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Torata	X	Químico, Isotópico	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Surgencia en la parte superior cerca a la lomada, contacto entre morrénicos y material volcánico fino (cenizas, tobas).

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , W. Ng Fecha: 28.11.2011 Hora 17:30

INGEMMET	FORMATO	Código : DGAR-F-141 Versión : 00 Aprobado por : DGAR Fecha aprob. : 01 ABR. 2009 Página : 1 de 1
	FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA	

Código: 131728 - 023 **Nombre:** Agua potable Arundaya

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Arundaya	Longitud:	326827
Distrito:	Torata	Latitud:	8118597
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	3971
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente			Descripción del entorno	
Manantial Captado	Tº Agua (Cº):	17.00		
	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	7.10	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	343.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	168.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	1.80	Pendiente (°)	50
	Uso:	Consumo Humano	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Torata	X	Químico, Isotópico	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Captacion cuya surgencia se desarrolla en tobas fracturadas de la Formación Huaylillas, aparente flujo subsuperficial.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , W. Ng Fecha: 29.11.2011 Hora 10:20

INGEMMET	FORMATO	Código : DGAR-F-141 Versión : 00 Aprobado por : DGAR Fecha aprob. : 01 ABR. 2009 Página : 1 de 1
	FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA	

Código: 131726 - 001 **Nombre:** Surapatilla Grande

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Asana	Longitud:	342453
Distrito:	Torata	Latitud:	8117435
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4840
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente			Descripción del entorno	
Manantial	Tº Agua (Cº):	4.00		
	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	8.28	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	46.80	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	23.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	14.00	Pendiente (°)	50
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	Isotópico	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Morfología Ladera/Terraza con pendientes 50°/3°

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , W. Ng Fecha: 28.11.2011 Hora 14:22

INGEMMET	FORMATO	Código : DGAR-F-141 Versión : 00 Aprobado por : DGAR Fecha aprob. : 01 ABR. 2009 Página : 1 de 1
	FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA	

Código: 131726 - 002 **Nombre:** Asana 1

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Asana	Longitud:	341941
Distrito:	Torata	Latitud:	8117178
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4850
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente			Descripción del entorno	
Manantial	Tº Agua (Cº):	6.50		
	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	7.76	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	54.80	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	27.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	-
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	2.00	Pendiente (°)	50
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Surgencia o manantial en la parte baja de las rocas volcanicas fracturadas, genera bofedales.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez , F. Peña Fecha: 24.04.2008 Hora 09:42

INGEMMET	FORMATO	Código : DGAR-F-141 Versión : 00 Aprobado por : DGAR Fecha aprob. : 01 ABR. 2009 Página : 1 de 1
	FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA	

Código: 131726 - 003 **Nombre:** Asana 2

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Asana	Longitud:	342736
Distrito:	Torata	Latitud:	8117045
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4746
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente			Descripción del entorno	
Manantial	Tº Agua (Cº):	4.90		
	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	8.97	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	120.80	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	59.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	-
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	< 0.5	Pendiente (°)	40
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Surgencia o manantial que genera la prescencia de bofedales.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez , F. Peña Fecha: 23.04.2008 Hora 12:47

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131726 - 004 **Nombre:** Asana 3

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Asana	Longitud:	341643
Distrito:	Torata	Latitud:	8116971
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4830
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	6.60	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	7.52	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	55.70	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	27.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	-
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	0.50	Pendiente (°)	50
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	Químico	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

En la parte superior se observan diques de flujos de lava andesítica y en la parte baja, en primer plano se observa surgencia o manantial que genera la prescencia de bofedales.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez , F. Peña | Fecha: 24.04.2008 | Hora 09:57

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131726 - 005 **Nombre:** Asana 4

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Asana	Longitud:	342682
Distrito:	Torata	Latitud:	8116474
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4672
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	11.80	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	7.48	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	244.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	121.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	< 0.5	Pendiente (°)	30
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Pequeña fuente de escaso caudal.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez | Fecha: 23.04.2008 | Hora 13:10

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131726 - 006 **Nombre:** Asana 5

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Asana	Longitud:	344785
Distrito:	Torata	Latitud:	8116269
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4817
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	8.00	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	3.03	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	646.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	315.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Altiplanicie
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	< 0.5	Pendiente (°)	15
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial cuya surgencia se produce en el contacto entre rocas volcanicas fracturadas y materiales finos del cuaternario reciente.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez , F. Peña | Fecha: 23.04.2008 | Hora

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131726 - 008 **Nombre:** Asana 6

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Asana	Longitud:	345049
Distrito:	Torata	Latitud:	8116247
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4833
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	9.10	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	5.90	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	262.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	129.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Altiplanicie
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	0.50	Pendiente (°)	15
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial cuya surgencia genera la prescencia de bofedales.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez , F. Peña | Fecha: 25.04.2008 | Hora 14:19

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	DGAR-F-141
Versión	00
Aprobado por	DGAR
Fecha aprob.	01 ABR. 2009
Página	1 de 1

Código: 131726 - 009 **Nombre:** Asana 7

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Asana	Longitud:	344184
Distrito:	Torata	Latitud:	8116078
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4729
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	5.20	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	4.21	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	531.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	251.00	Sedimentario	X
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	< 0.5	Pendiente (°)	75
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Surgencia o manantail que proviene de horizontes permebles del acuifero Capillune.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez , F. Peña Fecha: 25.08.2008 Hora 15:15

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	DGAR-F-141
Versión	00
Aprobado por	DGAR
Fecha aprob.	01 ABR. 2009
Página	1 de 1

Código: 131726 - 010 **Nombre:** Asana 8

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Asana	Longitud:	342580
Distrito:	Torata	Latitud:	8116016
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4625
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	7.20	Descripción del entorno	
Punto de Control	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	7.93	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	42.90	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	21.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	80.00	Pendiente (°)	20
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	Químico	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Parte baja de la surgencia o manantial, el punto monitoreado corresponde a la circulacion del agua en media quebrada.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez Fecha: 24.04.2008 Hora 11:42

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	DGAR-F-141
Versión	00
Aprobado por	DGAR
Fecha aprob.	01 ABR. 2009
Página	1 de 1

Código: 131726 - 011 **Nombre:** Panturane 1

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Quebrada Panturane	Longitud:	338604
Distrito:	Torata	Latitud:	8115955
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4627
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	10.00	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	4.35	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	554.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	267.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	-	Pendiente (°)	25
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez Fecha: 24.04.2008 Hora

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	DGAR-F-141
Versión	00
Aprobado por	DGAR
Fecha aprob.	01 ABR. 2009
Página	1 de 1

Código: 131726 - 012 **Nombre:** Asana 9

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Asana	Longitud:	341807
Distrito:	Torata	Latitud:	8115933
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4743
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	5.40	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	8.82	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	46.20	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	23.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	2.00	Pendiente (°)	60
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez Fecha: 24.04.2008 Hora 10:56

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131726 - 013 **Nombre:** Panturane 2

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)		
Lugar:	Quebrada Panturane	Longitud:	338434	
Distrito:	Torata	Latitud:	8115896	
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4620	
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona	19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente			Descripción del entorno	
Manantial	Tº Agua (C°):	13.00		
	Tº Ambiente (C°):			
	pH:	4.64	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	551.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	266.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	-	Pendiente (°)	25
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez Fecha: 25.04.2008 Hora

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131726 - 016 **Nombre:** Asana 10

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)		
Lugar:	Asana	Longitud:	345354	
Distrito:	Torata	Latitud:	8115334	
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4857	
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona	19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente			Descripción del entorno	
Manantial	Tº Agua (C°):	10.00		
	Tº Ambiente (C°):			
	pH:	7.30	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	26.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	23.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	1.00	Pendiente (°)	25
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manatial de escaso caudal.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez Fecha: 24.04.2008 Hora

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131726 - 017 **Nombre:** Huañuma 1

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)		
Lugar:	Huañuma	Longitud:	344779	
Distrito:	Torata	Latitud:	8114660	
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4867	
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona	19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente			Descripción del entorno	
Manantial	Tº Agua (C°):	9.00		
	Tº Ambiente (C°):			
	pH:	9.10	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	85.40	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	44.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	-
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Altiplanicie
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	1.00	Pendiente (°)	5
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial procedente de rocas volcanicas fracturadas, cuya surgencia genera la acumulación de agua superficial, en una especie de cocha.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez Fecha: 25.04.2008 Hora 12:54

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131726 - 018 **Nombre:** Huañuma 2

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)		
Lugar:	Huañuma	Longitud:	344356	
Distrito:	Torata	Latitud:	8114307	
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4807	
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona	19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente			Descripción del entorno	
Manantial	Tº Agua (C°):	8.00		
	Tº Ambiente (C°):			
	pH:	7.87	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	39.40	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	19.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	2.00	Pendiente (°)	25
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial procedente de rocas volcanicas fracturadas, cuya surgencia genera un bofedal.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez , F. Peña Fecha: 25.04.2008 Hora 12:18

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Vesrión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131726 - 020 **Nombre:** Chocamane 1

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Chocamane	Longitud:	340081
Distrito:	Torata	Latitud:	8113832
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4497
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	13.60	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	7.40	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	901.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	447.00	Sedimentario	X
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	-
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	< 0.5	Pendiente (°)	50
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	Químico	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial procedente de rocas volcanicas fracturadas, cuya surgencia genera suelos saturados o bofedales.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez Fecha: 26.04.2008 Hora 12:35

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Vesrión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131726 - 021 **Nombre:** Chocamane 2

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Chocamane	Longitud:	340314
Distrito:	Torata	Latitud:	8113769
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4560
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	6.00	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	7.84	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	154.30	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	75.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	-
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	< 0.5	Pendiente (°)	35
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial procedente de rocas volcanicas fracturadas, cuya surgencia genera la acumulación de agua superficial, en una especie de cocha y bofedal.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez Fecha: 26.04.2008 Hora 10:28

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Vesrión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131726 - 022 **Nombre:** Panturane 5

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Panturane	Longitud:	336608
Distrito:	Torata	Latitud:	8113516
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4459
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	4.30	Descripción del entorno	
Punto de Control	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	6.99	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	153.60	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	74.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	2.00	Pendiente (°)	25
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Aguas superficiales procedente de rocas volcanicas fracturadas, dando origen a una pequeña escorrentia.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez , F. Peña Fecha: 29.04.2008 Hora 12:13

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Vesrión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131726 - 024 **Nombre:** Chiquihure

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Asana	Longitud:	338024
Distrito:	Torata	Latitud:	8113176
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4395
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	12.60	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	8.05	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	221.30	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	108.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	10.00	Pendiente (°)	20
	Uso:	Consumo Humano	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	Químico, Isotópico	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial de gran caudal (10 L/s) procedente del acuifero fisurado volcanico Barroso (vista en segundo plano de la fotografia). La surgencia o manantial se produce en contacto cn materiales finos de superficie.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , W. Ng Fecha: 28.11.2011 Hora 13:38

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131726 - 025 **Nombre:** Panturane 6

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Panturane	Longitud:	336472
Distrito:	Torata	Latitud:	8113010
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4399
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	9.00	Descripción del entorno	
Punto de Control	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	8.02	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	361.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	175.00	Sedimentario	X
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	12.00	Pendiente (°)	25
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez Fecha: 29.04.2008 Hora 12:07

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131726 - 026 **Nombre:** Chocamane 3

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Quebrada Chocamane	Longitud:	341689
Distrito:	Torata	Latitud:	8112620
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4698
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	12.00	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	7.25	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	255.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	124.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	0.60	Pendiente (°)	30
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial de escaso caudal, que genera suelos saturados.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez Fecha: 26.04.2008 Hora 11:48

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131726 - 027 **Nombre:** Charaque 1

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Charaque	Longitud:	326297
Distrito:	Torata	Latitud:	8112117
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	3768
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	10.30	Descripción del entorno	
Punto de Control	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	7.70	Intrusivo	X
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	53.50	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	26.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	-
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	36.40	Pendiente (°)	25
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	Químico	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Monitoreo de aguas superficiales.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez Fecha: 03.05.2008 Hora 14:52

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131726 - 028 **Nombre:** Charaque 2

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Río Charaque	Longitud:	326266
Distrito:	Torata	Latitud:	8111991
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	3764
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	14.10	Descripción del entorno	
Punto de Control	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	8.01	Intrusivo	X
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	50.20	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	25.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	-	Pendiente (°)	25
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Aguas superficiales ubicado en la naciente de una quebrada, donde tambien se observa una pequeña represa.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez , F. Peña Fecha: 03.05.2008 Hora 15:00

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131726 - 029 **Nombre:** Viña Blanca

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Quebrada Viña Blanca	Longitud:	321832
Distrito:	Torata	Latitud:	8111914
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	3518
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (C°):	6.70	Descripción del entorno	
Punto de Control	Tº Ambiente (C°):			
	pH:	8.07	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	131.70	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	65.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	-	Pendiente (°)	20
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Aguas superficiales ubicado en la naciente de una quebrada.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez Fecha: 02-05-2008 Hora 10:53

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131726 - 031 **Nombre:** Altarani 1

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Quebrada Altarani	Longitud:	325496
Distrito:	Torata	Latitud:	8109086
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	3598
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (C°):	17.70	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (C°):			
	pH:	6.57	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	131.50	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	65.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	< 0.5	Pendiente (°)	20
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manatial de bajo caudal que genera la prescencia de suelos saturados o bofedales.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez Fecha: 03-05-2008 Hora 15:28

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131726 - 032 **Nombre:** Rio Asana

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Río Asana	Longitud:	327138
Distrito:	Torata	Latitud:	8108530
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	3501
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (C°):	10.60	Descripción del entorno	
Punto de Control	Tº Ambiente (C°):			
	pH:	6.94	Intrusivo	X
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	-
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	129.70	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	64.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	-	Pendiente (°)	25
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Monitoreo de aguas superficiales de gran caudal.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez Fecha: 03-05-2008 Hora 16:09

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131726 - 033 **Nombre:** Altarani 2

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Altarani	Longitud:	335381
Distrito:	Torata	Latitud:	8106964
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4298
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (C°):	8.40	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (C°):			
	pH:	7.60	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	43.80	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	21.50	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	< 0.5	Pendiente (°)	20
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial de escaso caudal, cuya surgencia se produce en medio de materiales poroso no consolidados.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez , F. Peña Fecha: 04-05-2008 Hora 11:58

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131726 - 034 **Nombre:** Altarani 3

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Altárani	Longitud:	334971
Distrito:	Torata	Latitud:	8106286
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4242
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	8.40	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	7.45	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	23.90	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	11.50	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	< 0.5	Pendiente (°)	20
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial de escaso caudal que genera bofedales

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez , F. Peña Fecha: 04.05.2008 Hora 12:55

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131726 - 035 **Nombre:** Río Tumilaca 1

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	El Rincón	Longitud:	305257
Distrito:	Torata	Latitud:	8105505
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	1987
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	9.50	Descripción del entorno	
Punto de Control	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	7.86	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	205.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	101.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	-	Pendiente (°)	25
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Monitoreo de aguas superficiales en el río Tumilaca.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez , F. Peña Fecha: 06.05.2008 Hora 08:44

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131726 - 036 **Nombre:** El Rincón

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	El Rincón	Longitud:	305163
Distrito:	Torata	Latitud:	8105481
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	1940
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	8.50	Descripción del entorno	
Punto de Control	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	7.79	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	208.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	103.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	3.00	Pendiente (°)	25
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Monitoreo de aguas superficiales de escaso caudal.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez , F. Peña Fecha: 06.05.2008 Hora 08:42

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131726 - 037 **Nombre:** Porquene

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Jahata	Longitud:	310989
Distrito:	Torata	Latitud:	8105269
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	2477
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	13.10	Descripción del entorno	
Punto de Control	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	8.59	Intrusivo	X
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	-
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	3650.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	1791.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	20.00	Pendiente (°)	25
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Monitoreo de aguas superficiales de moderado caudal.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez Fecha: 06.05.2008 Hora 10:33

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Vesrión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131726 - 038 **Nombre:** Altarani 4

