SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

Geología del PISCO

VALLE DE ICA

Afloramiento de andesitas en la zona de piedemonte - Sureste del valle de Ica.

Plaza principal de la ciudad de Ica.
© PROMPERÚ

INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

Geología del PISCO

VALLE DE ICA

Dirección de Geología Regional

Equipo de Investigación:

Cristina Cereceda
Arnold García
Wilson López
Carlos Benavente
Enoch Aguirre
Dennis Guevara
Ulises Roman
Víctor Fernández

Lima, Perú
2019

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

Geología del Pisco

Valle de Ica

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET)
Domicilio: Av. Canadá N° 1470, San Borja, Lima, Perú
© INGEMMET
Derechos Reservados. Prohibida su reproducción
Tiraje: 200

Presidente Ejecutivo: Henry John Luna Córdova.

Gerente General (e): Yelena Alarcón Butrón.

Dirección encargada del estudio
Dirección de Geología Regional: William Martínez Valladares.

Unidad encargada de edición
Unidad de Relaciones Institucionales: Verónica Falcone Mispireta.

Corrección gramatical y de estilo: María Obregón Rossi.
Diseño y Diagramación: www.digitalworldperu.com

Referencia bibliográfica
Cereceda, C., García, A., López, W., Benavente, C., Aguirre, E., Guevara, D., Roman, U. & Fernández, V. (2019) - Geología del pisco, valle de Ica. Lima: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, 136 p.

Primera edición, 2019.
Primera reimpresión, diciembre de 2021.

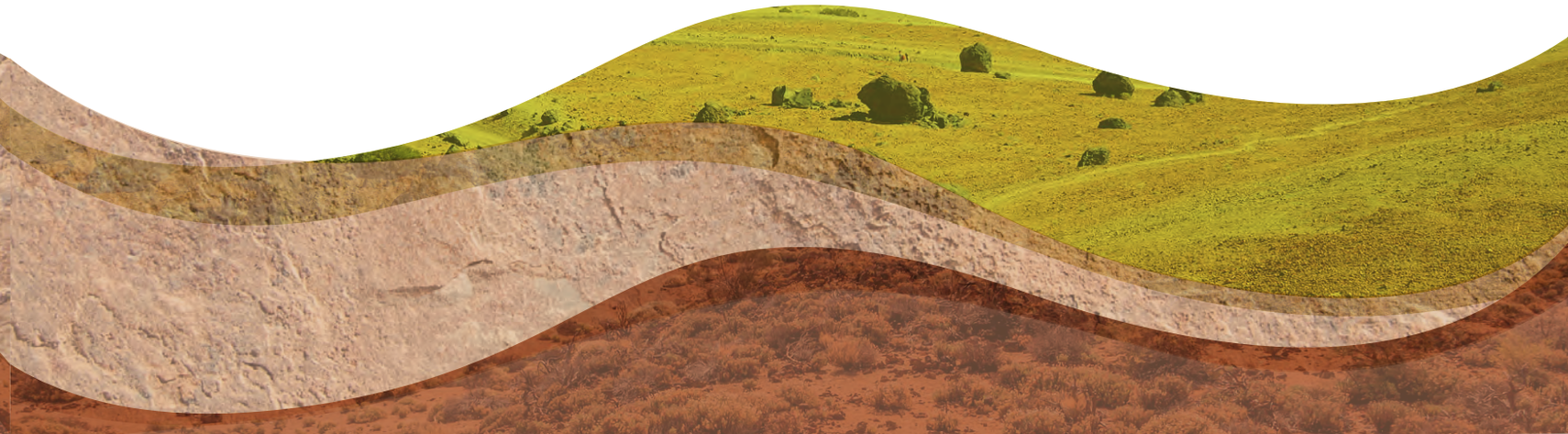
Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2019-11008.

Se terminó de imprimir en diciembre de 2021 en:
Chromapixel Digital S.A.C
Av. Bolivia N° 815, Breña, Lima-Perú.

Geología del PISCO

VALLE DE ICA

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO



Índice

13 Presentación
15 Agradecimientos
17 Introducción

CAPITULO I

Memorias y secretos del Pisco
21

28 El pisco y sus raíces
30 La historia del pisco

CAPITULO II

El paisaje pisquero
35

38 Relieve peruano
42 La costa sur peruana
46 El paisaje de la vid pisquera del valle de Ica
46 Relieve y clima
55 Rasgos culturales

CAPITULO III

Geología del Pisco
63

62 La tierra y su naturaleza geológica
65 La firma de las rocas
67 Una mirada al pasado geológico peruano
69 Geología del valle de Ica
73 Las rocas del valle de Ica

127 Bibliografía

CAPITULO IV

Escultura divina para el Pisco

79

82 Orígenes del valle de Ica
86 Configuración de la cuenca hidrográfica: Interacción entre el relieve, roca, clima y erosión
88 Dinámica de los sedimentos

CAPITULO V

El legado de las rocas

93

96 Los sedimentos y su historia
99 Los sedimentos del valle Ica
103 Depósitos aluviales
105 Depósitos fluviales
107 Características mineralógicas de los sedimentos
108 Características químicas de los sedimentos

CAPITULO VI

Suelo que emana Pisco

115

116 El suelo, cuna de la vida
117 Composición del suelo
118 Evolución y desarrollo de los suelos
119 Propiedades de los suelos
122 Suelos para la dulce vid
123 Suelos del valle de Ica
126 Química de los suelos del valle de Ica

Índice de Figuras.

