PERÚ Ministerio de Energía y Minas

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico - INGEMMET

INGEMMET

Geoquímica Ambiental de la Cuenca del Río Pisco

Boletín N° 24 Serie B
Geología Económica

Por:

Jorge Chira F.
Luis Vargas R.
Luis Cangalaya V.
Charly Palomino C.
Ronald Vásquez O.
Hismael Rodríguez I.

Lima, Perú
2011

PERÚ | Ministerio de Energía y Minas | Instituto Geológico Minero y Metalúrgico - INGEMMET

INGEMMET

Geoquímica Ambiental de la Cuenca del río Pisco

Boletín N° 24 Serie B
Geología Económica

Por:

Jorge Chira F.
Luis Vargas R.
Luis Cangalaya V.
Charly Palomino C.
Ronald Vásquez O.
Hismael Rodríguez

Lima, Perú
2010

SERIE B: GEOLOGÍA ECONÓMICA
N° 24, 2011.

Hecho el Depósito Legal N° 2011-13962
Razón Social: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET)
Domicilio: Av. Canadá N° 1470, San Borja, Lima-Perú
Primera Edición, INGEMMET 2011
Se terminó de imprimir el 18 de Noviembre del año 2011 en los talleres de INGEMMET

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

Presidente del Consejo Directivo: Walter Casquino
Secretario General: Juan Carlos Lam

Comité Editor: Walter Casquino, Humberto Chirif, Víctor Carlotto, Lionel Fídel, Giovanna Alfaro.

Dirección encargada del estudio: Recursos Minerales y Energéticos.

Unidad encargada de la edición: Unidad de Relaciones Institucionales.

Revisión Geocientífica: Víctor Benavides.
Digitalización y SIG: Charly Palomino y Madeleine Guillén
Corrección gramatical y de estilo: Juan E. Quiroz
Diagramación: Sonia Bermúdez

Portada: Arenas con material de relave en laguna Pacococha-Castrovirreyna.

Referencia bibliográfica
Chira, J.; Palomino, C.; Cangalaya, L; Vargas, L; Vásquez, R. & Rodríguez, H. (2011) - Geoquímica ambiental de la cuenca del río Pisco. *INGEMMET, Boletín, Serie B: Geología Económica, 24*, 78 p., 8 mapas.

Contenido

RESUMEN 1

CAPÍTULO I

GENERALIDADES 5

CAPÍTULO II
MARCO GEOLÓGICO 11

CAPÍTULO III
GEOLOGÍA ECONÓMICA 25

CAPÍTULO IV
GEOQUÍMICA AMBIENTAL 33

CONCLUSIONES 75

BIBLIOGRAFÍA 77

PARTICIPANTES

Labores de campo y elaboración del informe

Jorge Chira F.

Luis Vargas R.

Ronald Vasquez O.

Charly Palomino C.

Luis Cangalaya V.

Hismael Rodríguez I.

Colaboraron en la elaboración del informe

Madeleine Guillén G.

Iván Calderón

David Castañeda

RESUMEN

Se ha efectuado la geoquímica ambiental en la cuenca del río Pisco, la que comprende parte de los departamentos de Ica y Huancavelica, conformando un área de 4500 km^2. El relieve de la cuenca involucra desde la zona costera hasta elevaciones superiores a 5000 msnm, que corresponden a la Cordillera Occidental. El clima es variado de acuerdo a las elevaciones del terreno: desde cálido en las partes bajas hasta frío y lluvioso, con temperaturas inferiores a 0 ºC, en la zona de sierra.

La cuenca del río Pisco pertenece al sistema hidrográfico del Océano Pacífico, contando con tributarios importantes como son los ríos Pisco, Huaytará y Chiris, que provienen de las partes altas de la cuenca, drenando superficies que corresponden al departamento de Huancavelica.

Geológicamente, las unidades estratigráficas más antiguas que afloran son las del Grupo Yura. La Formación Cañete es la unidad más reciente, además de los distintos depósitos cuaternarios presentes en la zona. Las rocas ígneas corresponden al Batolito de la Costa, intrusivas y subvolcánicas del Paleógeno-Neógeno.

Estructuralmente, se tienen dos sistemas de lineamientos: uno de rumbo andino y otro transversal a este, en cuyas intersecciones se localizan algunos yacimientos minerales.

El tipo de mineralización predominante en la zona es del tipo polimetálico, con minas que se ubican en Castrovirreyna y Huancavelica, que corresponden a la denominada provincia andina occidental, la que comprende dos subprovincias: la Polimetálica del Altiplano y la Cuprífera de la vertiente del Pacífico.

Se recolectaron muestras de agua en 131 estaciones. La caracterización química muestra que la mayoría de muestras está clasificada como agua dura a muy dura, con contenidos de $CaCO_3$ que llegan a superar los 900 mg/l. Asimismo, en cuanto al contenido de aniones y cationes mayoritarios, el agua de la cuenca alta ha sido clasificada como clorurada sulfatada bicarbonatada sódica cálcica, mientras que en la cuenca media es de tipo sulfatada clorurada cálcica sódica, al igual que en la cuenca baja.

En lo que respecta al peligro de salinidad, va de bajo a muy alto en la cuenca alta, de bajo a alto en la cuenca media, y de medio a muy alto en la cuenca baja. Por otro lado, el peligro de sodificación va de bajo a alto en la cuenca alta, de bajo a medio en la cuenca media, y de bajo a muy alto en la cuenca baja.

En cuanto a la calidad química del agua, se ha determinado que algunos elementos superan los estándares de calidad ambiental (ECA) en la cuenca, como son As, Fe, B y de manera puntual el Zn en la cuenca alta y el Pb en la cuenca media y baja.

Los resultados analíticos de sedimentos indican altos valores de As, Cd, Cu, Pb y Zn, llegando a superar en algunos casos el nivel de intervención, lo que sucede en los sectores Pacococha y mina Cóndor.

PÁGINA EN BLANCO

INTRODUCCIÓN

El estudio geoquímico ambiental en la cuenca del río Pisco permite caracterizar químicamente el tipo de agua superficial que discurre, así como la calidad del agua y sus sedimentos. De esta manera, se genera información que pueda utilizarse como línea de base ambiental.

La DGAAM del Ministerio de Energía y Minas considera a la cuenca Pisco como una de las cuencas con pasivos mineros prioritarios que requieren estudio y remediación, como lo son la relavera Pacococha y la bocamina Dollar. Asimismo, existe otra decena de pasivos en la cuenca media a alta.

Además de la actividad minera, presente o pasada, existe una intensa actividad agrícola en la cuenca baja, por lo que resulta conveniente establecer el impacto que ocasiona en la cadena biótica este tipo de actividades antrópicas y el efecto ocasionado por la disposición de asentamientos poblacionales a lo largo del río Pisco.

Mediante la recolección de muestras de agua y sedimento, y el posterior análisis químico de las mismas, se determina fehacientemente la presencia de metales pesados en dichas matrices, y se caracteriza la fuente que ocasiona tal efecto.

La determinación de la calidad química del agua se efectúa comparando los resultados analíticos con los ECA establecidos por la Ley General de Recursos Hídricos (2008); mientras que la calidad de sedimentos se determina con los valores normados por la Junta de Andalucía (2003), dado que en nuestro país se carece de normas para tal fin.

PÁGINA EN BLANCO

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

UBICACIÓN

La cuenca del río Pisco se encuentra ubicada en la costa central del Perú, a 250 km al sur de la ciudad de Lima. Constituye parte de las provincias de Pisco (Ica), Huaytará y Castrovirreyna (Huancavelica). Drena una superficie de 4500 km^2, tiene una longitud aproximada de 200 km y elevaciones que varían desde 0 hasta 5218 msnm. Geográficamente se encuentra entre las coordenadas 13º48'-12º52' latitud sur y 76º13'-75º02' longitud oeste (ver figura 1.1).

Esta cuenca se extiende desde el nivel del mar hasta la línea de cumbres de la Cordillera Occidental, cuyos puntos más altos van desde los 5000 hasta 5500 m de altitud, como en el cerro Palomo (5010 m), cerro Ojuijasa (5150 m), nevado Altar (5268 m) y el cerro San Juan de Dios (5218 m) de altura.

ACCESIBILIDAD

El principal acceso desde la ciudad de Lima es a través de la carretera Panamericana Sur, hasta el desvío hacia Ayacucho, en la localidad de San Clemente (Km. 233), donde se inicia la denominada Vía de los Libertadores. Desde esta vía se accede a Castrovirreyna y demás partes altas de la cuenca, pudiendo llegar hasta Huancavelica.

CLIMA Y VEGETACIÓN

La zona de estudio presenta diversos climas conforme se van alcanzando altitudes mayores: un clima de costa, de ceja de sierra alta, de puna y de valles serranos.

El lado oeste de la cuenca presenta un clima cálido y árido con fuertes vientos. En la zona de la sierra se presentan climas fríos y lluviosos, con rayos solares por las mañanas y en las noches las temperaturas descienden a menos de 0 ºC en invierno. Se presentan climas más frígidos y lluviosos para la zona de la puna y valles serranos (4500 msnm) con heladas intensas (junio-agosto) y precipitaciones en forma de granizo.

Por encima de los 4000 msnm, la agricultura desaparece predominando los pastos naturales como el ichu, tola que sirve de alimento para la ganadería. Cabe mencionar que por efectos de microclima, por encima de los 4000 msnm, crecen los eucaliptos, dando un cierto paisaje verdoso; en los fondos de valles, terrazas, llanuras de inundación, márgenes de ríos, se encuentran sembríos de algodón, caña de azúcar, variedad de frutales y productos de pan llevar. Los principales cultivos en los valles son maíz, papa, frijoles, camote, pallares; y en los valles interandinos, papa, maíz, quinua, habas, etc.

De acuerdo con la clasificación climática del SENAMHI (2005) y las características climatológicas descritas, la zona presenta los siguientes climas:

- **árido, semicálido**, que corresponde a los sectores de San Clemente, Independencia, Huancano, Ticrapo, entre otros.
- **semiseco, templado**, seco en otoño e invierno y primavera. Este tipo de clima es típico de las localidades que se encuentran sobre los 2000 msnm, tales como Quito Arma, Huaytara, Castrovirreyna, entre otras.
- **lluvioso y semifrío**, seco en invierno, tipo nieve. Este tipo de clima lo presentan las localidades de Cocas, Mollepampa, Santa Ana, entre otras.

FISIOGRAFÍA

El territorio que comprende la cuenca del río Pisco se presenta desde la zona costera con un relieve topográfico poco accidentado hasta un relieve abrupto con ríos y quebradas que recogen las aguas desde más de 4500 msnm hasta la cota más baja para llevarlos al Océano Pacífico, dejando un profundo y angosto valle de relieve escarpado.

En la parte superior de la cuenca se encuentran numerosas lagunas de evidente erosión glaciar, presenta un cadena de cerros con un marcado descenso en dirección al Océano Pacífico. En la parte inferior de la cuenca, se ha producido el depósito de material aluvial formando una pequeña llanura o cono de deyección, a consecuencia de la disminución brusca de la pendiente y de la velocidad del agua.

Unidades geomorfológicas

La zona de estudio presenta las siguientes unidades geomorfológicas:

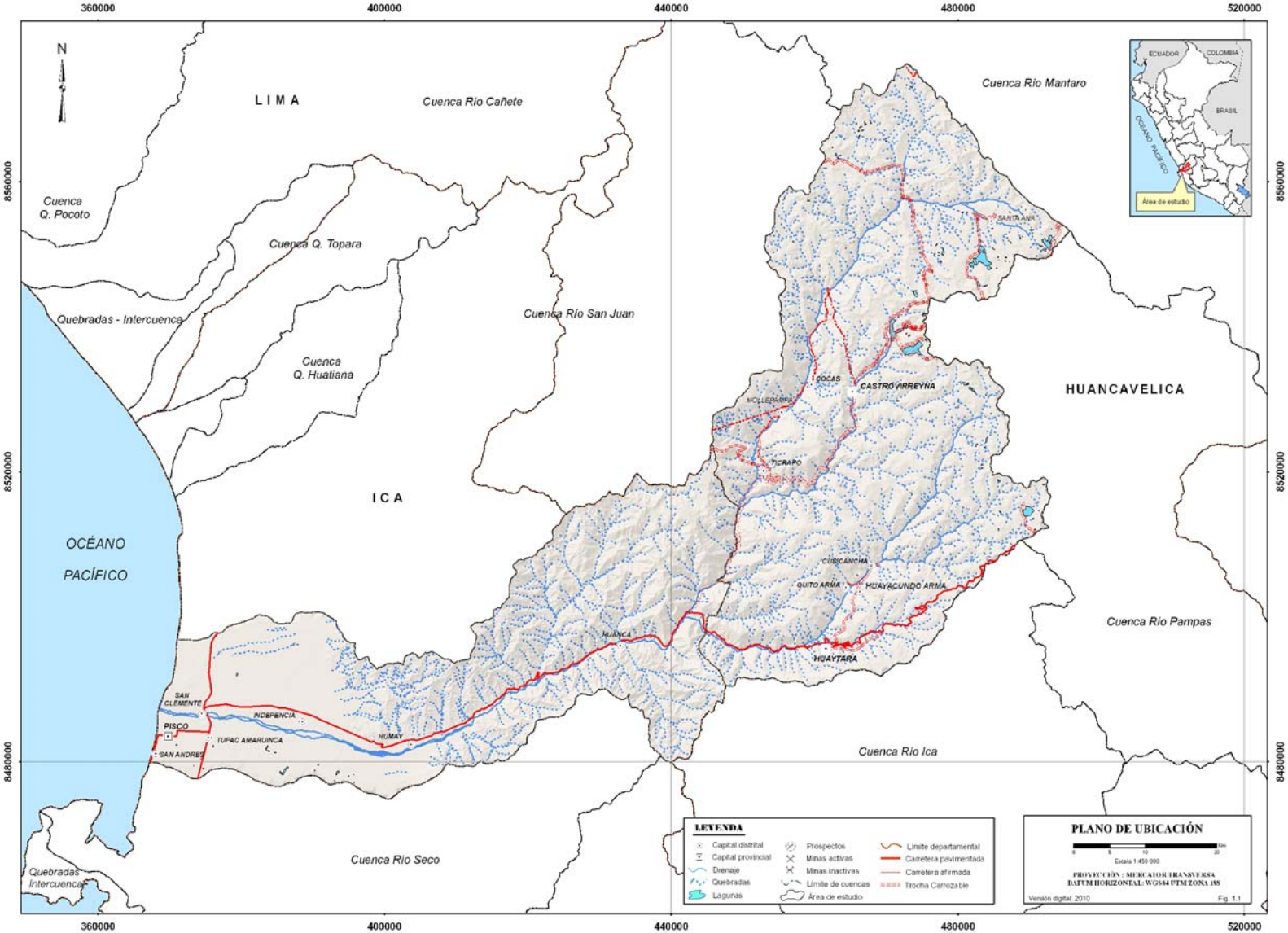


Figura 1.1 Plano de ubicación.

Ribera litoral

Esta unidad presenta una topografía llana, con pendientes muy suaves. Corresponde a la línea de costa, orientada en una dirección SO-NE, desde la península de Paracas hasta cerca de Tambo de Mora (Chincha). En ciertos sectores, se observan afloramientos de la napa freática (norte de Pisco).

Cordillera de la costa

Constituida por terrenos de suave elevación, se caracteriza por una topografía moderada, zonas planas, algunas colinas y cerros bajos, varía entre una altitud de 10 a 400 msnm. Se desarrolla a lo largo de una faja, limitada al oeste por la ribera litoral, y al este por una cadena de cerros bajos. Presenta una serie de *horst* y *grabens* poco profundos. Está formada por rocas del Complejo Basal de la Costa, metasedimentitas del Paleozoico inferior, intrusivos devonianos y volcanoclásticos mesozoicos (León *et.al*., 2008).

Esta unidad presenta cierta inestabilidad en los depósitos de materiales sueltos, sedimentos de edad terciaria que rellenan irregularidades topográficas de esta unidad, indicio que el relieve de la cordillera fue aún mayor (Fernández, 1993b).

Penillanura costera

Se caracteriza por la presencia de amplias pampas costeras, formadas por sedimentos del Terciario, con escasas pendientes interrumpidas por lomadas de suave relieve. Se encuentra parcialmente cubierta por depósitos eólicos rellenando depresiones, zonas de inundación y erosión fluvial, y controlada por fallas que delinean groseramente la penillanura.

La morfología de las pampas costaneras esta dada por la sucesión de terrazas aluviales que corresponden a antiguos conos de deyección (Salazar y Landa, 1993), situados en la parte más baja del valle constituidos por material de acarreo transportados por los cursos de agua a través de las quebradas circundantes al llano aluvial, que dan origen a las Pampas de Cabeza de Toro, Botija, Villacuri, Las Hoyas y Paracas.

Estribaciones de la Cordillera Occidental

Comprende altitudes entre los 400m en el límite con las pampas costeras hasta más de 3000 msnm con una topografía formada por pendientes moderadas a abruptas, por lo general son zonas estables con algunos fenómenos de erosión fluvial en épocas de crecida. Esta unidad comprende a la cadena de cerros bajos, que se levantan al Este de las pampas costaneras y se extienden por ambos lados de los valles y quebradas principales, aumentando positivamente en altitud y relieve.

Valle del río Pisco y su red tributaria

Esta unidad presenta una topografía abrupta con altitudes entre los 1000 y 4000 msnm, con algunas zonas llanas y pequeñas terrazas en los márgenes del río. El área es de estabilidad variada con algunos deslizamientos y erosión fluvial. Por encima de los 2800 msnm, la cuenca se presenta más escarpada, con estrechas y profundas quebradas que forman verdaderos cañones.

Los valles nacen en la divisoria continental y forman, a través del Altiplano y el flanco andino, grandes canales de desagüe, lo cual diseña el patrón de drenaje de la cuenca.

En esta unidad, están situada la mayoría de poblados como Ticrapo, Chiris, Huaytará, Quito Arma, Huayacundo Arma, Mollepampa, Castrovirreyna, etc.

Altiplano

Presenta formas de relieve del tipo modelado glaciar y fluvioglaciar, formando pampas y cadenas de cerros, comprendidas entre los 4000 y 4800 msnm, con una topografía con pendientes entre planas a intermedias.

Los valles son en forma de U, formando circos glaciares de intensa erosión, depósitos morrénicos y depósitos fluvioglaciares. Muchos de los antiguos circos glaciares forman hoy el vaso de varias lagunas, como las de Pacococha, San Francisco, Agnacocha y Pultoc (Palacios, 1994).

En los primeros kilómetros del río Pisco aparecen extensas áreas pantanosas, originadas por el afloramiento de numerosos manantiales y el deshielo de glaciares, que dan origen a turberas y pastizales, aprovechados por la ganadería.

Esta superficie sucede en forma esporádica a partir del altiplano, entre los 4800 y 5500 msnm, corresponde a la máxima altura en la zona de la divisoria continental. Es de morfología muy abrupta. Presenta un casquete glacial en franco retroceso, con nieves perpetuas, que pertenecen a las áreas que circundan a los nevados de Palomo, Ojuijasa, San Vicente, Portachuelo Grande, Chalaciri, Josjo y Altar.

HIDROGRAFÍA

La cuenca del río Pisco es una cuenca de forma alargada y de fondo profundo. Pertenece al sistema hidrográfico del océano Pacífico, teniendo como cauce principal al río Pisco que tiene una longitud de 187 km, considerados desde su naciente en la laguna Pultoc hasta su desembocadura al océano Pacífico. Desde la mencionada naciente, el río toma el nombre de Santa Ana, hasta encontrarse con el río Incachaca. A partir de allí, lleva el nombre de Chiris. Aguas abajo, a partir de su confluencia con el río Santuario, el cauce principal toma el nombre de río Pisco, siendo el río Huaytará

el último afluente por la margen izquierda, que nace en la confluencia de los ríos Vizcacha y el Quito Arma a la altura del poblado de Huaytará.

Se tienen pendientes promedio entre 3% y 8%, especialmente en el tramo comprendido entre las nacientes del río Santuario y su desembocadura en el río Chiris y en el sector de la quebrada Veladero.

Aguas abajo de la localidad del Pampano, el curso del río es sinuoso hasta las cercanías de la localidad de Huancano, adoptando a partir de este punto un rumbo general Este-Oeste hasta desembocar en el océano Pacífico.

El río Pisco, de régimen irregular, alcanza la extensa llanura costera en un corto pero torrencial recorrido.

Para fines de diseño de muestreo, esta cuenca ha sido dividida en 12 microcuencas (Figura 1.2):

- Microcuenca del río Pisco.
- Microcuenca del río Huancano-Pisco.
- Microcuenca del río Pisco-qebrada Paracas.
- Microcuenca de la quebrada Chilcas.
- Microcuenca del río Rumichaca Huaytara.
- Microcuenca del río Chilca.
- Microcuenca del río Castrovirreyna-Armapampa.
- Microcuenca del río Pisco-Chiris.
- Microcuenca del río Chiris-Collpahuayjo.
- Microcuenca del río Yanajasja-Chiris.
- Microcuenca del río Pucamayo.
- Microcuenca del río Luichu.

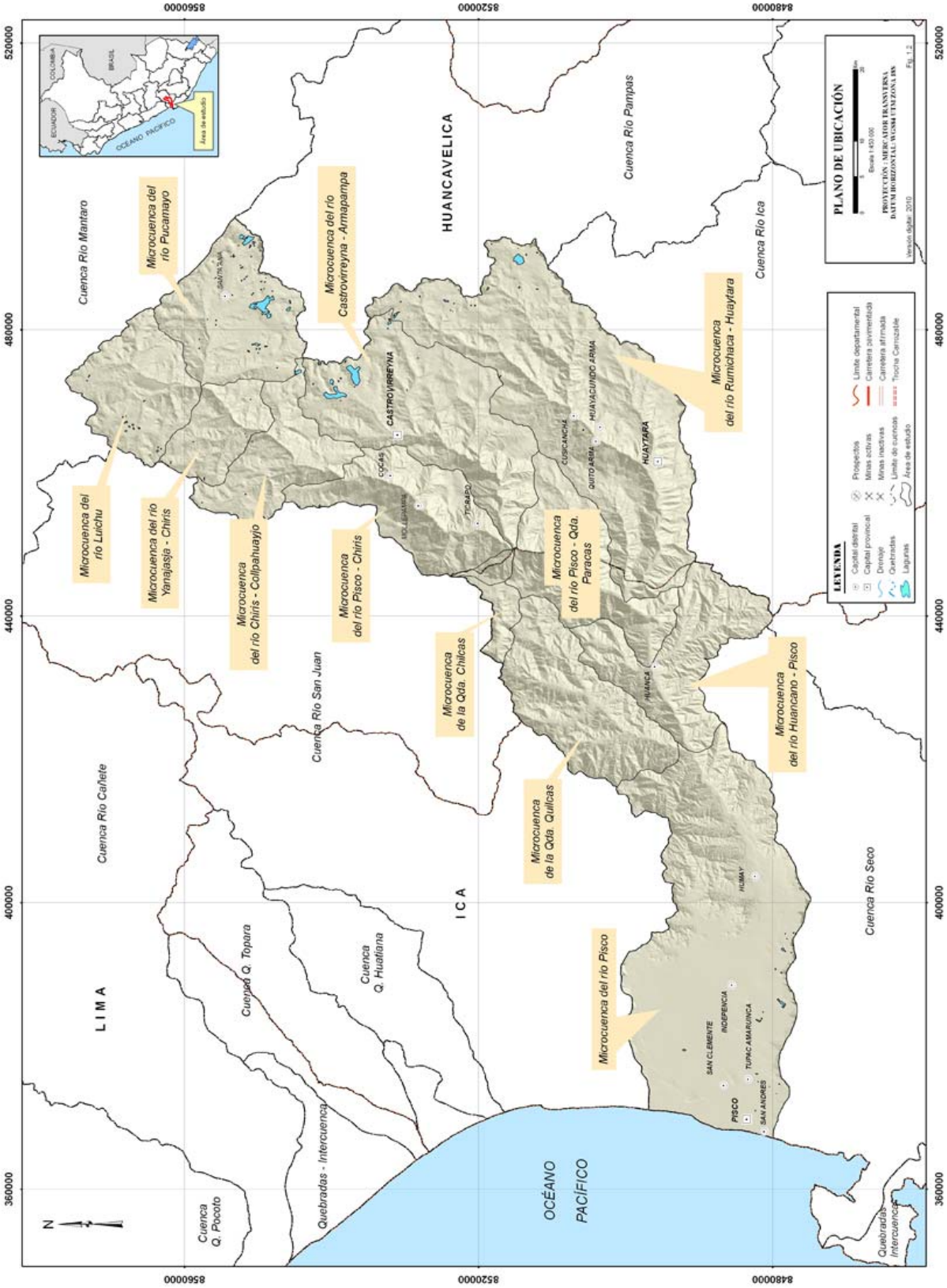


Figura 1.2 Mapa hidrográfico.

PÁGINA EN BLANCO

CAPÍTULO II

MARCO GEOLÓGICO

ESTRATIGRAFÍA

En el área de la cuenca del río Pisco, se exponen diferentes unidades litológicas, como ígneas y sedimentarías, así como depósitos inconsolidados, con una edad que varía desde el Mesozoico hasta el Cuaternario reciente, como se aprecia en el mapa (ver figura 2.1) y la columna estratigráfica respectiva (ver figura 2.2).

Mesozoico

Las rocas aflorantes más antiguas corresponden al Grupo Yura del Jurásico, seguidas por los volcánicos Copará, las unidades calcáreas Pariahuanca-Chúlec, Pariatambo, los volcánicos sedimentarios Quilmaná y Huaranguillo. La secuencia finaliza con las capas rojas de la Formación Casapalca.

Grupo Yura

Lo constituyen rocas sedimentarias que se extienden desde la frontera con Chile, constituyendo parte de la Cordillera Occidental, expresando el Jurásico superior- Cretácico inferior en la parte media de la cuenca Pisco. Comprende las formaciones Puente (que no aflora en la zona), Cachíos, Labra, Gramadal y Huallhuani. Aflora en el entorno de la localidad de Huaytará y Quito Arma, en una franja que sigue el rumbo andino.

La Formación Cachíos consiste de lutitas negras y gris oscuras, tufáceas en algunas unidades y carbonáceas en otras; con intercalaciones menores de pelitas grises a beiges, en capas medianas y lenticulares.

La Formación Labra es una secuencia bastante variable. Predominan las areniscas cuarzosas (ver figuras 2.3 y 2.4) sobre las pelitas. Las areniscas líticas y areniscas cuarzosas son de color gris claro parduzco, que por meteorización toman tonalidades amarillo rojizas y rosado parduzcas; son de grano fino a medio, con óxidos de hierro en manchas diseminadas. Forman capas de grosor variable y generalmente presentan estratificación sesgada y restos de plantas.

La Formación Gramadal está constituida esencialmente de bancos de calizas arrecifales de color marrón a gris oscuro, con gran contenido fosilífero. Intercalándose con las calizas, en menor proporción, hay estratos de lutitas y limolitas amarillo verdosas hasta marrón violáceas.

La Formación Hualhuani está conformada por areniscas cuarzosas de grano fino, blancas, que por meteorización se tornan rojo amarillentas. Forman generalmente bancos gruesos, a excepción de la parte media, donde los estratos son más delgados. Por posición estratigráfica le correspondería al Neocomiano inferior, correlacionándose con la Formación Chimú (Vargas, 1970).

Formación Copara

Consiste de una secuencia de grauwacas gris verdosas y moradas, sobre las que descansan unos volcánicos, que en su parte inferior se intercalan con areniscas cuarzosas y lutitas pizarrozas, y en la parte superior, con calizas. Los volcánicos son porfiríticos, con algunos horizontes afaníticos, generalmente de color gris oscuro, predominando tonalidades verdosas. La composición predominante es andesítica, pero hay horizontes de naturaleza basáltica con fenocristales de piroxeno. En el Cuadrángulo de Guadalupe aflora al noreste, en el cerro Mollocancha, y en las loma Huamandioja. También aflora en el área de confluencia del río Huaytará al río Pisco y su edad es del Aptiano-Albiano (Fernández, 1993b).

Unidades sedimentarias calcáreas

Regionalmente se tienen unidades caracterizadas por la presencia de rocas sedimentarias calcáreas y son Pariahuanca-Chúlec y Pariatambo.

La Formación Pariahuanca-Chúlec aflora en el río Pisco, aguas arriba de la mina Cóndor y en la margen izquierda del río Huaytará, antes de su confluencia con el río Pisco. Se reconoce una gruesa secuencia de calizas estratificadas en capas delgadas, medianas y gruesas. Ocasionalmente se intercalan con horizontes de margas y lutitas de color gris medio, que por meteorización se tornan pardo amarillentas y cremas (ver figura 2.5). La edad corresponde al Albiano inferior (Fernández, 1993a).

La Formación Pariatambo se reconoce en la parte media de la sección entre la pampa Remuda y los cerros de Ticacancha. Consiste de calizas gris oscuras, estratificadas en capas delgadas y medianas, con ocasionales intercalaciones de margas color pardo amarillento. La litología calcárea de esta formación y su fauna fósil sugiere una sedimentación en ambiente de reducción en cuenca más profunda. Se estima que la Formación Pariatambo fue depositada en el Albiano medio (Salazar y Landa, 1993).

Figura 2.3 Flanco de pliegue anticlinal en areniscas Labra (quebrada Quito Arma, Colccapampa, vista al sur).

Volcánicos sedimentarios del Cretácico superior

Se han agrupado dos unidades: el Grupo Quilmaná y la Formación Huaranguillo.

El Grupo Quilmaná consiste en la base calizas oscuras piritizadas, en bancos menores a un metro, horizontes de *chert*, seguidos de derrames andesíticos porfiríticos de color gris oscuro a verdoso que se intercalan con otros de textura afanítica en capas bien definidas, repitiéndose nuevamente calizas en bancos gruesos de 2 a 5 m piritizadas y horizontes calcáreos clásticos. Es en esta secuencia de volcánicos con sedimentarios calcáreos donde se ubica la mina Flores Torres. La edad de estos volcánicos ha sido asignada al Albiano-Cenomaniano (Fernández, 1993a).

La Formación Huaranguillo es una secuencia de volcanoclásticos subdivididos en dos miembros. El miembro inferior, compuesto por lutitas pizarrosas, tobas líticas alternadas con andesitas u ocasionalmente con calizas finamente estratificadas. El miembro superior consiste en calizas negras que hacia el tope se intercalan con horizontes de lutitas pizarrosas y niveles de volcánicos. Se le ha asignado una edad del Albiano medio a Cenomaniano (Salazar y Landa, 1993).

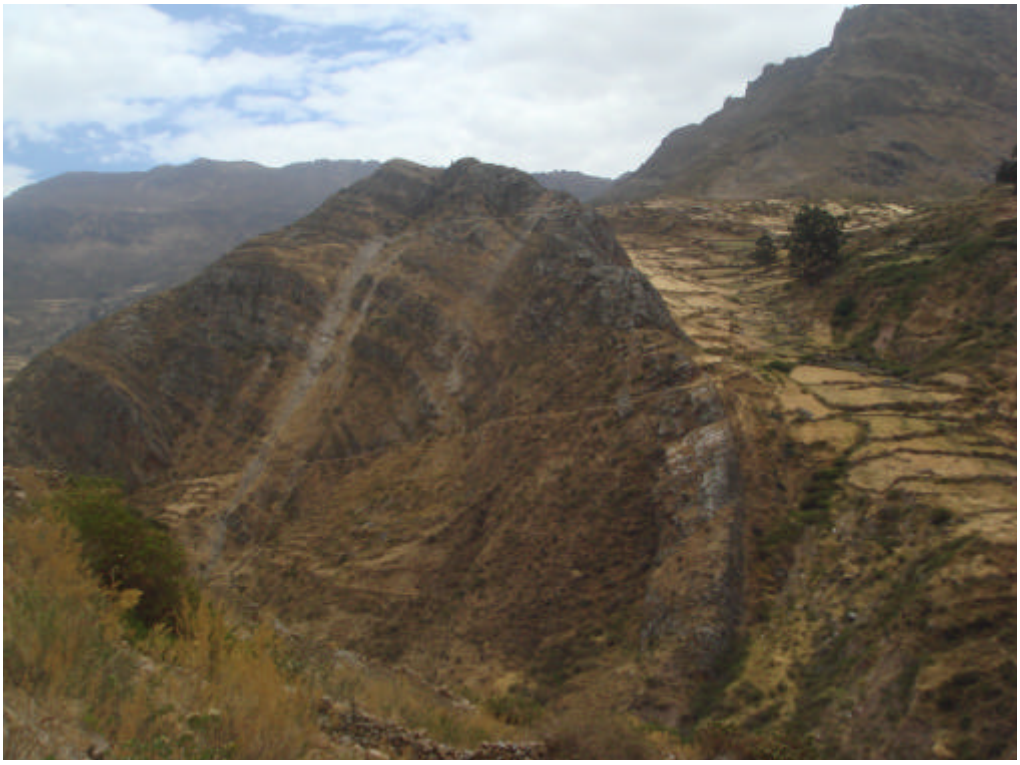
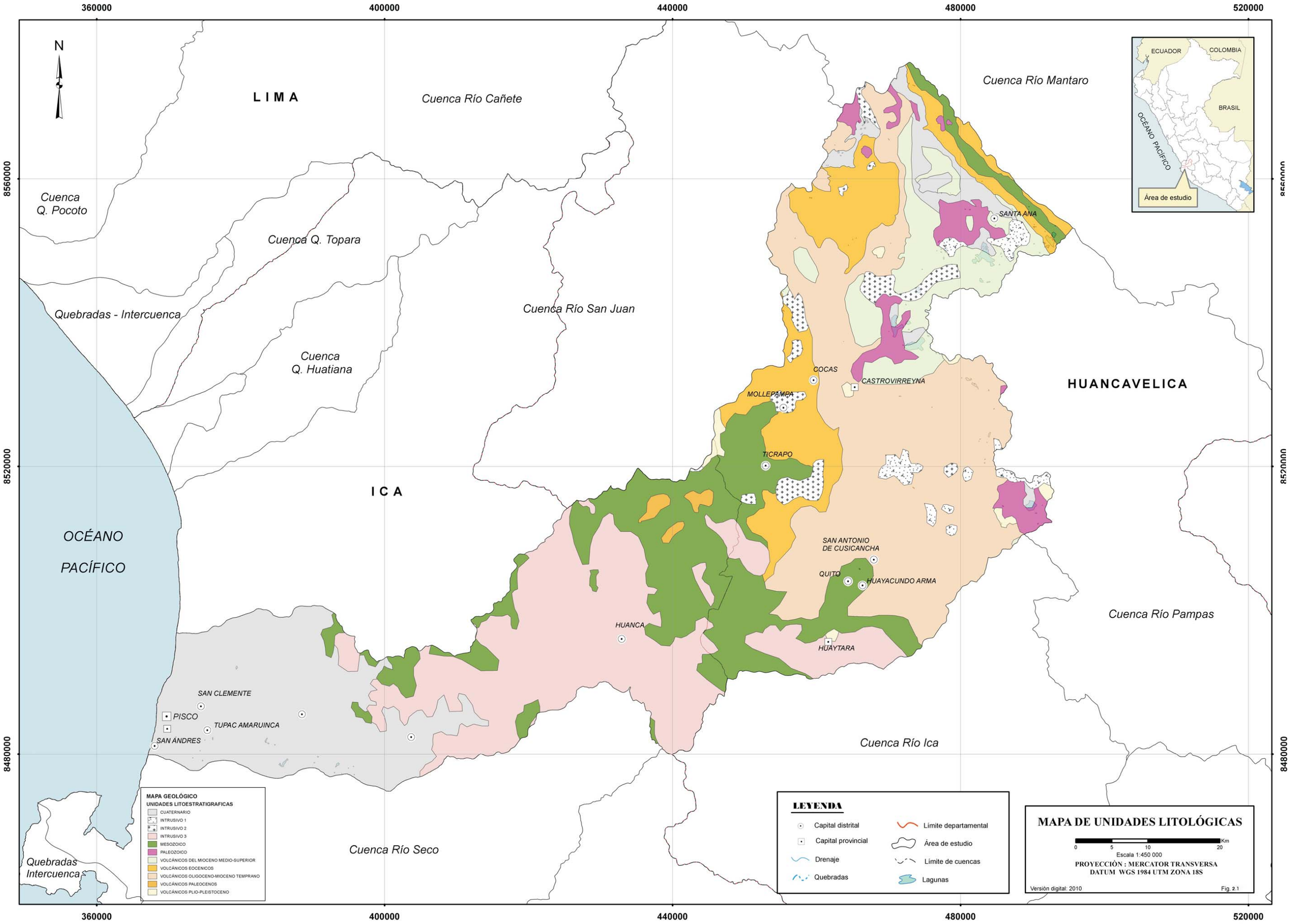


Figura 2.4 Otra vista de pliegue anticlinal en areniscas Labra (quebrada Quito Arma, Colccapampa, vista al noroeste).