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Altarani	Longitud:	335620
Distrito:	Torata	Latitud:	8105123
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4315
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	T° Agua (C°):	9.20	Descripción del entorno	
Manantial	T° Ambiente (C°):			
	pH:	8.25	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	32.80	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	16.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	-
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insipido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	< 0.5	Pendiente (°)	15
	Uso:	Riego de pastizales	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial de escaso caudal y flujo suubsuperficial.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez Fecha: 04-05-2008 Hora 11:00

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Vesrión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131726 - 039 **Nombre:** Altarani 5

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Altarani	Longitud:	335630
Distrito:	Torata	Latitud:	8104940
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4320
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	T° Agua (C°):	9.30	Descripción del entorno	
Manantial	T° Ambiente (C°):			
	pH:	6.95	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	31.30	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	15.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	-
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insipido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	< 0.5	Pendiente (°)	15
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	Químico	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial de escaso caudal y flujo suubsuperficial.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez Fecha: 04-05-2008 Hora

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Vesrión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131726 - 043 **Nombre:** Rio Tumilaca 2

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Yunguyo	Longitud:	301093
Distrito:	Torata	Latitud:	8101822
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	1704
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	T° Agua (C°):	18.60	Descripción del entorno	
Punto de Control	T° Ambiente (C°):			
	pH:	7.90	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	2.99	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	146.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insipido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	-	Pendiente (°)	20
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	Químico	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Punto de control en el río Tumilaca

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez Fecha: 06-05-2008 Hora 13:15

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Vesrión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131726 - 040 **Nombre:** El Común

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Tumilaca	Longitud:	302825
Distrito:	Samegua	Latitud:	8104119
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	1839
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	T° Agua (C°):	19.70	Descripción del entorno	
Manantial	T° Ambiente (C°):			
	pH:	6.95	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	-
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	454.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	223.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insipido	Morfología	Piso de valle
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	28.50	Pendiente (°)	12
	Uso:	Agrícola	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	Químico, Isotópico	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial de gran caudal procedente de depositos porosos no consolidados, posible interconexion con aguas de riego.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , W. Ng Fecha: 26.11.2011 Hora 15:26

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131726 - 042 **Nombre:** Buenavista

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Buenavista	Longitud:	302204
Distrito:	Torata	Latitud:	8103156
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	1776
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	T° Agua (C°):	18.90	Descripción del entorno	
Manantial	T° Ambiente (C°):			
	pH:	7.45	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	-
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	498.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	244.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Piso de valle
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	7.00	Pendiente (°)	5
	Uso:	Agrícola	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	Químico, Isotópico	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial polisurgente en la margen izquierda del rio Tumilaca.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , W. Ng | Fecha: 30.11.2011 | Hora 12:00

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131726 - 044 **Nombre:** Totoral

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Tres Peñas - Totoral	Longitud:	296396
Distrito:	Moquegua	Latitud:	8099511
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	1487
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	T° Agua (C°):	21.80	Descripción del entorno	
Pozo	T° Ambiente (C°):			
	pH:	6.81	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	-
	C. Eléctrica (µS/cm):	696.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	341.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Piso de valle
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	-	Pendiente (°)	10
	Uso:	Consumo Humano	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	Químico, Isotópico	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Pozo con drenaje horizontal, que suministra de agua potable a la ciudad de Moquegua.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , W. Ng | Fecha: 30.11.2011 | Hora 13:38

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131726 - 030 **Nombre:** Charaque 3

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Río Charaque	Longitud:	325307
Distrito:	Torata	Latitud:	8111177
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	3702
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	T° Agua (C°):	20.00	Descripción del entorno	
Punto de Control	T° Ambiente (C°):			
	pH:	8.15	Intrusivo	X
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	83.60	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	41.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	30.00	Pendiente (°)	25
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez | Fecha: | Hora

INGEMMET — Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131726 - 015 **Nombre:** Panturane 3

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Quebrada Panturane	Longitud:	338373
Distrito:	Torata	Latitud:	8115355
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4622
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	T° Agua (C°):	19.40	Descripción del entorno	
Manantial	T° Ambiente (C°):			
	pH:	6.73	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	668.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	327.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	10.00	Pendiente (°)	35
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial de gran caudal ubicado en la quebrada Panturane

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez | Fecha: | Hora

INGEMMET
Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	DGAR-F-141
Versión	00
Aprobado por	DGAR
Fecha aprob.	01 ABR. 2009
Página	1 de 1

Código: 131726 - 007 **Nombre:** Panturane 4

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Quebrada Panturane	Longitud:	339185
Distrito:	Torata	Latitud:	8116259
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4706
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	8.50	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	7.28	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	280.60	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	138.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	3.00	Pendiente (°)	30
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial de relativo caudal y alto interes hidrogeologico.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez **Fecha:** **Hora**

INGEMMET
Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	DGAR-F-141
Versión	00
Aprobado por	DGAR
Fecha aprob.	01 ABR. 2009
Página	1 de 1

Código: 131726 - 014 **Nombre:** Huañuma 3

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Huañuma	Longitud:	343761
Distrito:	Torata	Latitud:	8115894
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4631
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	11.70	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	7.41	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	66.60	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	33.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Ladera
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	3.00	Pendiente (°)	45
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manantial de gran caudal ubicado en la quebrada Panturane

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez , F. Peña **Fecha:** **Hora**

INGEMMET
Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	DGAR-F-141
Versión	00
Aprobado por	DGAR
Fecha aprob.	01 ABR. 2009
Página	1 de 1

Código: 131726 - 019 **Nombre:** Asana 11

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Asana	Longitud:	339985
Distrito:	Torata	Latitud:	8114137
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4446
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	14.90	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	8.41	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	199.10	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	98.00	Sedimentario	X
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	2.30	Pendiente (°)	25
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez **Fecha:** **Hora**

INGEMMET
Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	DGAR-F-141
Versión	00
Aprobado por	DGAR
Fecha aprob.	01 ABR. 2009
Página	1 de 1

Código: 131726 - 023 **Nombre:** Asana 12

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Asana	Longitud:	338174
Distrito:	Torata	Latitud:	8113269
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	4389
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (Cº):	17.30	Descripción del entorno	
Manantial	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	9.02	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	207.20	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	102.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	20.00	Pendiente (°)	25
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Manatial de gran caudal y alto interes hidrogeologico.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez **Fecha:** **Hora**

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: 131726 - 030 **Nombre:** Charaque 3

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Río Charaque	Longitud:	325307
Distrito:	Torata	Latitud:	8111177
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	3702
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (C°):	20.00	Descripción del entorno	
Punto de Control	Tº Ambiente (C°):			
	pH:	8.15	Intrusivo	X
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	X
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	83.60	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	41.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Quebrada
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):	30.00	Pendiente (°)	25
	Uso:	Ninguno	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
Tumilaca	X	-	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: M. Sánchez Fecha: Hora

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: IRHS - 001 - ILO **Nombre:** Pozo Ilo 1

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Viñedo	Longitud:	251925
Distrito:	Pacocha	Latitud:	8049990
Provincia:	Ilo	Altitud:	17
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (C°):	22.00	Descripción del entorno	
Pozo	Tº Ambiente (C°):			
	pH:	6.95	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	-
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	2325.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	1139.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Piso de valle
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):		Pendiente (°)	10
	Uso:	Agrícola , Industrial	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
	-	Químico, Isotópico	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Pozo cerca al mar, alto contenido de sales, a 0.9 m de nivel piezometrico

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , W. Ng Fecha: 26/11/2011 Hora 09:30

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: IRHS - 021 **Nombre:** Algarrobal 1

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Chimbaya	Longitud:	258316
Distrito:	El Algarrobal	Latitud:	8049942
Provincia:	Ilo	Altitud:	84
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (C°):	23.00	Descripción del entorno	
Pozo	Tº Ambiente (C°):			
	pH:	7.10	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	-
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	2012.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	986.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Piso de valle
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):		Pendiente (°)	3
	Uso:	Agrícola , Consumo Humano	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
	-	Químico, Isotópico	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Pozo ubicado en el valle de Ilo.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , W. Ng Fecha: 26/11/2011 Hora 10:30

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR-F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código: IRHS - 70 **Nombre:** Algarrobal 2

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	El Yaral	Longitud:	265111
Distrito:	El Algarrobal	Latitud:	8054583
Provincia:	Ilo	Altitud:	205
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente	Tº Agua (C°):	23.80	Descripción del entorno	
Pozo	Tº Ambiente (C°):			
	pH:	7.10	Intrusivo	-
N.P (m)	Oxigeno Disuelto:		Volcánico	-
	C. Eléctrica (µS/cm):	2104.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	1031.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Piso de valle
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):		Pendiente (°)	5
	Uso:	Agrícola , Consumo Humano	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
	-	Químico, Isotópico	Rural	X
			Otro:	

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Pozo IRHS - 70 ubicado en la parte superior del acuífero de Ilo, donde ademas se observa el nivel piezometrico a 3.5 m de profundidad.

Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por: F. Peña , W. Ng Fecha: 26/11/2011 Hora 11:20

INGEMMET
Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

FORMATO

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Código	: DGAR/F-141
Versión	: 00
Aprobado por	: DGAR
Fecha aprob.	: 01 ABR. 2009
Página	: 1 de 1

Código:	IRHS - 001 - MOQ	**Nombre:**	Biondi

UBICACIÓN

Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Omo	Longitud:	289058
Distrito:	Moquegua	Latitud:	8092952
Provincia:	Mariscal Nieto	Altitud:	1207
Departamento:	Moquegua	Datum: WGS - 84	Zona: 19S

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente:	Tº Agua (Cº):	21.80	Descripción del entorno	
Pozo	Tº Ambiente (Cº):			
	pH:	7.01	Intrusivo	-
N.P. (m)	Oxígeno Disuelto:		Volcánico	-
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	3470.00	Metamórfico	-
Vertiente	TDS (mg/l):	1700.00	Sedimentario	-
Pacífico	Color:	Incoloro	Dep. Superficial	X
	Olor:	Inodoro	Geomorfología	
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología	Piso de valle
Cuenca Ilo - Moquegua	Caudal (l/s):		Pendiente (°)	10
	Uso:	Agricola , Industrial	Uso del Terreno	
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano	-
	-	Químico, Isotópico	Rural	X
			Otro:	Zona Agricola e Industrial

Foto:

Croquis de Ubicación

Observaciones:

Pozo IRHS - 001 MOQ, ubicado en la hacienda Biondi, curiosamente se midio alto contenido de sales (CE = 3470 µS/cm), lo cual interpretamos que se atribuye a la explotacion excesiva o al contacto de fertilizantes y plagiucidas con el agua subeterranea.

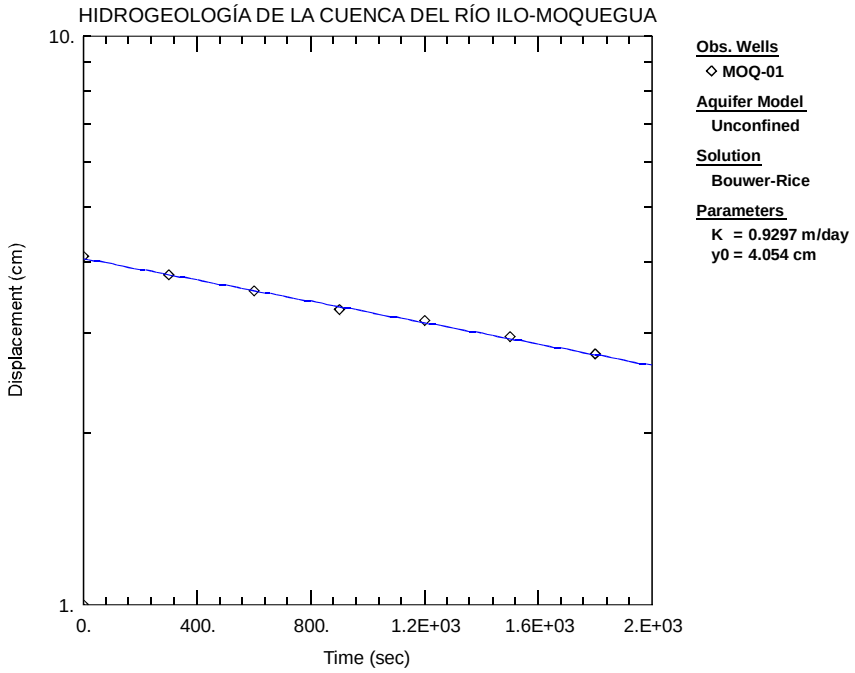
Detalle

Referentes Geográficos

Inventariado por:	F. Peña , W. Ng	Fecha:	26/11/2011	Hora	13:30

ANEXO IV

- CÁLCULO DE PERMEABILIDAD.



ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA

DATA Set D:\...\ MOQ-01.aqt
Date: 20/09/2013

PROJECT INFORMATION

Company: INGEMMET
Project: GA-27
Locatión: Moquegua
Test well: Moquegua-01
Test Date: 24/04/2008

ACUIFER DATA

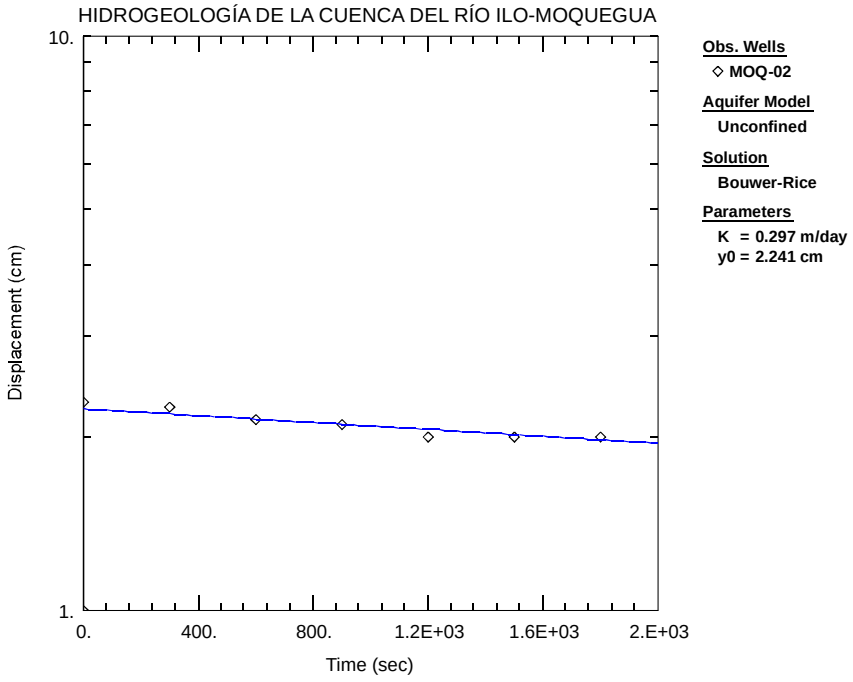
Saturated Thickness: 60 cm
Anisotrpy Ratio (kz/kr) : 1
Lithology: Lavas andesíticas fracturadas
Training: Grupo Barroso

WELL DATA (MOQ-01)

Initial Displacement :
Static water column height : 60 cm
Penetration Depth : 8 cm
Pipe length : 60 cm
Casing Radius : 2.54 cm
Diameter : 5.08 cm

SOLUTION

Acuifer Model : Unconfined
Solution Method: Bouwer-Rice
K = 0.9297 m/dia
y0 = 4.054 cm



ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA

DATA Set D:\...\ MOQ-02.aqt
Date: 20/09/2013

PROJECT INFORMATION

Company: INGEMMET
Project: GA-27
Locatión: Moquegua
Test well: Moquegua-02
Test Date: 25/04/2008