Figura 1 : Imagen satelital de la Cordillera de los Andes.
Figura 2 : Unidades morfoestructurales del Perú.
Figura 3 : Mapa de ubicación de los valles pisqueros en las regiones autorizadas.
Figura 4 : A. Mapa de pendientes y B. Mapa de alturas del valle de Ica.
Figura 5 : Mapa de energía solar incidente en la región Ica.
Figura 6 : Mapa de velocidad del viento en la región Ica.
Figura 7 : Mapa de precipitación en la región Ica.
Figura 8 : Anaglifo del valle de Ica.
Figura 9 : Esquema del ciclo de las rocas.
Figura 10 : Esquema de la evolución geológica del Perú.
Figura 11 : Mapa de Dominios geotectónicos del sur del Perú.
Figura 12 : Columna estratigráfica esquemática del valle de Ica.
Figura 13 : Ambientes de formación de las rocas del valle de Ica.
Figura 14 : Representación del cachalote gigante del Mioceno.
Figura 15 : Microfotografías de las rocas del valle de Ica.
Figura 16 : Diagramas de elementos mayores de las rocas del valle de Ica.
Figura 17 : Block diagrama de la historia tectónica de los últimos 70 millones de años.
Figura 18 : Configuración de cuencas hidrográficas.
Figura 19 : Influencia de la actividad tectónica en los patrones de erosión.
Figura 20 : Block diagrama de la evolución del relieve del valle de Ica.

Figura 21 : Esquema del proceso de erosión.
Figura 22 : Modelo de ambientes aluviales y fluviales.
Figura 23 : Mapa litológico del valle de Ica y distribución mineralógica y geoquímica.
Figura 24 : Corte transversal de las facies aluviales en el valle de Ica.
Figura 25 : Corte transversal de las facies fluviales en el valle de Ica.
Figura 26 : Características sedimentológicas de los depósitos aluviales del valle de Ica.
Figura 27 : Características sedimentológicas de los depósitos fluviales del valle de Ica.
Figura 28 : Mapa de distribución de elementos mayores en los depósitos fluvio-aluviales del valle de Ica.
Figura 29 : Mapa de distribución de elementos traza en los depósitos fluvio-aluviales del valle de Ica.
Figura 30 : Esquema de interacción entre la biósfera, atmósfera, hisdrósfera, litósfera y pedósfera.
Figura 31 : Composición esquemática del suelo.
Figura 32 : Perfíl teórico del suelo.
Figura 33 : Solubilidad de los elementos en función del pH.
Figura 34 : Mapa de suelos del valle de Ica.
Figura 35 : Comportamiento de elementos químicos escenciales para la vid en los suelos del valle Ica.

Índice de Fotos.

Foto 1 : Parrones de uva pisquera. Viñedo Tacama.
Foto 2 : Aguas medicinales de la Laguna Huacachina.
Foto 3 : Caballo peruano de paso.
Foto 4 : Tradicional pisa de uvas.
Foto 5 : Afloramiento de monzogranito al norte del valle de Ica.
Foto 6 : Afloramiento de secuencias volcanosedimientarias al este del valle de Ica.
Foto 7 : Afloramiento de rocas sedimentarias al suroeste del valle de Ica.

Análisis de las características físico-químicas de un perfil de suelo.

Lámina delgada de una andesita con venillas de calcita, vista al microscopio.

Presentación

Ing. Henry Luna Córdova
Presidente Ejecutivo
INGEMMET
2019

La geología es la ciencia que estudia la composición y estructura, tanto interna como superficial, del globo terrestre, así como la evolución del planeta y la vida a lo largo del tiempo geológico. La capa más superficial de la Tierra es la corteza terrestre y está compuesta por rocas de diferente naturaleza, las que a su vez están conformadas por un conjunto de minerales en proporciones distintas. La desintegración de las rocas, por la acción del clima y la biota, origina la formación de suelos, heredando propiedades físico-químicas para el aprovechamiento de las plantas y, en nuestro caso, de la vid pisquera.

El territorio peruano es un lugar privilegiado por excelencia, cuyos atributos y características geológicas aunadas a los variados climas nos permiten entender los orígenes de nuestros diversos tipos de suelos. El suelo presente, consecuencia de su evolución histórica, fue labrado a través de miles de años, lo que condicionó una biodiversidad sin igual, de la cual los peruanos nos sentimos orgullosos.

Geología del pisco es una publicación que describe de manera sencilla, ilustrativa y de forma general, la relación que mantiene la geología (rocas, relieve y suelos) con el desarrollo de la vid pisquera, insumo principal para la producción del pisco.

El Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, en el marco de su rol promotor e investigador, pone a disposición de nuestros lectores la presente edición de Geología del pisco, cuyas páginas contienen las pautas para el aprendizaje básico de los principios y conceptos de los procesos geológicos para un mejor entendimiento de nuestro producto de bandera; asimismo, deja un material importante para el fomento y protección de nuestros recursos naturales.

Presentación

Ing. Víctor Manuel Díaz Yosa
Presidente Ejecutivo
INGEMMET
2021

Acompáñanos a realizar un viaje espacio-temporal por el valle de Ica, donde las tierras emanan pisco. Esta historia se remonta hasta los tiempos en los que se formaron las rocas, en el que se esculpió el relieve y se crearon los suelos, a través de una interrelación compleja de causa y efecto con el clima. La riqueza que posee este paisaje natural solo puede ser valorado si lo conocemos; y con ello, podremos optimizar su uso sostenible, así como, promover su protección y conservación.

El libro "Geología del pisco" es una publicación basada en un proyecto de investigación, en el que se describe de manera sencilla e ilustrativa, la interacción entre la geología (rocas, relieve y suelos) y el clima que favorecen el desarrollo de la vid pisquera. En este sentido, el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, en el marco de su rol promotor e investigador, y tras la acogida del público ha realizado una nueva impresión de "Geología del pisco – Valle de Ica", cuyas páginas contienen las pautas para el entendimiento de los principios y conceptos básicos de los procesos geológicos que dan origen al terruño de nuestro producto de bandera, el pisco.