360000
400000
440000
480000
520000
8560000
8520000
8480000
N
LIMA
Cuenca Río Cañete
Cuenca Río Mantaro
Cuenca Q. Pocoto
Cuenca Q. Topara
Quebradas - Intercuenca
Cuenca Río San Juan
Cuenca Q. Huatiana
ICA
HUANCAVELICA
OCÉANO PACÍFICO
Cuenca Río Pampas
Cuenca Río Ica
Cuenca Río Seco
Quebradas Intercuenca
SANTA ANA
COCAS
CASTROVIRREYNA
MOLLEPAMPA
TICRAPO
SAN ANTONIO DE CUSICANCHA
QUITO
HUAYACUNDO ARMA
HUANCA
HUAYTARA
SAN CLEMENTE
PISCO
TUPAC AMARUINCA
SAN ÁNDRES
ECUADOR
COLOMBIA
BRASIL
OCÉANO PACÍFICO
Área de estudio
MAPA GEOLÓGICO
UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS
CUATERNARIO
INTRUSIVO 1
INTRUSIVO 2
INTRUSIVO 3
MESOZOICO
PALEOZOICO
VOLCÁNICOS DEL MIOCENO MEDIO-SUPERIOR
VOLCÁNICOS EOCENICOS
VOLCÁNICOS OLIGOCENO-MIOCENO TEMPRANO
VOLCÁNICOS PALEOCENOS
VOLCÁNICOS PLIO-PLEISTOCENO
LEYENDA
Capital distrital
Capital provincial
Drenaje
Quebradas
Límite departamental
Área de estudio
Límite de cuencas
Lagunas
MAPA DE UNIDADES LITOLÓGICAS
0 5 10 20 Km
Escala 1:450 000
PROYECCIÓN : MERCATOR TRANSVERSA
DATUM WGS 1984 UTM ZONA 18S
Versión digital: 2010
Fig. 2.1

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA GENERALIZADA (PROYECTO Ge21)

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD ESTRATIGRÁFICA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA		POTENCIA (m)	ROCAS ÍGNEAS
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Dep. Fluviales	Depósitos recientes en lecho del río, gravas, arenas.	Qh-fl	?	
			Dep. Aluviales	Materiales fluviales de abanicos aluviales, constituidos por gravas de arenas y limos.	Qh-al	?	
			Dep. Eólicos	Acumulación de gran volumen de arena de grano medio a ino, presentando superficies onduladas.	Qh-e	?	
			Dep. de Bofedal	Limos y arcillas saturadas a subsaturadas de agua, cubiertas de gramineas.	Qh-bo	?	
			Dep. Coluvial	Bloques y clastos angulosos a subangulosos con poca o nada de matriz acumulada al pie de los valles.	Qh-co	?	
			Dep. Glaciares	Gravas, arenas, limos; depósitos ligados a la segunda glaciación.	Qpl-gl	?	
		PLEISTOCENO	Dep. Morrenicos	Bloques y gravas angulosas consolidadas.	Qpl-mo	?	
			Dep. Fluvioglaciares	Gravas, arenas en matriz limoarenosa.	Qpl-fg	?	
			Fm. Cañete	Alternancia de conglomerados, sedimentos arenosos y limosos.	Qpl-ca	250	
	NEÓGENO	MIOCENO	Fm. Auquivilca	Brechas tobaceas cubiertas por areniscas y limolitas intercaladas con calizas.	Nm-au	250	Nm-c/da,an Volcánico Cocodrilo; N-li/av,ap Volcánico Lilihua; PN-an,bx,tq Subvolcánico; PN-gd,di,ad,mzgr Intrusivo; P-an Subvolcánico
			Fm. Caudalosa	Flujos andesiticos intercalados con brechas andesiticas y tobas.	Nm-ca	250	
			Fm. Pisco	Areniscas tobaceas de grano fino intercaladas con lutitas gris amarillentas.	Nm-pi	250	
	PALEÓGENO	OLIGOCENO	Fm. Castrovirreyna	Intercalación de areniscas rojas, lentes de calizas, tobas y lavas andesiticas gris oscuras porfiriticas.	PN-c	500	
		EOCENO	Fm. Sacsaquero	Intercalación de flujos andesiticos porfiriticos grises con tobas de cristales rosáceas a parduzcas y areniscas.	P-sa	250	
			Fm. Tantara	Flujo andesitico a dacitico porfiritico grises a violaceos, areniscas intercaladas con, limolitas, tobas lapilliticas gris claras	P-tt	1000	
MESOZOICO	CRETACEO	SUPERIOR	Fm. Casapalca	Intercalaciones de areniscas, lutitas, limoarcillitas, conglomerados calcáreos de color rojizo a marrón. Flujo andesitico basal.	KsP-c	1000	Batolito de la Costa: Ks-ti/mzg to-gd Super Unidad Tiabaya.; Ks-in/dio gd-to-mzg Super Unidad Incahuasi.; Ks-pa/to-dio Super Unidad Pampahuasi.; Ks-ch/mzg Plutón Characas; Ks-li/mzg Super Unidad Linga.; Ks-pt/gb Super Unidad Patap.
			Fm. Huaranguillo	Calizas gris azulina silisificada intercalada con arenisca cuarzosas, volcánitas y metapelitas gris oscura.	Kis-hu	1000	
			Gpo. Quilmana	Secuencia de lavas andesiticas de color gris verdusco, tobas vitricas gris verdosas pseudoestratificadas, calizas negras y cuarcitas.	Ksi-q	1000	
		INFERIOR	Fm. Pariatambo	Calizas grises botuminosas con olor fétido, margas fosiliferas.	Ki-pt	50-100	
			Fm. Chulec	Gruesos bancos de caliza masiva, gris azulino con vetillas de calcita, arenisca calcarea en capas medianas intercaladas con margas y lutitas.	Ki-chu	100	
			Fm. Pariahuanca	Calizas grises con intercalaciones de pelitas y limolitas grises amarillentas.	Ki-ph	25-50	
			Fm. Copara	Andesitas porfiriticas algo estratificadas con tonos fris oscuros, con cristales de plagioclasas, brechas volcánicas en matriz de toba..	Ki-co	600	
			Fm. Hualhuani (Gpo. Yura)	Areniscas de grano fino amedio, colraciones blanquecinas, de grano medio a grueso, con estratificacion oblicua.	Ki-hu	600	
	JURÁSICO	SUPERIOR	Fm. Gramadal (Gpo. Yura)	Intercalación de calizas gris oscuras y azulinas de grano fino, con restos fósiles; también aflora algunos estratos de arenisca.	Js-la	600	
			Fm. Labra (Gpo. Yura)	Areniscas cuarzosas de grano fino a medio, coloraciones blancas, con estratificación paralela y oblicua curva.	Js-la	600	
		MEDIO	Fm. Cachios (Gpo. Yura)	Lutitas muy deleznables, areniscas con nódulos calcáreos y pizarras interestratificadas con niveles de cuarcita de color gris.	Jm-ca	600	

Figura 2.2 Columna estratigráfica generalizada.

Figura 2.5 Calizas Chúlec intensamente fracturadas, con contenido de pirita (río Pisco, Huancana).

Formación Casapalca

Consiste en una potente secuencia de areniscas y conglomerados de color pardo rojizo, que incluye también lodolitas, arcillitas y algunos horizontes de volcánicos, aunque en menor proporción. Estas molasas fueron depositadas luego del levantamiento de los andes (fase Peruana), por lo que se le asigna una edad del Cretáceo superior-Paleógeno inferior.

Cenozoico

La base del Cenozoico consiste en secuencias volcánico sedimentarias del Paleógeno, seguidas del Neógeno sedimentario de la Formación Pisco y los volcánicos sedimentarios Caudalosa y Auquivilca, teniendo a la pleistocénica Formación Cañete como la unidad litoestratigráfica más reciente. Distintos depósitos cuaternarios cubren en muchos lugares a las unidades más antiguas.

Volcánicos sedimentarios del Paleógeno

Tres unidades litológicas con características litológicas similares han sido agrupadas regionalmente y como tal serán consideradas para fines del tratamiento estadístico. Se trata de las formaciones Tantará, Sacsaquero y Castrovirreyna.

La Formación Tantará está constituida por una gruesa secuencia volcánica compuesta por derrames andesíticos, riodacíticos y dacíticos de color gris a pardo violáceo con textura porfirítica a afanítica. Esporádicamente presenta intercalaciones de brechas andesíticas y tobas andesíticas. Se distribuye en el entorno de Mollepampa y también en la parte alta del valle del Santuario (confluencia con el río Pisco). En conjunto, la secuencia presenta una pseudoestratificación en capas medianas a gruesas en forma de lentes.

La Formación Sacsaquero es una gruesa secuencia volcánico-sedimentaria que aflora en la parte superior (desde la localidad de Quito Arma), estando compuesta por una gruesa secuencia volcánico-sedimentaria, constituida por derrames andesíticos intercalados con tobas soldadas y tobas redepositadas (ver figuras 2.6 y 2.7); también se intercalan areniscas, limoarcillitas y calizas lagunares que se adelgazan desapareciendo por lenticularidad. Se le ubica entre el Eoceno-Oligoceno.

La Formación Castrovirreyna es una secuencia sedimentaria piroclástica de facies lacustres, representadas por areniscas, calizas, tobas, brechas y lavas que tiene su localidad típica en el área de Castrovirreyna (ver figuras 2.8 y 2.8a), esta unidad yace en discordancia erosional sobre la Formación Sacsaquero e infrayace a la Formación Auquivilca. Las dataciones radiométricas en el área de Castrovirreyna permiten ubicarla a fines del Oligoceno y principios del Mioceno (Palacios, 1994).

Figura 2.6 Afloramiento de brechas y tobas líticas en quebrada Chiris, Jatunpampa.

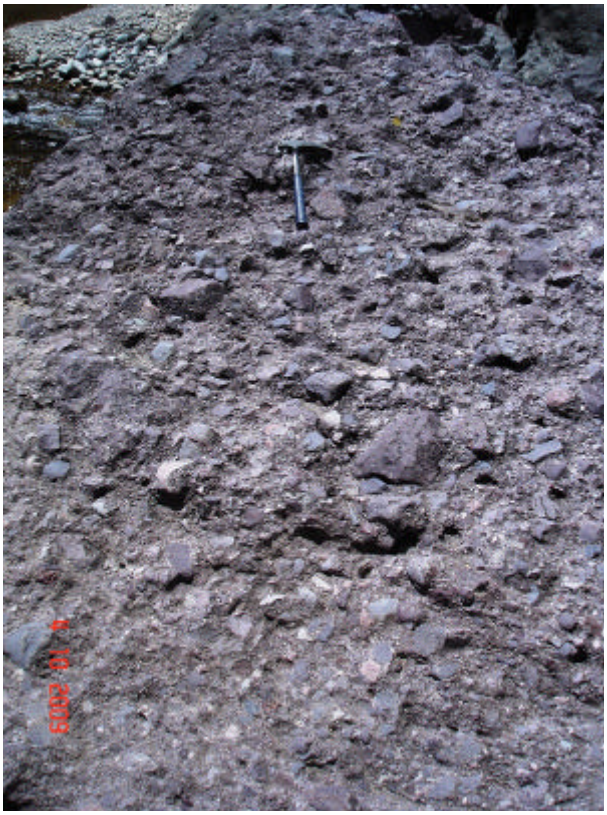


Figura 2.7 Detalle de brechas piroclásticas de Sacsaquero.

Formación Pisco

Es una unidad conformada por diatomitas intercaladas por areniscas tobáceas, calizas y lutitas. Aflora en el Cuadrángulo de Pisco (monte Caucato), al norte del puente sobre el río Pisco, hasta el límite sur del Cuadrángulo de Ica. En la margen derecha del río Pisco está expuesta una sección de 500 m de grosor, que consiste principalmente de diatomitas blancas, bastante puras, con excepción de ciertos horizontes algo tobáceos.

La edad asignada a la Formación Pisco es del Mioceno, y se correlaciona con las formaciones Zorritos y Cardalitos (Fernández, 1993b).

Volcánicos y sedimentarios neógenos

En la parte alta de la cuenca Pisco, se distribuyen rocas volcánicas con algunos niveles sedimentarios. Se trata de las formaciones Caudalosa y Auquivilca.

La Formación Caudalosa consiste de una serie de tobas y brechas en bancos gruesos, con ocasionales derrames que se combinan con flujos de brecha y bancos de riodacita-andesita. Se ha depositado en discordancia angular al Grupo Castrovirreyna, correspondiendo a un vulcanismo postectónico miocénico que cubrió casi todos los Andes

Figura 2.8 Areniscas rojas y tobas de la Formación Castrovirreyna en la quebrada Chichina (vista al noroeste).

Figura 2.8a Afloramiento de tobas y lavas andesíticas en margen derecha de quebrada Chiris, Cocha.

centrales, habiendo sufrido los efectos de un menor plegamiento y combamiento en el Plioceno (Palacios, 1994). Las muestras datadas de la Formación Caudalosa tienen 13,9 millones de años, por lo que se le considera del Mioceno superior, habiendo sido afectada por la tectónica Quechua tardía de edad Mio-Pliocena (Castillo *et al.*, 1993).

La Formación Auquivilca consiste de una **s**ecuencia de rocas piroclásticas en la base y depósitos lacustres en la parte superior. En la parte inferior consiste de tobas macizas, mientras que en la parte superior consiste de areniscas y limolitas intercaladas con calizas en capas delgadas y brechas tobáceas ocasionalmente (ver figura 2.9). Corresponde al Mioceno superior (Salazar y Landa, 1993).

Cuaternario

El Cuaternario está representado por la pleistocénica Formación Cañete y los depósitos posteriores pleistocénicos y holocénicos.

La Formación Cañete es un conjunto de conglomerados semiconsolidados, con clastos redondeados y subredondeados de litología variada, en matriz arenoarcillosa y con algunos sedimentos arenolimosos; estos conglomerados yacen en discordancia angular sobre la Formación Paracas y rocas más antiguas. Esta formación es continental y representa los conos de deyección aluvional más antiguos. Corresponde al Pleistoceno (Salazar y Landa, 1993).

Los depósitos fluvioglaciales son depósitos pobremente clasificados, donde se tienen gravas y arenas en matriz limoarcillosa, características de material que proviene de las partes altas, acumulado junto al lecho de los ríos y en su desembocadura a lagunas.

Los depósitos morrénicos pleistocénicos están constituidos de barro con arenas y arcillas que engloban elementos de tamaño heterogéneo, conformando depósitos conglomerádicos de hasta 50 cm de potencia. Las morrenas, así como los depósitos fluvioglaciales, se encuentran entre los 4000 y 4200 msnm.

Los depósitos glaciales están representados por acumulaciones de material morrénico reciente, distribuido en las cabeceras de los valles glaciales. Este material se encuentra conformando el fondo de los valles glaciales, así como en las márgenes de los valles de la vertiente oriental y occidental sobre una altitud de 3500 m. Consiste de gravas, bloques medianos, subangulosos a subredondeados, englobados en una matriz de grava fina y matriz limoarenosa.

Los depósitos de bofedal consisten de limos y arcillas saturadas a subsaturadas de agua, que se encuentran distribuidos en las altiplanicies.

Los depósitos aluviales están constituidos por materiales que en algún momento fueron arrastrados por los ríos y depositados en su trayecto formando lechos, terrazas y llanuras de inundación. El

Figura 2.9 Afloramiento de limolitas, calizas y tobas en la parte superior que corresponden a la Formación Auquivilca (quebrada Pucuta, Santa Ana).

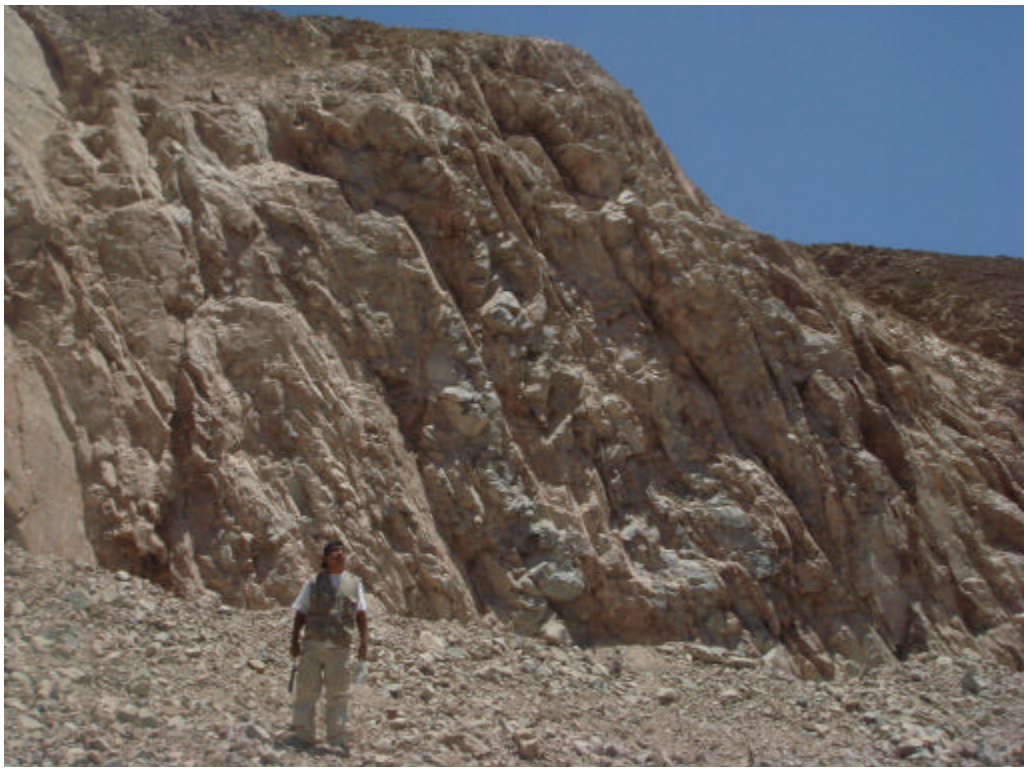


Figura 2.10 Granitos expuestos en margen izquierda de la quebrada Huancano.

Figura 2.10a Afloramiento de granodiorita en la margen izquierda del río Pisco, Huancano (vista al este).

material constituyente de estos depósitos es una grava de cantos, cascajo, arena y arcillas, conformando llanuras de inundación.

Los depósitos eólicos conforman extensos mantos de arena de escaso espesor, que no pasan de un metro en las áreas de mayor acumulación. Las arenas son de grano fino a grueso y color gris medio.

ROCAS INTRUSIVAS

En la cuenca, se localizan las siguientes unidades:

Batolito de la Costa

Está constituido por un complejo de cuerpos intrusivos que ocupan un 30% del área de estudio, emplazados en el borde oeste de la Cordillera Occidental andina, presentándose con rasgos típicos de plutón y constituidos por rocas ácidas, que en composición varían de granitos (ver figura 2.10) a tonalitas y cuerpos menores de diorita y algunas hipabisales microdioríticas.

El cuerpo principal es tonalítico con variaciones a granodiorita, debido a los numerosos diques potásicos que han intruido a las tonalitas, las que por adición de ortosa pasan a tonalita potásica y luego a granodioritas (ver figura 2.10a).

El Batolito de la Costa ocupa la zona media y baja de la cuenca desde Humay hasta la confluencia del río Huaytará, donde se le subdivide en unidades clasificadas como superunidades Patap, Linga, Pampahuasi, Incahuasi, Tiabaya y Characas (Palacios, 1994).

Intrusivos del Paleógeno-Neógeno

Consisten de cuerpos intrusivos pequeños a manera de *stocks*, cuellos o centros de efusión, diques, etc. de nivel subvolcánico, asociados a las secuencias volcánicas del Paleógeno que ocupan gran parte de los cuadrángulos de Tupe, Comarca, Tantará y Castrovirreyna.

Estas intrusiones no alcanzan más de 15 km de largo en el mejor de los casos, registrando la mayoría longitudes entre 5 y 10 km. En su composición, varían casos de andesíticas a riolíticas, siendo las primeras las más abundantes. Estos cuerpos menores están generalmente asociados con la mineralización polimetálica, como se aprecia en los centros mineros más importantes del área estudiada.

Rocas subvolcánicas del Paleógeno-Neógeno

En el área de la cuenca del río Pisco se exponen rocas subvolcánicas de composición andesítica, traquítica y riolítica, y están signadas como pertenecientes a los volcánicos Cocodrilo y Lilihua.

Los volcánicos Cocodrilo están constituidas litológicamente por dacitas, andesitas, traquitas, riolitas, tobas con pómez, bloques y clastos en matriz de tobas líticas. Corresponden al Mioceno.

Los volcánicos Lilihua están constituidos litológicamente por andesitas, lavas de traquiandesitas y tobas de ceniza lítica de volcánicos. Corresponden al Mioceno.

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Las unidades geológicas distribuidas en la región han estado sometidas a diferentes etapas de deformación, constituyendo un desarrollo estructural muy importante a partir del Mesozoico.

La deformación que se tiene en el área conduce a considerar dos unidades estructurales específicas: la secuencia mesozoica expuesta ampliamente en las zonas alto andinas de la Cordillera Occidental, y la segunda unidad, el fallamiento en bloques, más evidente en la zona costera, la que es poco visible en la región andina por el emplazamiento del Batolito de la Costa (Fernández, 1993b).

Asimismo, se manifiestan tres sistemas de fracturamiento notables: el primer sistema NO-SE (Andino), segundo sistema NE-SO, y el tercer sistema con tendencia E-W, generado por el reacomodo de bloques.

La naturaleza geoestructural de la zona muestra unidades antiguas al sur de Castrovirreyna, cubiertas en general por molasas rojas, producto de la primera tectónica andina, sobre las que yace en forma discordante gran parte de la cobertura volcánica cenozoica. Hacia el sector occidental de la cuenca, quedan expuestas rocas mesozoicas plegadas por efecto de la erosión de los ríos que bajan a la costa (Palacios, 1994).

En la figura 2.11, se muestran los principales rasgos estructurales determinados en la región.

Evolución tectónica

La evolución tectónica de la zona está evidenciada por los diferentes eventos orogenéticos que han ido deformando las rocas, alternados con eventos geodinámicos externos que han producido la modificación del paisaje.

A partir del Campaniano temprano, se producen fases tectónicas compresivas, como la fase Peruana (84 Ma-79 Ma), Incaica I (59 Ma-55 Ma), Incaica II (43 Ma-42 Ma), Incaica III (30 Ma-27 Ma), Incaica IV (22 Ma), Quechua I (17 Ma), Quechua II (8 Ma-7 Ma) y Quechua III (5 Ma-4 Ma).

A finales de la fase Peruana y al inicio de la fase Incaica I (Campaniano tardío-Paleoceno), se produjo un régimen extensional manifestado por la presencia de cuencas intermontañosas

rellenadas por capas rojas y volcanismo relacionado a calderas (Noble *et al.,* 2005). Durante el Paleoceno tardío y Eoceno temprano, se desarrolló la fase compresiva Incaica I (Noble *et al.,* 1985) que generó pliegues NO-SE en las capas rojas del Cretáceo tardío, seguido de levantamiento y erosión. En los estadíos tardíos del Eoceno medio, se produce una fase compresiva Incaica II, NE-SO, que genera pliegues y fajas corridas en las secuencias; mientras que los afloramientos de rocas graníticas del Batolito de la Costa son truncados por la generación de centros volcánicos que permitieron la deposición de tobas del Eoceno tardío, como en la caldera Tantará.

En el Oligoceno, se produce la fase compresiva Incaica III, caracterizada por un acortamiento NNE-SSO; paralelo a la dirección de convergencia en el Oligoceno, en estadíos tempranos del Mioceno temprano (22 Ma), registra la fase compresiva Incaica IV que generó ejes de pliegues NO-SE en los volcánicos del Oligoceno (este y noreste de la localidad de Laramate) y superficies de erosión en los niveles más expuestos del Batolito de la Costa, que sirvieron para la deposición de secuencias volcánicas del Grupo Nazca de 20 Ma. Alrededor de los 17 Ma (Mioceno medio), se evidencia una fase compresiva definida como Quechua I, que afectó a secuencias volcánicas oligocenas-miocenas y al Batolito de la Costa (Macharé *et al.,* 1986). Entre los 9,5 Ma y 10 Ma, se registra un régimen extensional que permitió la erupción de lavas y el emplazamiento de domos en Huachocolpa (Wise *et al.* 2001); asimismo, se registra entre los 9,5 Ma y 3,9 Ma una fase compresiva E-O, que produce movimiento sinextral en la falla que permitió el emplazamiento de la mineralización en el distrito de Huachocolpa (Quispe, 2006).

Marco estructural de la franja Huaytará-Tantará

Dentro del esquema estructural establecido, se ha tenido en cuenta el análisis de imágenes satelitales Aster y mosaicos de imágenes Landsat TM (Bandas 7, 4, 2), como también análisis de mapas geológicos. Se ha determinado la presencia de estructuras compuestas por sistema de fallas, estructuras volcánicas, ejes de pliegues y lineamientos.

Falla Chonta

De tipo inversa con reactivación sinextral, rumbo andino, entre N 30° O a N 40° O y 70º SO de buzamiento. Se extiende desde el poblado de Pucapampa, pasa cerca al distrito minero de Huachocolpa, luego por el oeste del poblado de Licapa y hacia el sureste de la mina Antapite. La traza de esta falla dentro de la región tiene más de 120 km. El movimiento inverso, con reactivación sinextral se dio como respuesta a un cambio de la oblicuidad relativa de convergencia de las placas tectónicas Nazca y Sudamericana (Wise *et al*., 2001).

Falla Castrovirreyna

También de tipo inversa con reactivación sinextral, se despliega longitudinalmente desde el distrito de Castrovirreyna, con un trazo discontinuo de 40 km de longitud, siguiendo un rumbo N 25º O y buzamiento 75º al SO. La falla Castrovirreyna en esta área muestra dos componentes: uno inverso y otro sinestral. El desplazamiento inverso está manifestado por el contacto entre secuencias volcánicas fuertemente plegadas de edad eocena y niveles volcánico-sedimentarios del Oligoceno con pliegues abiertos. La reactivación con movimiento sinextral se nota en un pliegue de arrastre. Las estrías en planos de falla que corroboran el movimiento inverso se encuentran mayormente borradas por la presencia de estrías con movimiento sinextral. La traza de la falla Castrovirreyna probablemente se extiende hasta el sector noreste del distrito minero de Antapite, a lo largo de la línea de cumbre del cerro Huaucayoc, debido a que en este sector se ha identificado una falla inversa con rumbo N 40º O y 80º SO de buzamiento, que correlaciona muy bien con la prolongación de la falla Castrovirreyna (Quispe, 2006).

Falla Chocllanca-Zorro Rojo

De movimiento normal con reactivación sinextral. Es el control estructural mayor de la veta-falla Zorro Rojo en la mina Antapite. La falla tiene un rumbo N 55º a 60º O, con buzamientos de 60º a 85º al SO y una traza discontinua de 15 km de longitud. Es reconocida en gran parte por labores subterráneas y sondajes diamantinos. Presenta dos eventos de deformación como resultado de regímenes de extensión NE-SO (27 Ma) y compresión OSO-ENE (26 a 19 Ma) del pulso tectónico Incaico IV. El emplazamiento de los *stocks* dioríticos se realizaría en zonas de extensión generada por el movimiento sinestral (Quispe, *op. cit.*).

Falla Ruñahuanusca

De comportamiento dextral, se extiende desde el noroeste de la mina Antapite por la quebrada Ruñahuañusca hasta el suroeste del yacimiento Jatun Orcco. Tiene una traza discontinua de 40 km de longitud. La falla tiene rumbo N 20º a 30º E y buza con 87º al SE. Los planos de falla son lisos, mayormente con presencia de estrías de bajo ángulo. Dicha estructura presenta dos movimientos: uno normal y otro dextral. El evento extensional NE-SO (registrado en la veta-falla Chocllanca-Zorro Rojo) produciría el desplazamiento normal y sería menor que la edad de las tobas de 27,10 Ma. El desplazamiento dextral posterior a la alteración-mineralización de la veta Carmencita (< 26 Ma) estaría relacionado al evento compresivo OSO-ENE del Incaico IV. Por lo tanto, la falla Ruñahuañusca resulta ser el sistema conjugado de la falla Chocllanca-Zorro Rojo (Quispe, op cit).

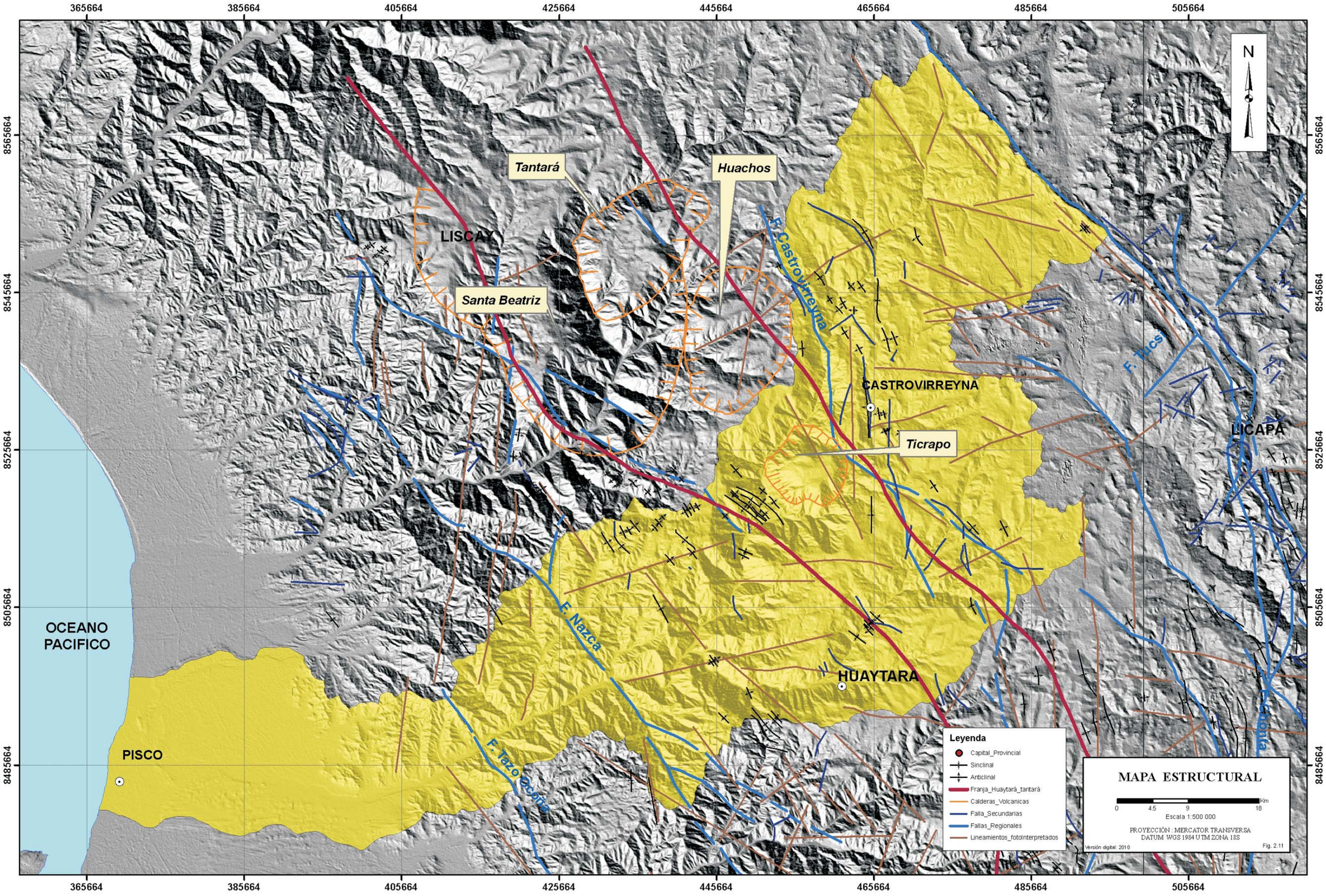
Centros volcánicos y calderas

Registrados al noroeste y sureste de la franja Huaytará-Tantará, en las áreas de los yacimientos de Antapite y Pampa Andino. En Antapite, se han identificado cuatro centros volcánicos asociados a la deposición de rocas volcánicas datadas de 20,94 Ma a 27,10 Ma. Asimismo, Noble *et al.* (2005) han diferenciado cuatro calderas entre los ríos San Juan y Castrovirreyna, denominadas como Santa Beatriz, Tantará, Huachos y Ticrapo. Relacionadas a ellas se tienen secuencias volcánicas del Paleoceno al Eoceno tardío, así como plutones de 52,16 Ma a 59,47 Ma y subvolcánicos de 29,08 Ma y 34,27 Ma (Quispe, *op. cit.*).