ACUIFER DATA

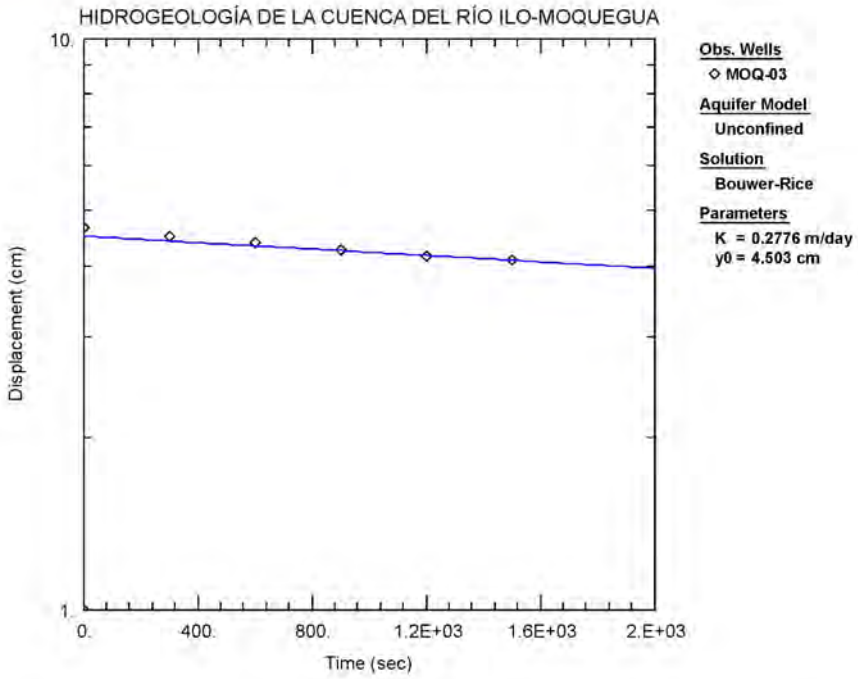
Saturated Thickness: 60 cm
Anisotrpy Ratio (kz/kr) : 1
Lithology: Tobas volcánicas fracturadas
Training: Grupo Barroso

WELL DATA (MOQ-02)

Initial Displacement :
Static water column height : 60 cm
Penetration Depth : 9 cm
Pipe length : 60 cm
Casing Radius : 2.54 cm
Diameter : 5.08 cm

SOLUTION

Acuifer Model : Unconfined
Solution Method: Bouwer-Rice
K = 0.297 m/dia
y0 = 2.241 cm



ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA

DATA Set D:\...\ MOQ-03.aqt
Date: 20/09/2013

PROJECT INFORMATION

Company: INGEMMET
Project: GA-27
Location: Moquegua
Test well: Moquegua-03
Test Date: 06/05/2008

ACUIFER DATA

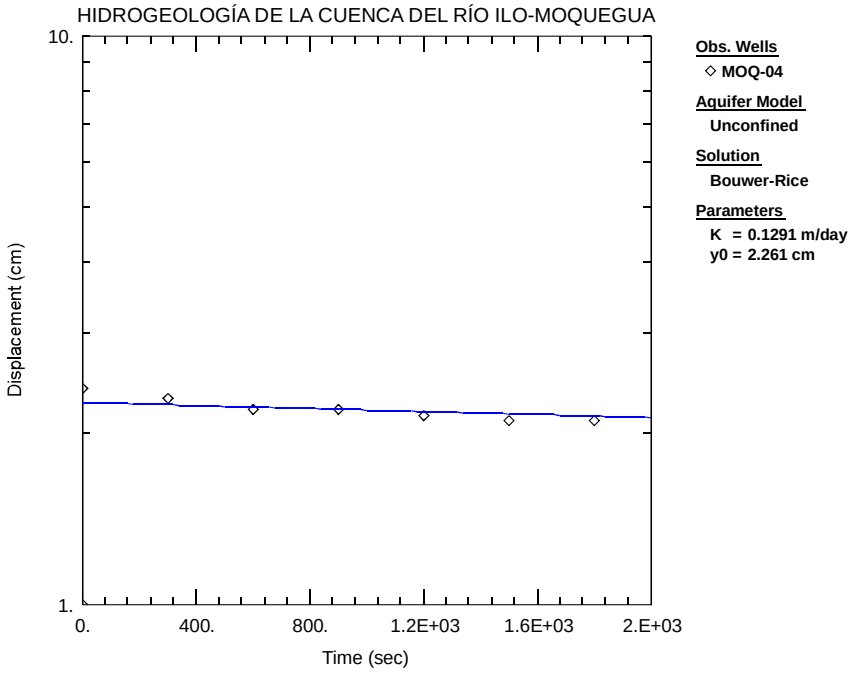
Saturated Thickness: 60 cm
Anisotrpy Ratio (kz/kr) : 1
Lithology: Tobas poco fracturadas
Training: Grupo Toquepala

WELL DATA (MOQ-03)

Initial Displacement :
Static water column height : 60 cm
Penetration Depth : 7.5 cm
Pipe length : 60 cm
Casing Radius : 2.54 cm
Diameter : 5.08 cm

SOLUTION

Acuifer Model : Unconfined
Solution Method: Bouwer-Rice
K = 0.2776 m/dia
y0 = 4.503 cm



ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA

DATA Set D:\...\ MOQ-04.aqt
Date: 20/09/2013

PROJECT INFORMATION

Company: INGEMMET
Project: GA-27
Locatión: Moquegua
Test well: Moquegua-04
Test Date: 07/05/2008

ACUIFER DATA

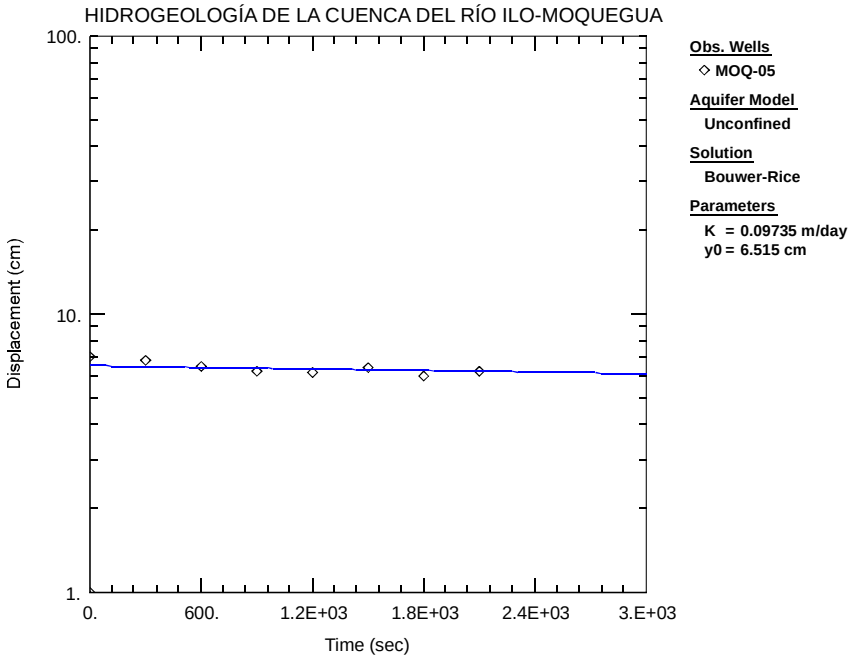
Saturated Thickness: 60 cm
Anisotrpy Ratio (kz/kr) : 1
Lithology: Lavas andesíticas compactas
Training: Grupo Toquepala

WELL DATA (MOQ-04)

Initial Displacement :
Static water column height : 60 cm
Penetration Depth : 8.5 cm
Pipe length : 60 cm
Casing Radius : 2.54 cm
Diameter : 5.08 cm

SOLUTION

Acuifer Model : Unconfined
Solution Method: Bouwer-Rice
K = 0.1291 m/dia
y0 = 2.261 cm



ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA

DATA Set D:\...\ MOQ-05.aqt
Date: 20/09/2013

PROJECT INFORMATION

Company: INGEMMET
Project: GA-27
Locatión: Moquegua
Test well: Moquegua-05
Test Date: 07/05/2008

ACUIFER DATA

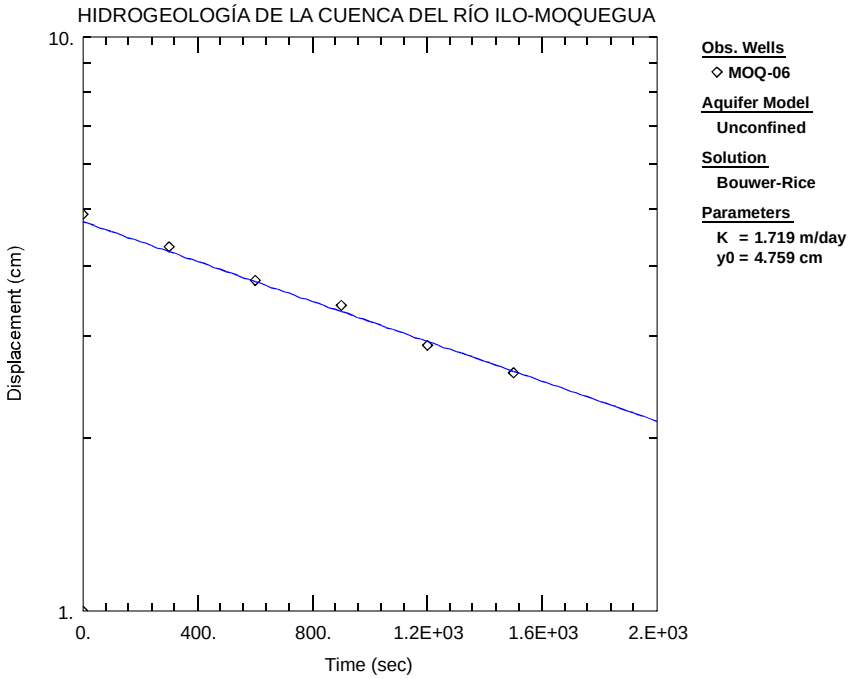
Saturated Thickness: 60 cm
Anisotrpy Ratio (kz/kr) : 1
Lithology: Material limo-arcilloso
Training: Formación Moquegua inferior

WELL DATA (MOQ-05)

Initial Displacement :
Static water column height : 60 cm
Penetration Depth : 11.5 cm
Pipe length : 60 cm
Casing Radius : 2.54 cm
Diameter : 5.08 cm

SOLUTION

Acuifer Model : Unconfined
Solution Method: Bouwer-Rice
K = 0.09735 m/dia
y0 = 6.515 cm



ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA

DATA Set D:\...\ MOQ-06.aqt
Date: 20/09/2013

PROJECT INFORMATION

Company: INGEMMET
Project: GA-27
Locatión: Moquegua
Test well: Moquegua-06
Test Date: 19/11/2011

ACUIFER DATA

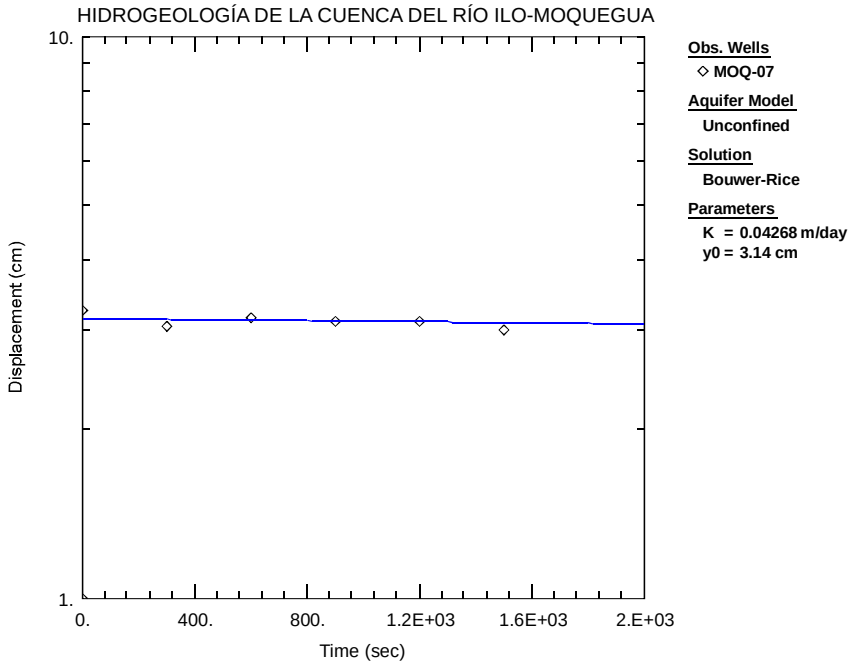
Saturated Thickness: 60 cm
Anisotrpy Ratio (kz/kr) : 1
Lithology: Grava con matriz areno-limosa
Training: Depósito Fluvioglaciar

WELL DATA (MOQ-06)

Initial Displacement :
Static water column height : 60 cm
Penetration Depth : 12.0 cm
Pipe length : 60 cm
Casing Radius : 2.54 cm
Diameter : 5.08 cm

SOLUTION

Acuifer Model : Unconfined
K = 1.719 m/dia
Solution Method: Bouwer-Rice
y0 = 4.759 cm



ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA

DATA Set D:\...\ MOQ-07.aqt
Date: 20/09/2013

PROJECT INFORMATION

Company: INGEMMET
Project: GA-27
Locatión: Moquegua
Test well: Moquegua-07
Test Date: 20/11/2011

ACUIFER DATA

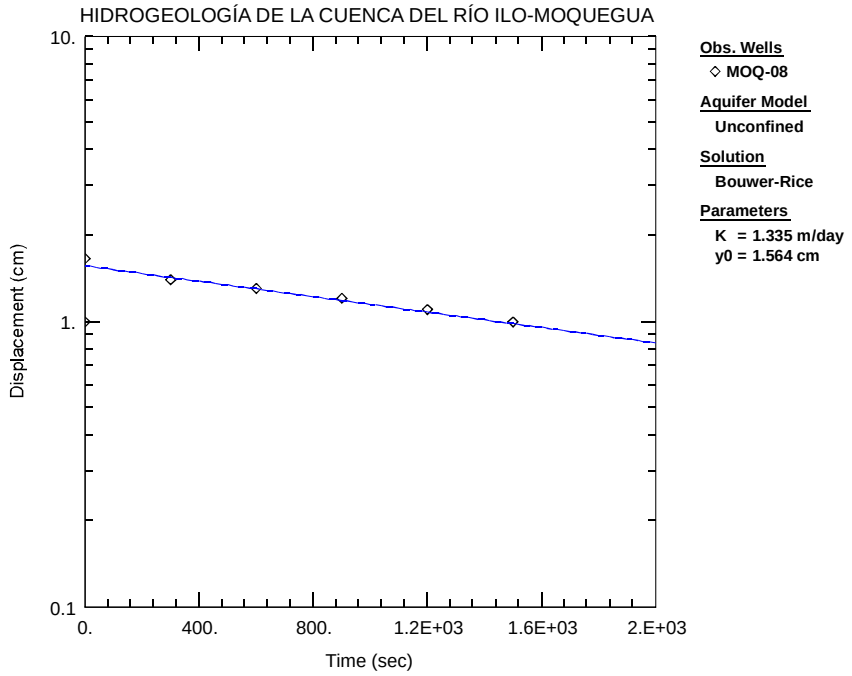
Saturated Thickness: 60 cm
Anisotrpy Ratio (kz/kr) : 1
Lithology: Toba lítica algo fracturada
Training: Formación Huaylillas

WELL DATA (MOQ-07)

Initial Displacement :
Static water column height : 60 cm
Penetration Depth : 4.0 cm
Pipe length : 60 cm
Casing Radius : 2.54 cm
Diameter : 5.08 cm

SOLUTION

Acuifer Model : Unconfined
Solution Method: Bouwer-Rice
K = 0.04268 m/dia
y0 = 3.14 cm



ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA

DATA Set D:\...\ MOQ-08.aqt
Date: 20/09/2013

PROJECT INFORMATION

Company: INGEMMET
Project: GA-27
Locatión: Moquegua
Test well: Moquegua-08
Test Date: 22/11/2011