Detalle de un clasto intrusivo con xenolitos en un depósito fluvial, valle de Ica.

In Memorian al Ing. Oscar Bernuy

Por su ímpetu y visión de futuro de un Perú al Primer Mundo, siempre tuvo en mente la idea que la minería en el Perú debe ser el instrumento que impulse el desarrollo sostenible de la agricultura y convertirnos en una fuente agroexportadora que alimente al mundo.

Planteaba con mucho fervor que la Costa peruana representa una región perfecta para el aprovechamiento de sus suelos, con el trasvase de las aguas de la Cordillera de los Andes, para la ejecución de proyectos de irrigación. Sin duda, estaba seguro y enfatizaba que esto sólo era posible, si lográramos administrar nuestra riqueza minera.

En esta meta, alentó e impulsó los estudios de suelos y el programa de la Carta Nacional de Suelos, que servirá de apoyo al desarrollo agroecológico y ambiental. La elaboración de esta obra yace en su deseo de mostrar su amor por la geología y los alcances que le atañen sobre nuestra bebida de bandera, el pisco.

Reconocemos, valoramos y agradecemos el espíritu innovador que promovió en el Ingemmet, con fines de una leal búsqueda del desarrollo real de la Nación. Descanse en paz, Ingeniero Oscar Bernuy Verand, y tenga por seguro que consiguió dejar en la tierra algo de usted que le sobrevive.

Racimos de uva torontel.

Agradecimientos

La elaboración de esta publicación se ha hecho realidad gracias al apoyo del Ing. Oscar Bernuy, quién en vida fue, Presidente del Consejo Directivo del INGEMMET y de la actual gestión presidida por el Ing. Henry Luna Córdova.

Nuestro reconocimiento al personal del laboratorio de Petromineralogía, Rayos X y Teledetección del INGEMMET, quienes nos brindaron su experiencia en los análisis requeridos.

Así también nuestro agradecimiento a las viñas Ocucaje y Tacama, por permitirnos desarrollar los trabajos de campo en sus viñedos, y al Museo del Pisco, por su excelente atención y prestancia en la toma de imágenes de su establecimiento.

Maceración prefermentativa de la uva.

Introducción

El pisco, bandera y patrimonio del Perú, es un destilado de uva nacido para el deleite del mundo, que por su sabor y aroma únicos e inimitables viene conquistando con su exquisita calidad. El pisco está protegido bajo la "Denominación de Origen Pisco" con la finalidad de salvaguardar y garantizar su autenticidad, así como de promover su prestigio y tradición. Es por esta razón que las únicas regiones autorizadas para su producción son los valles costeros del sur del Perú, ubicados en los departamentos de Lima, Ica, Arequipa, Moquegua y Tacna.

La denominación de origen certifica el nombre de una región o ámbito geográfico para designar un producto en función de sus especiales características derivadas, esencialmente del medio geográfico donde se elabora, considerando factores naturales, climáticos y humanos. Por otro lado, cuando hablamos de terroir, equivalente al término español terruño, nos referimos a una compleja interacción entre el clima, el suelo, la geología y la viticultura; en otras palabras, representa a la tierra donde ese vino ha surgido con características únicas que lo hacen especial.

Ambas definiciones tienen alcances socioeconómicos, donde la denominación de origen representa para los consumidores una garantía de procedencia e indicativo de calidad de un producto, mientras que el terruño hoy en día marca una tendencia de preferencia de consumo de vinos con identidad regional, y en lo que a nosotros nos compete, nos permitimos inspirar una cultura similar para el pisco.

Entonces es justificado pensar que la calidad del pisco también nace a partir de la tierra que alberga la vid pisquera, puesto que cada uva lleva dentro de sí sabores y aromas que le confiere el terruño, otorgándole una personalidad distintiva. Por esta razón, es oportuno conocer el entorno natural de los valles pisqueros del sur del Perú, donde el valle de Ica es el más representativo. En este trabajo se muestran las características del terruño del pisco del valle de Ica, con énfasis en el medio físico; es ahí donde se rescata y valora la existencia de una combinación exacta entre geología, clima, relieve y suelos, que dan lugar a un terreno propicio y perfecto para el nacimiento del pisco.

En resumen, esta publicación invita a ver la geología desde otra perspectiva, nos sumerge a conocer los atributos naturales necesarios para producir el pisco, los cuales obedecen a la evolución geológica de millones de años, donde los procesos geológicos internos y externos han logrado modelar el valle y han condicionado el clima e hidrografía; el desarrollo de los suelos es la cuna de la esencia de uvas que le dan al pisco el sabor y el aroma propios de este valle. Asimismo, se evalúan las características y sus implicancias entre geología, relieve, suelo, mineralogía y química, que en conjunto le otorgan especificidad y tipificación de calidad y sabor al pisco del valle de Ica.