Ejes de pliegues

Registrados en rocas que van desde el Mesozoico hasta el Mioceno tardío asociadas a uno de los estilos de deformación de las fases compresivas del ciclo Andino.

Destacan ejes de pliegues con rumbo N 40º a 50º W en rocas sedimentarias del Cretáceo, N a N 20º E en secuencias volcanosedimentarias del Oligoceno, N 20º a 40º W en rocas volcánicas del Mioceno mediosuperior, N 10º W a N 10º en todas las anteriores, sugiriendo la última deformación del área (Quispe, *op. cit.*).


365664
385664
405664
425664
445664
465664
485664
505664
8565664
8545664
8525664
8505664
8485664
N
Tantará
Huachos
LISCAY
Santa Beatriz
F. Castrovirreyna
CASTROVIRREYNA
Ticrapo
F. Tucs
LICAPA
OCEANO
PACIFICO
F. Nazca
HUAYTARA
PISCO
F. Tazo Ocoña
Leyenda
Capital_Provincial
Sinclinal
Anticlinal
Franja_Huaytará_tantará
Calderas_Volcanicas
Falla_Secundarias
Fallas_Regionales
Lineamientos_fotoInterpretados
MAPA ESTRUCTURAL
0 4.5 9 18 Km
Escala 1:500 000
PROYECCIÓN : MERCATOR TRANSVERSA
DATUM WGS 1984 UTM ZONA 18S
Versión digital: 2010
Fig. 2.11

CAPÍTULO III
GEOLOGÍA ECONÓMICA

La gran mayoría de depósitos filonianos se ubican en Castrovirreyna, Huancavelica, entre los 4500 y 5000 msnm, con vetas que presentan rumbo E-O a NO-SE y son ricas en minerales de plata. El relleno mineral se compone de galena, esfalerita, tetrahedrita, calcopirita, argentita, pirargirita, enargita y otros, en ganga de cuarzo, pirita y carbonatos.

FRANJAS METALOGENÉTICAS

De acuerdo al mapa metalogenético de INGEMMET (2009), en la cuenca Pisco se distribuyen cuatro franjas de rumbo andino, las que de oeste a este se denominan:

- Franja VIII de depósitos de Cu-Fe-Au (IOCG) del Cretácico inferior.
- Franja X de pórfidos de Cu-Mo del Cretácico superior.
- Franja XX de epitermales de Au-Ag del Oligoceno-Mioceno.
- Franja XXIV de epitermales de Au-Ag del Mioceno y Plioceno.

No obstante, en la zona de estudio no se ha evidenciado la presencia de la Franja VIII, de modo que se ha elaborado el mapa considerando solamente las tres franjas restantes. Respecto a la Franja XX, esta ha sido referida por Vidal *et al.* (2004) como la franja de baja sulfuración Huaytará-Tantará (ver figura 3.1).

Franja de pórfidos de Cu-Mo del Cretácico superior

Corresponde a la franja X del Mapa Metalogenético del Perú (INGEMMET, 2009).

La mineralización está relacionada a intrusivos graníticos del Cretácico superior del Batolito de la Costa y controlada por fallas NO-SE de los sistemas Conchao-Cocachacra, Cincha-Lluta e Incapuquio, así como por fallas menores con orientación N-S (Acosta *et al*., 2008). Como depósitos asociados podemos mencionar a vetas de reemplazamiento de Cu-Pb-Zn, (Steinmüller, 1999). La mayoría de depósitos existentes en esta franja, dentro de la cuenca Pisco, son vetas de dimensiones variables. La mineralización se compone de calcopirita, bornita y a veces galena asociadas con pirita y cuarzo; los minerales de cobre son malaquita, azurita, crisocola y, en menor cantidad, cuprita (Bellido, 1972). A continuación se hace una breve descripción de algunos depósitos ubicados en esta franja.

Tingo

Políticamente el proyecto Tingo se ubica en el distrito San Isidro de Huaripacancha, provincia de Huaytará, departamento de Huancavelica, a una altura entre los 2500 y 3000 msnm.

El pórfido de cobre Tingo consiste de intrusivos de composición granodiorítica a tonalítica, cortados por diques de andesita y aplita. La aplita se manifiesta, asimismo, como un pequeño *stock* al NO del pórfido.

Estructuralmente se conocen tres sistemas principales de fracturamiento: N20°O; N60°-70°E y N40°O.

El halo de alteración hidrotermal tiene un largo de 3,5 km por 1,5 km; la elongación tiene un rumbo N20°O; la parte central del depósito tiene un halo bastante extenso (1,5 km por 0,7 km) de alteración potásica que consiste en feldespato potásico-biotita-cuarzo y algo de sericita. La alteración fílica es transicional respecto de la alteración potásica, consiste en cuarzo-sericita, algo de cloritas y epídota, con frecuentes venillas de cuarzo. La alteración propilítica es periférica con clorita-epídota-pirita; al pirita se incrementa considerablemente formando venillas (INGEMMET, 2001).

Las manifestaciones minerales, que corresponden a minerales oxidados, son frecuentes y abundantes la jarosita, gohetita y hematina, con cantidades menores de yeso y algunas eflorescencias con minerales de cobre a lo largo de las fracturas y en las venillas de cuarzo (INGEMMET, 2001).

Mina Cóndor

Está situada en la margen derecha del río Pisco (ver figura 3.2). Es un yacimiento polimetálico de Cu, Zn, Pb y Ag en vetas. La mineralización está vinculada a un intrusivo de andesita porfirítica que parece cortar a las areniscas cuarzosas albianas. Una fractura ha sido rellenada de calcopirita y bornita, aunque existen áreas dentro del mismo cuerpo intrusivo que presentan extensas diseminaciones, principalmente de calcopirita. La mineralización en ningún caso se encontró en las areniscas, por lo que algunos

consideran que estas rocas están separadas de la andesita por una falla sin presentar contacto intrusivo.

En la actualidad, está abandonada debido a la falta de reservas. Como producto de la actividad minera, existe un depósito de relaves que es captado por el río Pisco.

Mina María Elena

La mina se ubica en el valle de Huaytará, en el Cerro Hallgas Punta, a 2200 msnm, cerca de Surocoto (Cuadrángulo de Santiago de Chocorvos).

La mineralización del yacimiento María Elena se presenta en vetas emplazadas en volcánicos andesíticos. Es una estructura del tipo relleno de fisura de origen hidrotermal, en la que los principales minerales son galena, esfalerita, calcopirita, bornita, pirita, arsenopirita, calcita y barita.

La veta tiene una longitud aproximada de 1,5 km de afloramiento en forma discontinua, cubierta en tramos por depósitos recientes. La estructura se presenta oxidada con rumbo promedio 60°E y con buzamiento de 50°SE, ambos extremos parecen estar delimitados por fallamiento transversal. La mineralización de la veta está constituida por sulfuros finamente cristalizados en forma de vetillas y diseminaciones dentro de la estructura (Palacios, 1994).

Mina Flores Torres

Se encuentra al norte de la mina María Elena, aproximadamente a 3 km en la quebrada Huayantomayo, a 2250 msnm. Pertenece al Cuadrángulo de Santiago de Chocorvos.

Las rocas cajas son calizas en estratos medianos de rumbo N40°E y un buzamiento de 35° NO. La veta se ubica en una falla de rumbo NE-SO y fuertemente inclinada al SO. El mineral se encuentra como venillas en material de panizo de naturaleza calcárea, habiéndose explotado galena, esfalerita y, en menor porcentaje, calcopirita. La veta se ha perdido –al parecer– por fallamiento. Se desarrollaron labores de cortada sin llegar a localizarla (Palacios, 1994).

Mina La Virreyna

Ubicada a la derecha de la quebrada Sacramento, la que a la vez es un afluente del río Huaytará. Pertenece a la hoja de Santiago de Chocorvos, departamento de Huancavelica. La estructura está constituida por venillas que se engrosan como bolsonadas variando en ancho de 20 a 30 cm. El rumbo de la veta es N70°E, con un buzamiento 50° SE.

Las rocas volcánicas son andesitas verdes porfiríticas pertenecientes al volcánico del Cretácico-Jurásico. La mineralización está constituida por malaquita, azurita y crisocola. La mineralización se encuentra en el contacto volcánico-caliza (Palacios, 1994).

Accocasa

Se ubica en la parte alta del río Huaytará, provincia de Huaytará, departamento de Huancavelica. Está se encuentra a una altura de 2650 msnm. El yacimiento es del tipo filoniano, emplazado en rocas andesíticas fracturadas. La mineralización es polimetálica de plomo, zinc y cobre (Universidad Nacional de Ingeniería, 2000).

Acuario 2

Este yacimiento está emplazado en la margen derecha del río Pisco, en un *stock* de roca intrusiva. Las vetas presentan fuertemente oxidación con mineralización de cobre, posible oro y carbonatos con poco material de desmonte y mineral acumulado (Universidad Nacional de Ingeniería, 1998).

El Alamo

Está ubicada en la margen izquierda del río Pisco en roca intrusita. Muestra vetas con mineralización de cobre asociado a carbonatos (Universidad Nacional de Ingeniería, 1998).

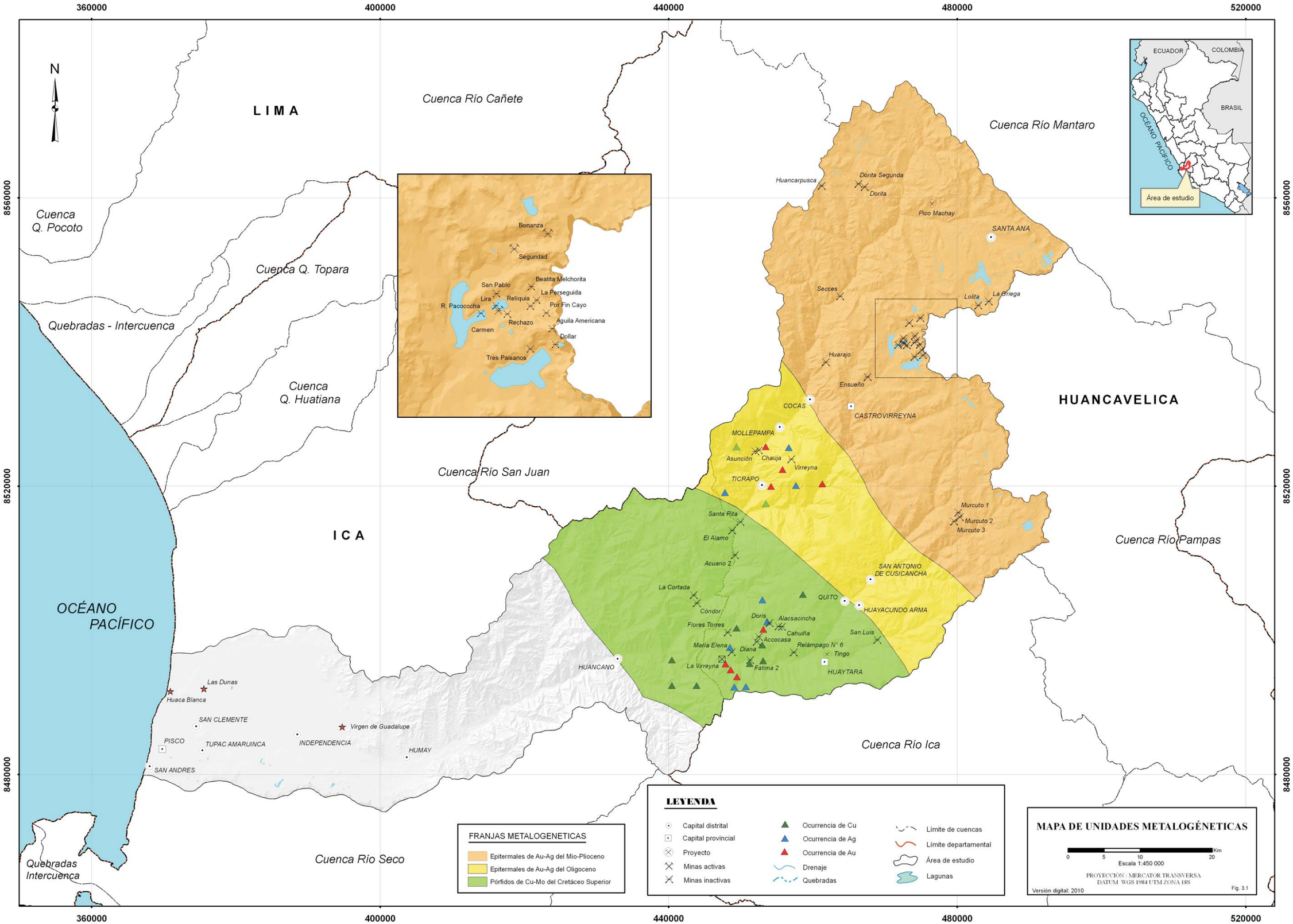
Minas Diana y Doris

Están ubicadas en la margen derecha del río Huaytará, tributario del río Pisco, y corresponden a vetas con mineralización polimetálica de Pb, Zn, Cu. La roca caja está constituida por rocas volcánicas andesíticas moderadamente metamorfizadas (Universidad Nacional de Ingeniería, 1998).

Franja de epitermales de Au-Ag del Oligoceno-Mioceno

Corresponde a la Franja XX del mapa metalogenético del Perú (INGEMMET, 2009) y se denomina como franja de baja sulfuración Huaytará-Tantará por Vidal *et al.* (2004). Contiene mineralizaciones Au-Ag (Pb-Zn-Cu) como relleno de fracturas y brechas, hospedada en secuencias volcánicas del Eoceno-Mioceno. La franja tiene una longitud reconocida de 130 km y un ancho de 20 km, en promedio, y rumbo NW-SE. Se extiende desde la mina Antapite en la provincia de Huaytará, departamento de Huancavelica, y llega hasta el yacimiento aurífero Pampa Andino, ubicado en la provincia de Chincha, departamento de Ica.

Los yacimientos de Au-Ag (Pb, Zn, Cu) de la franja Huaytará-Tantará se distribuyen a lo largo de la Cordillera Occidental, sobre los 3000 y 4500 msnm. Las estructuras mineralizadas tienen orientaciones NO-SE, NE-SO, N-S y E-O; con potencias que varían entre 0,20 m y 8,60 m. La mineralogía de mena en la mayoría de casos presenta pirrotita-arsenopirita-argentita, definidos como


360000
400000
440000
480000
520000
8560000
8520000
8480000
N
LIMA
Cuenca Río Cañete
Cuenca Río Mantaro
Cuenca Q. Pocoto
Cuenca Q. Topara
Quebradas - Intercuenca
Cuenca Q. Huatiana
Cuenca Río San Juan
ICA
OCÉANO PACÍFICO
Cuenca Río Pampas
Cuenca Río Ica
Cuenca Río Seco
Quebradas Intercuenca
HUANCAVELICA
ECUADOR
COLOMBIA
BRASIL
OCÉANO PACÍFICO
Área de estudio
Bonanza
Seguridad
Beatita Melchorita
San Pablo
La Perseguida
Lira
Reliquia
R. Pacococha
Por Fin Cayo
Rechazo
Aguila Americana
Carmen
Dollar
Tres Paisanos
Huancarpusca
Dorita Segunda
Dorita
Pico Machay
SANTA ANA
Secces
Lolita
La Briega
Huarajo
Ensueño
COCAS
CASTROVIRREYNA
MOLLEPAMPA
Asunción
Chauja
Virreyna
TICRAPO
Murcuto 1
Murcuto 2
Murcuto 3
Santa Rita
El Alamo
Acuario 2
SAN ANTONIO DE CUSICANCHA
La Cortada
QUITO
HUAYACUNDO ARMA
Cóndor
Doris
Alacsacincha
Flores Torres
Cahuiña
San Luis
Accocasa
María Elena
Diana
Relámpago N° 6
Tingo
La Virreyna
Fátima 2
HUAYTARA
HUANCANO
Las Dunas
Huaca Blanca
SAN CLEMENTE
Virgen de Guadalupe
PISCO
TUPAC AMARUINCA
INDEPENDENCIA
HUMAY
SAN ANDRES
FRANJAS METALOGENETICAS
Epitermales de Au-Ag del Mio-Plioceno
Epitermales de Au-Ag del Oligoceno
Pórfidos de Cu-Mo del Cretáceo Superior
LEYENDA
Capital distrital
Capital provincial
Proyecto
Minas activas
Minas inactivas
Ocurrencia de Cu
Ocurrencia de Ag
Ocurrencia de Au
Drenaje
Quebradas
Límite de cuencas
Límite departamental
Área de estudio
Lagunas
MAPA DE UNIDADES METALOGÉNETICAS
0 5 10 20 Km
Escala 1:450 000
PROYECCIÓN : MERCATOR TRANSVERSA
DATUM WGS 1984 UTM ZONA 18S
Versión digital: 2010
Fig. 3.1

PÁGINA EN BLANCO

Figura 3.2 Mina Cóndor, margen derecha del río Pisco.

Figura 3.3 Mina María Elena, margen derecha del río Huaytará.

minerales de baja sulfuración (Einaudi *et al*., 2003). Las rocas hospedantes muestran halos de alteración que gradan de cuarzo-adularia-sericita-illita a cuarzo-clorita-zeolitas-calcita (Quispe, 2006).

Dentro de esta franja encontramos los siguientes yacimientos.

Mina La Española de Huachac

El yacimiento de Huachac está ubicado al este del caserío de Huachac del distrito de Ticrapo, provincia de Castrovirreyna, departamento de Huancavelica.

Las coordenadas geográficas son 11°36´06" de latitud sur, con 76°27´46" de longitud oeste y con una altitud de 2200 msnm.

El acceso a la mina se hace por la carretera de Castrovirreyna, desde la ciudad de Lima hasta Pisco (230 km), y luego Pisco-Huachac-mina (100 km aproximadamente).

Las rocas existentes en la zona son andesitas, brechas volcánicas y calizas. Al SO de la quebrada de Huachac, se pueden encontrar dos fracturas mineralizadas que afloran con rumbo NE (sus longitudes visibles no sobrepasan los 60 m), las cuales se han denominado veta A y veta B.

La veta A está ubicada en la parte alta de la escarpada, presenta diseminaciones de galena argentífera dentro de cuarzo lechoso de estructura bandeada.

La veta B se ubica en la parte baja del terreno, su relleno está formado por concentraciones esporádicas de calcopirita en granos pequeños dentro de una ganga compacta de arsenopirita y cuarzo. Se aprecia una brecha volcánica interpuesta entre las dos vetas.

Ticrapo

El área de Ticrapo presenta una mineralización tipo relleno de fracturas, en los márgenes de la caldera Ticrapo y hospedada en rocas volcánicas del Eoceno.

Las alteraciones hidrotermales de la roca caja están dadas por los ensambles de cuarzo-caolinita-illita y clorita-pirita.

La mineralización es aurífera, con plata subordinada, y se encuentra principalmente distribuida en dos sectores denominados Monterrico y Lúcuma Dorada.

El sector de Monterrico presenta vetas con rumbos N 40° a 70° O y N 60° a 70 ° E, con buzamientos de 60° a 80°, al SW y SE. Los afloramientos de las vetas alcanzan más de 0,6 km, con anchos que varían entre 0,20 m y 1,20 m. La mineralogía de mena está dada por oro, argentita, galena y calcopirita; mientras que la ganga está conformada por cuarzo, pirita, hematita, gohetita y jarosita. Las leyes de oro varían de 0,50 g/t Au a 32,00 g/t Au, la plata de 20 ppm a 237 ppm (Quispe, 2006).

En el sector Lúcuma Dorada, se tienen afloramientos discontinuos de vetas, cuyos afloramientos en conjunto alcanzan 1 km de longitud. Presentan dos rumbos importantes: N 60° a 80° W y N 60° a 80° E, con buzamientos de 50° a 80° hacia el NE y SE. La mena está conformada principalmente por oro y argentita, con trazas de galena y esfalerita; mientras que la mineralogía de ganga está representada por cuarzo, pirita, hematita, gohetita y jarosita. Las leyes de oro están en el rango de 1,00 g/t Au a 88,28 g/t Au y la plata de 20 ppm a 157 ppm (Quispe, 2006).

La edad de mineralización probablemente sea del Oligoceno temprano, en relación con su roca hospedante y con yacimientos cercanos (Quispe, 2006)

Mina Asunción

Se encuentra frente al pueblo de Ticrapo, a la margen derecha del río Pisco, provincia de Castrovirreyna, departamento de Huancavelica; a una altitud de 2380 msnm. Las vetas están emplazadas en rocas intrusivas. La mineralización es de oro y cobre.

Franja de epitermales de Au-Ag del Mioceno y Plioceno

Corresponde a la Franja XXIV del mapa metalogenético del Perú (2009) y se extiende en el dominio volcánico de la Cordillera Occidental del centro-sur del Perú. La mineralización de Au-Ag está relacionada a la actividad magmática del Mio-Plioceno. Estructuralmente, está controlada los sistemas de falla NO-SE (Chonta, Abancay-Condoroma-Caylloma y Cincha-Lluta), así como fallas menores E-O. Las edades de mineralización de esta franja se registran entre 7 y 1 Ma, y está constituida principalmente por epitermales de Au-Ag de alta sulfuración.

Dentro de esta franja de epitermales, se encuentra gran parte del distrito minero de Castrovirreyna, donde ocurren al menos tres clases de mineralización:

1. vetas polimetálicas ricas en plata;

2. estructuras de oro diseminado de alta sulfuración;

3. cuerpos de antimonio.

En base a sus principales características como de mineralogía, asociaciones geoquímicas de baja temperatura, roca caja y por un campo volcánico del Mioceno bien preservado, pueden ser categorizadas como de naturaleza epitermal y pertenecientes a una familia de pórfidos de cobre.

Las características mineralógicas y geoquímicas indican que las vetas polimetálicas ricas en plata son de la clase cordillerana, esto es, polimetálica, ricas en sulfuros. Este tipo de mineralización está

asociada a sistemas hidrotermales porfiríticos de cobre en profundidad y se forman típicamente en las partes altas de este tipo de sistemas, generalmente flanqueando centros de alteración ácida asociados a mineralización de oro diseminado, tal y como ocurre en el distrito minero de Castrovirreyna, donde se ha reconocido más de cinco de estos centros de alteración ácida (Compañía Minera Castrovirreyna S.A, 2009).

Los depósitos minerales en la faja de rocas volcánicas son principalmente del tipo veta. El valor económico de la gran mayoría de los yacimientos reside en su contenido de plomo, zinc, plata y cobre, con leyes de oro, cadmio y mercurio (Bellido, 1972).

Proyecto Picomachay

El proyecto Picomachay se encuentra ubicado en el departamento de Huancavelica, provincia de Castrovirreyna, distrito de Santa Ana a una altitud aproximada de 4800 msnm.

Localmente, el yacimiento Picomachay se encuentra asociado a la Formación Huichinga del Mioceno, compuesta por lavas andesíticas y dacíticas intercaladas con tufos andesíticos y dacíticos, que sobreyacen a la secuencia volcano-sedimentaria de la Formación Auquivilca, también del Mioceno. Asimismo, se observa la presencia de domos hipabisales de composición diorítica y andesítica.

Estratigráficamente, el área comprende las siguientes unidades: formaciones Auquivilca, Huichinga y Astobamba; y depósitos cuaternarios, glaciales, fluvioglaciales y depósitos coluviales.

Las fracturas presentan rumbo 70º a 80º noreste. Las fallas y fracturas cartografiadas tienen dirección noreste a suroeste que coinciden con la orientación andina y se constituyen en el control estructural de la mineralización. Las fracturas menores se presentan perpendiculares a las fallas, mientras que las fracturas mayores conforman otro patrón de orientación noroeste a sureste.

El mejor taladro interceptó, a una profundidad de 62 m, una ley de 0,75g/t Au y a 26 m una ley de 0,87 g/t Au.

Dorita

La zona se encuentra ubicada en el distrito de Villa de Armas, provincia de Castrovirreyna, departamento de Huancavelica, entre alturas que van desde los 4600 hasta 5000 msnm.

Localmente comprende las unidades del Cenozoico, secuencias sedimentarias piroclásticas intercaladas con algunos horizontes de lavas andesíticas y aglomerados volcánicos correspondientes a la Formación Castrovirreyna. Hacia las partes altas, aflora la Formación Caudalosa con tufos andesíticos, dacíticos y brechas de flujo de composición andesítica, intercaladas con lavas andesíticas en niveles inferiores. Esta secuencia volcánica se encuentra afectada por domos subvolcánicos de composición diorítica afanítica de apariencia fresca e hipabisales andesíticos, en algunos casos con débil piritización local diseminada.

Se presentan en el sector lineamientos regionales de marcada orientación andina NO, como la falla Chonta, y transversalmente a ella se observan lineamientos N-NE, los cuales originan zonas de debilidad y fracturamiento de distensión N70º y N90º, favoreciendo el flujo de soluciones y emplazamiento de minerales.

Asimismo, se observan estructuras circulares y asociadas a ellas domos subvolcánicos de composición andesítica-diorita de apariencia fresca.

Reliquias

La mina Reliquias políticamente se ubica en el paraje del mismo nombre, en el distrito de Santa Ana, provincia de Castrovirreyna, a una altitud promedio de 4800 msnm.

Geológicamente, la mina Reliquias está ubicada en el flanco oriental de la Cordillera Occidental del segmento Central de los Andes del Perú. Metalogenéticamente, está ubicada en el distrito minero argentífero de Castrovirreyna, que pertenece a la subprovincia polimetálica del altiplano de la región central del Perú, considerada como la provincia metalogénica argentífera más grande e importante del Perú central, que ha producido mineral argentífero (platas rojas) a partir de las vetas de cuarzo-baritina que rellenan fracturas alojadas en andesitas de edad neógena de la Formación Caudalosa.

Estratigráficamente, comprende una secuencia de rocas sedimentarias y volcánicas que datan desde el Cretáceo inferior, representado por el Grupo Goyllarisquizga (Aptiano-Turoniano), que aflora al oeste del poblado de Ticrapo, hasta las formaciones volcánicas neógenas, representadas por la Formación Astobamba (Mioceno-Plioceno), la cual aflora en las cercanías del poblado de Astobamba. Asimismo, afloran pequeñas intrusiones de granodiorita, monzogranito, diorita y parte del Batolito de la Costa, que intruyen la secuencia mesozoica y parcialmente las secuencias volcánicas del Terciario. Hay pequeños *stocks* de subvolcánicos de tipo andesita, riolita y dacita (Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros, 2006).

Dollar

El yacimiento se ubica al NE de Castrovirreyna, en el departamento de Huancavelica, a una altura de 4450 msnm. Geológicamente, este yacimiento se presenta en tufos y lavas andesíticas de la Formación Calipuy del Terciario inferior al Terciario medio.

El yacimiento está constituido por una veta principal denominada Dollar, de 1600 m de longitud, con una mineralización de 1200 m. Su rumbo es N 45° O, con alto grado de buzamiento al NE y al SO.

Se trata del relleno de una falla sinestral a inversa, donde el *block* NE ha subido respecto al *block* SO.

La veta Dollar es la parte externa del distrito minero de Castrovirreyna (5,200 m por 1,200 m), donde el rumbo del eje mayor del área es N60°O. Hacia el SE de dicho distrito minero, la mineralización es de Ag; hacia la parte central y NO, presenta mineralización de Zn, Pb, Cu de mayor temperatura (Tumialán, 1978). Es una veta con leyes de plata de 5 a 30 oz Ag/TC; de Zn de 1 a 6 %, Pb de 1 a 4 %, Cu de 0,1 a 0,9 %.

La mineralogía está constituida por sulfosales de plata como polibasita, pirargirita, proustita, esfalerita, galena, calcopirita, cuarzo, pirita, oropimente, rejalgar, baritina, acantita, querargirita. Como secuencia paragenética, se observa cuarzo, pirita, calcopirita, esfalerita, galena, sulfosales de plata, oropimente, rejalgar, baritina y, como minerales supérgenos, acantita y querargirita.

Mina Tres Paisanos

La mina Tres Paisanos está ubicada en la margen lateral de la laguna de San Francisco, provincia de Castrovirreyna, a una altitud de 4450 msnm.

El yacimiento es de tipo filoniano, con metales de Zn, Ag y Cu, que se encuentran emplazados en roca volcánica andesítica con diseminación fina de pirita; además de óxidos de hierro, limonitas y cuarzo; como minerales de mena, se tiene galena, esfalerita y calcopirita, y como minerales ganga a la pirita, cuarzo y limonitas.

CAPÍTULO IV

GEOQUÍMICA AMBIENTAL

Se han recolectado 131 muestras de agua de acuerdo al diseño efectuado previamente (Mapa MAF-GQ09-01), el cual considera la toma de una muestra cada 4 km aproximadamente, siguiendo el mismo criterio aplicado en los trabajos similares desarrollados por INGEMMET en las cuencas Huaura o Camaná-Majes-Colca. Son dos litros los recolectados en cada lugar preestablecido, los cuales fueron analizados por metales totales y aniones (cloruros, bicarbonatos, sulfatos). Esto permite caracterizar y determinar la calidad química del agua; para esto último se tienen en cuenta los estándares de calidad ambiental normados por el Ministerio del Ambiente (DS 002-2008-MINAM).

Las lagunas distribuidas en las cabeceras de la cuenca han sido lugares de drenaje de varias minas que en la actualidad se encuentran paralizadas o abandonadas. Los pasivos ambientales emplazados en cada laguna son los siguientes:

- laguna La Virreyna, drenaje de minas Reliquia, Por Fin Cayó, La Perseguida;
- laguna Rechazo, drenaje de mina Rechazo;
- laguna San Francisco, drenaje de mina Dollar;
- laguna Pacococha, con depósitos de relaves.

Por otro lado, se han recolectado muestras de sedimento en zonas donde se distribuyen minas, principalmente abandonadas (mapa MAF-GQ09-02). El lugar que más destaca es donde se emplazan los mayores relaves encontrados en la cuenca, los de Pacococha, a orillas de la laguna del mismo nombre (ver figura 4.1), situada en la cabecera de dicha cuenca. La calidad química de los sedimentos se determina en base a los límites sugeridos por la Junta de Andalucía (1999).

Figura 4.1 Laguna Pacococha y emplazamiento de relaves a orillas de esta (mirando al oeste).

ESTUDIOS PREVIOS

El estudio previo realizado por la Universidad Nacional de Ingeniería (2000), que consistió en un monitoreo de aguas en 18 estaciones distribuidas en la cuenca, dio como resultado que, en las ubicadas en los drenajes de mina hacia las lagunas ubicadas al noreste de Castrovirreyna, elementos como el zinc, manganeso, cadmio, plomo y cobre excedieron los límites establecidos por la Ley General de Aguas.

Los parámetros que superaron la mencionada ley en los drenajes de mina y lagunas La Virreina, Rechazo y Pacococha son el pH (mina Dollar), sulfatos (mina Lira), cobre, plomo, zinc, hierro (mina Dollar), cadmio y manganeso (minas Reliquia, Dollar, Lira), mercurio (mina Lira).

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL AGUA

Se ha caracterizado al agua en cada estación de muestreo en base a la proporción de los aniones sulfato, cloruro y bicarbonato y de los cationes sodio, calcio y magnesio.

En tal sentido, se ha elaborado el mapa donde se detalla la clasificación del agua recolectada en cada estación, previamente establecida (mapa MAF-GQ09-03); en dicho mapa se pone en manifiesto la influencia que ejerce la presencia de minas o relaves, el factor geogénico, la actividad hidrotermal, así como la actividad antrópica. En el caso de la cuenca alta, se tiene una decena de minas, y destaca la presencia de relaves en la laguna Pacococha (ver figuras 4.2 a, b, c, d). En la cuenca media, también hay presencia de minas, además de poblados importantes. En la cuenca baja, se tiene una intensa actividad agrícola, además de una mayor presencia de asentamientos poblacionales.

Caracterización química de la cuenca alta

En términos generales, el agua puede clasificarse como clorurada sulfatada bicarbonatada sódica cálcica (ver figura 4.3). Considerando que este sector es la suma de tres colectores principales, se detallará a continuación el tipo de agua de cada uno de estos, de norte a sur:

- río Chiris: tiene dos afluentes, la quebrada Antapite, con agua clorurada sódica, y la quebrada Agnococha, bicarbonatada sódica cálcica en las cabeceras y que aguas abajo se hace bicarbonatada sulfatada sódica cálcica, debido a la presencia de minas en dicho sector. La confluencia de ambos afluentes produce un agua de tipo clorurada sulfatada sódica cálcica.

Figura 4.2a Relaves emplazados en laguna Pacococha (vista mirando al oeste).

Figura 4.2b Relaves en laguna Pacococha (vista mirando al este).

Figura 4.2c Detalle de pátina de óxidos de hierro recubriendo clastos en laguna Pacococha.

Figura 4.2d Unos metros aguas abajo se distingue otro depósito de relaves en laguna Pacococha (mirando al norte).

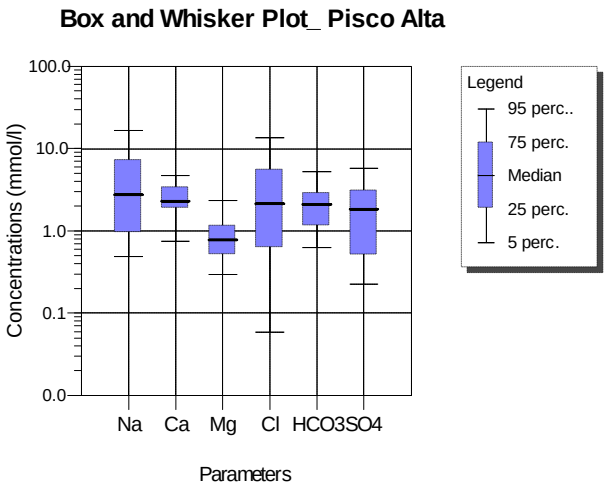


Figura 4.3 Box plot de cuenca alta de río Pisco.

- río Pacococha: en cuyas cabeceras se ubica una decena de minas, además de relaves en la laguna del mismo nombre, lo que origina que el agua sea tipificada como sulfatada cálcica, pero que aguas abajo cambia al tipo clorurada bicarbonatada cálcica sódica, como resultado de la dilución y adición de agua de este tipo de la quebrada Armapampa.
- río Rumichaca: el agua es de tipo clorurada bicarbonatada sódica, sin la mayor influencia de sulfatos, pudiendo establecerse como resultado de la disolución puramente geogénica.