ACUIFER DATA

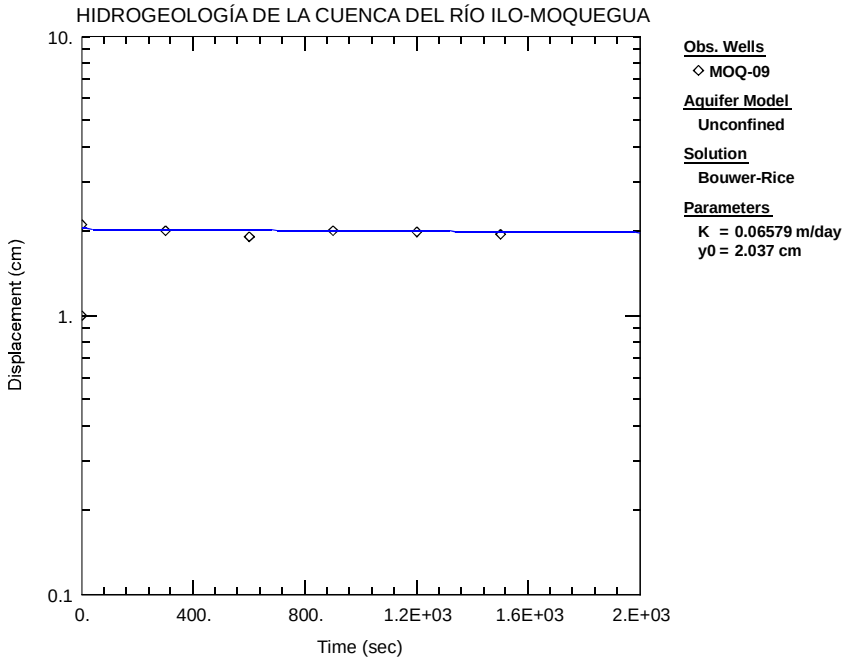
Saturated Thickness: 60 cm
Lithology: Lava andesítica
Anisotrpy Ratio (kz/kr) : 1
Training: Grupo Barroso

WELL DATA (MOQ-08)

Initial Displacement :
Penetration Depth : 2.5 cm
Casing Radius : 2.54 cm
Static water column height : 60 cm
Pipe length : 60 cm
Diameter : 5.08 cm

SOLUTION

Acuifer Model : Unconfined
K = 1.335 m/dia
Solution Method: Bouwer-Rice
y0 = 1.564 cm



ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA

DATA Set D:\...\ MOQ-09.aqt
Date: 20/09/2013

PROJECT INFORMATION

Company: INGEMMET
Project: GA-27
Locatión: Moquegua
Test well: Moquegua-09
Test Date: 22/11/2011

ACUIFER DATA

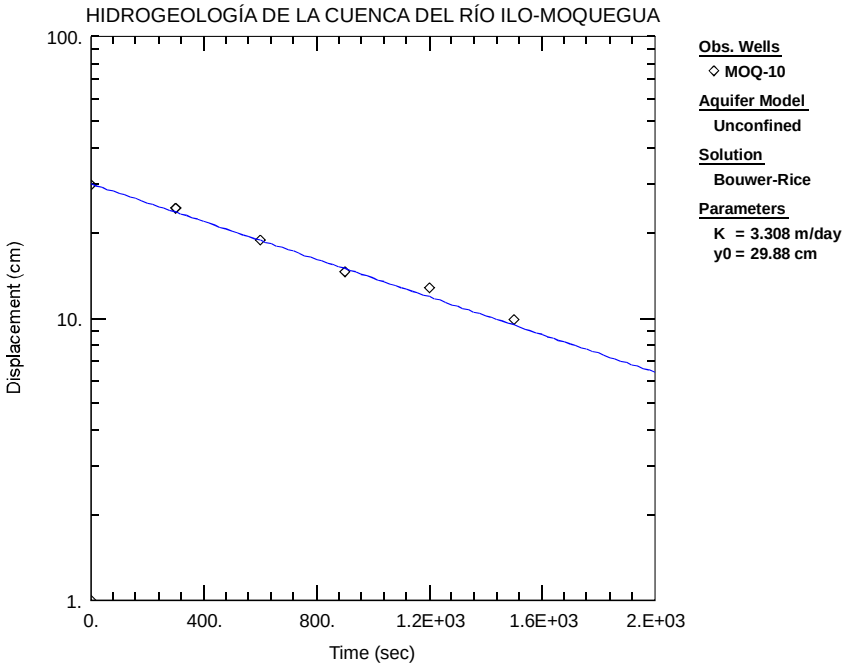
Saturated Thickness: 60 cm
Anisotrpy Ratio (kz/kr) : 1
Lithology: Tobas poco fracturadas
Training: Grupo Barroso

WELL DATA (MOQ-09)

Initial Displacement :
Static water column height : 60 cm
Penetration Depth : 3.5 cm
Pipe length : 60 cm
Casing Radius : 2.54 cm
Diameter : 5.08 cm

SOLUTION

Acuifer Model : Unconfined
Solution Method: Bouwer-Rice
K = 0.06579 m/dia
y0 = 2.037 cm



ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA

DATA Set D:\...\ MOQ-10.aqt
Date: 20/09/2013

PROJECT INFORMATION

Company: INGEMMET
Project: GA-27
Locatión: Moquegua
Test well: Moquegua-10
Test Date: 22/11/2011

ACUIFER DATA

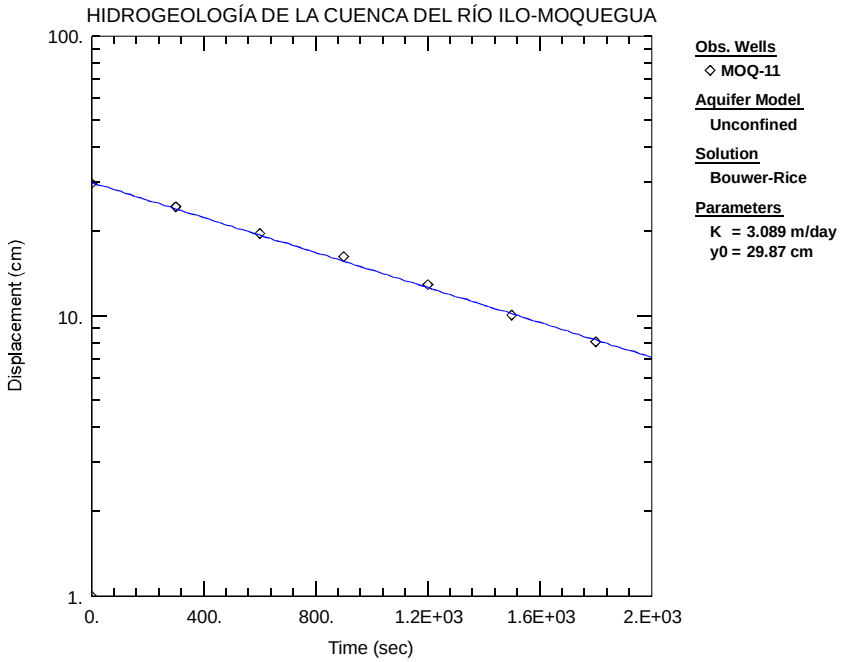
Saturated Thickness: 60 cm
Anisotrpy Ratio (kz/kr) : 1
Lithology: Grava suelta de matriz areno-limosa
Training: Depósito Morrénico

WELL DATA (MOQ-10)

Initial Displacement :
Static water column height : 60 cm
Penetration Depth : 13.5 cm
Pipe length : 60 cm
Casing Radius : 2.54 cm
Diameter : 5.08 cm

SOLUTION

Acuifer Model : Unconfined
Solution Method: Bouwer-Rice
K = 3.308 m/dia
y0 = 29.88 cm



ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA

DATA Set D:\...\ MOQ-11.aqt
Date: 20/09/2013

PROJECT INFORMATION

Company: INGEMMET
Project: GA-27
Locatión: Moquegua
Test well: Moquegua-11
Test Date: 25/11/2011

ACUIFER DATA

Saturated Thickness: 60 cm
Anisotrpy Ratio (kz/kr) : 1
Lithology: Conglomerado de matriz arenotufácea
Training: Formación Moquegua inferior

WELL DATA (MOQ-11)

Initial Displacement :
Static water column height : 60 cm
Penetration Depth : 11.5 cm
Pipe length : 60 cm
Casing Radius : 2.54 cm
Diameter : 5.08 cm

SOLUTION

Acuifer Model : Unconfined
Solution Method: Bouwer-Rice
K = 3.089 m/dia
y0 = 29.87 cm

ANEXO V

- ESTACIONES DE MUESTREO.
- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS.
- CATIONES MAYORITARIOS.
- ANIONES MAYORITARIOS.
- METALES DISUELTOS.
- PREDOMINANCIAS QUÍMICAS.

5.1 Estaciones de muestreo de fuentes							
N°	Código	Nombre	X	Y	Altura	Tipo de fuente	Laboratorio
1	131725-001	El Pacae (La Rinconada)	288154	8082721	1010	Manantial captado	INGEMMET
2	131726-004	Asana 3	341643	8116971	4830	Manantial	INSPECTORATE
3	131726-010	Asana 8	342580	8116016	4625	Punto de control	INSPECTORATE
4	131726-020	Chocamane 1	340081	8113832	4497	Manantial	INSPECTORATE
5	131726-024	Chiquihure	338024	8113176	4395	Manantial	INSPECTORATE
6	131726-027	Charaque 1	326297	8112117	3768	Punto de control	INSPECTORATE
7	131726-039	Altarani 5	335630	8104940	4320	Manantial	INSPECTORATE
8	131726-040	El Común	302825	8104119	1839	Manantial	INGEMMET
9	131726-042	Buenavista	302204	8103156	1776	Manantial	INGEMMET
10	131726-043	Río Tumilaca 2	301093	8101822	1704	Punto de control	INSPECTORATE
11	131726-044	Totoral	296396	8099511	1487	Pozo	INGEMMET
12	131728-003	Titijones	337382	8128967	4555	Manantial	INSPECTORATE
13	131728-006	Ojo de Agua	340852	8124705	4548	Manantial	INSPECTORATE
14	131728-009	Trinchera	334525	8122766	4640	Manantial	INSPECTORATE
15	131728-010	Totoral 2	323183	8121123	4009	Manantial	INSPECTORATE
16	131728-019	Lagunita 1	329618	8119548	4335	Manantial	INSPECTORATE
17	131728-022	Santos	328412	8118664	4240	Manantial	INSPECTORATE
18	131728-023	Agua potable Arundaya	326827	8118597	3971	Manantial captado	INGEMMET
19	131728-029	Laura	326756	8117731	4282	Manantial	INGEMMET
20	131728-031	Calera	323093	8116402	3979	Manantial	INSPECTORATE
21	131729-007	Uyunto 1	322140	8130874	4374	Manantial	INSPECTORATE
22	131729-008	Chilligua 1	329124	8130533	4616	Manantial	INSPECTORATE
23	131729-011	Huertalla 2	325672	8130107	4550	Manantial	INSPECTORATE
24	131729-017	Japu 1	323786	8128279	4501	Manantial	INSPECTORATE
25	131729-019	Jaco 2	321676	8128111	4306	Manantial	INGEMMET
26	131729-024	Agua grande	320140	8122915	4098	Manantial	INGEMMET
27	131729-025	Caracol	321277	8122670	4173	Manantial	INSPECTORATE
28	131729-029	Ladera	319230	8119580	3908	Manantial	INSPECTORATE
29	131729-036	Huaracane 1	293127	8100469	1397	Manantial	INGEMMET
30	IRHS-001-ILO	Pozo Ilo 1	251925	8049990	17	Pozo	INGEMMET
31	IRHS-001-MOQ	Biondi	289058	8092952	1207	Pozo	INGEMMET
32	IRHS-021	Algarrobal 1	258316	8049942	84	Pozo	INGEMMET
33	IRHS-70	Algarrobal 2	265111	8054583	205	Pozo	INGEMMET

5.2 Parámetros físico-químicos del inventario de fuentes						
N°	Nombre	Código	T (°C)	pH	CE (µS/cm)	TDS (mg/l)
1	Puerto Ilo	13171-001	26.2	7.49	4210.0	2062.0
2	El Pacae (La Rinconada)	131725-001	21.5	6.99	2598.0	1273.0
3	Pozo de Buitres	131725-002	16.2	8.16	1259.0	614.0
4	Surapatilla Grande	131726-001	4.0	8.28	46.8	23.0
5	Asana 1	131726-002	6.5	7.76	54.8	27.0
6	Asana 2	131726-003	4.9	8.97	120.8	59.0
7	Asana 3	131726-004	6.6	7.52	55.7	27.0
8	Asana 4	131726-005	11.8	7.48	244.0	121.0
9	Asana 5	131726-006	8.0	3.03	646.0	315.0
10	Panturane 4	131726-007	8.5	7.28	280.6	138.0
11	Asana 6	131726-008	9.1	5.90	262.0	129.0
12	Asana 7	131726-009	5.2	4.21	531.0	251.0
13	Asana 8	131726-010	7.2	7.93	42.9	21.0
14	Panturane 1	131726-011	10.0	4.35	554.0	267.0
15	Asana 9	131726-012	5.4	8.82	46.2	23.0
16	Panturane 2	131726-013	13.0	4.64	551.0	266.0
17	Huañuma 3	131726-014	11.7	7.41	66.6	33.0
18	Panturane 3	131726-015	19.4	6.73	668.0	327.0
19	Asana 10	131726-016	10.0	7.30	26.0	23.0
20	Huañuma 1	131726-017	9.0	9.10	85.4	44.0
21	Huañuma 2	131726-018	8.0	7.87	39.4	19.0
22	Asana 11	131726-019	14.9	8.41	199.1	98.0
23	Chocamane 1	131726-020	13.6	7.40	901.0	447.0
24	Chocamane 2	131726-021	6.0	7.84	154.3	75.0
25	Panturane 5	131726-022	4.3	6.99	153.6	74.0
26	Asana 12	131726-023	17.3	9.02	207.2	102.0
27	Chiquihure	131726-024	12.6	8.05	221.3	108.0
28	Panturane 6	131726-025	9.0	8.02	361.0	175.0
29	Chocamane 3	131726-026	12.0	7.25	255.0	124.0
30	Charaque 1	131726-027	10.3	7.70	53.5	26.0
31	Charaque 2	131726-028	14.1	8.01	50.2	25.0
32	Viña Blanca	131726-029	6.7	8.07	131.7	65.0
33	Charaque 3	131726-030	20.0	8.15	83.6	41.0
34	Altarani 1	131726-031	17.7	6.57	131.5	65.0
35	Río Asana	131726-032	10.6	6.94	129.7	64.0
36	Altarani 2	131726-033	8.4	7.60	43.8	21.5
37	Altarani 3	131726-034	8.4	7.45	23.9	11.5
38	Río Tumilaca 1	131726-035	9.5	7.86	205.0	101.0
39	El Rincón	131726-036	8.5	7.79	208.0	103.0
40	Porquene	131726-037	13.1	8.59	3650.0	1791.0
41	Altarani 4	131726-038	9.2	8.25	32.8	16.0

5.2 Parámetros físico-químicos del inventario de fuentes (continuación)						
N°	Nombre	Código	T (°C)	pH	CE (µS/cm)	TDS (mg/L)
42	Altarani 5	131726-039	9.3	6.95	31.3	15.0
43	El Común	131726-040	19.7	6.95	454.0	223.0
44	Río Capillune	131726-041	16.3	7.38	42.4	21.0
45	Buenavista	131726-042	18.9	7.45	498.0	244.0
46	Río Tumilaca 2	131726-043	18.6	7.90	299.0	146.0
47	Totoral	131726-044	21.8	6.81	696.0	341.0
48	Chaquirine 1	131728-001	14.6	9.86	484.0	239.0
49	Chaquirine 2	131728-002	13.5	9.70	70.4	34.0
50	Titijones	131728-003	16.5	7.92	71.3	35.0
51	Tiehirohuma	131728-004	10.6	8.48	78.6	39.0
52	Umajalso	131728-005	3.3	7.80	115.4	55.5
53	Ojo de Agua	131728-006	9.2	8.01	70.7	35.0
54	Cañojahuira 1	131728-007	12.1	8.54	115.8	56.0
55	Cañojahuira 2	131728-008	13.1	8.38	84.4	22.0
56	Trinchera	131728-009	5.8	7.90	62.8	31.0
57	Totoral 2	131728-010	11.5	9.03	42.4	21.0
58	Arundaya 1	131728-011	9.7	7.22	162.6	80.0
59	Arundaya 2	131728-012	5.8	7.88	69.8	34.0
60	Arundaya 5	131728-013	1.9	7.30	307.0	152.0
61	Quebrada Arundaya	131728-014	8.7	8.68	286.0	141.0
62	Arundaya 3	131728-015	6.9	7.62	82.6	41.0
63	Arundaya 4	131728-016	5.0	6.94	49.9	25.0
64	Apacheta Limani	131728-017	13.4	11.04	146.9	72.0
65	Arundaya 6	131728-018	6.2	8.19	42.7	21.0
66	Lagunita 1	131728-019	11.8	8.27	62.8	31.0
67	Lagunita 2	131728-020	4.6	8.01	62.6	31.0
68	Malpaso	131728-021	4.7	7.80	131.6	65.0
69	Santos	131728-022	8.9	7.78	40.9	20.0
70	Agua potable Arundaya	131728-023	17.0	7.10	343.0	168.0
71	Quebrada Ancoaque	131728-024	7.3	8.25	60.7	30.0
72	Corral Blanco 1	131728-025	8.1	7.88	55.9	27.0
73	Corral Blanco 2	131728-026	9.3	8.27	49.8	24.5
74	Sayrane 1	131728-027	2.9	8.37	222.0	109.0
75	Corral Blanco 3	131728-028	9.2	9.10	51.3	25.5
76	Laura	131728-029	11.3	8.17	55.7	27.0
77	Sayrane 2	131728-030	14.1	7.81	110.0	54.0
78	Calera	131728-031	8.4	7.35	97.8	48.0
79	Río Torata	131728-032	9.1	8.30	208.0	102.0
80	Jorge Chávez 1	131728-033	21.9	7.92	681.0	334.0
81	Jorge Chávez 2	131728-034	22.0	7.78	1199.0	587.0
82	Quello Apacheta	131729-001	6.9	7.91	8.4	4.0