"...la geología nos permite conocer los atributos naturales necesarios para producir el pisco, los cuales obedecen a la evolución geológica de millones de años, que han logrado modelar el valle y condicionar el clima e hidrografía; así como el desarrollo de los suelos que son la cuna de la esencia de uvas que le dan al pisco el sabor y aroma inigualable"

© Karina Mendoza | PROMPERÚ

© PROMPERÚ

Capítulo I

MEMORIAS y SECRETOS **del PISCO**

© PROMPERÚ

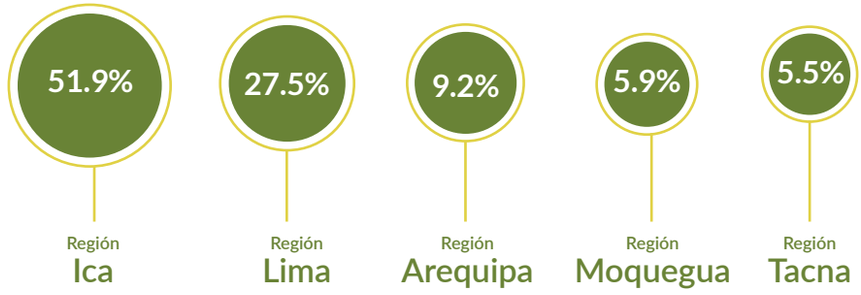
Memorias y
secretos del pisco

El pisco, patrimonio nacional y producto bandera del Perú, es un finísimo destilado de uva que rápidamente viene conquistando el mundo con su exquisita calidad.

El pisco y su esencia están protegidos bajo la Denominación de Origen Pisco, cuya administración se encuentra en poder del Consejo Regulador de la Denominación de Origen Pisco. La Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) y el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (2012) definen la denominación de origen como:

Aquella que emplea el nombre de una región o ámbito geográfico y que sirve para designar, distinguir y proteger un producto en función de sus especiales características derivadas, esencialmente, del medio geográfico en que se elabora, considerando factores naturales, climáticos y humanos.

Porcentaje de plantaciones de uvas pisqueras (Vingerhoets, 2015).



Emblema distintivo del Consejo Regulador de la Denominación de Origen Pisco.

La Denominación de Origen es útil para proteger el nombre de un producto de reconocida calidad y características, y así evitar el uso indebido del nombre o su falsificación. De la misma manera, para los consumidores representa una garantía de procedencia e indicativo de la calidad de un producto (Vingerhoets, 2015).

En este sentido, el **pisco** se produce exclusivamente en los valles del litoral sur peruano de las regiones de Lima, Ica, Arequipa, Moquegua y Tacna, únicas autorizadas y contempladas en la Denominación de Origen **Pisco**. Con base en el Informe de Registro de Productores de Uva en las regiones autorizadas para la producción de **pisco** del 2008, Vingerhoets (2015) estimó que la región Ica representa el 51.9 % de superficie de plantaciones de uvas pisqueras, seguida de la región Lima con 27.5 %, en tercer lugar se ubica la región Arequipa con 9.2 % y, finalmente, Moquegua y Tacna con 5.9 % y 5.5 %, respectivamente.

Uno de los secretos que explican las cualidades y la personalidad del **pisco** es, sin duda, la variedad de uvas pisqueras con las que se lo elabora.
El **pisco** es extraído desde diversas cepas de uva como la Negra Criolla, Mollar, Quebranta, Uvina, Italia, Torontel, Moscatel y Albilla. Cada una de estas variedades posee un diverso aroma y sabor, por lo cual **"el pisco merece olerse para así deleitarse con todas las fragancias que puede entregar" señala Villagarcía (2014).**

La uva Quebranta es reconocida por la Organización Internacional del Vino y la Vid como "autóctona del Perú". Es resultado de la mutación de la uva Negra Criolla por su adaptación a los climas y suelos de la costa peruana. Sus bayas, en toda su madurez, oscilan del color verde al rosa y rojo oscuro, son esféricas, de tamaño medio, muy jugosas y poco aromáticas.

- **La uva Negra Criolla** probablemente fue una de las primeras variedades traídas al Perú por los españoles; su origen se asocia con la variedad "listan negro" muy cultivada en las Islas Canarias. Sus bayas varían del color rojo al violeta oscuro, son esféricas y de tamaño medio, muy jugosas y poco aromáticas. Los racimos son de tamaño medio, cónicos y compactos.

- **La uva Mollar** también llegó en los primeros años de la conquista española, su origen se asocia con la variedad "negramoll", también cultivada en las Islas Canarias. Sus bayas varían del color rosa al rojo, tienen forma elíptica, tamaño medio, son jugosas y poco aromáticas. Los racimos son cortos y tienen forma cilíndrica.

- **La uva Quebranta** es autóctona del Perú, sus bayas oscilan del color verde al rosa y rojo oscuro, son esféricas, de tamaño medio, muy jugosas y poco aromáticas. Los racimos son de tamaño medio, cónicos y compactos.

- **La uva Uvina** es el resultado del cruce entre dos variedades de vid americanas (Vitis cinerea y Vitis vinifera no identificada). Sus bayas son pequeñas y esféricas, de color azul negruzco, muy jugosas pero muy poco aromáticas. Los racimos son largos, compactos y cilíndricos.

- **La uva Italia** pertenece a la familia de los moscateles. Sus bayas son de color verde a verde amarillentas, tienen forma ovoide, alargada y grande. Son jugosas y muy aromáticas. Los racimos son de buen tamaño, largos y cónicos.

- **La uva Torontel** también pertenece a los moscateles; sus bayas son de color verde a verde

amarillentas, tienen forma esférica alargadas. Son jugosas y muy aromáticas. Los racimos son largos y cónicos.

- **La uva Moscatel roja** es asociada con la roter muskateller en Alemania y moscato rosso en Italia. Sus bayas son de tamaño mediano, esféricas y de color rojo. Son ligeramente jugosas y aromáticas. Los racimos son cónicos y largos.

- **La uva Albilla** se relaciona con las variedades albilla blanca y Alban o Palomino, muy utilizada para la elaboración del jerez. Sus bayas son de color verde amarillentas, tienen forma esférica. Son algo jugosas y aromáticas. Los racimos son largos y cónicos.

Todas estas características pueden llevar a confusiones, por lo que el uso de la ampelografía garantiza una identificación concreta de las variedades de uvas pisqueras (Cáceres et al., 2017).