De acuerdo a lo observado, el agua del río Pacococha es de naturaleza más cálcica, debido a la presencia de calizas dentro de la secuencia de rocas que constituyen la Formación Castrovirreyna, en tanto que el agua que discurre en las otras dos microcuencas atraviesa principalmente rocas de la Formación Sacsaquero, que está constituida por una secuencia volcánico sedimentaria principalmente clástica.

En la figura 4.4, se aprecia claramente la predominancia del anión cloruro y del catión sodio, salvo pocas muestras que tienen una distribución inversa, con bajo cloruro y bicarbonato, pero alto contenido de sulfatos, debido a la degradación de sulfuros.

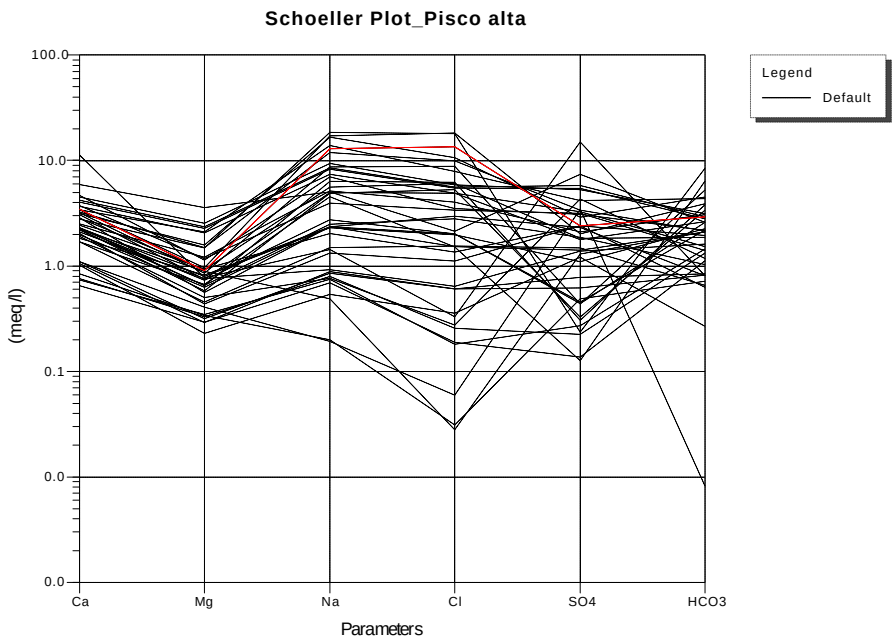


Figura 4.4 Composición de aguas de cuenca alta de río Pisco.

Peligro de salinidad y sodificación (cuenca alta)

El peligro de salinidad va de bajo hasta muy alto, mientras que el peligro de sodificación va de bajo a alto (ver figuras 4.5a, 4.5b, 4.7c).

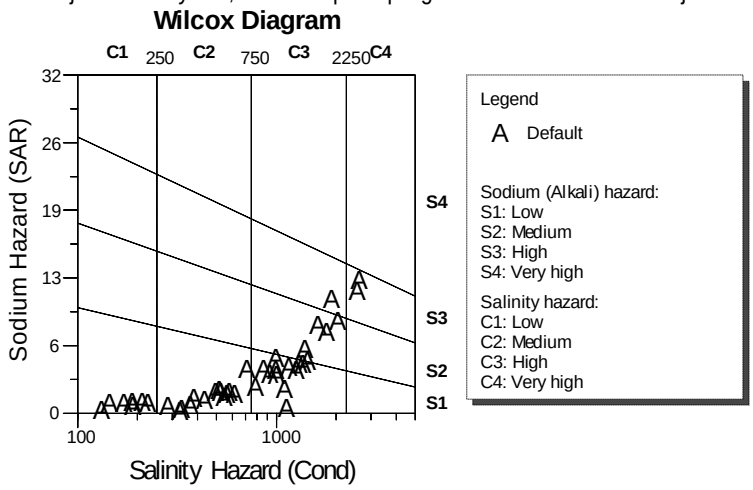


Figura 4.5a Diagrama de Wilcox de cuenca alta de río Pisco.

En la tabla 4.1, se presentan las muestras con mayor peligro de sodificación y salinidad.

Tabla 4.1
Muestras de cuenca alta con alto peligro de sodificación y salinidad

Muestra	Río/ Localidad	Peligro de sodificación	Peligro de salinidad
26m-AGQ-002	Antapite/ Checarcana	Alto	Alto
27m-AGQ-070	Cochahuasi/ Chanua	Alto	Muy alto
27m-AGQ-077	Rumichaca/ Pallcca	Alto	Muy alto

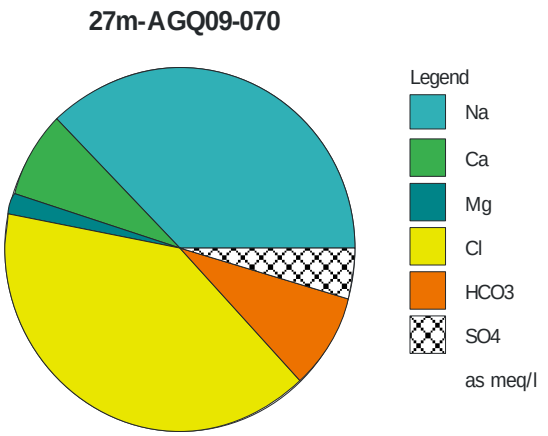


Figura 4.5b Muestra tomada en la quebrada Cochahuasi, extremo septentrional de la cuenca, al norte del poblado de Castrovirreyna. El agua es de condición clorurada sódica, con muy alto peligro de salinidad (conductividad 2625 uS/cm) y peligro medio de sodificación. Está clasificada además como un agua muy dura.

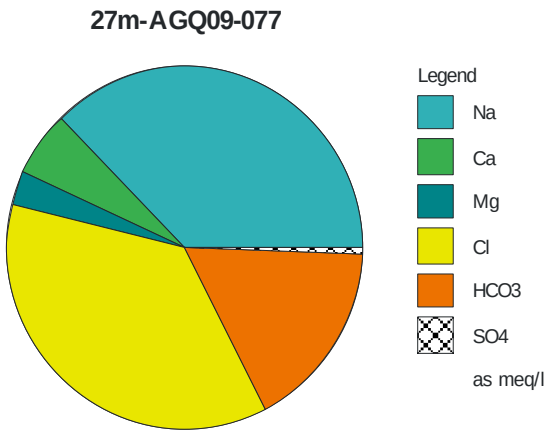


Figura 4.5c Muestra clorurada bicarbonatada sódica recolectada en la quebrada Rumichaca, al NE de San Antonio de Cusicancha, con alto peligro de sodificación y muy alto peligro de salinidad. También está clasificada como agua muy dura.

El alto índice de sodio puede deberse a la meteorización de las rocas volcánicas, produciéndose el enriquecimiento por este catión (ver figura 4.5d).

Caracterización química de la cuenca media

En comparación con el agua que discurre por la cuenca alta, esta es en general de tipo sulfatada clorurada cálcica sódica (ver figura 4.6a), diferenciándose de aquella en el menor contenido de sodio y cloruros.

Figura 4.5d Tobas líticas oxidadas de la Formación Castrovirreyna aflorando en margen derecha de quebrada Cochahuasi.

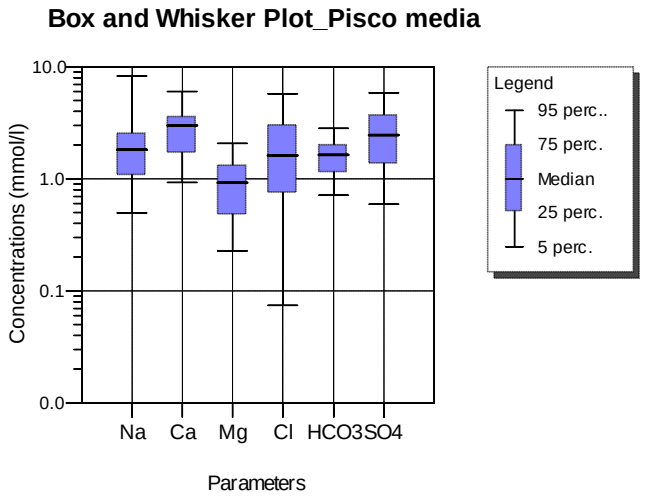


Figura 4.6a Box plot de cuenca media del río Pisco.

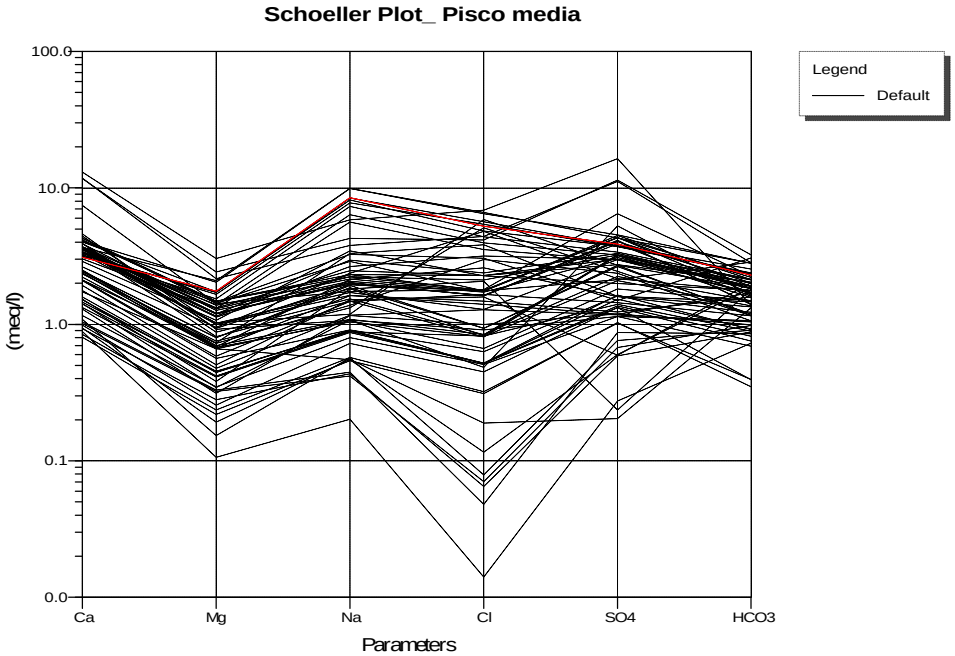


Figura 4.6b Composición de aguas de cuenca media de río Pisco.

Dos ríos principales son los aportantes en esta parte de la cuenca:

- río Pisco: conformado por los ríos Chiris y Castrovirreyna, con agua del tipo clorurada bicarbonatada sódica cálcica y clorurada sulfatada cálcica sódica, respectivamente. Luego de la confluencia de ambos ríos, el agua es del tipo sulfatada bicarbonatada cálcica, debido a la degradación de sulfuros en dicho sector (en él se encuentra la mina Cóndor).
- río Huaytará: conformado por los ríos Quito Armas y Vizcacha. El primero de ellos, con presencia de algunas ocurrencias mineras, presenta un agua del tipo sulfatada bicarbonatada cálcica sódica; en tanto que el otro es de tipo bicarbonatada cálcica. Luego de la confluencia de ambos ríos, el Huaytará tienen una condición bicarbonatada sulfatada cálcica.

Es destacable, tal como se aprecia en el mapa MAF-GQ09-03, que el anión cloruro y el catión sodio están en mayor proporción en los ríos septentrionales, donde se tiene la ocurrencia de niveles de halita dentro de la secuencia volcánico-sedimentaria; la alta salinidad da lugar a los altos niveles de conductividad eléctrica reconocidos en la sección superior del río Chiris y, en menor medida, en el río Castrovirreyna.

En la figura 4.10, se aprecia al menos dos patrones de distribución, uno de ellos clorurada sulfatada bicarbonatada, con sodio y calcio predominante; el otro patrón corresponde a agua son mayor contenido de sulfatos y cloruros, con predominancia de calcio y sodio.

Con respecto al peligro de salinidad, este va de bajo hasta alto, mientras que el peligro de sodificación es mayormente bajo, llegando a peligrosidad media.

Peligro de salinidad y sodificación (cuenca media)

Casi todas las muestras tienen bajo peligro de sodificación, mientras que el riesgo de salinidad llega a ser alto (ver figura 4.7a). En la tabla 4.2, se aprecia una muestra recolectada en la quebrada Chilca, con un curso seco en la parte baja y bastante limitado en la parte superior, lo que ocasiona una mayor concentración de sales en el agua (ver figura 4.7b).

Tabla 4.2
Muestras de cuenca media con alto peligro de sodificación y salinidad

Muestra	Río/ Localidad	Peligro de sodificación	Peligro de salinidad
28I-AGQ-035	Chilcas/ sn	Bajo	Alto a muy alto

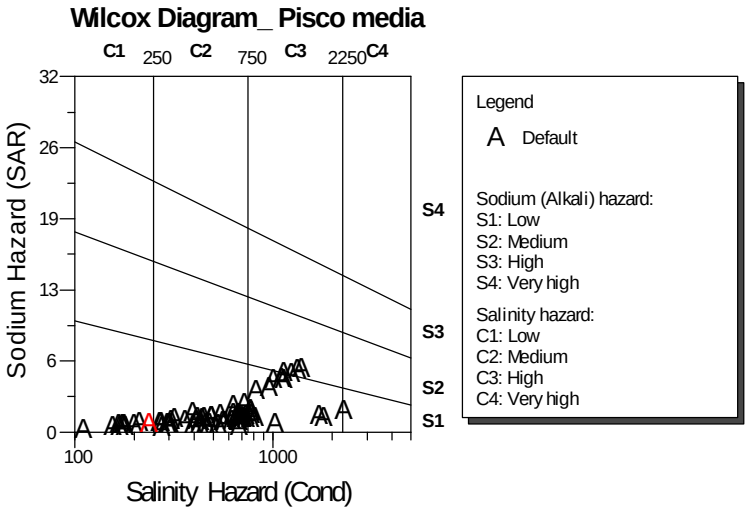


Figura 4.7a Diagrama de Wilcox de cuenca media del río Pisco.

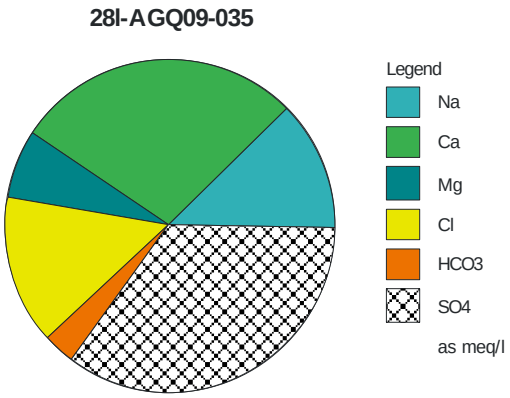


Figura 4.7b Agua sulfatada clorurada cálcica sódica, con elevada conductividad (2316 uS/cm) y en consecuencia de riesgo muy alto de salinidad y bajo de sodicidad.

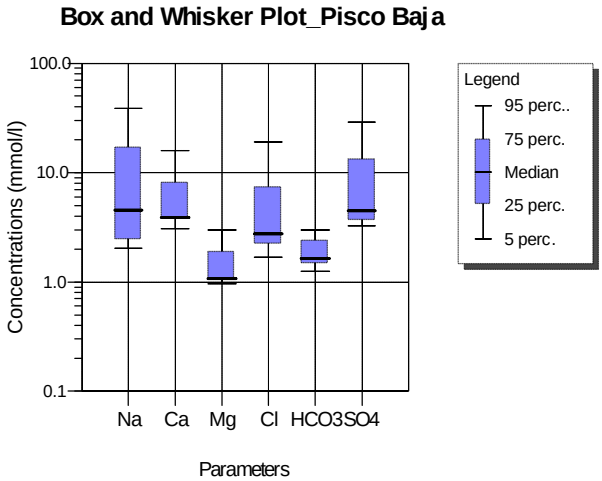


Figura 4.8a Box plot de cuenca baja del río Pisco.

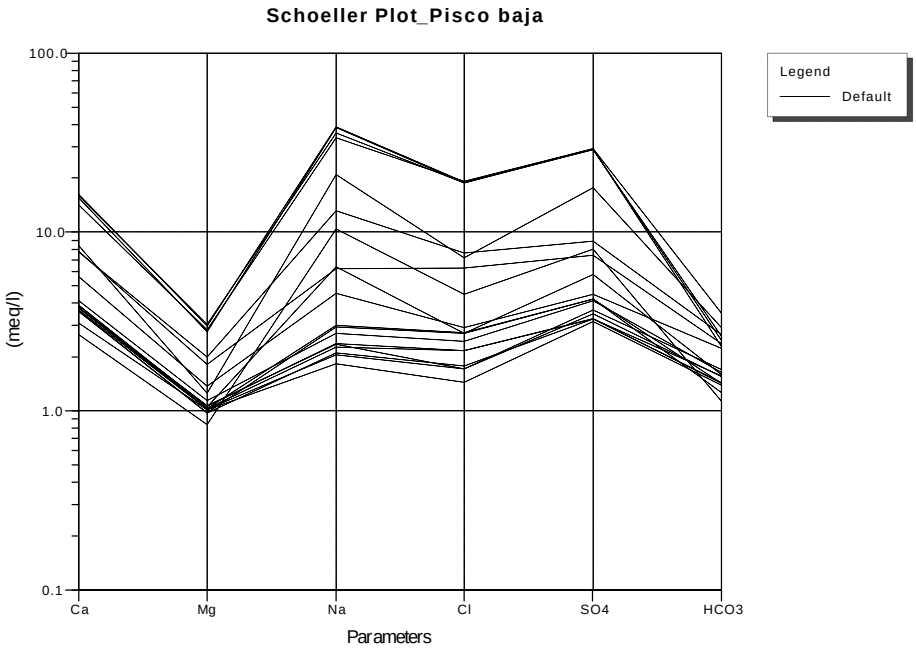


Figura 4.8b Composición de aguas de cuenca media de río Pisco.

Tabla 4.3
Muestras de cuenca baja con peligro de sodificación y salinidad

Muestra	Río/ localidad	Peligro de sodificación	Peligro de salinidad
28k-AGQ09-002	Pisco/ La Huaca	Muy alto	Muy alto
28k-AGQ09-004	Pisco/ Núñez de León	Muy alto	Muy alto
28k-AGQ09-006	Pisco/ San Clemente	Muy alto	Muy alto
28k-AGQ09-009	Pisco/ Pisco	Muy alto	Muy alto
28l-AGQ09-019	Pisco/ Santa Isabel	Alto	Muy alto

Caracterización química de la cuenca baja

El agua del río Pisco resulta caracterizada como sulfatada clorurada cálcica sódica en el segmento superior y como sulfatada clorurada sódica cálcica en el inferior, debiéndose el cambio a una mayor actividad antrópica en el sector más bajo, así como al cambio litológica que se produce; en el sector superior predominan los intrusivos y sedimentarios en menor medida, en tanto que en la parte más baja se emplazan depósitos aluviales.

En la Figura 4.8a se aprecia el patrón general que siguen las muestras de este sector, con mayor proporción de sulfatos y cloruros así como de los cationes sodio y calcio (en menor medida), que responde a los factores arriba mencionados. Tal como se puede observar en la Figura 4.8b, todas las muestras tienen un mismo patrón composicional.

Peligro de salinidad y sodificación (cuenca media)

Un proceso que ocurre en la parte baja de la cuenca es la salinización. Casi todo el valle tiene suelos que están siendo trabajados por la actividad agrícola, lo que ocasiona la concentración de sales al evaporarse el agua de regadío. De acuerdo al diagrama Wilcox (figura 4.9a), el peligro de salinidad va de medio hasta muy alto, en tanto que el peligro de sodificación va de bajo a muy alto.

En la tabla 4.4, se presentan las cinco muestras catalogadas como de muy alto riesgo de salinidad, teniendo además condiciones de riesgo alto a muy alto de sodicidad. Los diagramas composicionales de dichas muestras se presentan en las figuras 4.9b a 4.9i.

A continuación, se tienen los diagramas composicionales de las muestras de la tabla anterior.

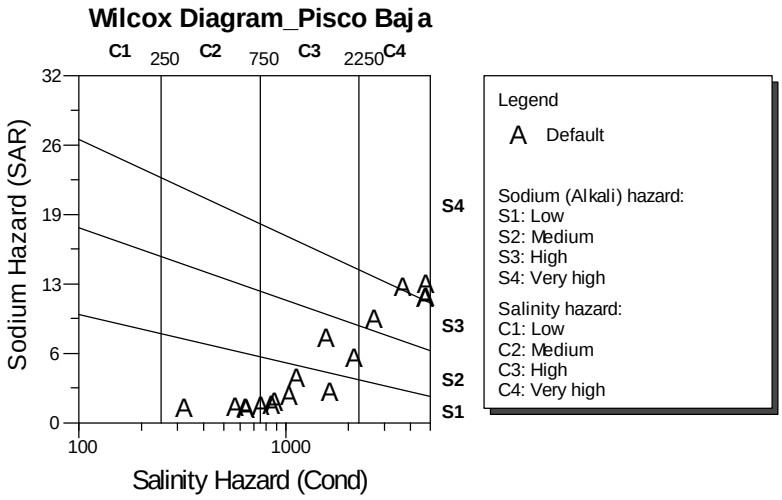


Figura 4.9a Diagrama de Wilcox de cuenca baja del río Pisco.

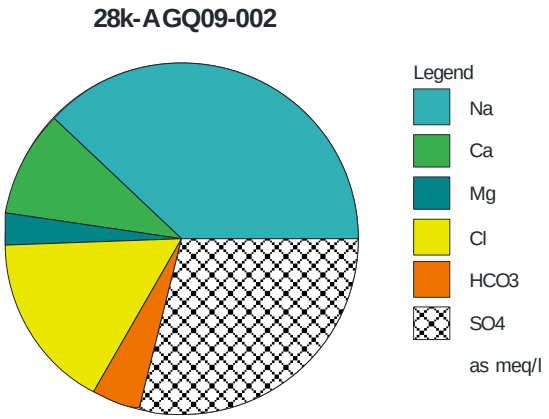


Figura 4.9b Diagrama de última muestra tomada antes de su desembocadura al océano Pacífico, con una conductividad de 4860uS/cm.

Figura 4.9c Alta concentración de sales en parte baja del río Pisco (sector La Huaca).

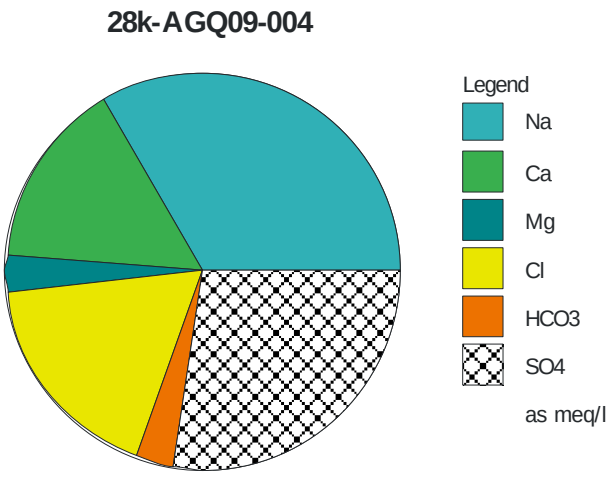


Figura 4.9d Muestra de la misma tipología que la anterior, recolectada en el río Pisco (aguas arriba de San Clemente).

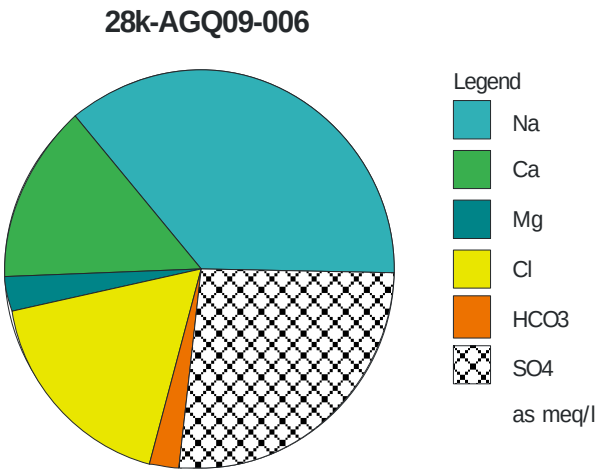


Figura 4.9f Otra de las muestras con el mismo tipo químico que las anteriores, tomada en el poblado de San Clemente.

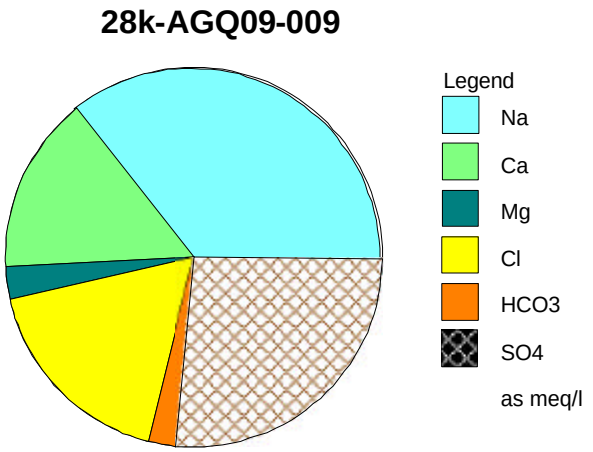


Figura 4.9g Muestra tomada en la parte baja, donde el río se encuentra canalizado y es evidente la contaminación antrópica y mayor salinización del terreno.

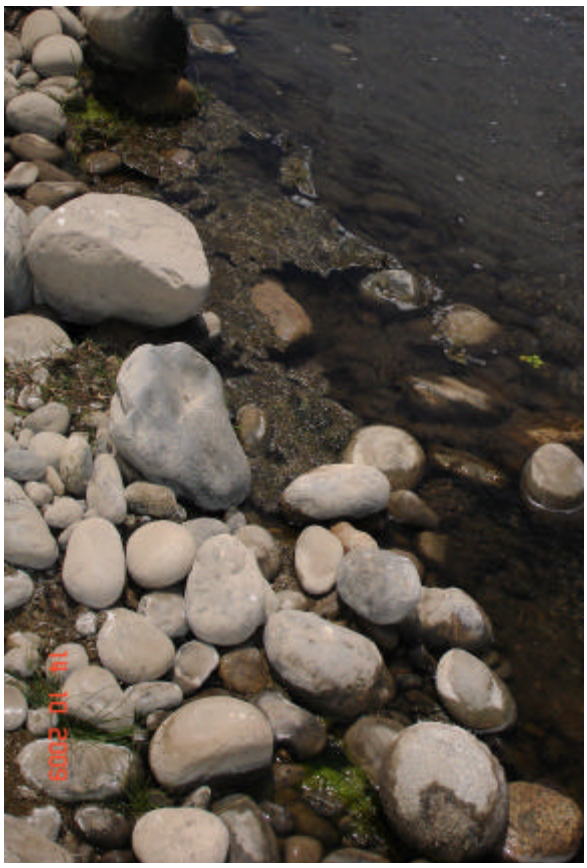


Figura 4.9e Apreciable presencia de musgos en el lecho del río Pisco (sector bajo).

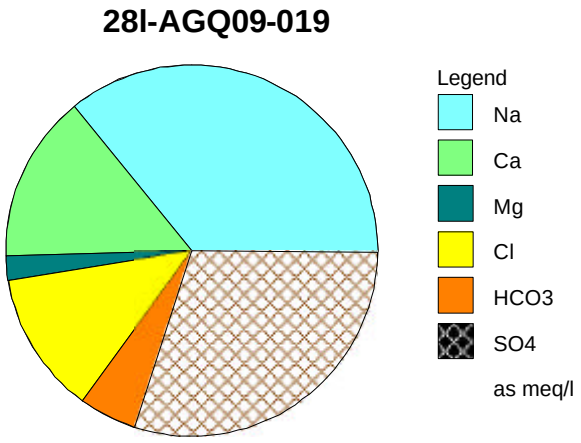


Figura 4.9h Muestra recolectada en la localidad de Santa Isabel, zona de cultivos.

Figura 4.9i Sector Santa Isabel, zona de contaminación antrópica, destacando presencia de algas, peces y camarones.

CALIDAD QUÍMICA DEL AGUA

Un estudio previo, elaborado por la Universidad Nacional de Ingeniería (2000), arroja datos que indican presencia de metales contaminantes en el agua, caso del drenaje de la mina Dollar (pH, Cu, Pb, Zn, Fe, Cd, Mn), las minas Tres Paisanos (SST), Reliquia (Cd, Mn) y Lira (SST, sulfatos, Cd, Mn, Hg), así como en las lagunas La Virreyna, Rechazo y Pacococha, en las que el Mn sobrepasó los LMP.

Además de los metales pesados y otros potencialmente tóxicos, se ha medido *in situ* los parámetros pH y conductividad eléctrica. Dado que estos parámetros están normados en el Perú, nos referiremos a ellos en las secciones respectivas, junto a los metales de interés.

El pH es mayormente alto, resultado de la disolución de rocas carbonatadas; en tanto que son poquísimas las ocasiones donde el agua es de condición ácida. En la figura 4.10, se muestra el mapa de distribución de pH de toda la cuenca, notándose una significativa proporción de valores superando el pH 8.5 (ECA), los cuales se hacen más evidentes hacia las partes media y baja de la cuenca. Solamente dos valores están por debajo de 6,5 de pH, uno en las cabeceras de la cuenca (Querococha) y otro aguas arriba del poblado de Huancano.

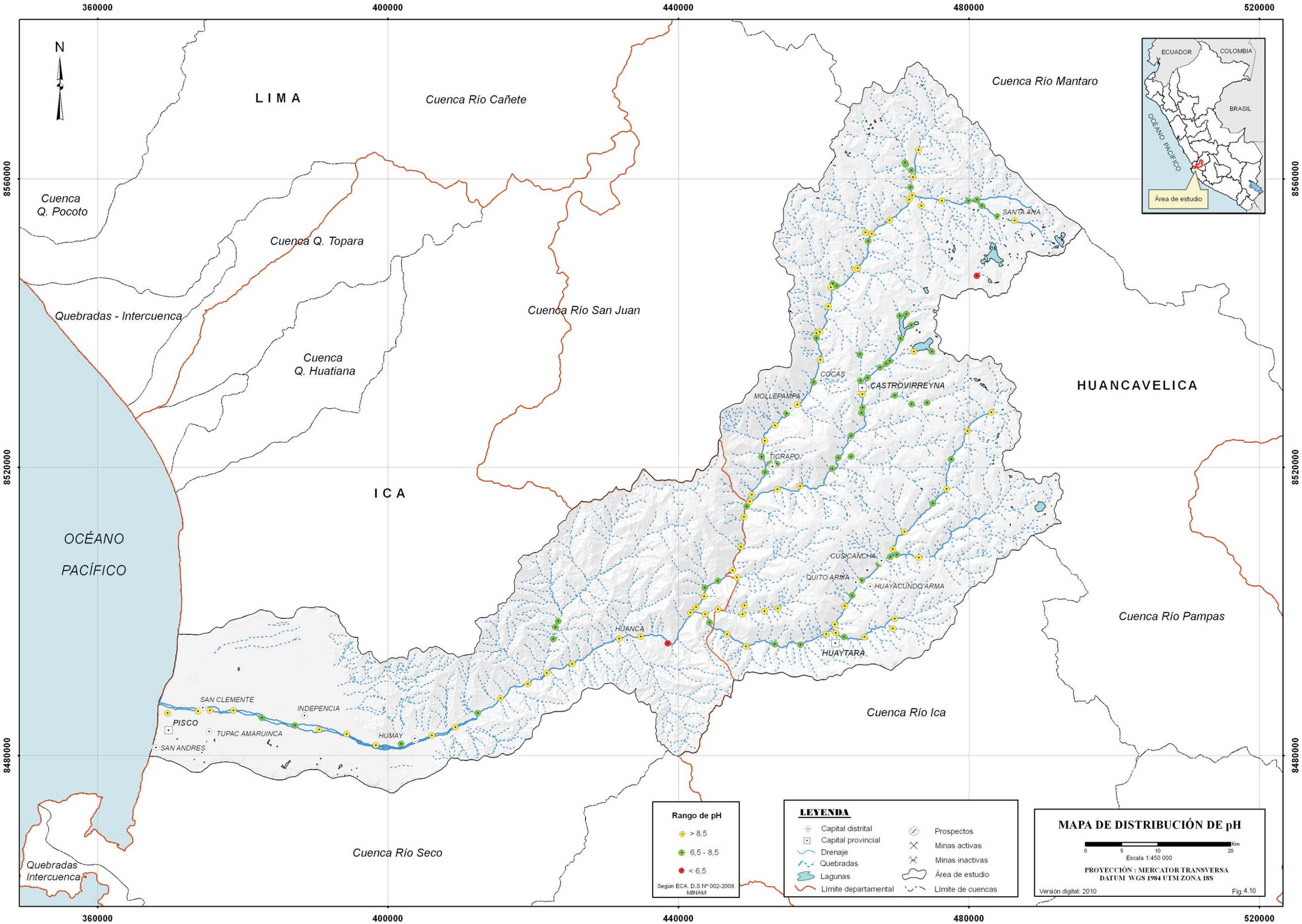
La conductividad eléctrica, indicadora de la presencia de sales, es mayor en zonas bajas, donde la evaporación es fuerte. También ocurren valores relativamente altos en las zonas donde hay un fuerte impacto por la actividad minera. En el río Incachaca, extremo meridional de la cuenca, las aguas presentan una CE superior a 1500uS/cm, igualmente en la cabecera de la quebrada Quisuarpampa; en las partes más bajas de la cuenca y con CE superiores al mencionado, se tiene la quebrada Veladero, así como al mismo río Pisco, aguas abajo de Humay, donde es evidente el efecto que causa la salinidad en dicho valle (ver figura 4.11), siendo proporcionales tanto conductividad eléctrica como TDS (ver figura 4.12), la tendencia es la misma, aunque este parámetro no está normado.