5.2 Parámetros físico-químicos del inventario de fuentes (continuación)						
N°	Nombre	Código	T (°C)	pH	CE (µS/cm)	TDS (mg/L)
83	Chilligua 2	131729-002	13.9	8.47	135.3	66.0
84	Uyunto 2	131729-003	20.6	8.25	99.7	49.0
85	Sajeno 1	131729-004	7.6	8.83	179.7	86.0
86	Uyunto 4	131729-005	12.8	9.00	84.2	41.0
87	Uyunto 3	131729-006	16.1	7.60	92.8	45.0
88	Uyunto 1	131729-007	14.4	8.27	120.3	59.0
89	Chilligua 1	131729-008	7.2	8.63	87.3	43.0
90	Quebrada Chilligua	131729-009	13.2	7.17	76.4	37.0
91	Huertalla 1	131729-010	14.7	8.92	72.3	36.0
92	Huertalla 2	131729-011	9.4	8.40	92.2	45.0
93	Chilligua 3	131729-012	7.6	8.70	13.5	6.5
94	Apacheta Amarilla 1	131729-013	6.9	7.98	45.0	22.0
95	El Cruce	131729-014	7.8	7.93	68.5	34.0
96	Huertalla 3	131729-015	8.6	8.44	28.4	14.0
97	Apacheta Amarilla 2	131729-016	7.3	8.40	33.3	16.0
98	Japu 1	131729-017	7.1	6.75	93.1	46.0
99	Jaco 1	131729-018	8.9	7.83	67.3	33.0
100	Jaco 2	131729-019	9.2	7.37	79.2	39.0
101	Huertalla 4	131729-020	8.6	7.83	28.4	14.0
102	Achupalla	131729-021	14.2	7.81	57.8	28.0
103	Escalera	131729-022	7.6	8.17	69.3	34.0
104	Huaytabe Trampas	131729-023	10.9	8.26	79.3	39.0
105	Agua grande	131729-024	9.6	8.35	47.6	23.0
106	Caracol	131729-025	13.8	7.18	52.0	25.0
107	Cuellar	131729-026	1.9	7.87	100.5	49.0
108	Quelaquelani	131729-027	10.2	7.70	124.1	61.0
109	Calapujio	131729-028	14.7	8.09	125.4	61.0
110	Ladera	131729-029	14.4	7.40	106.4	52.0
111	Otora	131729-030	8.6	7.89	379.0	187.0
112	Río Chujulay 1	131729-031	7.4	8.30	98.2	44.0
113	Paralaque	131729-032	9.6	8.17	171.7	84.0
114	Río Chujulay 3	131729-033	11.4	8.40	380.0	182.0
115	Canal	131729-034	15.2	7.60	507.0	248.0
116	Río Chujulay	131729-035	19.5	8.50	627.0	307.0
117	Huaracane 1	131729-036	21.3	6.82	752.0	368.0
118	Pozo Ilo 1	IRHS-001 - ILO	22.0	6.95	2325.0	1139.0
119	Biondi	IRHS-001-MOQ	21.8	7.01	3470.0	1700.0
120	Algarrobal 1	IRHS-021	23.0	7.10	2012.0	986.0
121	Algarrobal 2	IRHS-70	23.8	7.10	2104.0	1031.0

5.3 Resultados de análisis químico: Cationes						
N°	Nombre	Código	Cationes (mg/L)			
			Ca	K	Mg	Na
1	El Pacae - La Rinconada	131725-001	361.700	8.600	35.400	191.000
2	Uyunto 1	131729-007	10.913	3.297	4.752	6.322
3	Chilligua 1	131729-008	3.605	4.545	0.875	8.151
4	Qda. Huertalla	131729-011	8.580	2.628	2.557	5.393
5	Titijones	131728-003	6.370	3.274	3.330	2.944
6	Japu	131729-017	6.577	2.606	1.541	3.625
7	Ojo de Agua	131728-006	5.415	2.290	1.924	4.385
8	Trinchera	131728-009	3.215	3.051	1.459	4.047
9	Caracol	131729-025	4.171	2.556	0.919	2.448
10	Totoral 2	131728-010	4.978	3.094	1.266	2.903
11	Ladera	131729-029	10.581	3.390	2.521	6.598
12	Tarucane	131728-019	8.505	2.568	2.218	7.451
13	Santos	131728-022	9.864	3.374	1.979	50.537
14	Calera	131728-031	6.642	3.168	1.595	6.442
15	Jaco 2	131729-019	5.700	2.900	1.200	6.100
16	Agua Grande	131729-024	3.900	2.600	0.900	3.000
17	Huaracane 1	131729-036	81.200	7.200	1.200	58.100
18	Laura	131728-029	4.300	2.200	1.200	4.400
19	Agua Potable Arundaya	131728-023	7.600	3.200	1.800	59.600
20	Asana 1	131726-004	2.709	1.727	1.079	3.914
21	Asana 2	131726-010	20.035	2.178	4.473	5.934
22	Chocamane	131726-020	23.839	3.654	6.998	6.701
23	Chiquihure	131726-024	15.732	2.249	2.933	8.060
24	Charaque	131726-027	5.502	3.039	1.653	4.827
25	Altarani	131726-039	3.341	2.557	1.017	3.650
26	Jimenez	131726-043	2.887	2.365	0.776	3.648
27	El Común	131726-040	59.100	2.700	7.200	26.000
28	Buenavista	131726-042	59.800	3.100	7.700	35.900
29	Totoral	131726-044	94.200	4.100	12.500	39.000
30	Pozo Ilo 1	IRHS-001-ILO	237.000	10.900	31.300	215.200
31	Pozo Moquegua 1	IRHS-001-MOQ	404.900	8.100	37.100	318.500
32	Pozo Algarrobal 1	IRHS-021	212.100	10.100	27.500	177.900
33	Pozo Algarrobal 2	IRHS-70	211.500	10.900	31.600	198.700

5.4 Resultados de análisis químico: Aniones							
N°	Nombre	Código	Aniones (mg/L)				
			Cl	CO_3	HCO_3	NO_3	SO_4
1	El Pacae - La Rinconada	131725-001	254.6	N.D	429	5.99	781.6
2	Uyunto 1	131729-007	2.2	N.D	62	-	3.2
3	Chilligua 1	131729-008	1	N.D	26.9	-	3.6
4	Qda. Huertalla	131729-011	1.5	N.D	29.9	-	13.2
5	Titijones	131728-003	2.6	N.D	25.7	-	6.0
6	Japu	131729-017	1.2	N.D	20	-	10.3
7	Ojo de Agua	131728-006	1.3	N.D	20.1	-	9.2
8	Trinchera	131728-009	2.1	N.D	19.8	-	5.5
9	Caracol	131729-025	1.2	N.D	20.1	-	0.6
10	Totoral 2	131728-010	1.4	N.D	24.1	-	2.7
11	Ladera	131729-029	3.9	N.D	44.6	-	4.1
12	Tarucane	131728-019	<1.0	N.D	37.4	-	7.8
13	Santos	131728-022	33.5	N.D	38.2	-	53.6
14	Calera	131728-031	2.8	N.D	25.9	-	5.2
15	Jaco 2	131729-019	0.52	N.D	28.79	1.53	11.64
16	Agua Grande	131729-024	≤0.5	N.D	26.03	≤1	≤2
17	Huaracane 1	131729-036	71.51	N.D	131.8	12.68	175.4
18	Laura	131728-029	0.57	N.D	31.4	1.32	2.96
19	Agua Potable Arundaya	131728-023	36.51	N.D	50.31	<1.0	78.33
20	Asana 1	131726-004	1.1	N.D	19.4	-	4.1
21	Asana 2	131726-010	<1.0	N.D	18.9	-	61.0
22	Chocamane	131726-020	1.4	N.D	19.8	-	74.8
23	Chiquihure	131726-024	1.2	N.D	20.1	-	37.9
24	Charaque	131726-027	1.1	N.D	21.1	-	9.0
25	Altarani	131726-039	1.4	N.D	20.1	-	1.5
26	Jimenez	131726-043	1.5	N.D	19.8	-	1.8
27	El Común	131726-040	14.94	N.D	120	5.17	123.0
28	Buenavista	131726-042	23.6	N.D	133.7	<1.0	132.9
29	Totoral	131726-044	53.33	N.D	128.1	24.9	163.1
30	Pozo Ilo 1	IRHS-001-ILO	277.1	N.D	303.1	<1.0	517.1
31	Pozo Moquegua 1	IRHS-001-MOQ	588.3	N.D	224.4	98.34	741.1
32	Pozo Algarrobal 1	IRHS-021	243.5	N.D	280.4	<1.0	408.3
33	Pozo Algarrobal 2	IRHS-70	291.1	N.D	215.8	1.31	448.6

5.5 Valores de los principales cationes de las fuentes muestreadas en la cuenca del río Ilo-Moquegua

N	Código	Nombre	X	Y	Altura	Tipo de fuente	Cationes (mg/L)				Cationes (meq/L)				Laboratorio
							Ca	K	Mg	Na	Ca	K	Mg	Na	
1	131725-001	El Pacae (La Rinconada)	288154	8082721	1010	MC	361.700	8.600	35.400	191.000	18.085	0.221	2.950	8.304	INGEMMET
2	131726-004	Asana 3	341643	8116971	4830	M	2.709	1.727	1.079	3.914	0.135	0.044	0.090	0.170	INSPECTORATE
3	131726-010	Asana 8	342580	8116016	4625	PC	20.035	2.178	4.473	5.934	1.002	0.056	0.373	0.258	INSPECTORATE
4	131726-020	Chocamane 1	340081	8113832	4497	M	23.839	3.654	6.998	6.701	1.192	0.094	0.583	0.291	INSPECTORATE
5	131726-024	Chiquihure	338024	8113176	4395	M	15.732	2.249	2.933	8.060	0.787	0.058	0.244	0.350	INSPECTORATE
6	131726-027	Charaque 1	326297	8112117	3768	PC	5.502	3.039	1.653	4.827	0.275	0.078	0.138	0.210	INSPECTORATE
7	131726-039	Altarani 5	335630	8104940	4320	M	3.341	2.557	1.017	3.650	0.167	0.066	0.085	0.159	INSPECTORATE
8	131726-040	El Común	302825	8104119	1839	M	59.100	2.700	7.200	26.000	2.955	0.069	0.600	1.130	INGEMMET
9	131726-042	Buenavista	302204	8103156	1776	M	59.800	3.100	7.700	35.900	2.990	0.079	0.642	1.561	INGEMMET
10	131726-043	Río Tumilaca 2	301093	8101822	1704	PC	2.887	2.365	0.776	3.648	0.144	0.061	0.065	0.159	INSPECTORATE
11	131726-044	Totoral	296396	8099511	1487	P	94.200	4.100	12.500	39.000	4.710	0.105	1.042	1.696	INGEMMET
12	131728-003	Titijones	337382	8128967	4555	M	6.370	3.274	3.330	2.944	0.319	0.084	0.278	0.128	INSPECTORATE
13	131728-006	Ojo de Agua	340852	8124705	4548	M	5.415	2.290	1.924	4.385	0.271	0.059	0.160	0.191	INSPECTORATE
14	131728-009	Trinchera	334525	8122766	4640	M	3.215	3.051	1.459	4.047	0.161	0.078	0.122	0.176	INSPECTORATE
15	131728-010	Totoral 2	323183	8121123	4009	M	4.978	3.094	1.266	2.903	0.249	0.079	0.105	0.126	INSPECTORATE
16	131728-019	Lagunita 1	329618	8119548	4335	M	8.505	2.568	2.218	7.451	0.425	0.066	0.185	0.324	INSPECTORATE
17	131728-022	Santos	328412	8118664	4240	M	9.864	3.374	1.979	50.537	0.493	0.087	0.165	2.197	INSPECTORATE
18	131728-023	Agua potable Arundaya	326827	8118597	3971	MC	7.600	3.200	1.800	59.600	0.380	0.082	0.150	2.591	INGEMMET
19	131728-029	Laura	326756	8117731	4282	M	4.300	2.200	1.200	4.400	0.215	0.056	0.100	0.191	INGEMMET
20	131728-031	Calera	323093	8116402	3979	M	6.642	3.168	1.595	6.442	0.332	0.081	0.133	0.280	INSPECTORATE
21	131729-007	Uyunto 1	322140	8130874	4374	M	10.913	3.297	4.752	6.322	0.546	0.085	0.396	0.275	INSPECTORATE
22	131729-008	Chilligua 1	329124	8130533	4616	M	3.605	4.545	0.875	8.151	0.180	0.117	0.073	0.354	INSPECTORATE
23	131729-011	Huertalla 2	325672	8130107	4550	M	8.580	2.628	2.557	5.393	0.429	0.067	0.213	0.234	INSPECTORATE
24	131729-017	Japu 1	323786	8128279	4501	M	6.577	2.606	1.541	3.625	0.329	0.067	0.128	0.158	INSPECTORATE
25	131729-019	Jaco 2	321676	8128111	4306	M	5.700	2.900	1.200	6.100	0.285	0.074	0.100	0.265	INGEMMET
26	131729-024	Agua grande	320140	8122915	4098	M	3.900	2.600	0.900	3.000	0.195	0.067	0.075	0.130	INGEMMET
27	131729-025	Caracol	321277	8122670	4173	M	4.171	2.556	0.919	2.448	0.209	0.066	0.077	0.106	INSPECTORATE
28	131729-029	Ladera	319230	8119580	3908	M	10.581	3.390	2.521	6.598	0.529	0.087	0.210	0.287	INSPECTORATE
29	131729-036	Huaracane 1	293127	8100469	1397	M	81.200	7.200	1.200	58.100	4.060	0.185	0.100	2.526	INGEMMET
30	IRHS-001-ILO	Pozo Ilo 1	251925	8049990	17	P	237.000	10.900	31.300	215.200	11.850	0.279	2.608	9.357	INGEMMET
31	IRHS-001-MOQ	Biondi	289058	8092952	1207	P	404.900	8.100	37.100	318.500	20.245	0.208	3.092	13.848	INGEMMET
32	IRHS-021	Algarrobal 1	258316	8049942	84	P	212.100	10.100	27.500	177.900	10.605	0.259	2.292	7.735	INGEMMET
33	IRHS-70	Algarrobal 2	265111	8054583	205	P	211.500	10.900	31.600	198.700	10.575	0.279	2.633	8.639	INGEMMET