Los datos estadísticos acerca de cultivos por variedad de uvas en las regiones autorizadas (Tabla 1) muestran una tendencia o predominancia de plantaciones de las diferentes variedades según cada región. Es así como las uvas Quebranta e Italia se cultivan principalmente en las regiones de Ica y Lima, la Negra Criolla en Arequipa y Moquegua, y la Moscatel en Arequipa. En tanto que las variedades Mollar, Albilla y Torontel predominan en la región Ica, y solo la Uvina en Lima. Es difícil saber con exactitud qué controla las preferencias en el cultivo del tipo de uvas pisqueras

Tabla 1 : Estimado de cultivos por variedad de uvas pisqueras en las regiones autorizadas

Uvas pisqueras	Regiones autorizadas de producción			
	Lima	Ica	Arequipa	Moquegua
Quebranta	1147	1997	9	33
Negra criolla	23	38	394	200
Mollar	5	58	2	0
Uvina	42	0	0	0
Italia	740	1425	34	192
Moscatel	37	65	235	7
Albilla	28	156	2	5
Torontel	14	97	2	2

Fuente MINAGRI 2008, en Vingerhoets (2015).

en cada región, lo más probable es que estén en función del clima y los suelos que ofrecen condiciones idóneas para el desarrollo de cada variedad.

La elaboración del **pisco**, sus tradiciones y secretos han permanecido inalterables en el tiempo. Así, el pisco se obtiene exclusivamente por destilación de mostos frescos de uvas pisqueras, recientemente fermentados, producidos en las regiones autorizadas; se utilizan métodos que mantienen los principios tradicionales de calidad. Perú es el único productor que usa el jugo y mosto, ya que todos los demás los usan para producir sus vinos, volviendo a hidratar, fermentar y destilar la materia residual (hollejo, orujo). En esencia, aquí radica el carácter del **pisco** del Perú, su estructura aromática y su complejidad en la boca; estas características lo diferencian de los demás aguardientes de uva del mundo (Schuler, 2004).

Tacna	Total variedad	Porcentaje total de variedades
5	3191	43.1%
136	791	10.7%
0	65	0.9%
0	42	0.6%
263	2654	35.9%
3	347	4.7%
1	192	2.6%
0	115	1.6%

© PROMPERÚ

El pisco
y sus raíces

A fines del siglo XV habitaba en el valle del río Pisco la tribu de los llamados piskos, vocablo quechua que significa pájaro, en mención a la gran cantidad de aves que habitaban en sus costas. Los piskos y los icas eran parte de la civilización Paracas. Los piskos fabricaban gran cantidad de ceramios o huacos que utilizaban principalmente para la fermentación de la chicha y diversas bebidas alcohólicas a base de productos autóctonos de la zona; dichos ceramios eran grandes y de forma cónica.

Años después, con la llegada de los españoles al Perú, se inicia la historia del **pisco**, pues fueron ellos los que trajeron la vid junto con los conocimientos necesarios para elaborar vino y destilarlo. En épocas de la Conquista y desde las primeras cosechas de vid, la extracción de los mostos o jugos de uva se depositaron en las vasijas de barro; según el historiador Vásquez (1989), dichos recipientes reciben el nombre de "piscos" en referencia a sus creadores, y por extensión popular fue llamado pisco el aguardiente de uva que contenían.

Los barcos provenientes de Europa atracaban en el puerto de **Pisco**, por ello el aguardiente producido en esta región gana su prestigio y el nombre de **"pisco"**,

Botijas donde se almacenaba el pisco para ser transportado a los mercados externos; estas se impregnaban de cera para depositar la bebida.

Constan manuscritos y citas del siglo XIX que asocian el nombre de pisco para describir estas botijas que se usaban en el transporte del aguardiente iqueño (Toro, 2017).

principalmente por el puerto homónimo; pues los marineros de la época identificaban con este nombre a los aguardientes u otras bebidas alcohólicas para diferenciarlos de otras regiones.

En resumen, el origen del nombre **Pisco** tiene un vasto legado histórico donde la palabra **"pisco"** designa al río y su valle en la costa peruana y a sus habitantes, a una ciudad (Huertas, 2004), a las botijas donde se almacenaba el aguardiente de uva y a un puerto (Schlupmann, 2006) de donde se exportaba a diferentes destinos comerciales. Todas estas nominaciones son producto de la usanza del pueblo a través de los siglos.

La historia
del pisco

Es muy posible que la fabricación del pisco haya empezado entre finales del siglo XVI y principios del siglo XVII y muy probablemente fue llevado a cabo por los sacerdotes dominicos y jesuitas afincados en la actual región de Ica (Soarez, 2008). Sin embargo, las primeras noticias acerca de la elaboración de agua ardiente de uva se remontan a inicios del siglo XVII, no solo en el Perú, sino en América (Huertas, 2004).

Embotellado actual del pisco.

Desde su origen, la producción de **pisco** ha atravesado por épocas de expansión y de crisis (Huertas, 2004). Hasta mediados del siglo XVII, la producción de pisco tuvo un crecimiento sostenido, impulsado por diversos factores. Entre ellos podemos nombrar la expansión colonial y la fundación de ciudades que ampliaron los mercados del aguardiente, la llegada de numerosos inmigrantes europeos que trajeron nuevas técnicas de cultivo, y la incorporación de esclavos en las actividades agrícolas que disminuyeron los costos de producción.

Por otro lado, también existieron factores naturales (erupciones volcánicas, sequías, terremotos, inundaciones, plagas y epidemias) y sociales que

Alambique de destilacíon del Pisco (Museo del Pisco).

afectaron su desarrollo, lo que generó cuatro lapsos críticos en los últimos 500 años.