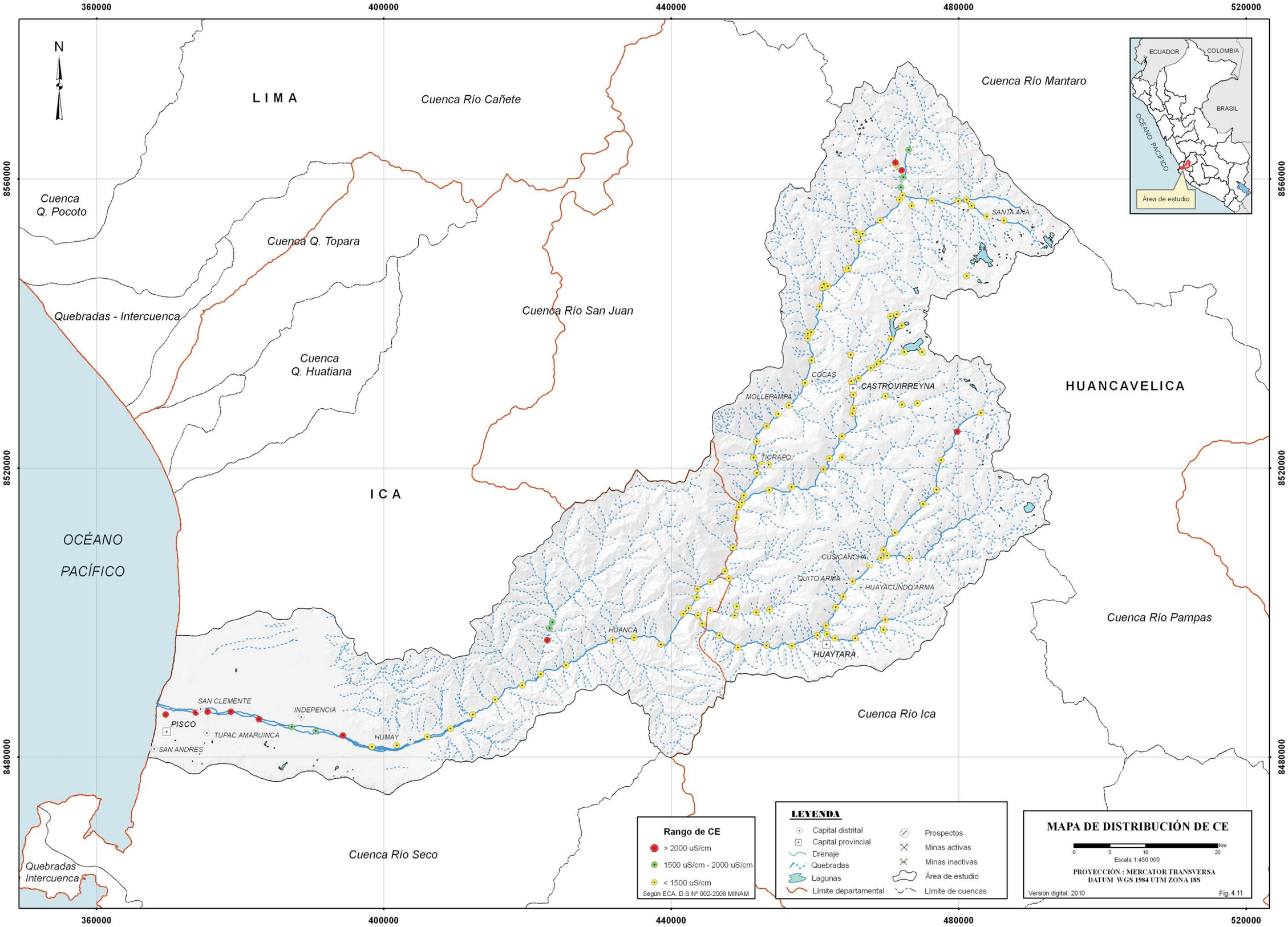
La determinación de la calidad química del agua se ha efectuado comparando los resultados analíticos químicos con los ECA establecidos por MINEM el 2008 (anexo 1). En vista de que el parámetro «dureza» no está normado, lo presentamos separado de los otros parámetros que sí lo están.

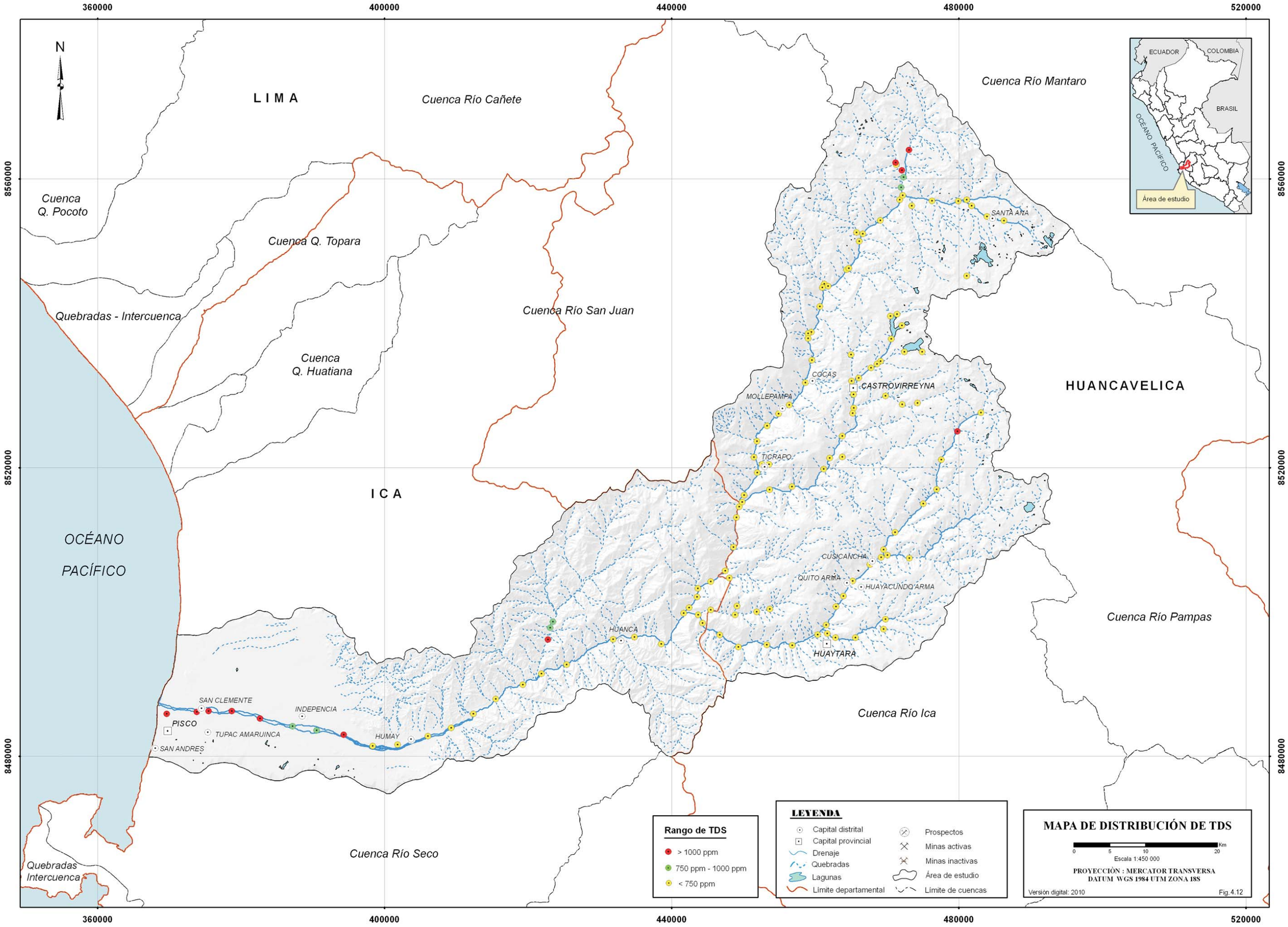
Se han elaborado mapas de calidad química de aguas (MAF-GQ09-04, MAF-GQ09-05 y MAF-GQ09-06), en los que se muestra espacialmente los distintos parámetros fisicoquímicos que exceden la normatividad peruana.

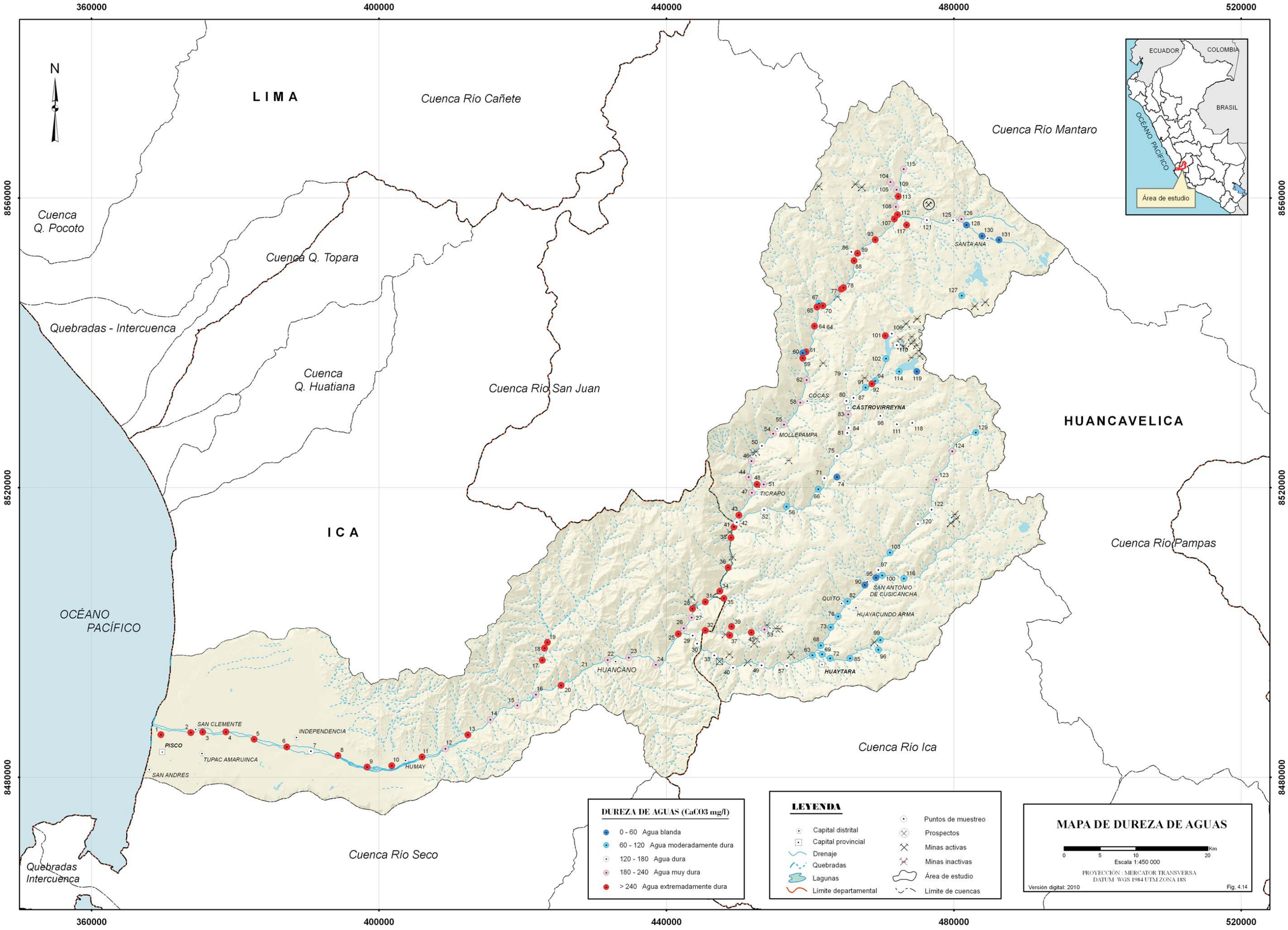
Dureza

Como resultado de la presencia de los iones de calcio y magnesio en el agua, se ha procedido a clasificarla notándose en general que la mayoría de las muestras son catalogadas como duras a muy duras (ver tabla 4.1).


360000
400000
440000
480000
520000
8560000
8520000
8480000
N
LIMA
Cuenca Río Cañete
Cuenca Río Mantaro
Cuenca Q. Pocoto
Cuenca Q. Topara
Quebradas - Intercuenca
Cuenca Río San Juan
Cuenca Q. Huatiana
HUANCAVELICA
ICA
OCÉANO PACÍFICO
Cuenca Río Pampas
Cuenca Río Ica
Cuenca Río Seco
Quebradas Intercuenca
ECUADOR
COLOMBIA
BRASIL
OCÉANO PACÍFICO
Área de estudio
SANTA ANA
COCAS
CASTROVIRREYNA
MOLLEPAMPA
TICRAPO
CUSICANCHA
QUITO ARMA
HUAYACUNDO ARMA
HUANCA
HUAYTARA
SAN CLEMENTE
INDEPENCIA
PISCO
TUPAC AMARUINCA
HUMAY
SAN ANDRES
Rango de pH
> 8,5
6,5 - 8,5
< 6,5
Según ECA, D.S Nº 002-2008 MINAM
LEYENDA
Capital distrital
Capital provincial
Drenaje
Quebradas
Lagunas
Límite departamental
Prospectos
Minas activas
Minas inactivas
Área de estudio
Límite de cuencas
MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE pH
0 5 10 20 Km
Escala 1:450 000
PROYECCIÓN : MERCATOR TRANSVERSA
DATUM WGS 1984 UTM ZONA 18S
Versión digital: 2010
Fig.4.10


360000
400000
440000
480000
520000
8560000
8520000
8480000
N
LIMA
Cuenca Río Cañete
Cuenca Río Mantaro
Cuenca Q. Pocoto
Cuenca Q. Topara
Quebradas - Intercuenca
Cuenca Río San Juan
Cuenca Q. Huatiana
ICA
HUANCAVELICA
OCÉANO PACÍFICO
Cuenca Río Pampas
Cuenca Río Ica
Cuenca Río Seco
Quebradas Intercuenca
ECUADOR
COLOMBIA
BRASIL
OCEANO PACIFICO
Área de estudio
SANTA ANA
COCAS
CASTROVIRREYNA
MOLLEPAMPA
TICRAPO
CUSICANCHA
QUITO ARMA
HUAYACUNDO ARMA
HUANCA
HUAYTARA
SAN CLEMENTE
INDEPENCIA
PISCO
TUPAC AMARUINCA
HUMAY
SAN ANDRES
Rango de CE
> 2000 uS/cm
1500 uS/cm - 2000 uS/cm
< 1500 uS/cm
Según ECA. D.S Nº 002-2008 MINAM
LEYENDA
Capital distrital
Capital provincial
Drenaje
Quebradas
Lagunas
Límite departamental
Prospectos
Minas activas
Minas inactivas
Área de estudio
Límite de cuencas
MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE CE
0 5 10 20 Km
Escala 1:450 000
PROYECCIÓN : MERCATOR TRANSVERSA
DATUM WGS 1984 UTM ZONA 18S
Versión digital: 2010
Fig. 4.11


360000
400000
440000
480000
520000
8560000
8520000
8480000
N
LIMA
Cuenca Río Cañete
Cuenca Río Mantaro
Cuenca Q. Pocoto
Cuenca Q. Topara
Quebradas - Intercuenca
Cuenca Río San Juan
Cuenca Q. Huatiana
HUANCAVELICA
ICA
OCÉANO PACÍFICO
Cuenca Río Pampas
Cuenca Río Ica
Cuenca Río Seco
Quebradas Intercuenca
ECUADOR
COLOMBIA
BRASIL
OCEANO PACIFICO
Área de estudio
SANTA ANA
COCAS
CASTROVIRREYNA
MOLLEPAMPA
TICRAPO
CUSICANCHA
QUITO ARMA
HUAYACUNDO ARMA
HUANCA
HUAYTARA
SAN CLEMENTE
INDEPENCIA
PISCO
TUPAC AMARUINCA
HUMAY
SAN ANDRES
Rango de TDS
> 1000 ppm
750 ppm - 1000 ppm
< 750 ppm
LEYENDA
Capital distrital
Capital provincial
Drenaje
Quebradas
Lagunas
Límite departamental
Prospectos
Minas activas
Minas inactivas
Área de estudio
Límite de cuencas
MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE TDS
0 5 10 20 Km
Escala 1:450 000
PROYECCIÓN : MERCATOR TRANSVERSA
DATUM WGS 1984 UTM ZONA 18S
Versión digital: 2010
Fig.4.12


360000
400000
440000
480000
520000
8560000
8520000
8480000
N
LIMA
Cuenca Río Cañete
Cuenca Río Mantaro
Cuenca Q. Pocoto
Cuenca Q. Topara
Quebradas - Intercuenca
Cuenca Q. Huatiana
Cuenca Río San Juan
HUANCAVELICA
ICA
Cuenca Río Pampas
OCÉANO PACÍFICO
Cuenca Río Ica
Cuenca Río Seco
Quebradas Intercuenca
ECUADOR
COLOMBIA
BRASIL
OCÉANO PACÍFICO
Área de estudio
SANTA ANA
COCAS
CASTROVIRREYNA
MOLLEPAMPA
TICRAPO
SAN ANTONIO DE CUSICANCHA
QUITO
HUAYACUNDO ARMA
HUANCANO
HUAYTARA
SAN CLEMENTE
INDEPENDENCIA
PISCO
TUPAC AMARUINCA
SAN ANDRES
HUMAY
DUREZA DE AGUAS (CaCO3 mg/l)
0 - 60 Agua blanda
60 - 120 Agua moderadamente dura
120 - 180 Agua dura
180 - 240 Agua muy dura
> 240 Agua extremadamente dura
LEYENDA
Capital distrital
Capital provincial
Drenaje
Quebradas
Lagunas
Límite departamental
Puntos de muestreo
Prospectos
Minas activas
Minas inactivas
Área de estudio
Límite de cuencas
MAPA DE DUREZA DE AGUAS
0 5 10 20 Km
Escala 1:450 000
PROYECCIÓN : MERCATOR TRANSVERSA
DATUM WGS 1984 UTM ZONA 18S
Versión digital: 2010
Fig. 4.14

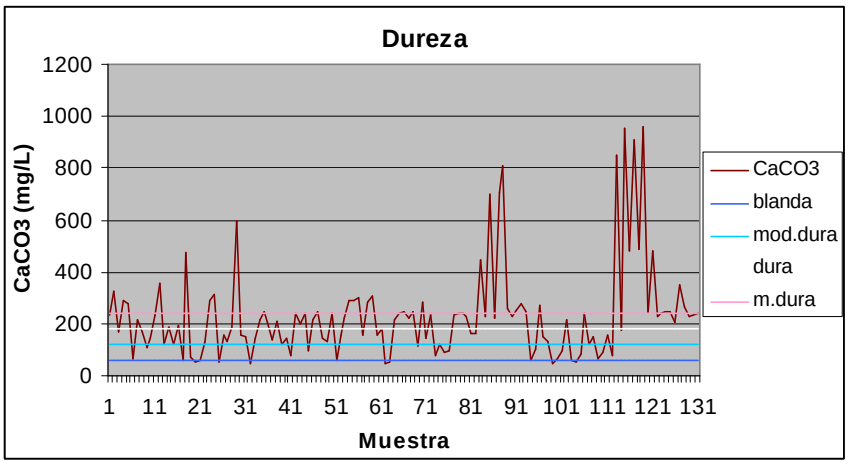


Figura 4.13 Dureza del agua.

Tabla 4.1
Clasificación de agua según dureza

Concentración como CaCO3	Indicación
0 a 60 mg/L	Agua blanda
61 a 120 mg/L	Agua moderadamente dura
121 to 180 mg/L	Agua dura
> 180 mg/L	Agua muy dura

Dado que se tienen valores que superan largamente la última marca de clase, se ha optado por adicionar otra clase, que incluiría a aquella agua que tenga más de 240 mg/L, a la que denominaremos «agua extremadamente dura».

Tal como se observa en la figura 4.13, la mayor parte de muestras son clasificadas por lo menos como agua muy dura (> 180 mg/L $CaCO_3$). Las aguas con dureza más extrema se ubican en la parte más baja de la cuenca, llegando a sobrepasar los 800 a 900 mg/L $CaCO_3$; otro grupo de muestras, ubicadas en la cuenca media, también muestran valores extremos y corresponden a la zona baja de Ticrapo; asimismo, aguas arriba de Mollepampa, también se tiene un considerable tramo del río Chiris con aguas extremadamente duras (ver figura 4.14).

A continuación, se muestra la calidad química del agua por sectores (cuenca alta, cuenca media y cuenca baja) que han sido establecidos de acuerdo a su altitud.

Calidad química en la cuenca alta

En el sector denominado «cuenca alta», se han considerado las cabeceras de la misma, teniéndose tres ríos principales: el Chiris, el Pacococha y el Rumichaca.

En este sector, se tiene una gran ocurrencia de minas y pasivos que ocasionan un impacto ambiental en la cuenca, destacando los relaves emplazados a orillas de la laguna Pacococha.

pH en la cuenca alta

La norma precisa un único límite inferior para los tres usos considerados, variando en una décima el límite superior, esto es, 8,5 para los usos doméstico y agrícola (ver figura 4.15a) y 8,4 para uso ganadero (ver figura 4.15b). Solamente una muestra (27m-AGQ09-086) está por debajo del límite inferior, con un pH de 3,77. En el lugar (Quesococha), afloran lavas andesíticas moderadamente oxidadas. El lecho está cubierto por una pátina de óxido de hierro. Algunas muestras superan ligeramente el límite superior y corresponden a agua donde se distribuyen rocas calcáreas.

Conductividad eléctrica (CE) en la cuenca alta

El alto contenido de sales produce que, en el sector Incachaca, hasta seis muestras superen los 1500 uS/cm, excediendo tres de ellas los 2000 uS/cm (ECA agrícola). El ECA ganadero no llega a ser superado (ver figura 4.16).

TDS en la cuenca alta

Este parámetro solamente está normado para uso doméstico, siendo tres muestras las que superan el límite establecido (ver figura 4.17).

Cloruros en la cuenca alta

Este parámetro no está normado para uso pecuario. Tiene una fuerte correspondencia con la CE, esto es, el mismo patrón de distribución que este, resultando siete muestras superando los 250 mg/l del ECA doméstico (ver figura 4.18). Dicha correspondencia indica que la presencia de los sólidos totales

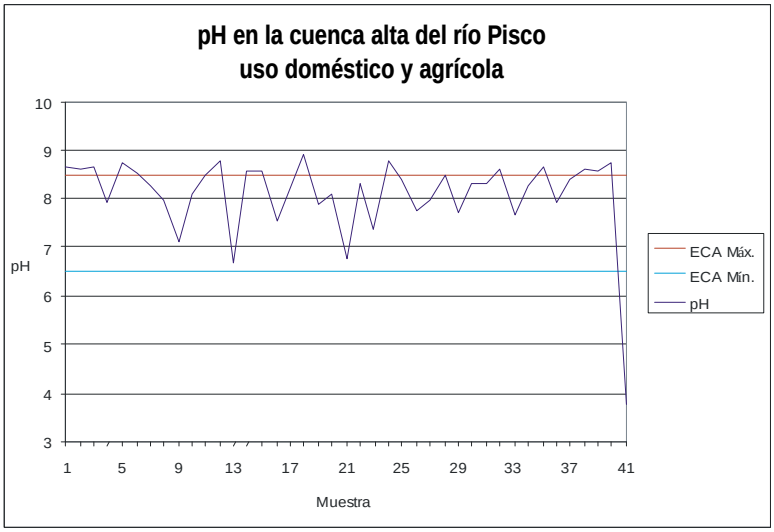


Figura 4.15a pH en la cuenca alta, uso doméstico y agrícola.

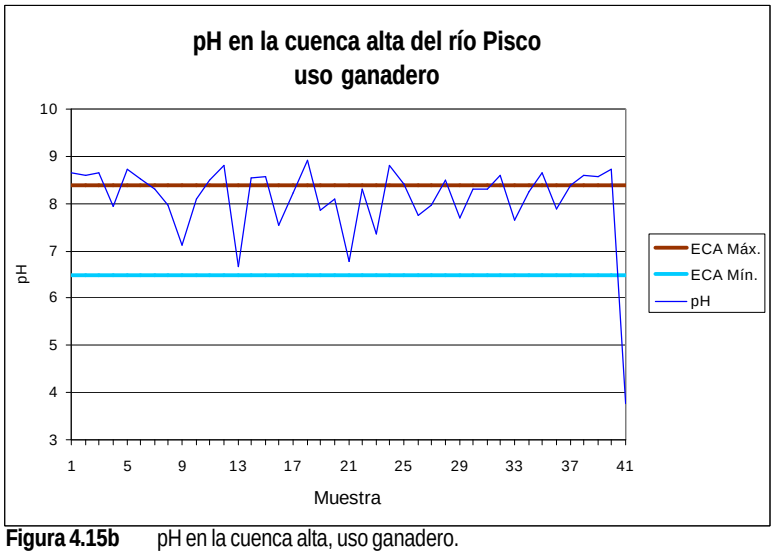


Figura 4.15b pH en la cuenca alta, uso ganadero.

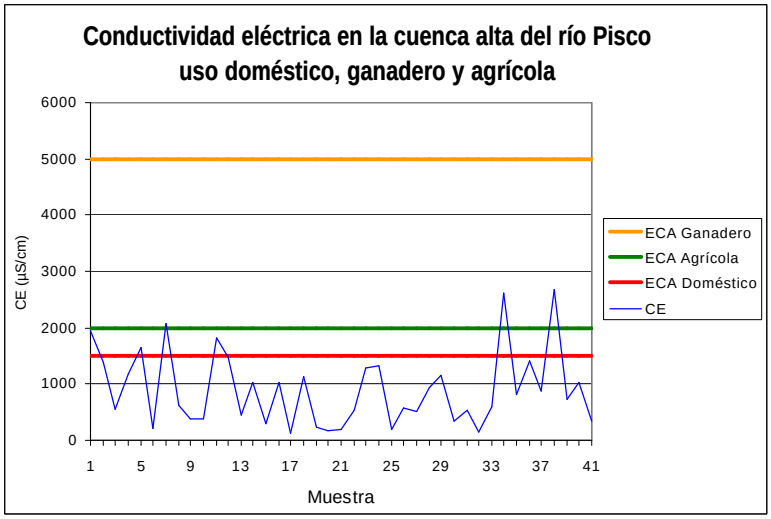


Figura 4.16 Conductividad eléctrica en la cuenca alta del río Pisco.

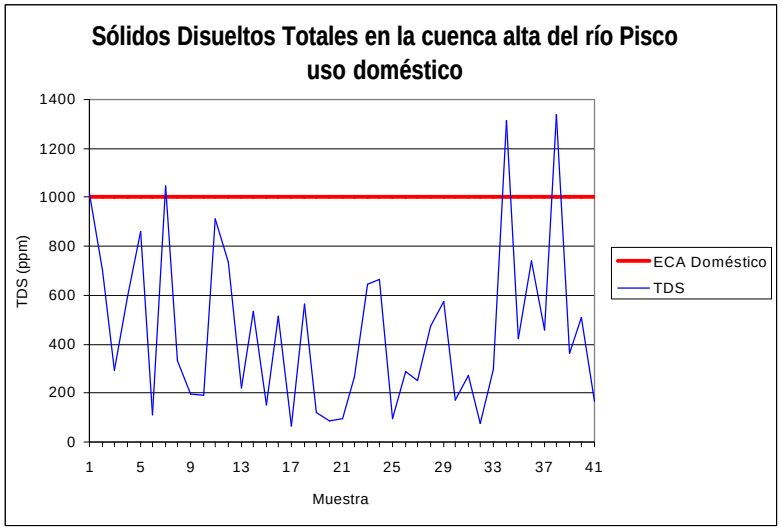


Figura 4.17 TDS en la cuenca alta del río Pisco.

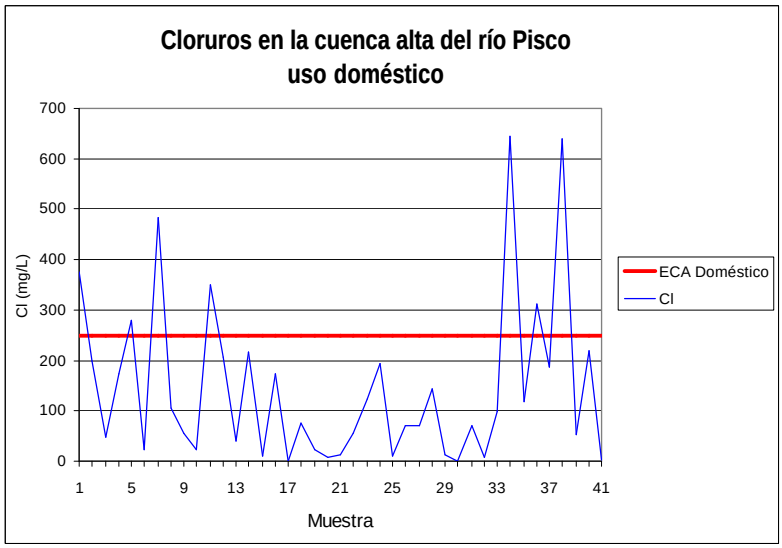


Figura 4.18 Cloruros en la cuenca alta del río Pisco, uso doméstico.

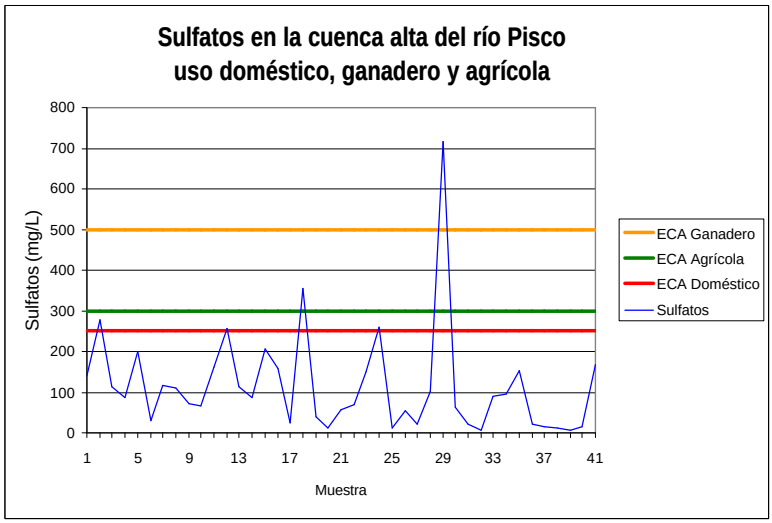


Figura 4.19a Sulfatos en la cuenca alta del río Pisco.

disueltos está en función a la presencia de cloruros en el agua. Los valores no llegan a superar el ECA agrícola, ya que son inferiores a 700 mg/L.

Sulfatos en la cuenca alta

Los límites establecidos son superados en seis casos en lo que al ECA doméstico se refiere; uno de ellos supera solamente el ECA agrícola, en tanto que otro supera el ECA ganadero con 715,8 mg/L (ver figura 4.19a). Dicha muestra, la 27m-AGQ09-056, recolectada en la quebrada Uchuputo, Pacococha, de flujo laminar y esporádicas surgencias de agua, drena a la laguna Pacococha. Los clastos muestran fuerte oxidación de hierro (ver figura 4.19b) y presencia abundante de pirita.

Bicarbonatos en la cuenca alta

Solamente una muestra supera el ECA agrícola, la 27m-AGQ09-077, recolectada en la quebrada Rumichaca, Yanamachay, de bajo caudal y fuerte presencia de musgo en el lecho de la misma (ver figura 4.20). Tiene además un alto contenido de boro.

Carbonatos en la cuenca alta

El ECA agrícola es superado en cuatro casos (ver figura 4.21), entre los que destacan las muestras 26m-AGQ09-002 y 27m-AGQ09-005, recolectadas en el río Antapite, en las localidades de Checarcana e Inca Chaca, respectivamente. Se evidencia en dichos lugares la presencia de vetillas de calcita, así como de la precipitación de óxido de manganeso.

Aluminio en la cuenca alta

Una muestra supera las normas para uso agropecuario, la 27m-AGQ09-086 (ver figura 4.22), recolectada aguas arriba de la laguna Quesococha, tiene drenaje ácido y fuerte oxidación de sulfuros.

Para uso doméstico, se tiene la muestra 27m-AGQ09-030, recolectada en el río Santa Ana, Incachaca, que tiene una CE de 1126 uS/cm y donde las rocas piroclásticas muestran moderada oxidación de sulfuros. También tiene altos valores en sulfato y arsénico.

Antimonio en la cuenca alta

Tres muestras superan el ECA para uso doméstico (ver figura 4.23), 27m-AGQ09-070 (quebrada Cochahuasi, Chanua), 27m-AGQ09-009 (quebrada Chichina) y 27m-AGQ09-014 (quebrada Incachaca, localidad del mismo nombre).

Estas tienen en común que se tratan de agua con conductividades superiores a 1800 uS/cm, aumentando el contenido de Sb conforme aumenta la CE; además, el entorno geológico involucra la presencia de tobas líticas oxidadas.

Figura 4.19b Clastos fuertementre limonitizados en quebrada Uchuputa, Pacococha.

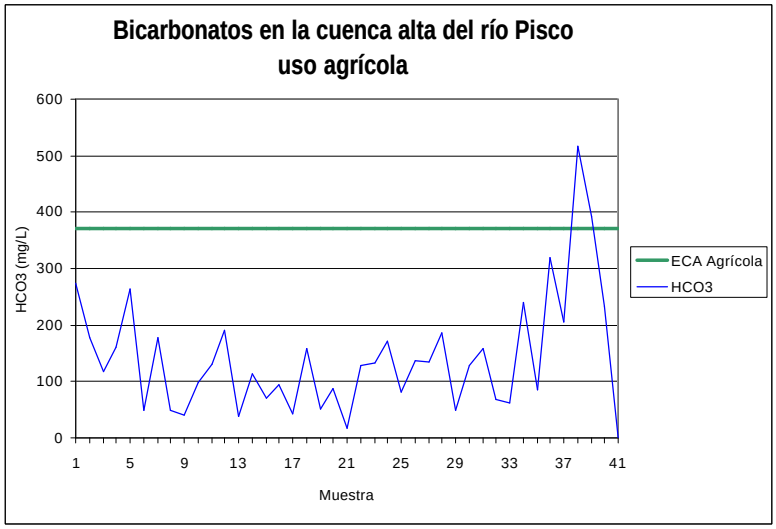


Figura 4.20 Bicarbonatos en la cuenca alta del río Pisco.