5.6 Valores de los principales aniones de las fuentes muestreadas en la cuenca del río Ilo-Moquegua

N	Código	Nombre	X	Y	Altura	Tipo de fuente	Aniones (mg/L)				Aniones (meq/L)				Laboratorio
							Cl	CO_3	HCO_3	SO_4	Cl	CO_3	HCO_3	SO_4	
1	131725-001	El Pacae (La Rinconada)	288154	8082721	1010	MC	254.60	N.D	429.00	781.60	7.172	-	7.033	16.283	INGEMMET
2	131726-004	Asana 3	341643	8116971	4830	M	1.10	N.D	19.40	4.10	0.031	-	0.318	0.085	INSPECTORATE
3	131726-010	Asana 8	342580	8116016	4625	PC	<1.0	N.D	18.90	61.00	<0.028	-	0.310	1.271	INSPECTORATE
4	131726-020	Chocamane 1	340081	8113832	4497	M	1.40	N.D	19.80	74.80	0.039	-	0.325	1.558	INSPECTORATE
5	131726-024	Chiquihure	338024	8113176	4395	M	1.20	N.D	20.10	37.90	0.034	-	0.330	0.790	INSPECTORATE
6	131726-027	Charaque 1	326297	8112117	3768	PC	1.10	N.D	21.10	9.00	0.031	-	0.346	0.188	INSPECTORATE
7	131726-039	Altarani 5	335630	8104940	4320	M	1.40	N.D	20.10	1.50	0.039	-	0.330	0.031	INSPECTORATE
8	131726-040	El Común	302825	8104119	1839	M	14.94	N.D	120.00	123.00	0.421	-	1.967	2.563	INGEMMET
9	131726-042	Buenavista	302204	8103156	1776	M	23.60	N.D	133.70	132.90	0.665	-	2.192	2.769	INGEMMET
10	131726-043	Río Tumilaca 2	301093	8101822	1704	PC	1.50	N.D	19.80	1.80	0.042	-	0.325	0.038	INSPECTORATE
11	131726-044	Totoral	296396	8099511	1487	P	53.33	N.D	128.10	163.10	1.502	-	2.100	3.398	INGEMMET
12	131728-003	Titijones	337382	8128967	4555	M	2.60	N.D	25.70	6.00	0.073	-	0.421	0.125	INSPECTORATE
13	131728-006	Ojo de Agua	340852	8124705	4548	M	1.30	N.D	20.10	9.20	0.037	-	0.330	0.192	INSPECTORATE
14	131728-009	Trinchera	334525	8122766	4640	M	2.10	N.D	19.80	5.50	0.059	-	0.325	0.115	INSPECTORATE
15	131728-010	Totoral 2	323183	8121123	4009	M	1.40	N.D	24.10	2.70	0.039	-	0.395	0.056	INSPECTORATE
16	131728-019	Lagunita 1	329618	8119548	4335	M	<1.0	N.D	37.40	7.80	<0.028	-	0.613	0.163	INSPECTORATE
17	131728-022	Santos	328412	8118664	4240	M	33.50	N.D	38.20	53.60	0.944	-	0.626	1.117	INSPECTORATE
18	131728-023	Agua potable Arundaya	326827	8118597	3971	MC	36.51	N.D	50.31	78.33	1.028	-	0.825	1.632	INGEMMET
19	131728-029	Laura	326756	8117731	4282	M	0.57	N.D	31.40	2.96	0.016	-	0.515	0.062	INGEMMET
20	131728-031	Calera	323093	8116402	3979	M	2.80	N.D	25.90	5.20	0.079	-	0.425	0.108	INSPECTORATE
21	131729-007	Uyunto 1	322140	8130874	4374	M	2.20	N.D	62.00	3.20	0.062	-	1.016	0.067	INSPECTORATE
22	131729-008	Chilligua 1	329124	8130533	4616	M	1.00	N.D	26.90	3.60	0.028	-	0.441	0.075	INSPECTORATE
23	131729-011	Huertalla 2	325672	8130107	4550	M	1.50	N.D	29.90	13.20	0.042	-	0.490	0.275	INSPECTORATE
24	131729-017	Japu 1	323786	8128279	4501	M	1.20	N.D	20.00	10.30	0.034	-	0.328	0.215	INSPECTORATE
25	131729-019	Jaco 2	321676	8128111	4306	M	0.52	N.D	28.79	11.64	0.015	-	0.472	0.243	INGEMMET
26	131729-024	Agua grande	320140	8122915	4098	M	≤0.5	N.D	26.03	≤2	<0.014	-	0.427	<0.042	INGEMMET
27	131729-025	Caracol	321277	8122670	4173	M	1.20	N.D	20.10	0.60	0.034	-	0.330	0.013	INSPECTORATE
28	131729-029	Ladera	319230	8119580	3908	M	3.90	N.D	44.60	4.10	0.110	-	0.731	0.085	INSPECTORATE
29	131729-036	Huaracane 1	293127	8100469	1397	M	71.51	N.D	131.80	175.40	2.014	-	2.161	3.654	INGEMMET
30	IRHS-001-ILO	Pozo Ilo 1	251925	8049990	17	P	277.10	N.D	303.10	517.10	7.806	-	4.969	10.773	INGEMMET
31	IRHS-001-MOQ	Biondi	289058	8092952	1207	P	588.30	N.D	224.40	741.10	16.572	-	3.679	15.440	INGEMMET
32	IRHS-021	Algarrobal 1	258316	8049942	84	P	243.50	N.D	280.40	408.30	6.859	-	4.597	8.506	INGEMMET
33	IRHS-70	Algarrobal 2	265111	8054583	205	P	291.10	N.D	215.80	448.60	8.200	-	3.538	9.346	INGEMMET

5.7 Resultados de análisis químico: Metales disueltos																		
N°	Nombre	Código	Metales disueltos (mg/L)															
			Al(dis)	As(dis)	B(dis)	Ba(dis)	Be(dis)	Bi(dis)	Cd(dis)	Ce(dis)	Co(dis)	Cr(dis)	Cu(dis)	F	Fe(dis)	Hg(dis)	La(dis)	Li(dis)
1	El Pacae - La Rinconada	131725-001	≤0.02	≤0.01	-	0.058	-	≤0.1	≤0.001	-	0.002	≤0.02	≤0.003	<0.5	0.08	-	-	0.082
2	Uyunto 1	131729-007	0.006	<0.0004	0.023	0.037	<0.0003	<0.0003	<0.0002	<0.0003	<0.0002	0.001	0.001	-	0.046	<0.0001	<0.0002	<0.0012
3	Chilligua 1	131729-008	0.007	0.001	0.010	0.007	<0.0003	<0.0003	<0.0002	<0.0003	<0.0002	<0.0005	<0.0001	-	<0.0031	<0.0001	<0.0002	<0.0012
4	Qda. Huertalla	131729-011	0.006	0.000	0.012	0.017	<0.0003	<0.0003	<0.0002	<0.0003	<0.0002	<0.0005	<0.0001	-	<0.0031	<0.0001	<0.0002	<0.0012
5	Titijones	131728-003	0.005	0.001	0.039	0.015	<0.0003	<0.0003	<0.0002	<0.0003	<0.0002	<0.0005	<0.0001	-	<0.0031	<0.0001	<0.0002	<0.0012
6	Japu	131729-017	0.004	<0.0004	0.009	0.011	<0.0003	<0.0003	<0.0002	<0.0003	<0.0002	<0.0005	<0.0001	-	<0.0031	<0.0001	<0.0002	<0.0012
7	Ojo de Agua	131728-006	0.004	0.007	0.030	0.002	<0.0003	<0.0003	<0.0002	<0.0003	<0.0002	<0.0005	<0.0001	-	<0.0031	<0.0001	<0.0002	0.002
8	Trinchera	131728-009	0.006	<0.0004	0.045	0.012	<0.0003	<0.0003	<0.0002	<0.0003	<0.0002	<0.0005	0.001	-	0.134	<0.0001	<0.0002	<0.0012
9	Caracol	131729-025	0.004	0.001	0.019	0.006	<0.0003	<0.0003	<0.0002	<0.0003	<0.0002	<0.0005	<0.0001	-	<0.0031	<0.0001	<0.0002	<0.0012
10	Totoral 2	131728-010	0.036	0.000	0.021	0.007	<0.0003	<0.0003	<0.0002	<0.0003	<0.0002	<0.0005	<0.0001	-	<0.0031	<0.0001	<0.0002	<0.0012
11	Ladera	131729-029	0.005	0.001	0.051	0.013	<0.0003	<0.0003	<0.0002	<0.0003	<0.0002	<0.0005	0.000	-	<0.0031	<0.0001	<0.0002	<0.0012
12	Tarucane	131728-019	0.003	0.001	0.041	0.014	<0.0003	<0.0003	<0.0002	<0.0003	<0.0002	<0.0005	0.001	-	0.259	<0.0001	<0.0002	0.001
13	Santos	131728-022	0.001	0.023	0.823	0.009	<0.0003	<0.0003	<0.0002	<0.0003	<0.0002	<0.0005	<0.0001	-	<0.0031	<0.0001	<0.0002	0.033
14	Calera	131728-031	0.002	0.002	0.040	0.006	<0.0003	<0.0003	<0.0002	<0.0003	<0.0002	<0.0005	0.001	-	<0.0031	<0.0001	<0.0002	<0.0012
15	Jaco 2	131729-019	≤0.02	≤0.01	-	0.02	-	≤0.1	≤0.001	-	0.002	≤0.02	≤0.003	<0.5	≤0.01	-	-	≤0.002
16	Agua Grande	131729-024	≤0.02	0.02	-	0.006	-	≤0.1	≤0.001	-	0.003	≤0.02	≤0.003	<0.5	≤0.01	-	-	≤0.002
17	Huaracane 1	131729-036	0.03	≤0.01	-	0.088	-	≤0.1	≤0.001	-	0.004	≤0.02	≤0.003	<0.5	0.03	-	-	0.088
18	Laura	131728-029	≤0.02	≤0.01	-	0.001	-	≤0.1	≤0.001	-	0.002	≤0.02	≤0.003	<0.5	≤0.01	-	-	≤0.002
19	Agua Potable Arundaya	131728-023	≤0.02	≤0.01	-	0.008	-	≤0.1	≤0.001	-	0.002	≤0.02	≤0.003	<0.5	≤0.01	-	-	0.033
20	Asana 1	131726-004	0.002	<0.0004	0.017	0.003	<0.0003	<0.0003	<0.0002	<0.0003	<0.0002	<0.0005	<0.0001	-	0.022	<0.0001	<0.0002	<0.0012
21	Asana 2	131726-010	0.013	<0.0004	0.017	0.010	<0.0003	<0.0003	<0.0002	<0.0003	<0.0002	<0.0005	0.001	-	0.004	<0.0001	0.000	0.002
22	Chocamane	131726-020	0.003	<0.0004	0.025	0.016	<0.0003	<0.0003	<0.0002	<0.0003	<0.0002	<0.0005	0.001	-	<0.0031	<0.0001	<0.0002	0.001
23	Chiquihure	131726-024	0.026	0.001	0.023	0.009	<0.0003	<0.0003	<0.0002	<0.0003	<0.0002	<0.0005	0.000	-	0.133	<0.0001	<0.0002	0.002
24	Charaque	131726-027	0.005	0.002	0.026	0.013	<0.0003	<0.0003	<0.0002	<0.0003	<0.0002	<0.0005	0.000	-	<0.0031	<0.0001	<0.0002	0.000
25	Altarani	131726-039	0.009	0.001	0.018	0.008	<0.0003	<0.0003	<0.0002	<0.0003	<0.0002	<0.0005	<0.0001	-	<0.0031	<0.0001	<0.0002	<0.0012
26	Jimenez	131726-043	0.007	0.001	0.017	0.007	<0.0003	<0.0003	<0.0002	<0.0003	<0.0002	<0.0005	0.001	-	0.013	<0.0001	<0.0002	<0.0012
27	El Común	131726-040	≤0.02	≤0.01	-	0.054	-	≤0.1	≤0.001	-	0.003	≤0.02	≤0.003	<0.5	0.03	-	-	0.021
28	Buenavista	131726-042	≤0.02	0.02	-	0.061	-	≤0.1	≤0.001	-	≤0.001	≤0.02	≤0.003	<0.5	0.06	-	-	0.021
29	Totoral	131726-044	≤0.02	≤0.01	-	0.095	-	≤0.1	≤0.001	-	0.005	≤0.02	≤0.003	<0.5	0.03	-	-	0.03
30	Pozo Ilo 1	IRHS-001-ILO	≤0.02	≤0.01	-	0.032	-	≤0.1	≤0.001	-	0.003	≤0.02	≤0.003	<0.5	0.08	-	-	0.027
31	Pozo Moquegua 1	IRHS-001-MOQ	0.04	≤0.01	-	0.128	-	≤0.1	≤0.001	-	0.005	≤0.02	≤0.003	<0.5	0.08	-	-	0.11
32	Pozo Algarrobal 1	IRHS-021	≤0.02	≤0.01	-	0.042	-	≤0.1	≤0.001	-	≤0.001	≤0.02	≤0.003	1.07	0.07	-	-	0.03
33	Pozo Algarrobal 2	IRHS-70	≤0.02	0.02	-	0.085	-	≤0.1	≤0.001	-	≤0.001	≤0.02	≤0.003	<0.5	0.07	-	-	0.05