No obstante, su calidad llegó a tener un gran realce y prestigio en el transcurso de los siglos XVII, XVIII y XIX, no solamente en el territorio peruano, sino también fuera de él, llegando a países de Europa y a Estados Unidos de América. Así lo demuestra Asbury (1989) al señalar que el Pisco Punch era la bebida más popular en San Francisco entre los años 1878 y 1880.

Durante el siglo XX, su popularidad continuó en crecida y con la llegada del siglo XXI se inició un nuevo periodo de resurgimiento del pisco, gracias, entre otros factores, a la evolución económica y estabilidad política del país (Vingerhoets, 2015).

Hoy en día renace en la conciencia nacional el interés por el pisco como bebida nacional e ícono de peruanidad, el cual llegó para reforzar la rica cultura gastronómica que está en constante auge.

La historia del pisco

El origen del nombre Pisco tiene un vasto legado histórico donde la palabra "pisco" designa al río y su valle en la costa peruana, así como a sus habitantes; a una ciudad, a las botijas donde se almacenaba el aguardiente de uva y a un puerto de donde se exportaba a diferentes destinos comerciales.

Es posible que la fabricación del pisco empezó entre finales del **siglo XVI** y principios del **siglo XVII.**

Se dice que fue llevado a cabo por los **sacerdotes dominicos y jesuitas** afincados en la actual **región de Ica.**

Región Ica

Mediados siglo XVII

Crecimiento sostenido en la producción de pisco.

Siglo XVII, XVIII y XIX

La calidad del pisco llegó a tener un gran realce y prestigio nacional e internacional.

Siglo XX y XXI

La popularidad continuó en crecida y se inició un nuevo periodo de resurgimiento del pisco, principalmente gracias a la evolución económica y estabilidad política del país.

Pisco Punch, bebida más popular en San Francisco entre los años 1878 y 1880.

Primer mapa conocido del Perú, elaborado por el geógrafo portugués Diego Méndez en el año 1574; se observa que para ese año ya figuraba la caleta de Pisco.
Fuente: Ortelius (1584)

© Karina Mendoza | PROMPERÚ

Capítulo II

EL PAISAJE PISQUERO

© Karina Mendoza | PROMPERÚ

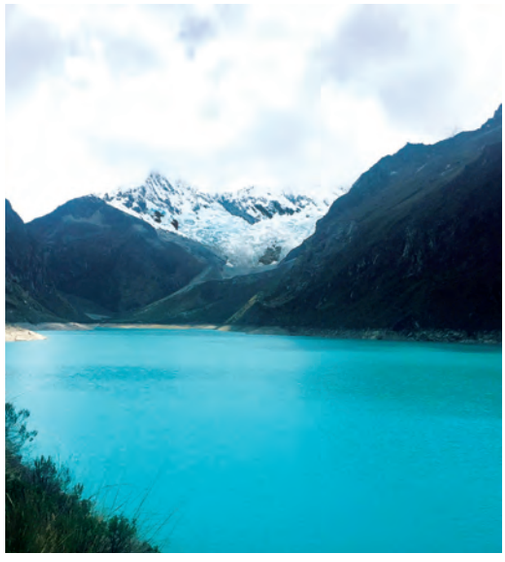
El paisaje
pisquero

Sin duda existe una relación intrínseca entre el paisaje y la geología de un territorio. En todo paisaje siempre está presente el componente geológico y se ve representado por los diferentes tipos de rocas en una determinada zona. La distribución de las rocas, su composición y los procesos geológicos que las han afectado dan lugar a la formación de relieves variados, que por consecuencia tienen una influencia en el clima. El relieve es el escenario que favorece la cubierta vegetal y sobre el que se desarrollan las actividades humanas, ofrece ventajas y desventajas que finalmente tienen incidencia en la forma de vida y economía de una determinada región.

En el presente capítulo desarrollaremos lo que atañe al relieve peruano y el clima, específicamente al de la costa sur, zona de Denominación de Origen del Pisco; pero daremos énfasis en las características del paisaje del valle de Ica, símbolo de la producción de uva pisquera en el Perú.

Relieve
peruano

La Cordillera de los Andes atraviesa la región occidental de América del Sur en forma paralela a las costas del Océano Pacífico, zona de alta actividad sísmica y volcánica que conforma parte del Cinturón del Pacífico. Es la cadena de montañas más extensa del mundo con aproximadamente 9,000 km de largo y una altura promedio de 4 mil metros sobre el nivel del mar (Figura 1).



Laguna Parón, Cordillera Blanca – Región Ancash.

De norte a sur, los Andes se dividen en tres segmentos (Gansser, 1973; Jordan et al., 1983): Andes Septentrionales, Andes Centrales y Andes Meridionales. Los Andes Centrales, y particularmente el sector medio, constituyen el segmento andino más alto (7,000 m) y más ancho de la Cordillera (800 km) (Pose et al., 2005).

El Perú se ubica en los Andes Centrales, estos territorios fueron ocupados por varias culturas prehispánicas, y fue el Imperio de los incas el de mayor trascendencia. Lograron conquistar estas tierras dominando el relieve y el clima, llegaron a edificar la ciudadela de Machu Picchu, una de las siete maravillas del mundo.