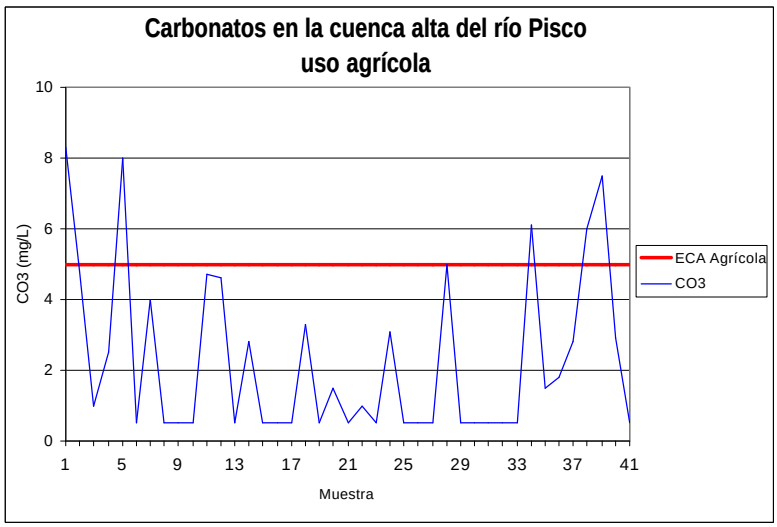


Figura 4.21 Carbonatos en la cuenca alta del río Pisco.

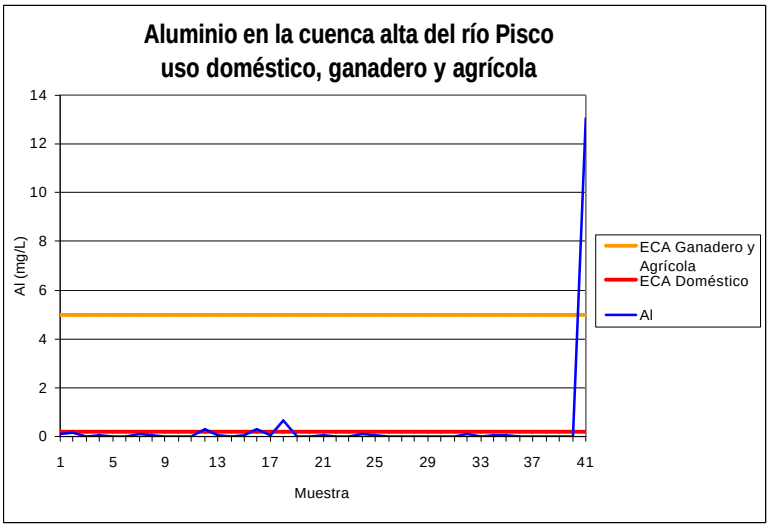


Figura 4.22 Aluminio en la cuenca alta del río Pisco.

Arsénico en la cuenca alta

Las normas para este parámetro son relativamente bajas (ver figura 4.24), ya que el límite máximo es 0,1 mg/l (ECA ganadero), por lo que once muestras llegan a superar dicho límite, 26m-AGQ09-002 (quebrada Antapite, Checarcana), 27m-AGQ09-005 (Antapite, Inca Chaca), 27m-AGQ09-070 (Cochahuasi, Chanua), 27m-AGQ09-014 (Incachaca, Incachaca). Tiene moderada correlación con los carbonatos.

Boro en la cuenca alta

La norma para uso doméstico resulta ser bastante baja, dado que casi todas las muestras superan dicho límite. En cuanto al uso ganadero (figura 4.25a), cinco muestras exceden el límite establecido, destacando la 27m-AGQ09-070 (Cochahuasi, Chanua) y la 27m-AGQ09-077 (Rumichaca, Yanamachay), ambas con CE superiores a 2600 uS/cm. Para uso agrícola (ver figura 4.25b), solamente cuatro muestras exceden el ECA (6mg/L). Tiene muy buena correlación con cloruros, lo que indicaría la presencia de aguas termales.

Hierro en la cuenca alta

Cuatro muestras superan el ECA doméstico (ver figura 4.26), pero solamente una de ellas excede el ECA ganadero y agrícola: 27m-AGQ09-024 (Canastayoc), en la que el lecho está cubierto por una matriz de óxido de hierro, aparentemente por la influencia de la mina Dorita, situada a 7 km aguas arriba.

Litio en la cuenca alta

Este elemento alcalino forma sales muy solubles y generalmente es extraído de las rocas por el agua como cloruro de litio soluble (de allí su correlación con el anión cloruro).

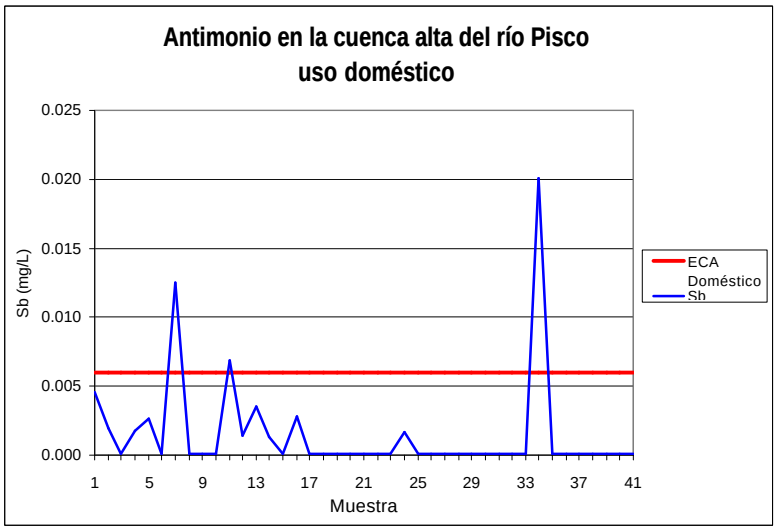


Figura 4.23 Antimonio en la cuenca alta del río Pisco.

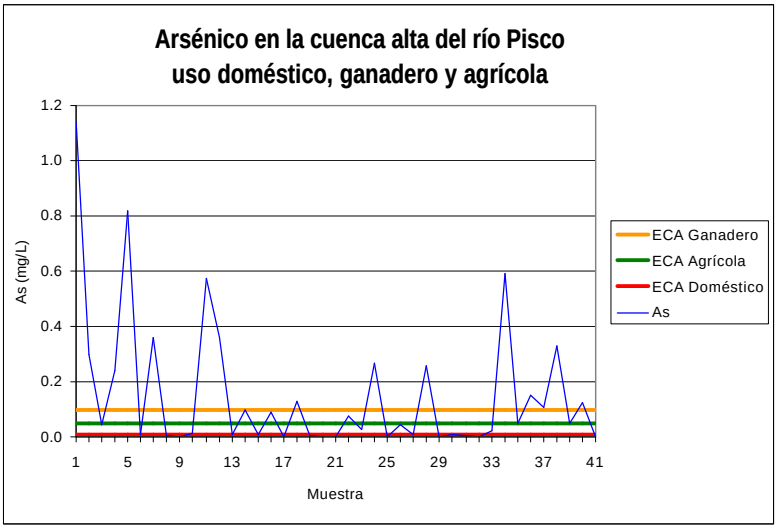


Figura 4.24 Arsénico en la cuenca alta del río Pisco.

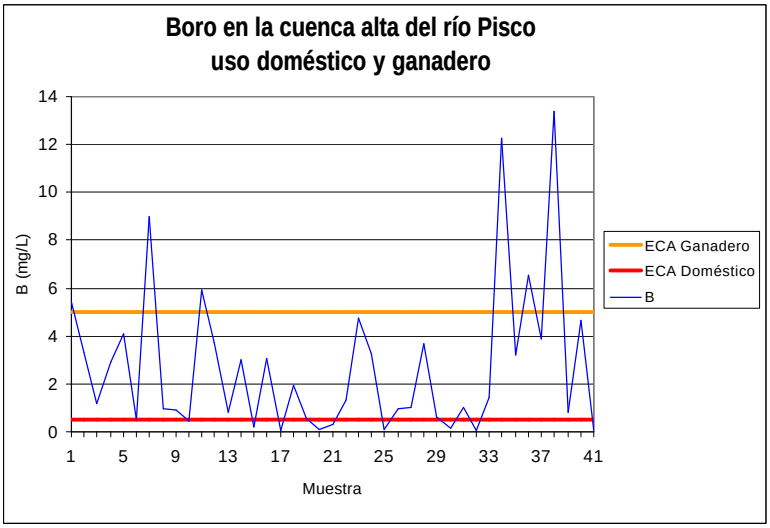


Figura 4.25a Boro en la cuenca alta del río Pisco, uso doméstico y ganadero.

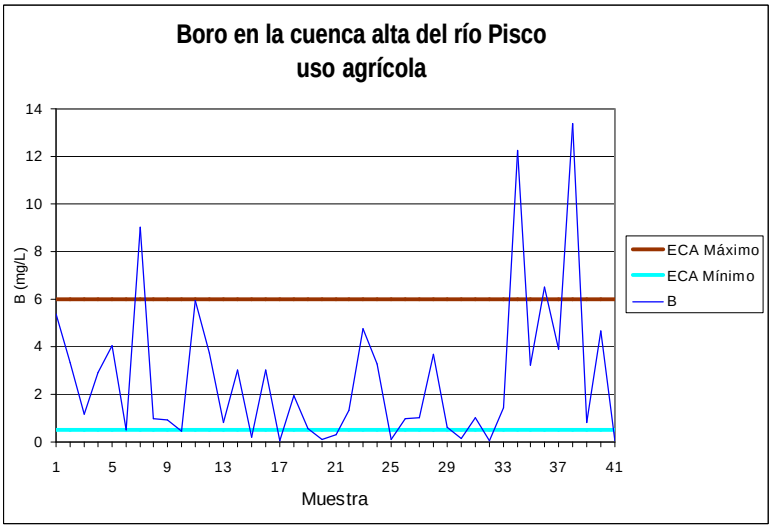


Figura 4.25b Boro en la cuenca alta del río Pisco, uso agrícola.

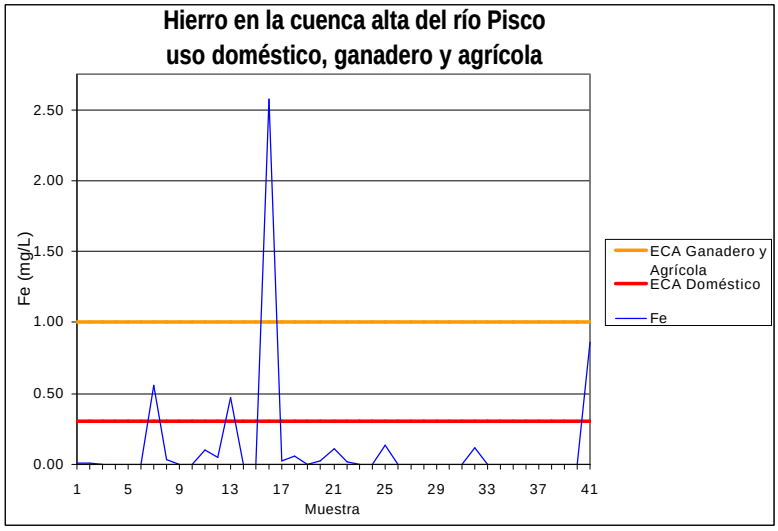


Figura 4.26 Hierro en la cuenca alta del río Pisco.

Los ECA para uso agropecuario son superados con la muestra 27m-AGQ09-077, recolectada en el río Rumichaca, Yanamachay (ver figura 4.27), donde se ha medido una CE de 2680 uS/cm. La corriente tiene bajo caudal y en el lecho hay presencia moderada de musgo y rodados de brechas y tobas líticas. Tiene buena correlación con el boro.

Manganeso en la cuenca alta

Tres muestras resultan con valores muy superiores a las normas (ver figura 4.28) y están relacionadas al impacto minero: 27m-AGQ09-018 (cerca a la mina Carmen), donde afloran andesitas argilizadas y propilitizadas; la muestra 27m-AGQ09-024 (quebrada Canastayoc, localidad del mismo nombre), la cual al parecer está relacionada a la presencia de mina Dorita, 7 km aguas arriba; la muestra 27m-AGQ09-086, que tiene un pH ácido (3,77) y ha sido recolectada en la quebrada Quesococha. La característica común es que el lecho de las quebradas presenta una pátina con fuerte oxidación de hierro.

Níquel en la cuenca alta

Solamente una muestra supera ligeramente el ECA doméstico (ver figura 4.29): la 27m-AGQ09-086 tiene un pH ácido (3,77) y resulta también con valores altos en aluminio y manganeso.

Zinc en la cuenca alta

Una muestra supera el ECA agrícola (ver figura 4.30): la 27m-AGQ09-018, relacionada a la mina Carmen, también con valor elevado en manganeso.

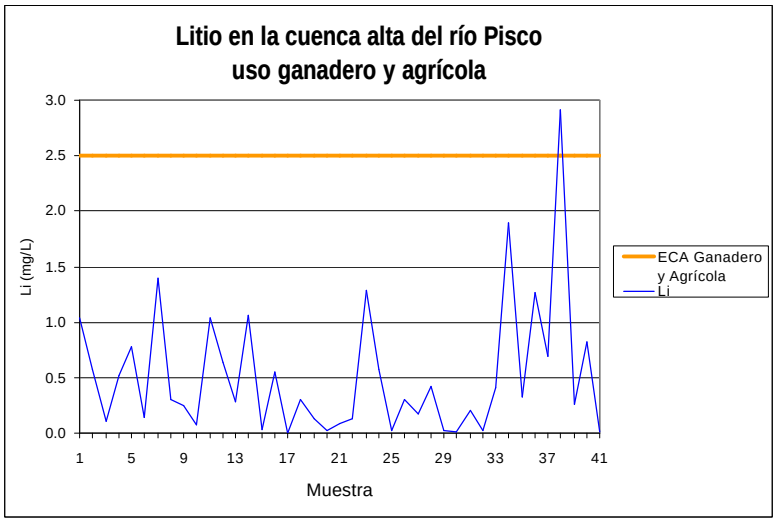


Figura 4.27 Litio en la cuenca alta del río Pisco.

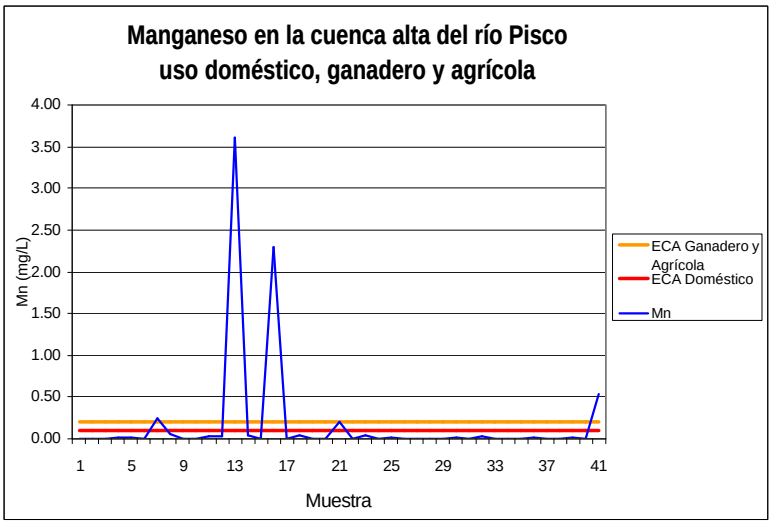


Figura 4.28 Manganeso en la cuenca alta del río Pisco.

Calidad química en la cuenca media

En este sector de la cuenca, hay una mayor presencia de poblaciones organizadas, una mediana actividad agropecuaria y, por ende, una mayor influencia de la actividad antrópica, en contraposición con la cuenca alta, donde hay una mayor presencia de centros mineros.

pH en la cuenca media

La mayoría de las muestras superan el ECA máximo, esto es, son alcalinas a muy alcalinas, en tanto que no hay muestras inferiores a pH 6,5 (ver figuras 4.31a y 4.31b). Destacan tres muestras con pH superior a 10: la 28m-AGQ09-017 (río Quito Arma, Huayta), donde afloran rocas sedimentarias de la Formación Labra; y las muestras 27m-AGQ09-037 y 27m-AGQ09-065, recolectadas en el río Pisco, donde se distribuyen depósitos aluviales y hay moderada actividad agropecuaria.

Conductividad eléctrica en la cuenca media

Una muestra supera el ECA agrícola (la 28l-AGQ09-035, en el río Chilcas, Veladero Chico), y dos exceden el ECA doméstico (la 28l-AGQ09-015 y la 28l-AGQ09-032). Estas han sido recolectadas en el río Chilcas, Veladero Chico (ver figuras 4.32). Las tres también tienen elevados valores en selenio, bajo caudal y moderada contaminación antrópica.

TDS en la cuenca media

Este parámetro supera en un caso la norma para uso doméstico (ver figuras 4.33), la 28l-AGQ09-035, recolectada en el río Pisco, Huancano, donde el caudal es fuerte y el agua regularmente turbia.

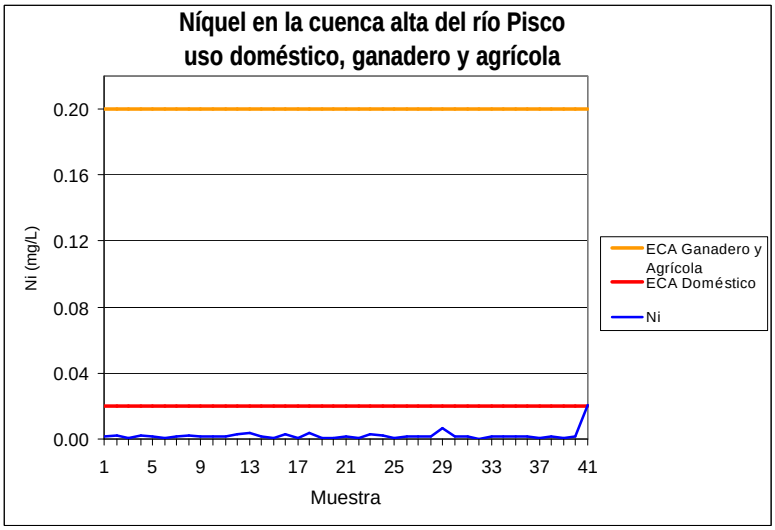


Figura 4.29 Níquel en la cuenca alta del río Pisco.

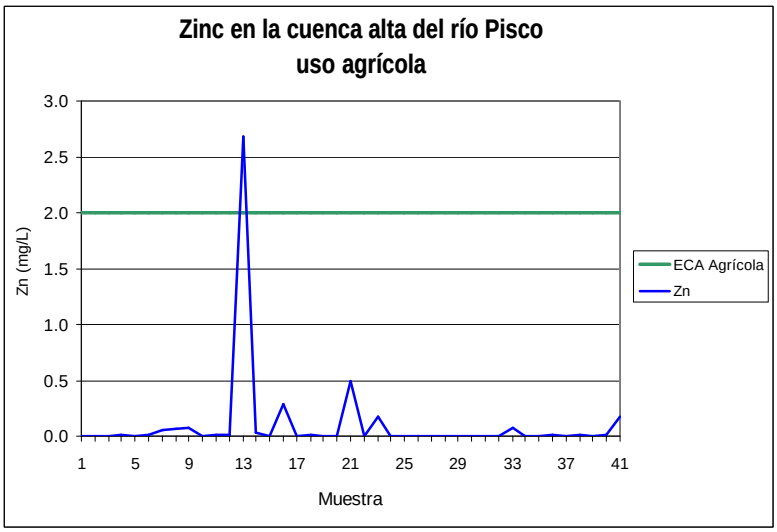


Figura 4.30 Zinc en la cuenca alta del río Pisco.

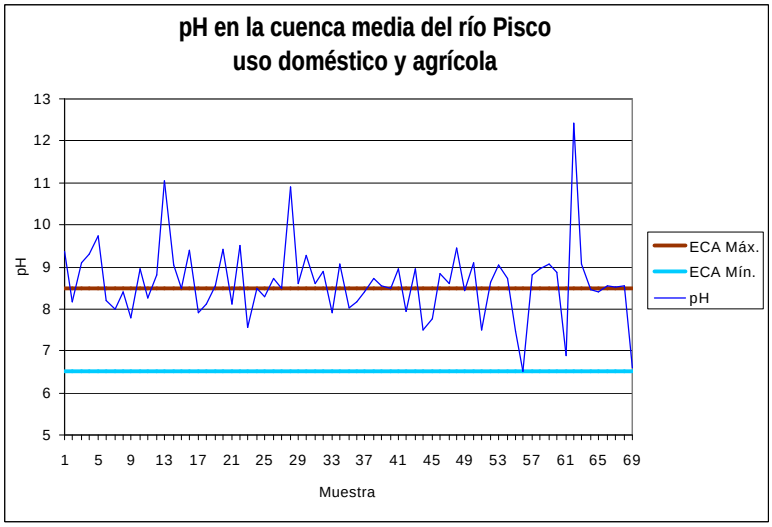


Figura 4.31a pH en la cuenca media del río Pisco, uso doméstico y agrícola.

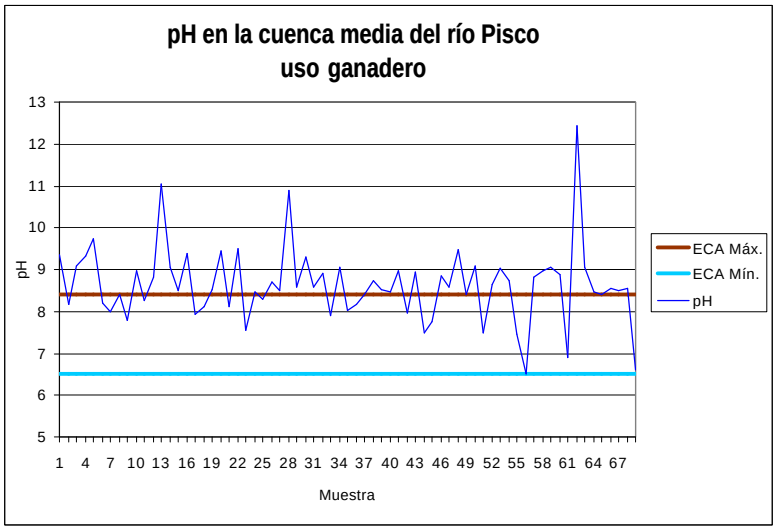


Figura 4.31b pH en la cuenca media del río Pisco, uso ganadero.

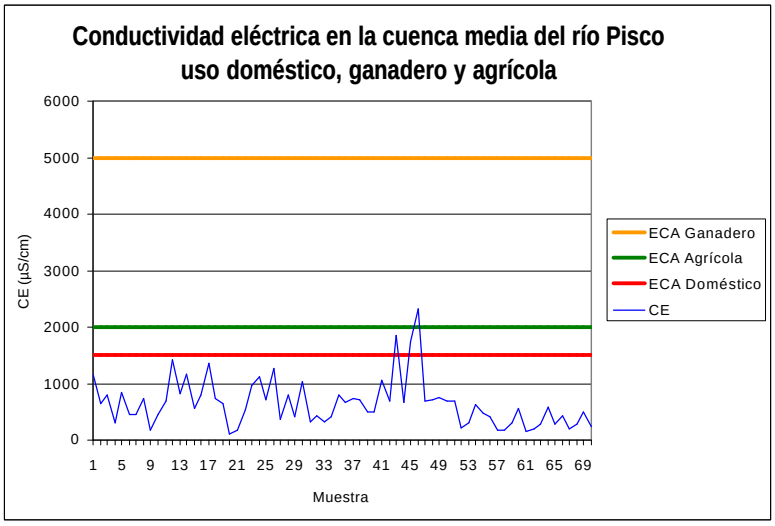


Figura 4.32 Conductividad eléctrica en la cuenca media del río Pisco.

Sulfatos en la cuenca media

Este parámetro supera las normas en cinco casos (ver figura 4.34), tres de los cuales llegan a exceder el ECA para uso ganadero: 28l-AGQ09-035 (río Chilcas), 28l-AGQ09-032 y 28l-AGQ09-015, recolectadas en el río Veladero. Estas tienen CE superiores a 1750 uS/cm. Tiene el mismo patrón de distribución que TDS, por lo que se considera que los sólidos totales disueltos están relacionados a la presencia de sulfatos.

Carbonatos en la cuenca media

Tres muestras recolectadas en el río Chiris superan ligeramente la norma agropecuaria (ver figuras 4.35): 27m-AGQ09-006 (Capilla Pampa), 27m-AGQ09-016 (Molino) 27m-AGQ09-062 (Cocha), cuyas aguas tienen CE superiores a 800 uS/cm, en ambientes donde la actividad agropecuario es moderada.

Aluminio en la cuenca media

Una muestra excede notablemente el ECA doméstico (ver figura 4.36): la 28m-AGQ09-007, ubicada cerca a la mina Flores Torres.

Arsénico en la cuenca media

Ocho muestran superan el ECA ganadero (ver figura 4.37a), son las ubicadas en el río Chiris, diferenciándose notablemente del drenaje del Castrovirreyna y Huaytará. Esto ocurre entre Secces y Cocas, donde la CE está por encima de los 975uS/cm. Se tiene la presencia de sulfuros oxidados y la actividad agropecuaria es moderada. Las muestras identificadas son 27m-AGQ09-035 (Trigullán), 27m-AGQ09-043 (Huiscancha), 27m-AGQ09-062 (Cocha), 27m-AGQ09-006 (Capilla Pampa), 27m-AGQ09-038 (Quisuar, Figura 4.37b), 27m-AGQ09-057 (río Chiris, Cocas), 27m-AGQ09-058 (Chiris) y 27m-AGQ09-067 (Angasmarca).

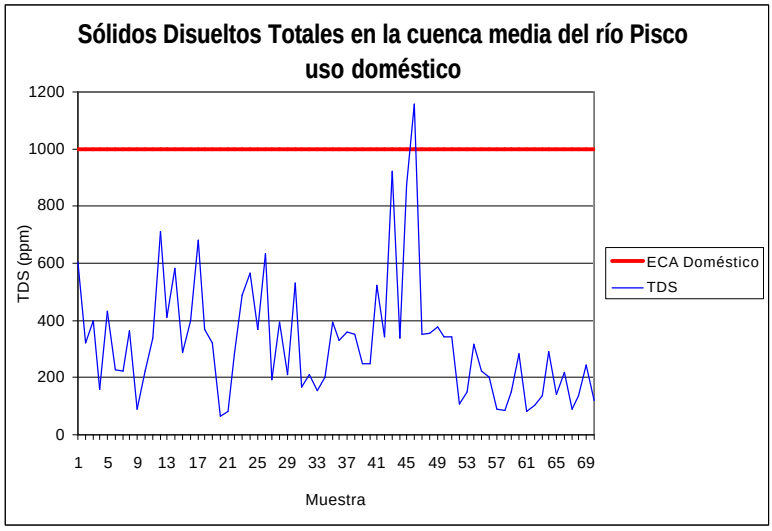


Figura 4.33 TDS en la cuenca media del río Pisco.

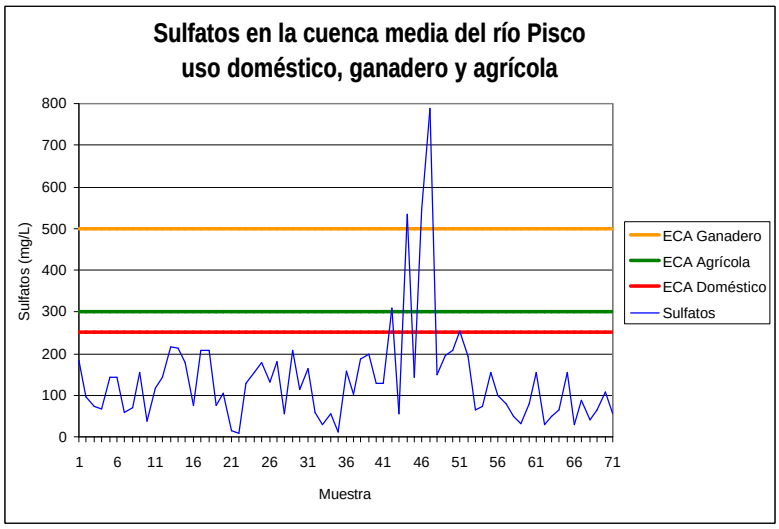


Figura 4.34 Sulfatos en la cuenca media del río Pisco.

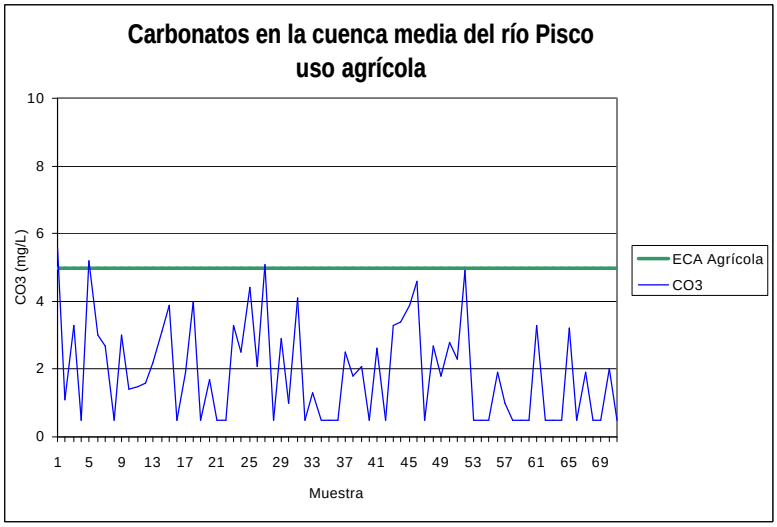


Figura 4.35 Carbonatos en la cuenca media del río Pisco.

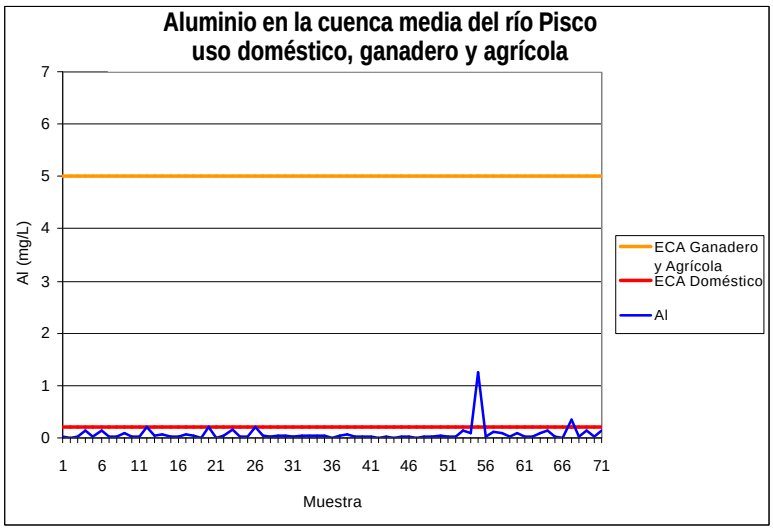


Figura 4.36 Aluminio en la cuenca media del río Pisco.

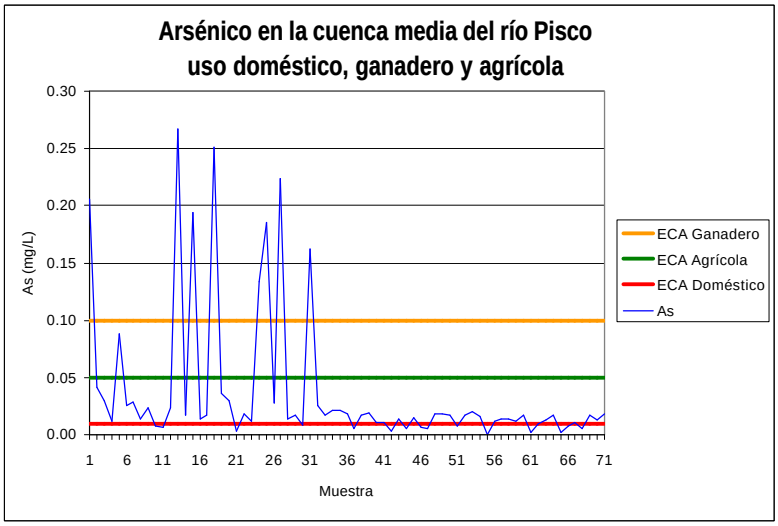


Figura 4.37a Arsénico en la cuenca media del río Pisco.

Boro en la cuenca media

Tiene similar distribución al arsénico. El ECA doméstico es relativamente bajo, por lo que la mayoría de las muestras superan el mismo, sin llegar a exceder el ECA ganadero (ver figura 4.38) ni agrícola. Por encima de 2uS/cm, destacan ocho muestras, siete de las cuales también han superado los ECA por boro.

Hierro en la cuenca media

Una muestra destaca notablemente sobre las restantes (ver figura 4.39): la 28m-AGQ09-020, recolectada en el río Huaytará, Tullpa, donde se emplazan depósitos aluviales; en el lecho hay considerable cantidad de musgo.

Manganeso en la cuenca media

Dos muestras superan el ECA doméstico (ver figura 4.40): la 28m-AGQ09-010 y la 28m-AGQ09-015, recolectadas en el río Quito Armas, San Antonio de Cusicancha, donde predomina el contenido se clastos de tobas pardo-rosáceas.

Plomo en la cuenca media

Una muestra supera los tres ECA (ver figura 4.41): la 27m-AGQ09-038, recolectada en el río Chiris, aguas abajo de la mina Secces; dicha muestra también tiene elevados valores en As y B. Otras dos muestras, la 27m-AGQ09-008 y la 27m-AGQ09-066, apenas superan el ECA doméstico.

Selenio en la cuenca media

Destacan tres muestras que superan en ECA doméstico (ver figura 4.42): la 28l-AGQ09-015, la 28l-AGQ09-032 y la 28l-AGQ09-035, recolectadas en el río Chilcas, Veladero Chico y caracterizadas por tener elevadísimas CE (1750uS/cm a más), bajo caudal y moderada contaminación antrópica.

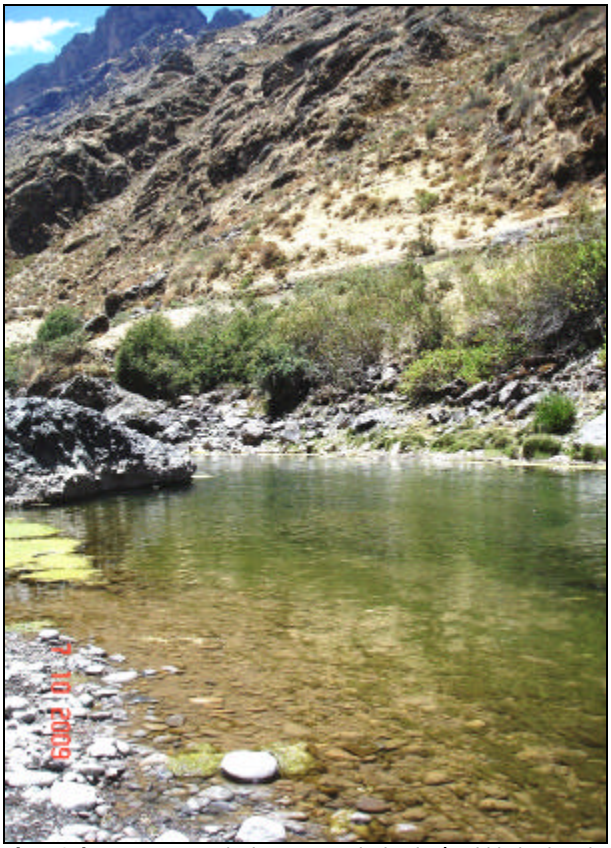


Fig. 4.37b Presencia de musgo en lecho de río Chiris (Quisuar), donde afloran volcánicos Sacsaquero.