5.7 Resultados de análisis químico: Metales disueltos (continuación)																				
N°	Nombre	Código	Metales disueltos (mg/L)																	
			Mn(dis)	Mo(dis)	Ni(dis)	P(dis)	Pb(dis)	Sb(dis)	Sc(dis)	Se(dis)	Si (dis)	Sn(dis)	Sr(dis)	Ti(dis)	Tl(dis)	V(dis)	W(dis)	Y(dis)	Zn(dis)	Zr(dis)
1	El Pacae - La Rinconada	131725-001	0.005	0.017	0.007	-	≤0.01	≤0.006	-	0.03	-	0.111	3.2	≤0.003	0.08	≤0.02	-	-	≤0.003	-
2	Uyunto 1	131729-007	0.001	<0.0002	0.001	0.003	<0.0002	<0.0002	0.003	<0.0002	13.116	<0.0004	0.129	0.002	<0.0003	0.001	0.001	<0.0002	0.004	0.000
3	Chilligua 1	131729-008	<0.0003	<0.0002	<0.0004	0.064	<0.0002	<0.0002	0.002	<0.0002	15.513	<0.0004	0.026	0.005	<0.0003	0.005	<0.0005	<0.0002	0.006	<0.0002
4	Qda. Huertalla	131729-011	0.000	<0.0002	<0.0004	0.080	<0.0002	<0.0002	0.004	<0.0002	18.362	<0.0004	0.062	0.002	<0.0003	0.002	<0.0005	<0.0002	0.004	<0.0002
5	Titijones	131728-003	<0.0003	0.000	<0.0004	0.270	<0.0002	<0.0002	0.003	<0.0002	21.710	<0.0004	0.076	0.002	<0.0003	0.003	<0.0005	<0.0002	0.004	<0.0002
6	Japu	131729-017	0.000	<0.0002	<0.0004	0.053	<0.0002	<0.0002	0.003	<0.0002	15.474	<0.0004	0.057	0.002	<0.0003	0.002	<0.0005	<0.0002	0.008	<0.0002
7	Ojo de Agua	131728-006	<0.0003	0.000	<0.0004	0.074	<0.0002	<0.0002	0.003	<0.0002	20.914	<0.0004	0.030	0.002	<0.0003	0.010	<0.0005	<0.0002	0.004	<0.0002
8	Trinchera	131728-009	0.005	<0.0002	<0.0004	<0.0033	<0.0002	<0.0002	0.003	<0.0002	18.404	<0.0004	0.04	0.001	<0.0003	0.000	<0.0005	<0.0002	0.006	<0.0002
9	Caracol	131729-025	<0.0003	<0.0002	<0.0004	0.020	<0.0002	<0.0002	0.003	<0.0002	15.283	<0.0004	0.033	0.002	<0.0003	0.003	<0.0005	<0.0002	0.004	<0.0002
10	Totoral 2	131728-010	<0.0003	<0.0002	<0.0004	<0.0033	<0.0002	<0.0002	0.002	<0.0002	14.907	<0.0004	0.043	0.002	<0.0003	0.003	<0.0005	<0.0002	0.003	<0.0002
11	Ladera	131729-029	<0.0003	<0.0002	<0.0004	0.021	<0.0002	<0.0002	0.003	<0.0002	21.700	<0.0004	0.111	0.002	<0.0003	0.002	<0.0005	<0.0002	0.007	<0.0002
12	Tarucane	131728-019	0.011	<0.0002	<0.0004	<0.0033	<0.0002	<0.0002	0.004	<0.0002	25.495	<0.0004	0.068	0.002	<0.0003	0.000	<0.0005	<0.0002	0.016	<0.0002
13	Santos	131728-022	<0.0003	0.009	<0.0004	0.077	<0.0002	<0.0002	0.004	<0.0002	26.251	<0.0004	0.092	0.002	<0.0003	0.007	<0.0005	<0.0002	0.006	<0.0002
14	Calera	131728-031	0.005	<0.0002	0.000	0.047	<0.0002	<0.0002	0.003	<0.0002	22.414	<0.0004	0.059	0.003	<0.0003	0.005	<0.0005	<0.0002	0.004	<0.0002
15	Jaco 2	131729-019	≤0.001	≤0.005	0.012	-	≤0.01	0.015	-	≤0.02	-	0.069	0.07	≤0.003	≤0.02	≤0.02	-	-	≤0.003	-
16	Agua Grande	131729-024	≤0.001	≤0.005	0.008	-	≤0.01	0.007	-	≤0.02	-	0.066	≤0.02	≤0.003	0.03	≤0.02	-	-	≤0.003	-
17	Huaracane 1	131729-036	0.032	≤0.005	0.013	-	≤0.01	≤0.006	-	≤0.02	-	0.105	0.54	≤0.003	≤0.02	≤0.02	-	-	0.007	-
18	Laura	131728-029	≤0.001	0.009	0.016	-	≤0.01	0.017	-	≤0.02	-	0.061	0.05	≤0.003	0.05	≤0.02	-	-	≤0.003	-
19	Agua Potable Arundaya	131728-023	≤0.001	0.009	0.01	-	≤0.01	0.01	-	≤0.02	-	0.035	0.08	≤0.003	0.03	≤0.02	-	-	≤0.003	-
20	Asana 1	131726-004	0.003	<0.0002	<0.0004	0.017	<0.0002	<0.0002	0.002	<0.0002	17.620	<0.0004	0.018	0.001	<0.0003	0.004	<0.0005	<0.0002	0.003	<0.0002
21	Asana 2	131726-010	0.061	<0.0002	0.003	<0.0033	<0.0002	<0.0002	0.002	<0.0002	17.811	<0.0004	0.152	0.001	<0.0003	0.001	<0.0005	0.000	0.006	<0.0002
22	Chocamane	131726-020	<0.0003	<0.0002	0.001	<0.0033	<0.0002	<0.0002	0.002	<0.0002	18.599	<0.0004	0.124	0.001	<0.0003	0.001	<0.0005	<0.0002	0.004	<0.0002
23	Chiquihure	131726-024	0.002	<0.0002	0.001	0.013	<0.0002	<0.0002	0.002	<0.0002	19.684	<0.0004	0.085	0.001	<0.0003	0.003	<0.0005	<0.0002	0.003	<0.0002
24	Charaque	131726-027	0.000	<0.0002	0.000	0.013	<0.0002	<0.0002	0.003	<0.0002	18.744	<0.0004	0.053	0.001	<0.0003	0.005	<0.0005	<0.0002	0.002	<0.0002
25	Altarani	131726-039	0.000	<0.0002	<0.0004	0.047	<0.0002	<0.0002	0.002	<0.0002	17.833	<0.0004	0.041	0.001	<0.0003	0.004	<0.0005	<0.0002	0.006	<0.0002
26	Jimenez	131726-043	0.005	<0.0002	<0.0004	0.036	<0.0002	<0.0002	0.002	0.000	16.653	<0.0004	0.032	0.001	<0.0003	0.005	<0.0005	<0.0002	0.002	<0.0002
27	El Común	131726-040	0.004	≤0.005	0.008	-	≤0.01	≤0.006	-	≤0.02	-	0.127	0.28	≤0.003	≤0.02	≤0.02	-	-	≤0.003	-
28	Buenavista	131726-042	0.141	0.01	0.01	-	≤0.01	0.009	-	0.08	-	0.108	0.31	≤0.003	≤0.02	≤0.02	-	-	0.008	-
29	Totoral	131726-044	≤0.001	≤0.005	0.012	-	≤0.01	0.011	-	0.04	-	0.071	0.53	≤0.003	≤0.02	≤0.02	-	-	0.009	-
30	Pozo Ilo 1	IRHS-001-ILO	0.236	0.008	≤0.005	-	≤0.01	≤0.006	-	≤0.02	-	0.128	1.22	≤0.003	0.05	≤0.02	-	-	0.008	-
31	Pozo Moquegua 1	IRHS-001-MOQ	≤0.001	≤0.005	≤0.005	-	≤0.01	0.018	-	0.03	-	0.072	2.3	≤0.003	0.07	≤0.02	-	-	0.01	-
32	Pozo Algarrobal 1	IRHS-021	0.14	≤0.005	≤0.005	-	≤0.01	≤0.006	-	0.04	-	0.087	1.18	≤0.003	0.04	≤0.02	-	-	0.033	-
33	Pozo Algarrobal 2	IRHS-70	≤0.001	0.012	0.009	-	≤0.01	≤0.006	-	0.04	-	0.094	1.51	≤0.003	0.04	≤0.02	-	-	0.004	-

5.8 Predominancia química de las aguas									
N°	Código	Nombre	X	Y	Altura	Tipo de fuente	Catión dominante	Anión dominante	Tipo de agua
1	131725-001	El Pacae (La Rinconada)	288154	8082721	1010	MC	Ca > Na > Mg	SO_4> Cl > HCO_3	Sulfatada Cálcica
2	131726-004	Asana 3	341643	8116971	4830	M	Na > Ca > Mg	HCO_3 > SO_4 > Cl	Bicarbonatada Sódica-Cálcica
3	131726-010	Asana 8	342580	8116016	4625	PC	Ca > Mg > Na	SO_4 > HCO_3> Cl	Sulfatada Cálcica
4	131726-020	Chocamane 1	340081	8113832	4497	M	Ca > Mg > Na	SO_4 > HCO_3> Cl	Sulfatada Cálcica
5	131726-024	Chiquihure	338024	8113176	4395	M	Ca > Na > Mg	SO_4 > HCO_3 > Cl	Sulfatada Cálcica
6	131726-027	Charaque 1	326297	8112117	3768	PC	Ca > Na > Mg	HCO_3 > SO_4 > Cl	Bicarbonatada Cálcica-Sódica
7	131726-039	Altarani 5	335630	8104940	4320	M	Ca > Na > Mg	HCO_3 > Cl > SO_4	Bicarbonatada Cálcica-Sódica
8	131726-040	El Común	302825	8104119	1839	M	Ca > Na > Mg	SO_4 > HCO_3 > Cl	Sulfatada Cálcica
9	131726-042	Buenavista	302204	8103156	1776	M	Ca > Na > Mg	SO_4 > HCO_3 > Cl	Sulfatada-Bicarbonatada Cálcica
10	131726-043	Río Tumilaca 2	301093	8101822	1704	PC	Na > Ca > Mg	HCO_3 > Cl > SO_4	Bicarbonatada Sódica-Cálcica
11	131726-044	Totoral	296396	8099511	1487	P	Ca > Na > Mg	SO_4 > HCO_3 > Cl	Sulfatada-Bicarbonatada Cálcica
12	131728-003	Titijones	337382	8128967	4555	M	Ca > Mg > Na	HCO_3 > SO_4 > Cl	Bicarbonatada Cálcica-Magnésica
13	131728-006	Ojo de Agua	340852	8124705	4548	M	Ca > Na > Mg	HCO_3 > SO_4 > Cl	Bicarbonatada Cálcica-Sódica
14	131728-009	Trinchera	334525	8122766	4640	M	Na > Ca > Mg	HCO_3 > SO_4 > Cl	Bicarbonatada Sódica-Cálcica
15	131728-010	Totoral 2	323183	8121123	4009	M	Ca > Na > Mg	HCO_3 > SO_4 > Cl	Bicarbonatada Cálcica-Sódica
16	131728-019	Lagunita 1	329618	8119548	4335	M	Ca > Na > Mg	HCO_3 > SO_4 > Cl	Bicarbonatada Cálcica-Sódica
17	131728-022	Santos	328412	8118664	4240	M	Na > Ca > Mg	SO_4 > Cl > HCO_3	Sulfatada-Clorurada Sódica
18	131728-023	Agua potable Arundaya	326827	8118597	3971	MC	Na > Ca > Mg	SO_4 > Cl > HCO_3	Sulfatada-Clorurada Sódica
19	131728-029	Laura	326756	8117731	4282	M	Ca > Na > Mg	HCO_3 > SO_4 > Cl	Bicarbonatada Cálcica-Sódica
20	131728-031	Calera	323093	8116402	3979	M	Ca > Na > Mg	HCO_3 > SO_4 > Cl	Bicarbonatada Cálcica-Sódica
21	131729-007	Uyunto 1	322140	8130874	4374	M	Ca > Mg > Na	HCO_3 > SO_4 > Cl	Bicarbonatada Cálcica-Magnésica
22	131729-008	Chilligua 1	329124	8130533	4616	M	Na > Ca > Mg	HCO_3 > SO_4 > Cl	Bicarbonatada Sódica-Cálcica
23	131729-011	Huertalla 2	325672	8130107	4550	M	Ca > Na > Mg	HCO_3 > SO_4 > Cl	Bicarbonatada Cálcica-Sódica
24	131729-017	Japu 1	323786	8128279	4501	M	Ca > Na > Mg	HCO_3 > SO_4 > Cl	Bicarbonatada Cálcica-Sódica
25	131729-019	Jaco 2	321676	8128111	4306	M	Ca > Na > Mg	HCO_3 > SO_4 > Cl	Bicarbonatada Cálcica-Sódica
26	131729-024	Agua grande	320140	8122915	4098	M	Ca > Na > Mg	HCO_3 > SO_4 > Cl	Bicarbonatada Cálcica-Sódica
27	131729-025	Caracol	321277	8122670	4173	M	Ca > Na > Mg	HCO_3 > Cl > SO_4	Bicarbonatada Cálcica-Sódica
28	131729-029	Ladera	319230	8119580	3908	M	Ca > Na > Mg	HCO_3 > Cl > SO_4	Bicarbonatada Cálcica-Sódica
29	131729-036	Huaracane 1	293127	8100469	1397	M	Ca > Na > Mg	SO_4 > HCO_3 > Cl	Sulfatada-Bicarbonatada Cálcica
30	IRHS-001-ILO	Pozo Ilo 1	251925	8049990	17	P	Ca > Na > Mg	SO_4 > Cl > HCO_3	Sulfatada-Clorurada Cálcica-Sódica
31	IRHS-001-MOQ	Biondi	289058	8092952	1207	P	Ca > Na > Mg	Cl > SO_4 > HCO_3	Clorurada-Sulfatada Cálcica
32	IRHS-021	Algarrobal 1	258316	8049942	84	P	Ca > Na > Mg	SO_4 > Cl > HCO_3	Sulfatada-Clorurada Cálcica
33	IRHS-70	Algarrobal 2	265111	8054583	205	P	Ca > Na > Mg	SO_4 > Cl > HCO_3	Sulfatada-Clorurada Cálcica-Sódica

RELACIÓN DE MAPAS E ILUSTRACIONES

Mapas

Mapa 1 Mapa geológico a escala 1:100,000

Mapa 2 Mapa hidrogeológico a escala 1:100,000

Figuras

Figura 1.1 Mapa de ubicación de la cuenca del río Ilo-Moquegua

Figura 1.2 Diagrama de clasificación de zonas de vida, según Holdridge

Figura 1.3 Mapa ecológico de la cuenca del río Ilo-Moquegua

Figura 2.1 Mapa morfoestructural de la cuenca del río Ilo-Moquegua

Figura 2.2 Área total de la cuenca, área de la cuenca de recepción y área de la cuenca húmeda

Figura 2.3 Sistema de drenaje de la cuenca del río Ilo-Moquegua

Figura 2.4 Rectángulo equivalente a la cuenca hidrográfica del río Ilo-Moquegua

Figura 2.5 Distribución de cuencas sedimentarias en el sur del Perú (Acosta et al., 2012)

Figura 2.6 Columna geológica regional generalizada de la cuenca del río Ilo-Moquegua

Figura 2.7 Mapa estructural de la cuenca Ilo-Moquegua, mostrando fallas y lineamientos que agrupan a los distintos sistemas de fallas existentes

Figura 3.1 Proyecto Pasto Grande

Figura 3.2 Mapa de isoyetas de la cuenca del río Ilo-Moquegua

Figura 3.3 Mapa de isotermas de la cuenca del río Ilo-Moquegua

Figura 4.1 Mapa inventario de fuentes subterráneas en la cuenca del río Ilo-Moquegua

Figura 5.1 Esquema de ensayos de infiltración con carga constante y carga variable

Figura 5.2 Curva de caudal de infiltración realizado en el conglomerado de la Formación Moquegua superior, mediante el ensayo de infiltración a carga constante

Figura 5.3 Mapa de distribución espacial de acuíferos porosos semiconsolidados

Figura 5.4 Mapa de distribución espacial de acuíferos fisurados en la cuenca del río Ilo-Moquegua

Figura 5.5 Mapa de distribución espacial de acuíferos porosos no consolidados en la cuenca del río Ilo-Moquegua

Figura 5.6 Mapa de distribución espacial de acuitardos y acuífugos en la cuenca del río Ilo-Moquegua

Figura 6.1 Mapa de variación de conductividad eléctrica en la cuenca del río Ilo-Moquegua (Fuente: Inrena, Periodo 2003)

Figura 6.2 Mapa de variación de conductividad eléctrica en la cuenca del río Ilo-Moquegua (Fuente: INGEMMET 2008-2011)

Figura 6.3 Mapa de variación de pH en la cuenca del río Ilo-Moquegua

Figura 6.4 Mapa hidroquímico de la cuenca del río Ilo-Moquegua

Figura 6.5 A) Diagrama de Piper y B) Diagrama de Scatter de manantiales y puntos de control
Figura 6.6 A) Diagrama de Piper y B) Diagrama de Scatter para fuentes de aguas subterránea muestreadas en pozos
Figura 6.7 Procesos de modificación de la composición isotópica del agua subterránea respecto de la lluvia de recarga (FCIHS, 2009)
Figura 6.8 Valores medios anuales de deuterio y 18O en lluvias para América del Sur (Fuente: GNIP Maps and Animations, 2002)
Figura 6.9 Valores de 18O y deuterio de aguas subterráneas en la cuenca del río Ilo-Moquegua
Figura 6.10 Esquema de procedencia de lluvias en la parte alta de la cuenca del río Ilo-Moquegua (Ng, 2015)
Figura 6.11 Diagrama 18O vs. deuterio y procesos de modificación de la composición isotópica del agua subterránea respecto de la lluvia de recarga
Figura 7.1 Mapa de vulnerabilidad de acuíferos (Método GOD) de la cuenca del río Ilo-Moquegua.
Figura 8.1 Distribución espacial de acuíferos y ubicación de sistemas acuíferos
Figura 8.2 Mapa piezométrico del acuífero poroso no consolidado Moquegua
Figura 8.3 Interacción hipotética de agua superficial-subterránea en acuíferos porosos no consolidados del piso de valle
Figura 8.4 Mapa piezométrico del acuífero poroso no consolidado del valle de Ilo
Figura 9.1 Diseño en planta de una zanja de infiltración, nótese la longitud de zanja recomendada para la cuenca del río Ilo-Moquegua de 5 m (Peña et al., 2015)
Figura 9.2 Sección transversal de una zanja de infiltración, nótese la profundidad, ancho y pendiente para una zanja de recarga artificial recomendada para la parte alta de la cuenca del río Ilo-Moquegua (modificado y adaptado de Peña et al., 2015)
Figura 9.3 Sección transversal de una zanja de infiltración en roca fracturada expuesta, recomendada para la parte alta de la cuenca del río Ilo-Moquegua
Figura 9.4 Esquema de recarga artificial empleando barreras hidráulicas (tomado de Peña et al., 2010)
Figura 9.5 Recarga artificial mediante sondeos profundos. El sondeo es de doble tubería, que permite la recarga por uno, mientras que por el otro se realiza mantenimiento o descolmatación (Intercade, 2014)
Figura 9.6 Fracturamiento hidráulico provocado en: a) roca compacta y b) modelo acuífero Barroso
Figura 9.7 Esquema de sistema de captación de agua de neblina