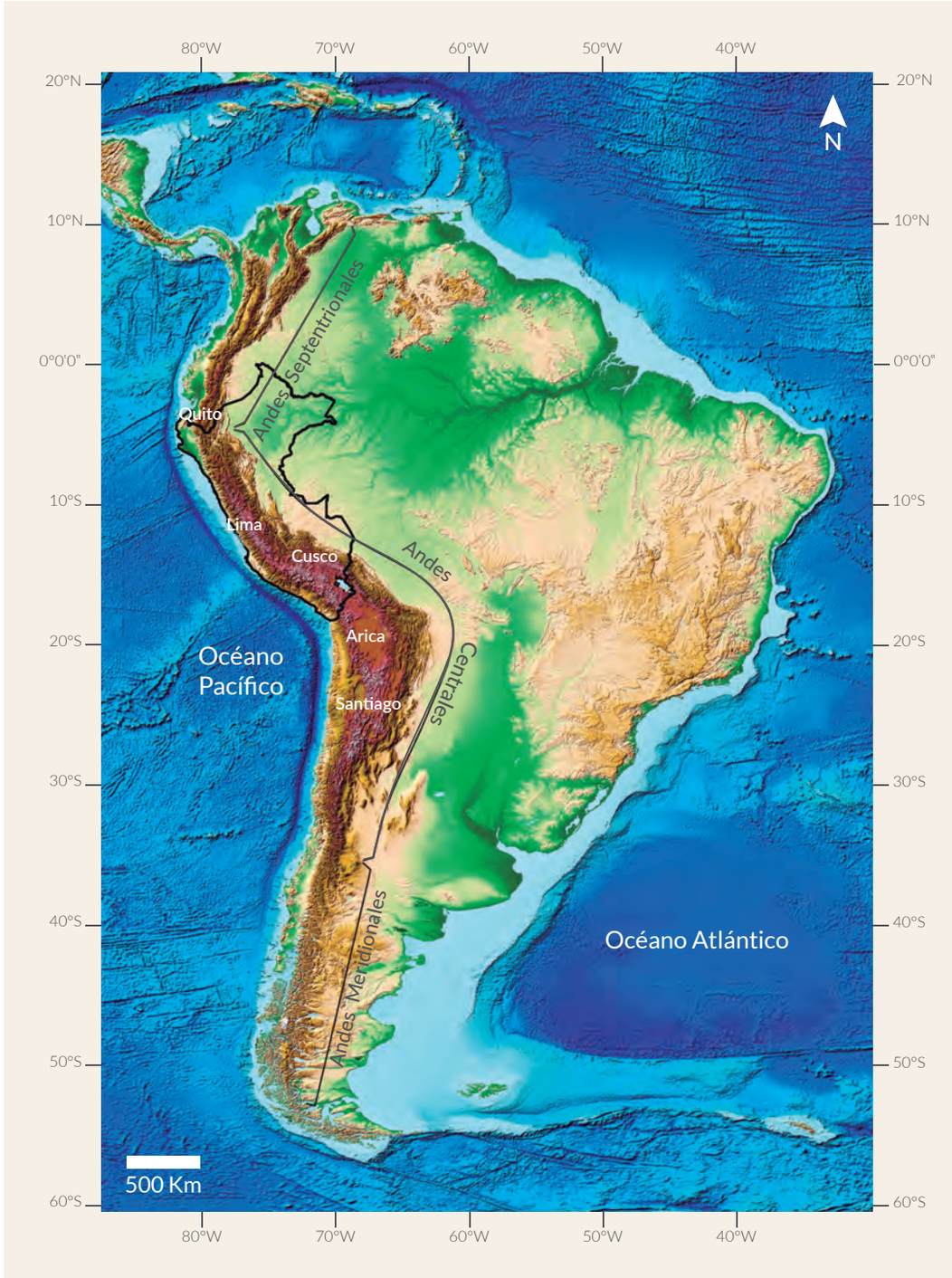


Figura 1 *Modelo digital de elevación donde se observa la Cordillera de los Andes, el sistema montañoso más largo del planeta, que pasa por el borde occidental de América del Sur (Amante y Eakins, 2009). En base a sus características morfológicas se divide en Andes Septentrionales, Centrales y Meridionales.*

Con base en sus características geográficas, el Perú está dividido en tres regiones: Costa, Sierra y Selva (Figura 2). La Costa corresponde a una franja angosta ubicada hacia lo largo del Océano Pacífico, caracterizada por áridos desiertos (uno de los más secos del mundo); en contraste con ricos valles productivos por donde discurren más de 57 ríos de caudal permanente provenientes de la Cordillera de los Andes que drenan sus aguas al Océano Pacífico. La Sierra está conformada por la Cordillera de los Andes Centrales que se extiende en paralelo a la Costa, presenta alturas desde los 2,000 a más de 6,768 m s. n. m. Aquí se observan terrenos escabrosos de picos elevados, volcanes, valles interandinos, lagos de alta montaña, mesetas y glaciares, donde se ubica el nevado Alpamayo, el más hermoso del mundo declarado por la UNESCO.

La Selva se inicia desde las pendientes orientales de la Cordillera de los Andes entre los 2,000 y 84 m s. n. m., por donde circulan en forma serpenteante los grandes ríos Marañón, Huallaga y Ucayali, los que juntos conforman el río más caudaloso del mundo: el Amazonas, que desemboca en el Océano Atlántico.

El medio físico es un componente geográfico y es una expresión geológica constituida por materiales y formas de relieve (geoformas). Asimismo, es un elemento condicionante y condicionado por factores climáticos y biológicos. Las fuerzas de la geodinámica interna y externa rigen el medio físico, la geodinámica interna está ligada a la tectónica y la externa al clima. Un ambiente morfogenético es originado y controlado por un estilo de geodinámica interna o externa. Se reconocen seis tipos de ambiente morfogenético, como el ambiente estructural que está gobernado solo por la geodinámica interna (Zinck, 2012). La posterior evolución de las formas estructurales obedece a procesos geodinámicos externos, como la erosión que desgasta y modela las geoformas por acción del viento, lluvia, procesos fluviales, marítimos, glaciares y los seres vivos.