Calidad química en la cuenca baja

Las muestras involucradas en esta sección corresponden al río Pisco, dado que los afluentes carecen de agua. En este sector, es mayor la actividad antrópica, ya que hay casi una constante presencia de poblaciones a lo largo del río y cuyo valle sirve para una creciente actividad fundamentalmente agrícola.

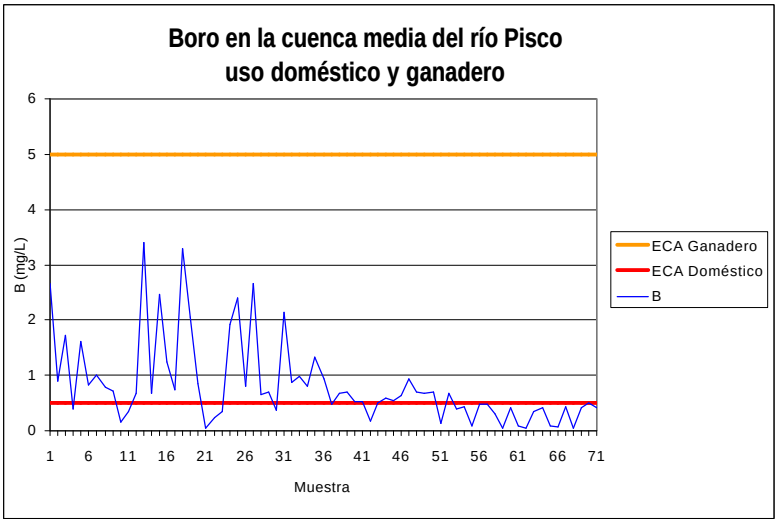


Figura 4.38 Boro en la cuenca media del río Pisco, uso doméstico y ganadero.

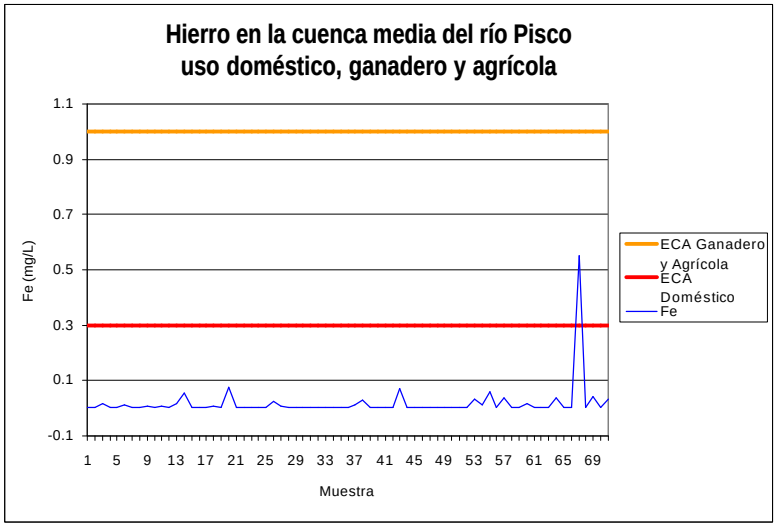


Figura 4.39 Hierro en la cuenca media del río Pisco.

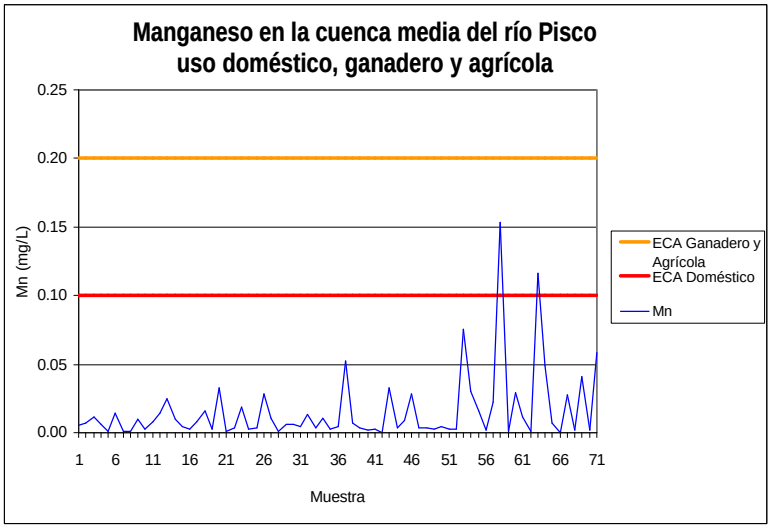


Figura 4.40 Manganeso en la cuenca media del río Pisco.

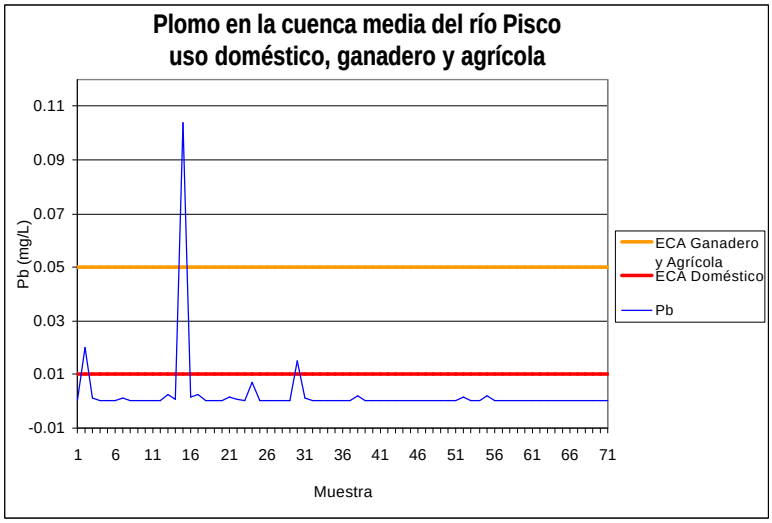


Figura 4.41 Plomo en la cuenca media del río Pisco.

pH en la cuenca baja

En la mayoría de casos, el pH del agua está por encima de la norma (ver figuras 4.43a, b). Esta basicidad se debe al efecto causado principalmente por la presencia de rocas carbonatadas.

Conductividad eléctrica en la cuenca baja

Ocho muestras exceden las normas (ver figura 4.44), correspondiendo los tres mayores valores a la 28k-AGQ09-002, la 28k-AGQ09-004 y la 28k-AGQ09-006, las cuales han sido recolectadas en la parte más baja de la cuenca. Este exceso responde a la mayor presencia de sales por el alto grado de evaporación imperante en la zona costera.

TDS en la cuenca baja

Evidentemente, TDS y la CE tienen el mismo patrón de distribución, por lo que seis de las muestras mencionadas en tal parámetro, resultan excediendo el ECA doméstico (ver figura 4.45).

Cloruros en la cuenca baja

El patrón de distribución de los cloruros es similar al de la CE o TDS. Seis muestras superan el ECA doméstico (ver figura 4.46) y corresponden al área de mayor evaporación, que da lugar a la salinidad alta.

Sulfatos en la cuenca baja

Cinco muestras, ubicadas en la parte más baja de la cuenca, superan los ECA (ver figura 4.47) y son las mismas mencionadas como altos valores en CE y en el contenido de cloruros; por tanto, la presencia de sólidos totales disueltos está en función a la presencia de sulfatos y cloruros.

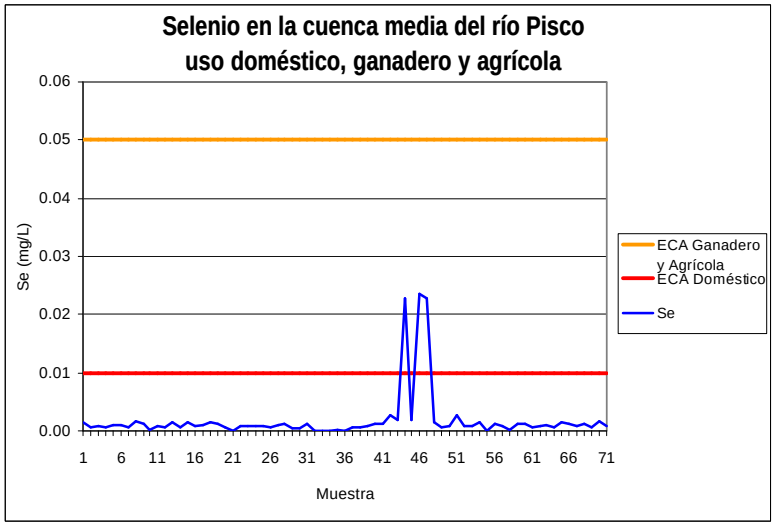


Figura 4.42 Selenio en la cuenca media del río Pisco.

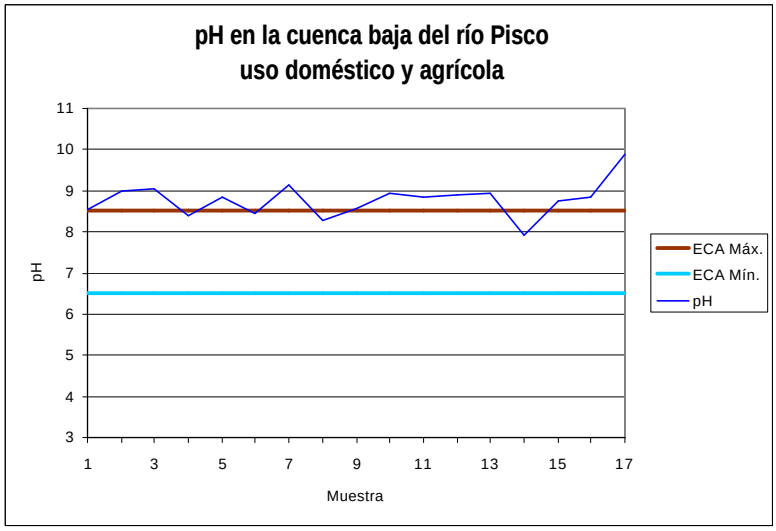


Figura 4.43a pH en la cuenca baja del río Pisco, uso doméstico y agrícola.

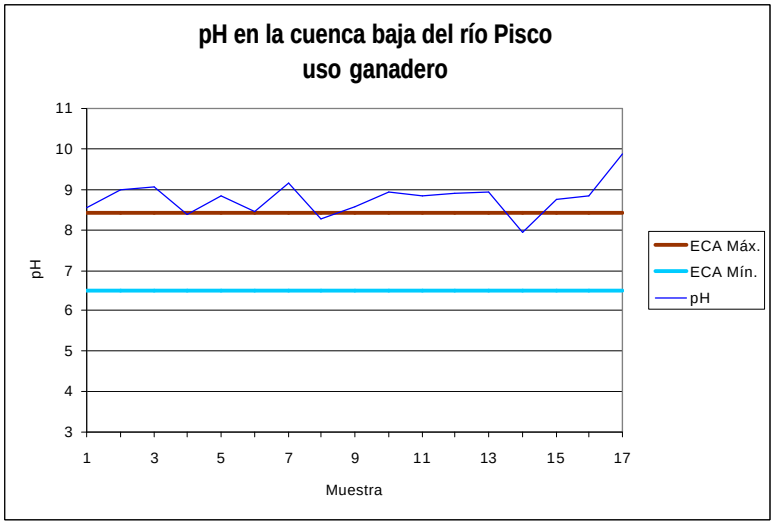


Figura 4.43b pH en la cuenca baja del río Pisco, uso ganadero.

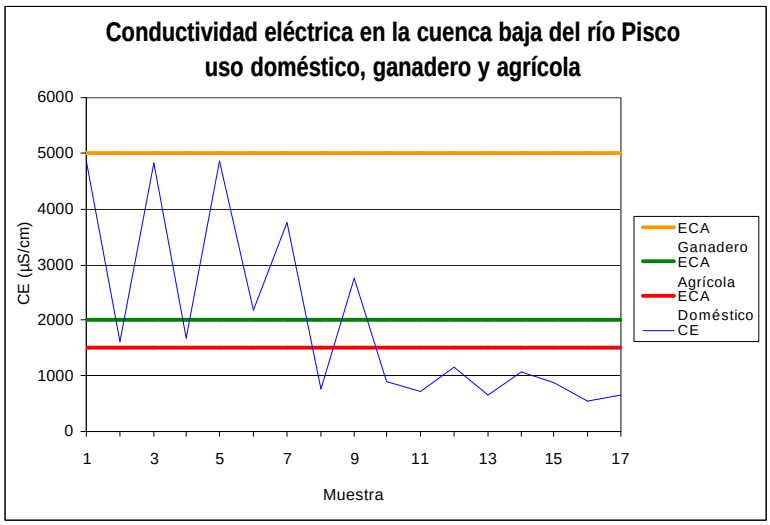


Figura 4.44 Conductividad eléctrica en la cuenca baja del río Pisco.

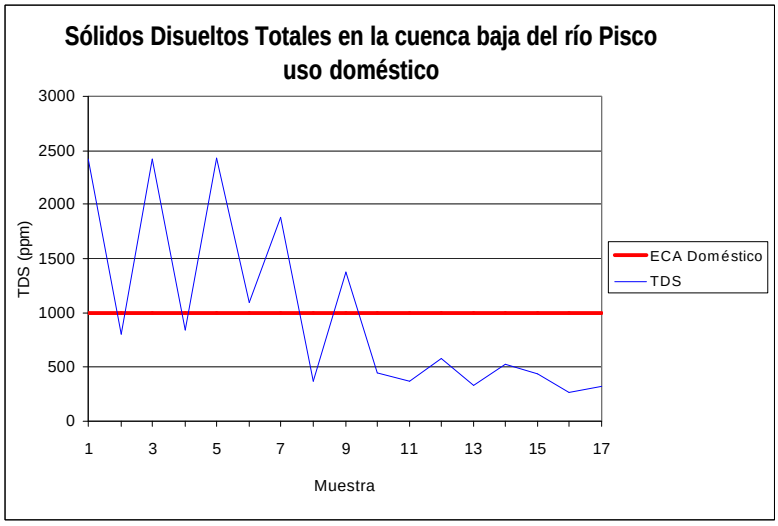


Figura 4.45 TDS en la cuenca baja del río Pisco.

Carbonatos en la cuenca baja

Tiene un patrón de distribución completamente diferente al de los parámetros anteriormente descritos. Dos muestras superan levemente el ECA agrícola (ver figura 4.48): la 28k-AGQ09-003 (Santa María) y la 28l-AGQ09-037 (Floresta Alta). Se caracterizan por tener CE superiores a 1000 uS/cm y abundante presencia de musgo en el lecho.

Manganeso en la cuenca baja

Una muestra supera el ECA doméstico (ver figura 4.49): la 28k-AGQ09-004, recolectada en el sector Núñez de León, la misma que también muestra elevados valores de cloruros, sulfatos y en consecuencia de CE.

Arsénico en la cuenca baja

El ECA doméstico resulta ser bajo, dado que todas las muestras son mayores al límite normado (ver figura 4.50).

Plomo en la cuenca baja

Se tienen dos muestras que superan el ECA doméstico (ver figura 4.51): la 28k-AGQ09-004 (Núñez de León) y la 28l-AGQ09-037 (Floresta Alta), lugares con evidente influencia antrópica, cuyas aguas presentan alto contenido de sales.

Hierro en la cuenca baja

Una muestra supera notablemente los ECA (ver figura 4.52): la 28l-AGQ09-037, recolectada en el sector Floresta Alta, zona con influencia antrópica. Esta muestra también tiene alto valor en plomo.

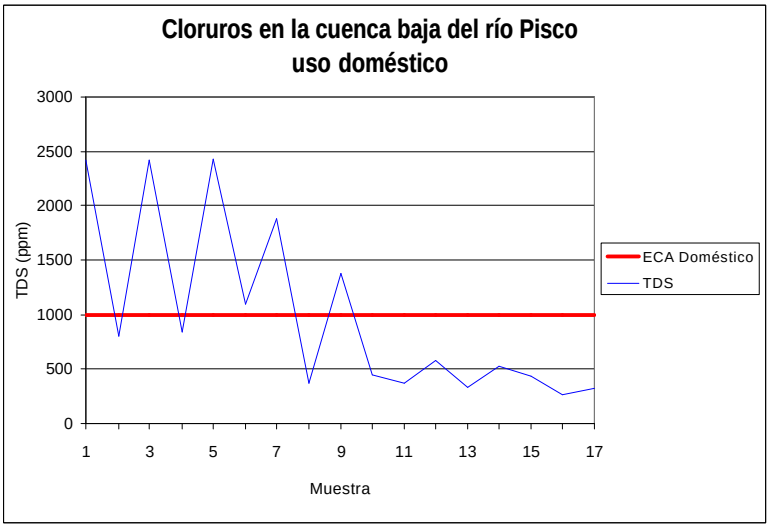


Figura 4.46 Cloruros en la cuenca baja del río Pisco, uso doméstico.

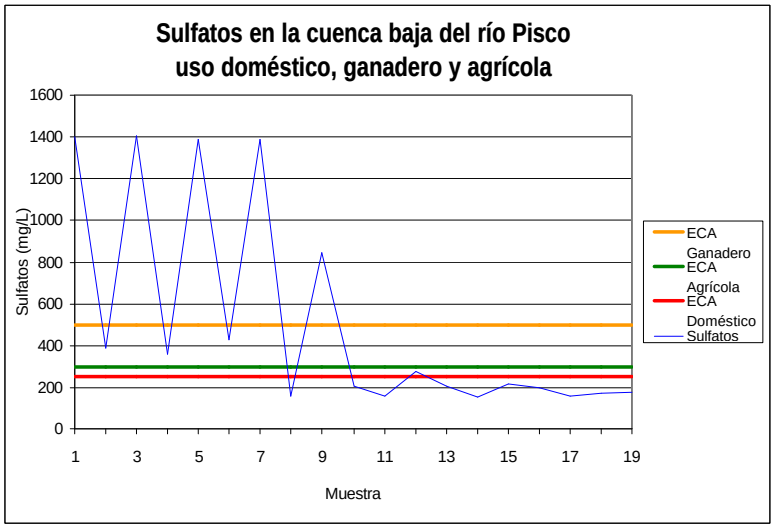


Figura 4.47 Sulfatos en la cuenca baja del río Pisco.

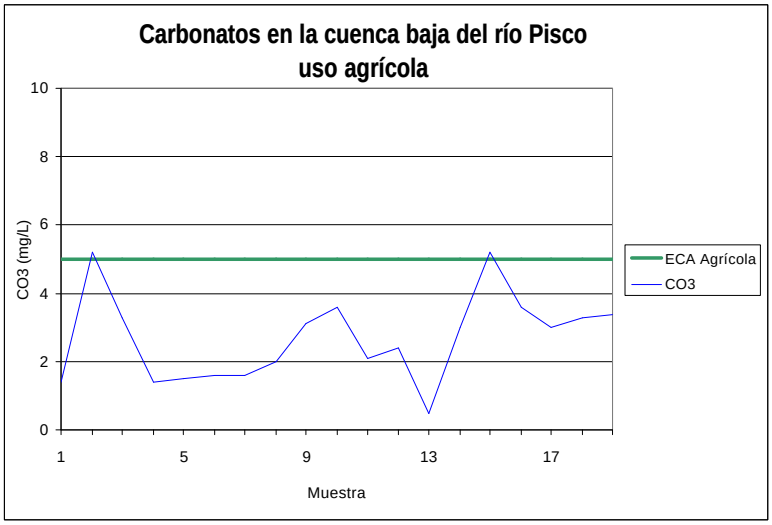


Figura 4.48 Carbonatos en la cuenca baja del río Pisco.

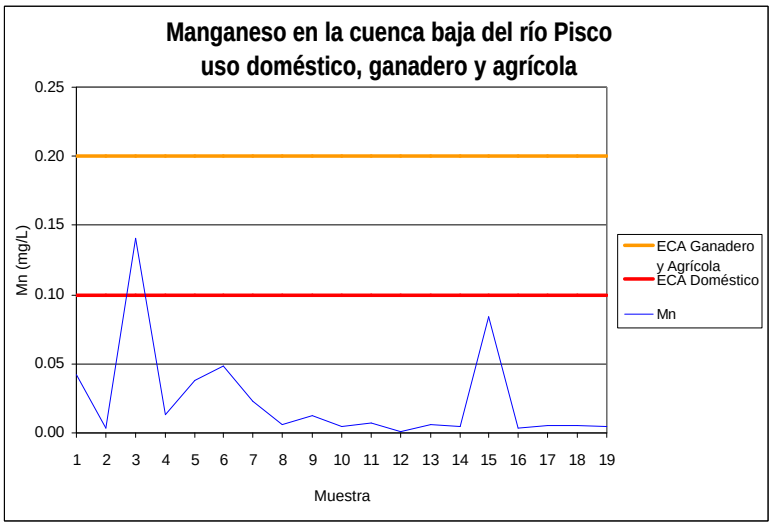


Figura 4.49 Manganeso en la cuenca baja del río Pisco.

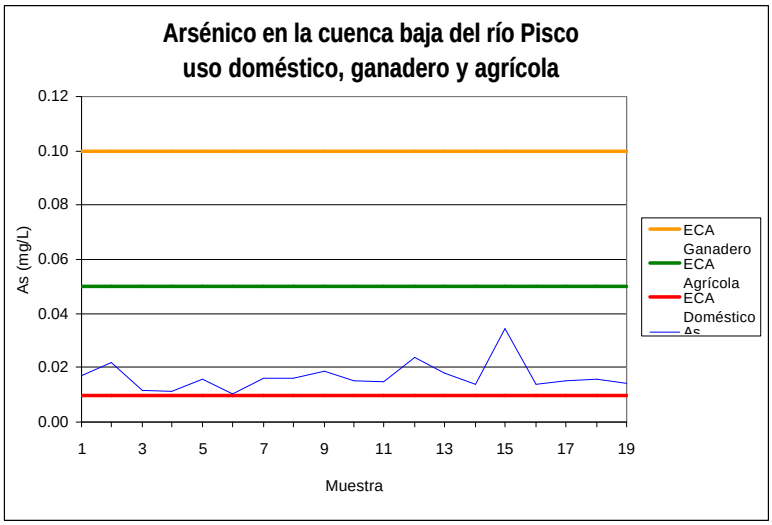


Figura 4.50 Arsénico en la cuenca baja del río Pisco.

Boro en la cuenca baja

Con el boro sucede lo mismo que con el arsénico, dado que el ECA doméstico resulta ser un valor relativamente bajo, a tal punto que todas las muestras exceden el mismo (ver figura 4.53).

Aluminio en la cuenca baja

La misma muestra con altos valores en hierro y plomo, la 28l-AGQ09-037, también supera los tres ECA (ver figura 4.54). Destaca la fuerte presencia de musgo en el lecho del río.

Selenio en la cuenca baja

Las mismas muestras del sector más bajo de la cuenca, con alto contenido de sales, superan el ECA doméstico (ver figura 4.55). Estas son la 28k-AGQ09-002, la 28k-AGQ09-004, la 28k-AGQ09-006, la 28k-AGQ09-009 y la 28l-AGQ09-019.

Antimonio en la cuenca baja

Una muestra supera el ECA doméstico (ver figura 4.56): la 28k-AGQ09-008, recolectada en el sector Santa Clara-Montefuerte, donde se tiene alta concentración de sales por evaporación.

GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS

A partir de la información previa, se determinaron potenciales zonas contaminadas, reconociéndose tres sectores en los que se efectuaría el muestreo de sedimentos (mapa MAF-GQ09-02).

El pasivo ambiental que más destaca es la relavera Pacococha, emplazada en la laguna del mismo nombre.

El estudio elaborado por la Universidad Nacional de Ingeniería (2000) indica presencia de metales contaminantes en sedimentos tamizados a malla 80, tales como As (valores superiores a 50

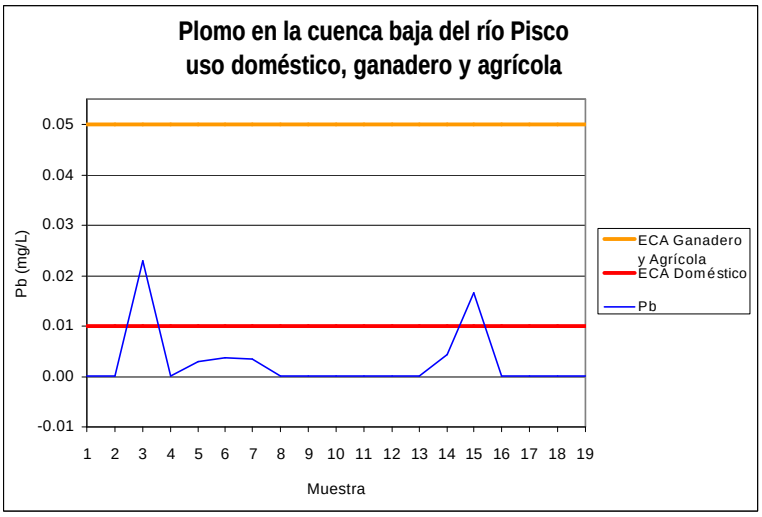


Figura 4.51 Plomo en la cuenca baja del río Pisco.

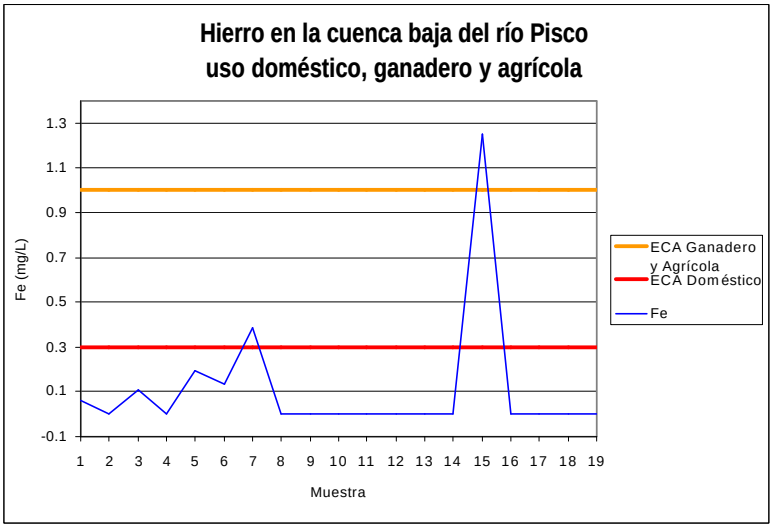


Figura 4.52 Hierro en la cuenca baja del río Pisco.

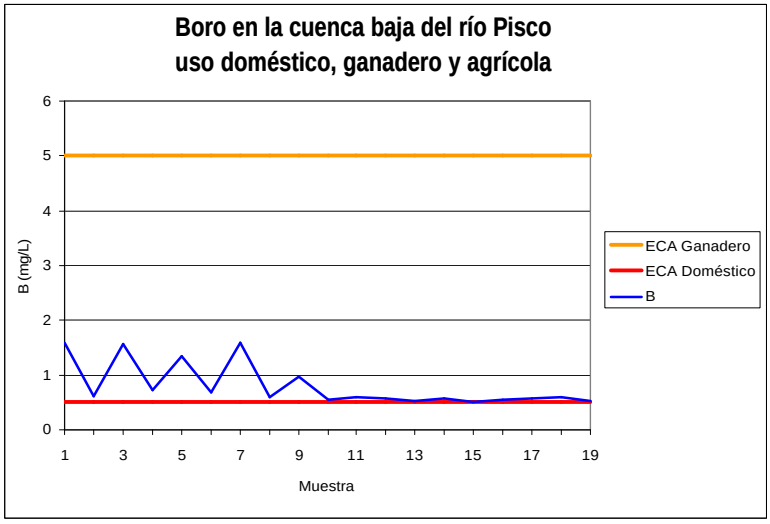


Figura 4.53 Boro en la cuenca baja del río Pisco.

Figura 4.54 Aluminio en la cuenca baja del río Pisco.

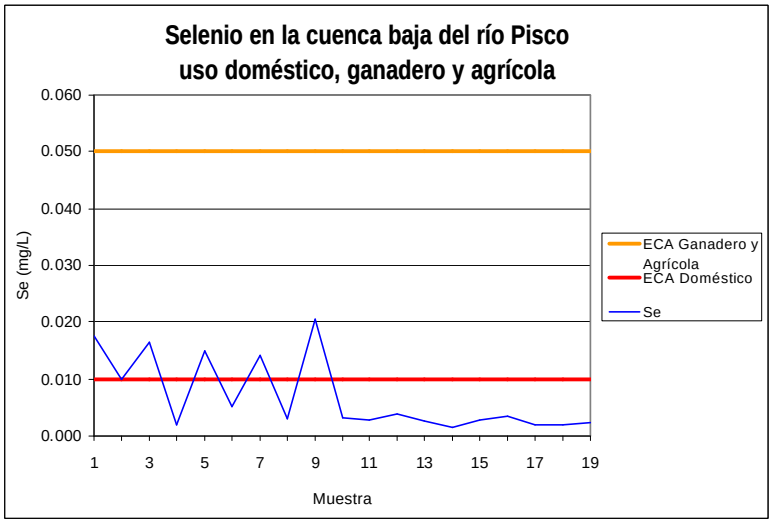


Figura 4.55 Selenio en la cuenca baja del río Pisco.

ppm), principalmente en los lechos de los drenajes de las minas Reliquia, Dollar, Lira y río Huaytará, así como en el fondo de las lagunas Rechazo y Pacococha.

El Pb y Cu, con valores superiores a 500 ppm y 600 ppm, respectivamente, se presentan principalmente en los lechos de los drenajes de mina de Reliquia, Dollar y Lira, como en la laguna Pacococha. El Zn supera ligeramente los 3000 ppm en el lecho de drenaje de mina Reliquia, Por Fin Cayó y Lira. El Fe tiene altos valores en minas Reliquia y Lira; al igual que el Mn en Por Fin Cayó, Perseguida, Lira y su acumulación en la lagunas La Virreina y Rechazo.

Tres segmentos han sido muestreados: el río Incachaca (muestras), el río Pacococha (muestras) y el río Pisco (muestras). Este último es el más continuo y se ha pretendido determinar el impacto en los sectores medio y bajo, debido a la actividad antrópica. En los otros sectores (cuenca alta), se pretende determinar el impacto por la actividad exclusivamente minera.

Calidad química de sedimentos

A continuación, se determina la calidad química de los sedimentos en base a la comparación con los niveles establecidos por la Junta de Andalucía (1999), referida en el Anexo 2. Asimismo, en los mapas MAF-GQ09-07 y MAF-GQ09-08 se aprecia la disposición de las muestras, así como su calidad desde el punto de vista químico.

Arsénico en sedimentos

Evidentemente, los sectores más afectados son los de Incachaca y Pacococha; al extremo que, en algunos casos, el nivel de intervención (50 ppm) es superado en más de diez veces (ver figura 4.57).

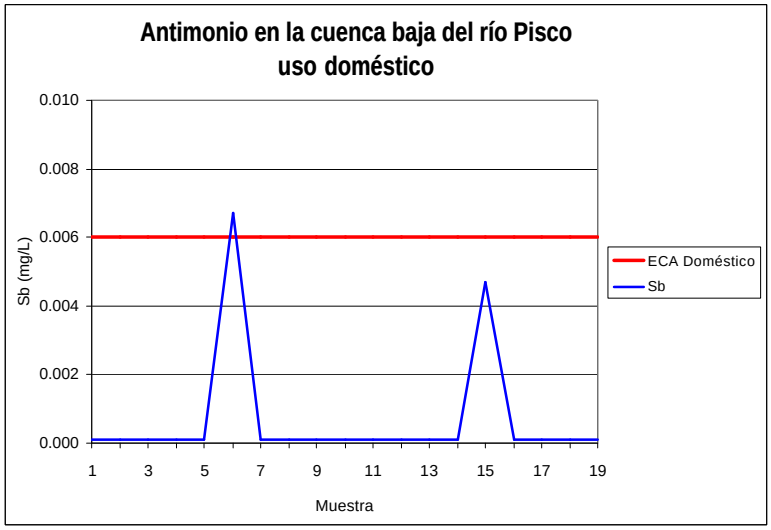


Figura 4.56 Antimonio en la cuenca baja del río Pisco.

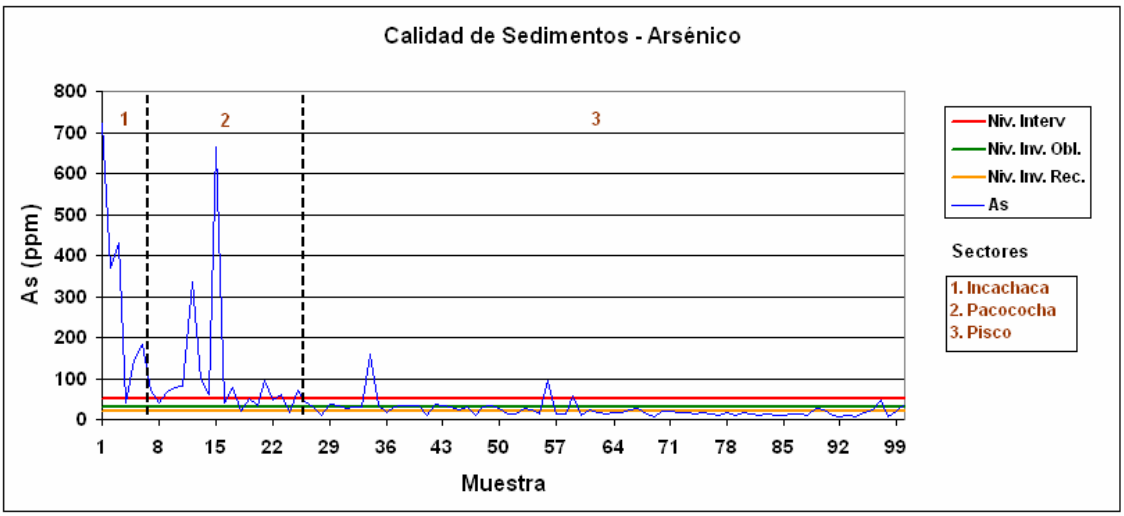


Figura 4.57 Calidad de sedimentos, arsénico.