Cuadros

Cuadro 1.1 Unidades ecológicas de la cuenca del río Ilo-Moquegua
Cuadro 3.1 Estaciones meteorológicas en la cuenca del río Ilo-Moquegua
Cuadro 3.2 Grupo de estaciones para el análisis de consistencia
Cuadro 3.3 Precipitación media mensual (1969-1999) calculada para la cuenca del río Ilo-Moquegua.
Cuadro 3.4 Temperaturas mínimas, máximas y medias mensuales (en °C) de las estaciones Punta Coles, Moquegua, Yacango e Ilo
Cuadro 3.5 Relación de estaciones con información de humedad relativa media (%) periodo 1969-1999
Cuadro 3.6 Valores mensuales de evapotranspiración de referencia (ETo) – PENMAN – MONTEINH (mm/mes)
Cuadro 3.7 Valores promedios de Kc para la cuenca del río Ilo-Moquegua.
Cuadro 3.8 Valores medios mensuales de evapotranspiración de cultivo en mm/mes en la cuenca del río Ilo-Moquegua

Cuadro 3.9 Valores de descarga (en m³/s) en las estaciones Tumilaca y Huaracane
Cuadro 3.10 Descarga media de la cuenca Ilo-Moquegua según distintas instituciones
Cuadro 3.11 Cuadro de aportes y pérdidas del balance hidrológico
Cuadro 4.1 Inventario de fuentes de agua subterránea según el tipo de fuente
Cuadro 4.2 Inventario de fuentes de agua subterránea en los pisos de valle de Moquegua e Ilo
Cuadro 4.3 Clasificación de manantiales en la cuenca Ilo-Moquegua tomando la propuesta de Meinzer (1923b)
Cuadro 4.4 Inventario de pozos ubicados en los valles de Moquegua e Ilo
Cuadro 5.1 Valores estimados de porosidad (%)
Cuadro 5.2 Clasificación hidrogeológica según los valores de conductividad hidráulica (K, en m/día). MB = muy baja, B = baja, Mo = moderada, M = mediana, A = alta, MA = muy alta.
Cuadro 5.3 Cuadro de clasificación del terreno según los rangos de conductividad hidráulica
Cuadro 5.4 Clasificación convencional de unidades hidrogeológicas de acuerdo con la conductividad hidráulica (Benítez, 1963)
Cuadro 5.5 Valores de permeabilidad de terrenos naturales (conductividad hidráulica por sus unidades), según la clasificación de Silin-bekchurin (en Harr, 1962).
Cuadro 5.6 Valores de permeabilidad y porosidad para clasificaciones hidrogeológicas
Cuadro 5.7 Valores de conductividad hidráulica (m/día), según ensayos de laboratorio realizados por distintos autores
Cuadro 5.8 Ensayos de permeabilidad realizados en la cuenca del río Ilo-Moquegua
Cuadro 5.9 Unidades hidrogeológicas (según el tipo de roca) en la cuenca del río Ilo-Moquegua
Cuadro 5.10 Clasificación de las unidades hidrogeológicas en la cuenca del río Ilo-Moquegua
Cuadro 5.11 Parámetros hidrogeológicos calculados en los acuíferos porosos de Moquegua e Ilo
Cuadro 6.1 Fuentes seleccionadas para el análisis químico e isotópico
Cuadro 6.2 Valores de los parámetros físico-químicos de las fuentes inventariadas
Cuadro 6.3 Iones predominantes (facies químicas) en la cuenca del río Ilo-Moquegua
Cuadro 6.4 Metales disueltos en las fuentes muestreadas para análisis químico, en la cuenca del río Ilo-Moquegua
Cuadro 6.5 Resultados de análisis isotópicos en la cuenca del río Ilo-Moquegua
Cuadro 7.1 Valores de vulnerabilidad calculados para la cuenca del río Ilo-Moquegua
Cuadro 7.2 Leyenda establecida para elaborar el mapa de vulnerabilidad de acuíferos según el método GOD (IGME, 1976)
Cuadro 8.1 Espesor del horizonte saturado y espesor del depósito aluvial en el piso de valle de Moquegua
Cuadro 8.2 Inventario de fuentes de agua subterránea en el piso de valle de Moquegua
Cuadro 8.3 Pozos y niveles piezométricos del acuífero poroso no consolidado Moquegua para la elaboración del mapa piezométrico S = Samegua, M = Moquegua
Cuadro 8.4 Parámetros hidrogeológicos calculados a través de ensayos de bombeo en el valle de Moquegua
Cuadro 8.5 Volumen de explotación de agua subterránea en el piso de valle Moquegua, distribuido por el tipo de fuente y el uso
Cuadro 8.6 Variación de espesores del depósito aluvial y del horizonte saturado en el piso de valle Ilo
Cuadro 8.7 Inventario de pozos en el piso de valle Ilo
Cuadro 8.8 Nivel piezométrico de los pozos utilizados para interpretar el mapa piezométrico en el piso de valle Ilo
Cuadro 8.9 Parámetros hidrogeológicos calculados a través de ensayos de bombeo en el piso de valle Ilo

Cuadro 8.10 Volumen de explotación de agua subterránea en el piso de valle Ilo, distribuido por el tipo de fuente y el uso

Gráficos

Gráfico 2.1 Curva hipsométrica de la cuenca del río Ilo-Moquegua

Gráfico 2.2 Curva de frecuencia de altitudes de la cuenca hidrográfica del río Ilo-Moquegua (13172)

Gráfico 3.1 Variación de temperatura en la cuenca del río Ilo-Moquegua

Gráfico 3.2 Diagrama ombrotérmico de la parte baja de la cuenca del río Ilo-Moquegua

Gráfico 6.1 Diagrama logarítmico de potabilidad Schoeller para las subcuencas medio Ilo-Moquegua y Tumilaca

Gráfico 6.2 Diagrama logarítmico de potabilidad Schoeller para la subcuenca Torata

Gráfico 6.3 Diagrama logarítmico de potabilidad Schoeller para la subcuenca alto Ilo-Moquegua

Gráfico 6.4 Diagrama logarítmico de potabilidad Schoeller para los pozos de los pisos de valle de Moquegua e Ilo

Gráfico 6.5 Clasificación de aguas de riego según el procedimiento del U.S. Salinity Laboratory Staff (modificado por Thorne y Peterson)

Gráfico 6.6 Diagrama de Wilcox para las fuentes de la cuenca del río Ilo-Moquegua

Gráfico 7.1 Patrón de parámetros y valores de ponderación, utilizados para la elaboración del mapa de vulnerabilidad, según el índice GOD (Foster, 1987; Foster e Hirata, 1991)

Fotografías

Fotografía 2.1 Vista panorámica de la faja litoral, fotografía tomada hacia el este, desde los alrededores de la loma Mostazal a Punta de Coles (cerca de Ilo).

Fotografía 2.2 Valles interandinos disectando la Cordillera de la Costa en Osmore; cerca de la confluencia del río Iloy quebrada Guaneros.

Fotografía 2.3 Planicie costera, conformada por secuencias sedimentarias del Grupo Moquegua, formaciones Huaylillas y Millo, dispuestas en estratos subhorizontales.

Fotografía 2.4 Cordillera Occidental, vista tomada hacia el noreste, al fondo se observa elevado Tutupaca y rocas volcánicas alteradas con características permeables, en la parte inferior izquierda se observa acumulación de flujos de lava y la surgencia de un manantial.

Fotografía 2.5 Vista del valle de Moquegua, tomada hacia el norte, desde el mirador de la ciudad.

Fotografía 2.6 Superficie con depósitos volcánicos de ignimbritas y piroclastos, en la parte superior de las montañas se aprecian diques de lava altamente fracturados de naturaleza permeable.

Fotografía 2.7 Desembocadura del río Ilo-Moquegua, donde existen varios cauces y terrazas que evidencian las variaciones del caudal.

Fotografía 3.1 Parte de la infraestructura hidráulica de Pasto Grande (PERPG) que permite el almacenamiento de aguas superficiales en la cuenca del río Tambo.

Fotografía 3.2 Rápida de trasvase de aguas de la cuenca del río Tambo a la cuenca del río Ilo-Moquegua, en el sector Chilligua.

Fotografía 3.3 Canal de conducción de aguas superficiales (de trasvase) del Proyecto Pasto Grande.

Fotografía 3.4 Estación meteorológica de la Southern Copper, ubicada en el sector de Titijones.

Fotografía 4.1 Manantial El Común (131726-040) de tercera categoría, con caudal de 28.5 L/s (alrededor del sector Tumilaca).

Fotografía 4.2 Manantial de cuarta categoría, Agua Grande (131729-024) con 15.0 L/s de caudal. Es usado para consumo humano y agropecuario de los pobladores cercanos al sector de Agua Grande.

Fotografía 4.3 Manantial Ojo de Agua (131728-006) de cuarta categoría, con caudal de 15.0 L/s (sector de Titijones).

Fotografía 4.4 Manantial captado Agua potable Arundaya (131728-023) con caudal de 1.8 L/s, para consumo humano del poblado del mismo nombre (fotografía ubicada en el sector y quebrada de Ancoaque).

Fotografía 4.5 Manantial Titijones (131728-003), nótese el alto fracturamiento de las rocas volcánicas lávicas de la cual procede el agua subterránea. El caudal del manantial es inferior a 0.5 L/s perteneciendo a la séptima categoría (alrededores de Titijones).

Fotografía 4.6 Punto de control río Chujulay (131729-035) con caudal de 18.0 L/s (sector de Chuvilaque).

Fotografía 4.7 Pozo IRHS-70 a tajo abierto y revestido, en el sector de El Yaral (distrito de El Algarrobal).

Fotografía 4.8 Pozo IRHS-001-MOQ, viñedo Biondi, cerca del sector de Garibaldi (distrito de Moquegua).

Fotografía 4.9 Pozo IRHS-001-ILO, cuyas aguas se utilizan en el riego de zonas agrícolas, como el viñedo del distrito de Pacocha-Ilo.

Fotografía 5.1 En la parte superior, en segundo plano, se observan lavas fracturadas del Grupo Barroso. En la parte intermedia e inferior, en primer plano, se observan horizontes permeables e impermeables de la Formación Capillune (margen izquierda de la quebrada Titijones).

Fotografía 5.2 Lavas altamente fracturadas del Grupo Barroso en las inmediaciones de Titijones. Se observa porosidad secundaria (fracturas inclinadas) que permite la circulación y almacenamiento de aguas subterráneas, lo que se evidencia en el manantial Titijones (131728-003). Fotografía tomada hacia el norte.

Fotografía 5.3 Ensayo de infiltración en rocas volcánicas tobáceas paleógenas de la Formación Toquepala.

Fotografía 5.4 Ensayo de infiltración en depósitos glaciares (material poroso no consolidado, con cantos angulosos a subangulosos y matriz de limo-arcilla-arena).

Fotografía 5.5 Ensayo de permeabilidad MOQ-08 realizado en rocas volcánicas y flujos de lava del Grupo Barroso (tomada con vista al noreste).

Fotografía 5.6 Ensayo de permeabilidad MOQ-09, en tobas del Grupo Barroso. Fotografía tomada en el sector quebrada Achucallani, con vista hacia el este.

Fotografía 5.7 Ensayo de permeabilidad MOQ-07, en tobas de la Formación Huaylillas. Foto tomada hacia el sur, en el sector de Uyunto.

Fotografía 5.8 Ensayo en de permeabilidad MOQ-11, en conglomerados con matriz areno tobácea, inconsolidada, Formación Moquegua superior, sector del mirador de Moquegua.

Fotografía 5.9 Ensayo de infiltración (MOQ-10) realizado sobre gravas no consolidadas, con clastos subangulosos y esporádicos bloques volcánicos, y que presentan abundante matriz arenolimosa, efectuado en las inmediaciones del Cerro Pelado.

Fotografía 5.10 Conglomerados de matriz arenotobácea de la Formación Moquegua superior en el mirador de Moquegua.

Fotografía 5.11 Conglomerados de matriz arenosa con intercalaciones de areniscas en capas delgadas de la Formación Capillune, en los alrededores de Asana. Enmarcado en azul, se observan las capas saturadas con aguas subterráneas.

Fotografía 5.12 Horizontes permeables y productores de la Formación Capillune, relacionados con el acuífero Barroso por la zona de alimentación y recarga.

Fotografía 5.13 Acuífero Barroso inferior, nótese la surgencia procedente del acuífero fisurado volcánico, la cual forma bofedales enla parte baja.

Fotografía 5.14 Afloramiento de rocas volcánicas del acuífero Barroso inferior, en los alrededores de Titijones (parte alta de la cuenca del río Ilo-Moquegua). Nótese el estado de fracturamiento de las rocas.

Fotografía 5.15 Acuífero poroso no consolidado del piso del valle Moquegua, en los alrededores de la ciudad del mismo nombre.

Fotografía 5.16 Acuífero poroso no consolidado del piso de valle de Ilo, sector de Loreto viejo.

Fotografía 5.17 Pozo tubular IRHS-70, ubicado en el acuífero poroso no consolidado del valle de Ilo, sector de El Yaral.

Fotografía 5.18 Vista de materiales glaciares en la pampa Titijones. Nótese el relleno no consolidado.

Fotografía 5.19 Depósitos eólicos altamente permeables, en las inmediaciones de Pampas Salinas.

Fotografía 5.20 Afloramientos de las rocas del Grupo Toquepala en los alrededores de Moquegua. Separadas por líneas discontinuas rojas y en las partes bajas de ambos cerros, se observan, en tono gris oscuro, rocas de la Formación Toquepala y, en tono rosado claro, rocas de la Formación Quellaveco.

Fotografía 5.21 Tobas soldadas del acuitardo Huaylillas. Nótese la naturaleza compacta e impermeable.

Fotografía 7.1 Cultivos de vid en el sector Garibaldi, en el piso de valle de Moquegua.

Fotografía 7.2 Disposición de residuos sólidos improvisado, ubicado cerca del cerro Alegoma, a 2.5 km aproximadamente al noroeste de Torata. En segundo plano se observa el cerro Baúl.

Fotografía 7.3 Pozo de agua sin uso ubicado en el sector de Julián, en el piso de valle de Moquegua. Nótese la presencia de residuos sólidos de origen antrópico dentro del pozo

Fotografía 8.1 Vista panorámica de la parte superior del acuífero poroso no consolidado del valle Moquegua

Fotografía 8.2 Sondeo de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Moquegua procedente del acuífero poroso no consolidado del valle Moquegua

Fotografía 8.3 Parte baja del acuífero poroso no consolidado del valle Ilo. Nótese en color verde la vegetación donde se usa agua subterránea para la agricultura

Fotografía 8.4 Pozo IRHS-70 ubicado en el acuífero poroso no consolidado del valle Ilo, sector de El Yaral, cuyo nivel piezométrico se encuentra a 3.5 m

Fotografía 8.5 Acuífero poroso no consolidado de reducida extensión. Nótese el nivel freático y la acumulación de aguas subterráneas en el canal rústico de la parte inferior.

Fotografía 8.6 Zonas agrícolas de ladera, sector Rincón a 5.2 km al noroeste de Cerro Baúl, donde la presencia de aguas de trasvase satura los suelos, generando la aparición de manantiales. Fotografía tomada hacia el sur.

Fotografía 8.7 Acuífero fisurado Barroso, nótese en segundo plano los afloramientos de roca volcánica totalmente fracturada; y en la parte baja, niveles saturados de agua subterránea en forma de bofedales.

Fotografía 8.8 Acuífero Capillune con horizontes permeables e impermeables (izquierda), y acuífero fisurado Barroso (superior derecha). En la parte inferior derecha se observa los horizontes saturados de agua subterránea.

Fotografía 8.9 Flujos de lava en forma de diques fracturados (sector Asana), que permiten la recarga. Parte baja, en primer plano se observan las surgencias de aguas subterráneas

INGEMMET

Av. Canadá 1470 - San Borja, Lima 41, Perú
Teléfono: 051 - 1- 618 9800
Fax: 051-1-225-3063 I 051-1-225-4540
www.ingemmet.gob.pe
comunicacion@ingemmet.gob.pe