Cadmio en sedimentos

Solamente una muestra supera los niveles establecidos (ver figura 4.58), y es la que drena a la laguna Pacococha.

Cobalto en sedimentos

En cobalto, ninguna de las muestras supera los niveles establecidos (ver figura 4.59).

Cromo en sedimentos

Todas las muestras se encuentran dentro de los niveles de referencia, sin llegar a superar los niveles de investigación (ver figura 4.60).

Cobre en sedimentos

En los sectores de Pacococha (la muestra que drena a dicha laguna) y Pisco (mina Cóndor), los niveles de cobre llegan a superar inclusive el nivel de intervención (500ppm), tal como se puede observar en la figura 4.61.

Molibdeno en sedimentos

Los niveles de molibdeno están dentro de los de referencia (ver figura 4.62).

Níquel en sedimentos

En lo que se refiere al níquel, todas las muestras están muy por debajo de los niveles establecidos (ver figura 4.63).

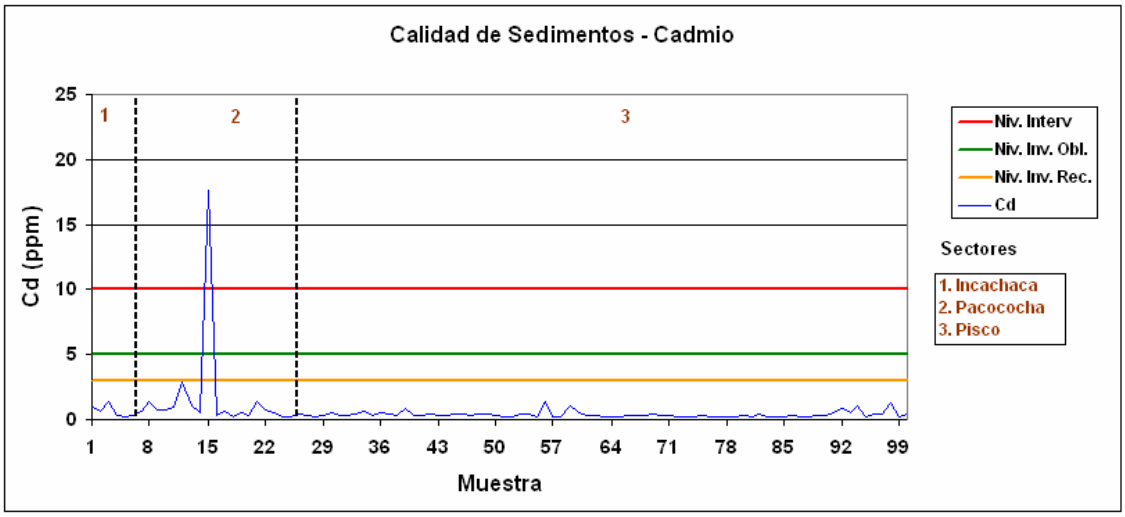


Figura 4.58 Calidad de sedimentos, cadmio.

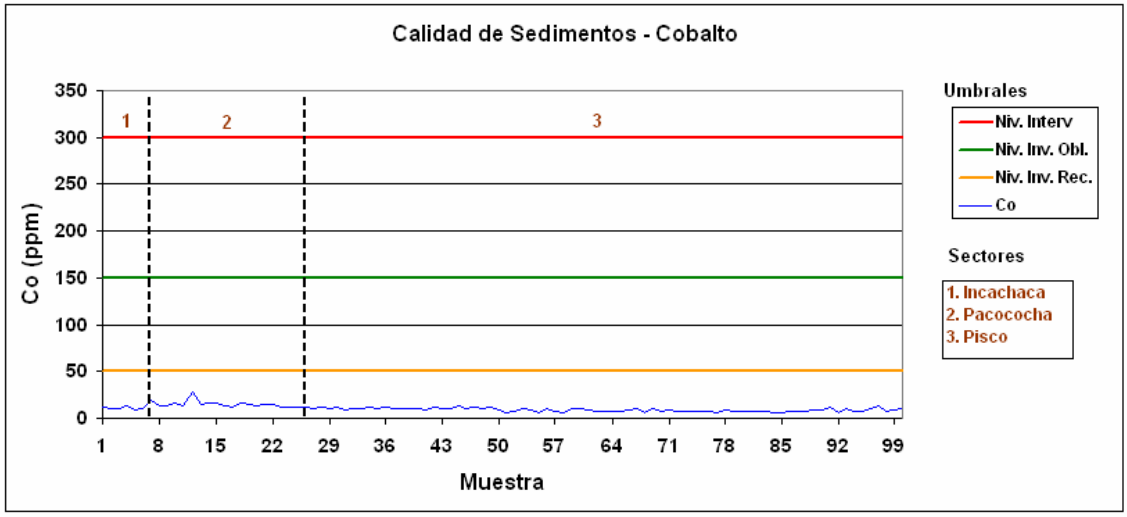


Figura 4.59 Calidad de sedimentos, cobalto.

Plomo en sedimentos

Excepto la muestra que drena a la laguna Pacococha, que llega a superar el nivel de intervención, todas las muestras se encuentran dentro del rango de referencia (ver figura 4.64).

Talio en sedimentos

Los niveles de investigación son superados en el sector Incachaca (río Chiris); en Pacococha (la muestra que drena a la laguna), el talio supera el nivel de investigación recomendable (3ppm); mientras que en el río Pisco, se encuentra dentro del rango de referencia (ver figura 4.65). La muestra tomada en el río Chiris corresponde a una zona donde la conductividad eléctrica es de 2089 uS/cm.

Zinc en sedimentos

El sector Pacococha es el afectado en zinc, en la muestra que drena a la laguna (la misma con altos valores en arsénico, cobre, cadmio, plomo y talio), superando el nivel de intervención en tres veces (ver figura 4.66).

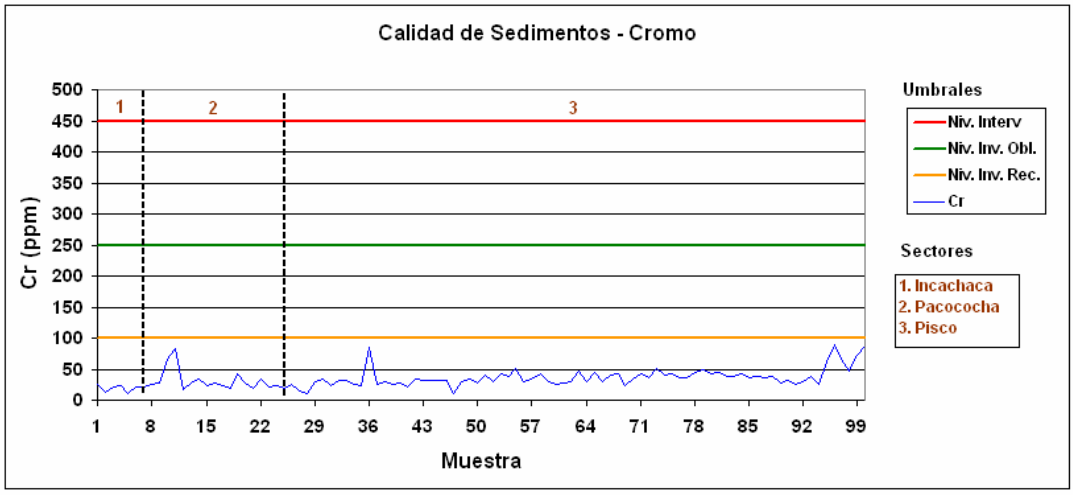


Figura 4.60 Calidad de sedimentos, cromo.

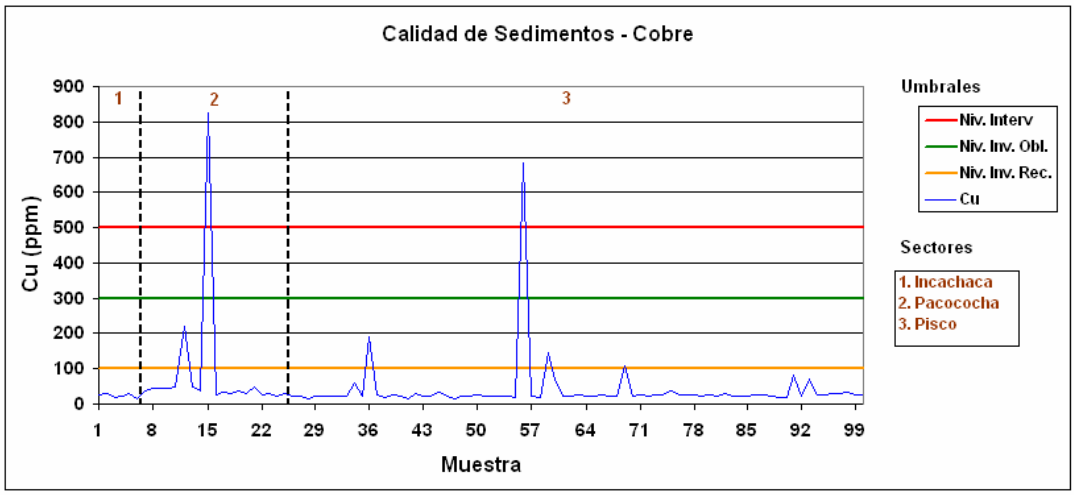


Figura 4.61 Calidad de sedimentos, cobre.

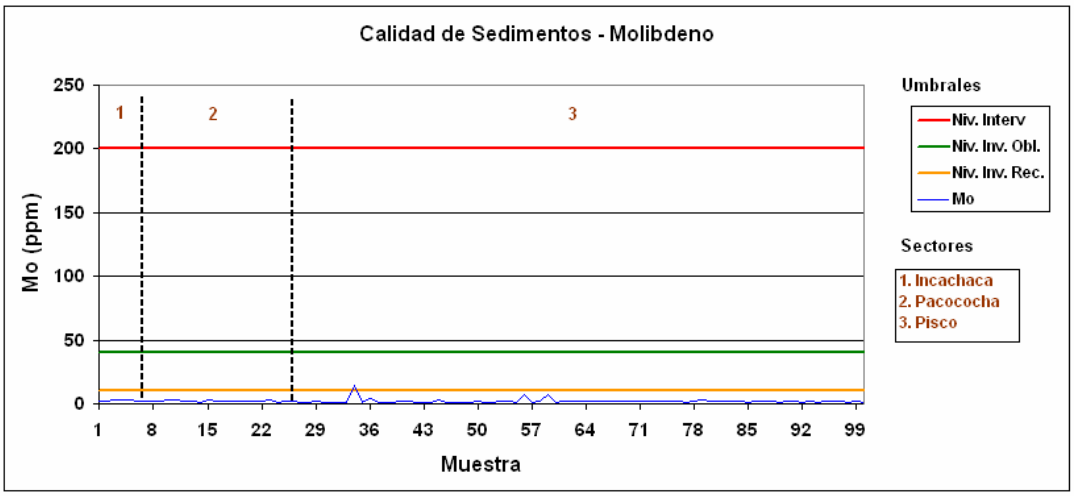


Figura 4.62 Calidad de sedimentos, molibdeno.

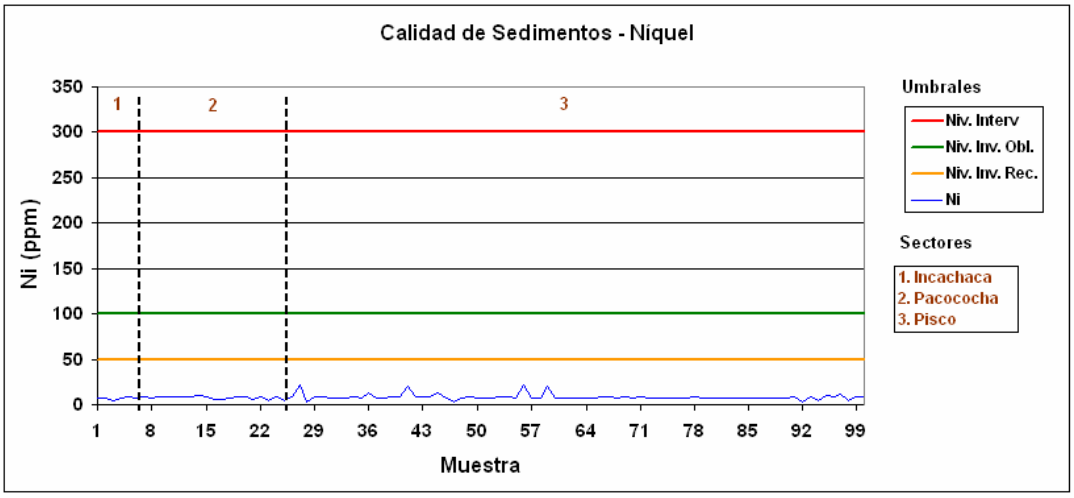


Figura 4.63 Calidad de sedimentos, níquel.

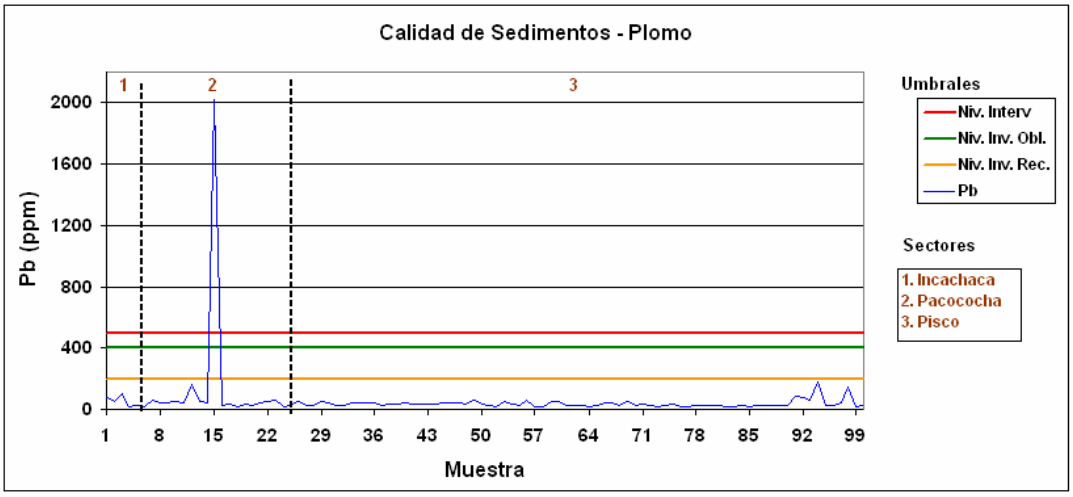


Figura 4.64 Calidad de sedimentos, plomo.

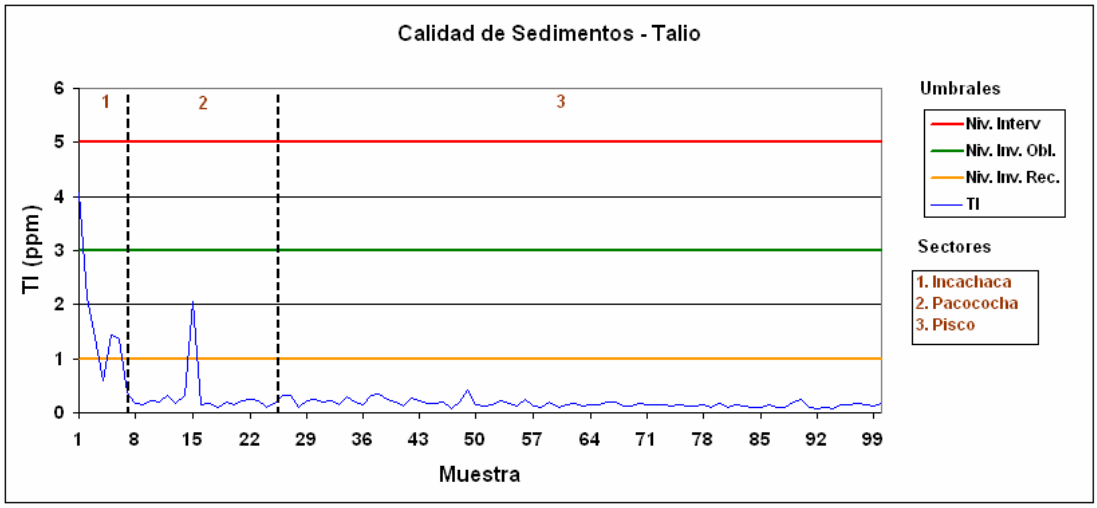


Figura 4.65 Calidad de sedimentos, talio.

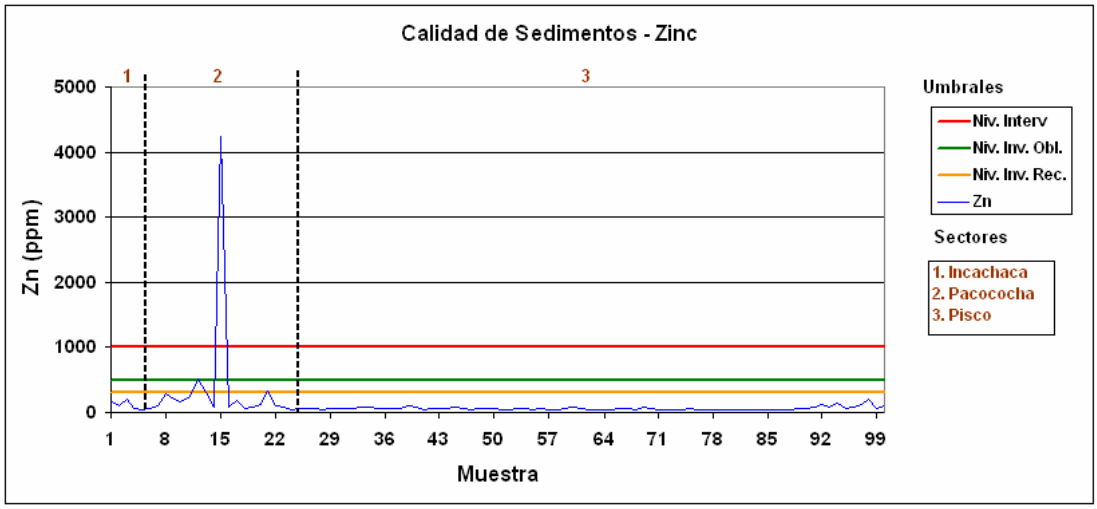


Figura 4.66 Calidad de sedimentos, zinc.

PÁGINA EN BLANCO

CONCLUSIONES

El agua de escorrentía de la cuenca alta está clasificada como clorurada sulfatada bicarbonatada sódica, resultado de la considerable presencia de pasivos ambientales mineros. El peligro de salinidad del agua va de bajo a muy alto, mientras que el peligro de sodificación va de bajo a alto.

En la cuenca media, el agua está caracterizada como sulfatada clorurada cálcica sódica, debido a la mayor concentración de sulfatos (principalmente en el río Huaytará) y el catión calcio, evidenciándose el impacto de la actividad minera. Hay un bajo peligro de sodificación, pero el de salinidad llega a alto.

En la cuenca baja, el agua ha sido caracterizada como sulfatada clorurada cálcica sódica. El peligro de salinidad y de sodificación llega hasta muy alto. Hay intensa actividad antrópica.

En cuanto a la calidad química del agua, en la cuenca alta, se tienen valores de Fe, Mn y Zn que han superado los ECA y se derivan de las minas Dorita y Carmen; en la cuenca media, el Pb ha superado el ECA por efecto de la influencia de la mina Secces; en tanto que en la cuenca baja, el impacto ambiental negativo es resultado de la actividad antrópica agropecuaria, así como debido a la disposición de residuos de diversa naturaleza al lecho del río o fuentes de agua de escorrentía.

La calidad química de los sedimentos está marcada por valores de As, Cd, Cu, Pb y Zn, que llegan a superar el nivel de intervención en algunas localidades de la cuenca, teniendo al sector Pacococha y la mina Cóndor como los que requieren mayor atención.

PÁGINA EN BLANCO

BIBLIOGRAFÍA

Acosta, J., et al. (2009) – *Mapa metalogenético del Perú*, informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 15 p.

Agar, R.A. (1978) - The peruvian coastal batholith: its monzonitic rocks and the related mineralization, the geology of the rio Pisco, a sector of the Arequipa segment of the coastal batholith. PhD Thesis, University of Liverpool, Liverpool, 261 p.

Bellido, E. & De Montreuil, L. (1972) – Aspectos generales de la metalogenia del Perú. *Servicio de Geología y Minería, Boletín, Serie B: Geología Económica*, 1, 149 p.

Castillo, J.; Barreda, J. & Vela Ch. (1993) - Geología de los cuadrángulos de Laramate y Santa Ana. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 45, 66 p.

Castrovirreyna Compañía Minera (2009) - *Memoria anual 2009* (en línea). Lima, 55 p. (consulta: 01 abril 2010). Disponible en: <http://www.castrovirreyna.com/web/memorias/2009.pdf>

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.

Fernández Dávila, M. (1993b) - Geología de los cuadrángulos de Pisco, Guadalupe, Punta Grande, Ica y Córdova. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 47, 62 p.

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico ((2001) - *Proyectos de inversión minera y prospectos en estudio*. Lima: INGEMMET, Boletín Especial, 147 p.

Junta de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente (1999) - *Los criterios y estándares para declarar un suelo contaminado en Andalucía y la metodología y técnicas de toma de muestra y análisis para su investigación* (en línea). Sevilla, Consejería de Medio Ambiente. (consulta: 15 abril 2010). Disponible en:

<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/web/menuitem.a5664a214f73c3df81d8899661525ea0/?vgnextoid=47dbbb45c8bab010VgnVCM1000000624e50aRCRD&vgnextchannel=9544c7df1a089110VgnVCM1000000624e50aRCRD&lr=lang_es>

León, W.; Rosell, W.; Alemán, A., Torres, V. & De La Cruz, O. (2008) – Estratigrafía, sedimentología y evolución tectónica de la cuenca Pisco Oriental. *INGEMMET, Boletín, Serie D: Estudios Regionales*, 27, 154 p.

Macharé, J.; Sébrier, M.; Huamán, R. & Mercier, J.L. (1986) - Tectónica cenozoica de la margen continental peruana. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, (76): 45-77.

Minera Interandina de Consultores (2006) - *Evaluación Ambiental «Reliquias», resumen ejecutivo* (en línea). Lima: Corporación Minera Castrovirreyna, 22 p. (consulta: 23 marzo 2010). Disponible en Web: <http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dgaam/inicio/resumen/RE_1613986.PDF>

Noble, D.C.; Sébrier, M.; Mégard, F. & McKee, E.H. (1985) - Demonstration of two pulses of Paleogene deformation in the Andes of Peru. *Earth and Planetary Science Letters*, 73(2-4): 345-349.

Noble, D.C., et al. (2005 - Caldera-related ash-flow tuff of Paleocene age in central Perú and its significance for late Cretaceous and Paleocene magmatism, sedimentation and tectonism. En: Arce, J., ed. *Alberto Giesecke Matto*. Lima: Sociedad Geológica del Perú, Volumen Especial. 6, p. 127-140.

Palacios, O. (1994) - Geología de los cuadrángulos de Santiago de Chocorvos y Paras. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 49, 116 p.

Quispe, J. (2006) - *Características estructurales e isótopos de plomo de las mineralizaciones auríferas de la Franja Huaytará-Tantará, Huancavelica (Perú).* Tesis Maestría Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Minerales, RED DESIR, Lima, 88 p.

Salazar, H. & Landa, C. (1993) - Geología de los cuadrángulos de Mala, Lunahuaná, Tupe, Conaica, Chincha, Tantará y Castrovirreyna. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 44, 97 p

Steinmüller, K. (1999) - *Depósitos metálicos en el Perú: su metalogenia, sus modelos, su exploración y el medio ambiente*. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 171 p.

Tumialán, P. (2003) – Compendio de yacimientos minerales del Perú. *INGEMMET, Boletín, Serie B: Geología Económica*, 10, 620 p.

Universidad Nacional de Ingeniería (1998) - *Inventario de minas inactivas del departamento de Huancavelica* (en línea). Lima, UNI, 16p. (consulta: 01 marzo 2010). Disponible en: *<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/mapas/minas_abandonadas/huancavelica/MI_HUANC.htm>*

Universidad Nacional de Ingeniería (2000) - *Investigación y monitoreo complementario de la cuenca del río Pisco en agosto del 2000* (en línea). Lima, UNI, Instituto de Minería y Medio Ambiente, 53 p. (consulta: 12 febrero 2010). Disponible en: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/publicaciones/evats/pisco/PISCO.htm>

Vargas, L. (1970) - Geología del cuadrángulo de Arequipa. *Servicio de Geología y Minería, Boletín* 24, 64 p.

Wise, J.M. & Noble, D.C. (2001) - La falla Chonta del Perú central-una falla inversa con reactivación de rumbo sinestral respondiendo a un cambio de la oblicuidad relativa de convergencia de las placas tectonicas. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, (92): 29-41.

RELACIÓN DE MAPAS E ILUSTRACIONES

Mapa Escala: 1: 150 000

Mapa de Ubicación de muestras de agua.

Mapa de Ubicación de muestras de sedimento.

Mapa de Caracterización Química del agua.

Mapa de Calidad de aguas - pH, CE y TDS.

Mapa de Calidad de aguas - Aniones.

Mapa de Calidad de aguas - Cationes.

Mapa de Calidad de sedimentos. Asociación: Cu, As, Pb, Zn.

Mapa de Calidad de sedimentos. Asociación: Cd, Tl, Mo, Co, Ni, Cr.

Figuras

Figura 1.1 Plano de ubicación.

Figura 1.2 Mapa hidrográfico.

Figura 2.1 Mapa generalizado de unidades litológicas.

Figura 2.2 Columna estratigráfica generalizada.

Figura 2.3 Flanco de pliegue anticlinal en areniscas Labra (quebrada Quito Arma, Colccapampa, vista al sur).

Figura 2.4 Otra vista de pliegue anticlinal en areniscas Labra (quebrada Quito Arma, Colccapampa, vista al noroeste).

Figura 2.5 Calizas Chúlec intensamente fracturadas, con contenido de pirita (río Pisco, Huancana).

Figura 2.6 Afloramiento de brechas y tobas líticas (quebrada Chiris, Jatunpampa).

Figura 2.7 Detalle de brechas piroclásticas de Sacsaquero.

Figura 2.8 Areniscas rojas y tobas de la Formación Castrovirreyna (quebrada Chichina, vista al noroeste).

Figura 2.8a Afloramiento de tobas y lavas andesíticas en margen derecha de quebrada Chiris, Cocha.

Figura 2.9 Afloramiento de limolitas, calizas y tobas en la parte superior (Formación Auquivilca en la quebrada Pucuta, Santa Ana).

Figura 2.10 Granitos expuestos en margen izquierda de la quebrada Huancano.

Figura 2.10a Afloramiento de granodiorita en la margen izquierda del río Pisco, Huancano (vista al este).

Figura 2.11 Plano de rasgos estructurales.

Figura 3.1 Mapa metalogenético.

Figura 3.2 Mina Cóndor, margen derecha del río Pisco.

Figura 3.3 Mina María Elena, margen derecha del río Huaytará.

Figura 4.1 Laguna Pacococha y emplazamiento de relaves a orillas de esta (mirando al oeste).

Figura 4.2(a) Relaves emplazados en laguna Pacococha (vista mirando al oeste).

Figura 4.2(b) Relaves en laguna Pacococha (vista mirando al este).

Figura 4.2(c) Detalle de pátina de óxidos de hierro recubriendo clastos (laguna Pacococha).

Figura 4.2(d) Unos metros aguas abajo se distingue otro depósito de relaves en laguna Pacococha (mirando al norte).

Figura 4.3 Box plot de cuenca alta de río Pisco.

Figura 4.4 Composición de aguas de cuenca alta de río Pisco.

Figura 4.5a Diagrama de Wilcox de cuenca alta de río Pisco.

Figura 4.5b Muestra tomada en la quebrada Cochahuasi, extremo septentrional de la cuenca, al norte del poblado de Castrovirreyna.

Figura 4.5c Muestra clorurada bicarbonatada sódica recolectada en la quebrada Rumichaca, al NE de San Antonio de Cusicancha, con alto peligro de sodificación y muy alto peligro de salinidad.

Figura 4.5d Tobas líticas oxidadas de la Formación Castrovirreyna aflorando en margen derecha de quebrada Cochahuasi.

Figura 4.6a Box plot de cuenca media del río Pisco.

Figura 4.6a Box plot de cuenca media del río Pisco.

Figura 4.6b Composición de aguas de cuenca media de río Pisco.

Figura 4.7a Diagrama de Wilcox de cuenca media del río Pisco.

Figura 4.7b Agua sulfatada clorurada cálcica sódica, con elevada conductividad (2316 uS/cm) y en consecuencia de riesgo muy alto de salinidad y bajo de sodicidad.

Figura 4.8a Box plot de cuenca baja del río Pisco.

Figura 4.8b Composición de aguas de cuenca media de río Pisco.

Figura 4.9a Diagrama de Wilcox de cuenca baja del río Pisco.

Figura 4.9b Diagrama de última muestra tomada antes de su desembocadura al Océano Pacífico, con una conductividad de 4860uS/cm.

Figura 4.9c Alta concentración de sales en parte baja del río Pisco (sector La Huaca).

Figura 4.9d Muestra de la misma tipología que la anterior, recolectada en el río Pisco (aguas arriba de San Clemente).

Figura 4.9e Apreciable presencia de musgos en el lecho del río Pisco, sector bajo.

Figura 4.9f Otra de las muestras con el mismo tipo químico que las anteriores, tomada en el poblado de San Clemente.

Figura 4.9g Muestra tomada en la parte baja, donde el río se encuentra canalizado y es evidente la contaminación antrópica y mayor salinización del terreno.

Figura 4.9h Muestra recolectada en la localidad de Santa Isabel (zona de cultivos).

Figura 4.9i Sector Santa Isabel, zona de contaminación antrópica, destaca la presencia de algas, peces y camarones.

Figura 4.10 Mapa de pH en aguas.

Figura 4.11 Mapa de conductividad eléctrica en aguas.

Figura 4.12 Mapa de TDS en aguas.

Figura 4.13 Dureza del agua.

Figura 4.14 Dureza del agua.

Figura 4.15a pH en la cuenca alta (uso doméstico y agrícola).
Figura 4.15b pH en la cuenca alta (uso ganadero).
Figura 4.16 Conductividad eléctrica en la cuenca alta del río Pisco.
Figura 4.17 TDS en la cuenca alta del río Pisco.
Figura 4.18 Cloruros en la cuenca alta del río Pisco (uso doméstico).
Figura 4.19a Sulfatos en la cuenca alta del río Pisco.
Figura 4.19b Clastos fuertementre limonitizados en quebrada Uchuputa (Pacococha).
Figura 4.20 Bicarbonatos en la cuenca alta del río Pisco.
Figura 4.21 Carbonatos en la cuenca alta del río Pisco.
Figura 4.22 Aluminio en la cuenca alta del río Pisco.
Figura 4.23 Antimonio en la cuenca alta del río Pisco.
Figura 4.24 Arsénico en la cuenca alta del río Pisco.
Figura 4.25a Boro en la cuenca alta del río Pisco (uso doméstico y ganadero).
Figura 4.25b Boro en la cuenca alta del río Pisco (uso agrícola).
Figura 4.26 Hierro en la cuenca alta del río Pisco.
Figura 4.27 Litio en la cuenca alta del río Pisco.
Figura 4.28 Manganeso en la cuenca alta del río Pisco.
Figura 4.29 Níquel en la cuenca alta del río Pisco.
Figura 4.30 Zinc en la cuenca alta del río Pisco.
Figura 4.31a pH en la cuenca media del río Pisco (uso doméstico y agrícola).
Figura 4.31b pH en la cuenca media del río Pisco (uso ganadero).
Figura 4.32 Conductividad eléctrica en la cuenca media del río Pisco.
Figura 4.33 TDS en la cuenca media del río Pisco.
Figura 4.34 Sulfatos en la cuenca media del río Pisco.
Figura 4.35 Carbonatos en la cuenca media del río Pisco.
Figura 4.36 Aluminio en la cuenca media del río Pisco.
Figura 4.37a Arsénico en la cuenca media del río Pisco.
Figura 4.37b Presencia de musgo en lecho de río Chiris (Quisuar).
Figura 4.38 Boro en la cuenca media del río Pisco (uso doméstico y ganadero).
Figura 4.39 Hierro en la cuenca media del río Pisco.
Figura 4.40 Manganeso en la cuenca media del río Pisco.
Figura 4.41 Plomo en la cuenca media del río Pisco.
Figura 4.42 Selenio en la cuenca media del río Pisco.
Figura 4.43a pH en la cuenca baja del río Pisco (uso doméstico y agrícola).

Figura 4.43b pH en la cuenca baja del río Pisco (uso ganadero).
Figura 4.44 Conductividad eléctrica en la cuenca baja del río Pisco.
Figura 4.45 TDS en la cuenca baja del río Pisco.
Figura 4.46 Cloruros en la cuenca baja del río Pisco (uso doméstico).
Figura 4.47 Sulfatos en la cuenca baja del río Pisco.
Figura 4.48 Carbonatos en la cuenca baja del río Pisco.
Figura 4.49 Manganeso en la cuenca baja del río Pisco.
Figura 4.50 Arsénico en la cuenca baja del río Pisco.
Figura 4.51 Plomo en la cuenca baja del río Pisco.
Figura 4.52 Hierro en la cuenca baja del río Pisco.
Figura 4.53 Boro en la cuenca baja del río Pisco.
Figura 4.54 Aluminio en la cuenca baja del río Pisco.
Figura 4.55 Selenio en la cuenca baja del río Pisco.
Figura 4.56 Antimonio en la cuenca baja del río Pisco.
Figura 4.57 Calidad de sedimentos (arsénico).
Figura 4.58 Calidad de sedimentos (cadmio).
Figura 4.59 Calidad de sedimentos (Cobalto).
Figura 4.60 Calidad de sedimentos (Cromo).
Figura 4.61 Calidad de sedimentos (Cobre).
Figura 4.62 Calidad de sedimentos (molibdeno).
Figura 4.63 Calidad de sedimentos (Níquel).
Figura 4.64 Calidad de sedimentos (Plomo).
Figura 4.65 Calidad de sedimentos (Talio).
Figura 4.66 Calidad de sedimentos (Zinc).

Tablas

Tabla 4.1 Muestras de cuenca alta con alto peligro de sodificación y salinidad.
Tabla 4.2 Muestras de cuenca media con alto peligro de sodificación y salinidad.
Tabla 4.3 Muestras de cuenca baja con peligro de sodificación y salinidad.
Tabla 4.4 Clasificación de agua según dureza.

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