El Perú presenta ambientes estructurales variados que están agrupados en 15 unidades morfoestructurales (Figura 2), cada una obedece a una evolución geológica particular desde hace más de 540 millones de años (Ma) hasta la actualidad. Entre los 7 y 9 millones de años, las geoformas asociadas a cada una de estas unidades fueron afectadas por procesos de erosión que dieron lugar a los valles y cañones (Schildgen et al., 2007; Benavente, 2017) y en los últimos 100,000 años la acumulación de sedimentos en la Costa se acentúa (Steffen et al., 2009; Bekaddour et al., 2014).

En el Perú se diferencian 28 tipos de clima de los 32 presentes en el planeta, con una alta variabilidad local entre ellos (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2018). Las unidades morfoestructurales presentes en el territorio peruano influyen en la variedad climática y esto a su vez condiciona el desarrollo de una gran diversidad de especies vegetales y animales, en muchos casos únicos a dichos ecosistemas.

La variabilidad local del clima está en función de la oceaneidad (lejanía al mar) y el relieve, este último está representado por la altura y orientación de las geoformas que modifican la temperatura y la humedad de las masas de aire al permitir o restringir su ingreso; también generan los contrastes climáticos locales en las laderas de mayor y menor exposición al sol (solanas y umbrías).

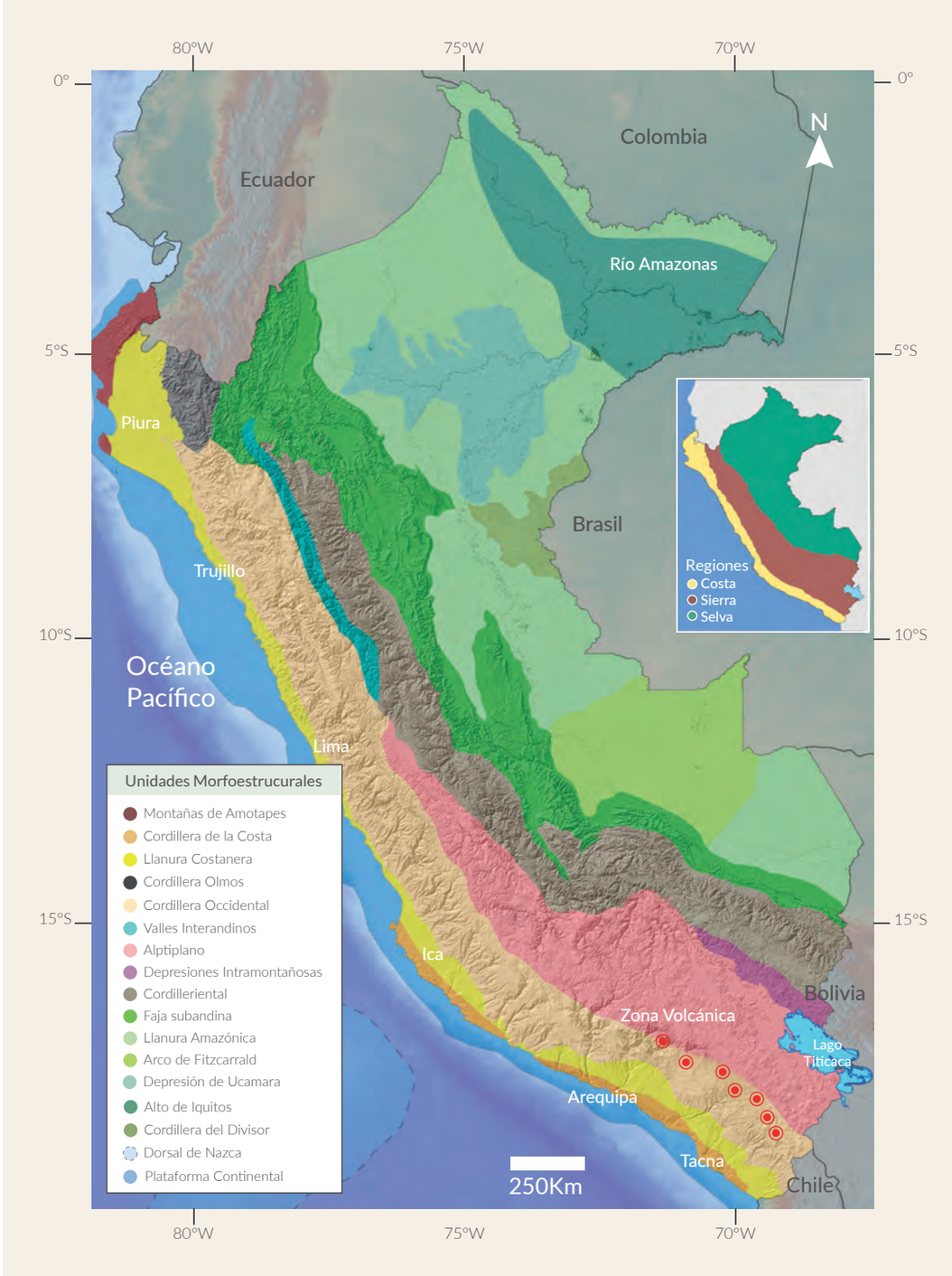


Figura 2 *En base a su geografía, el Perú se divide en Costa, Sierra y Selva; pero la variedad de geoformas (relieve) conforman 15 unidades morfoestructurales, que a su vez controlan el clima y el desarrollo de la biodiversidad regional. Modificado de INGEMMET, 1995.*

La costa
sur peruana

Basados en los cambios del litoral peruano la Costa está dividida en tres segmentos: Norte, Centro y Sur (Schweigger, 1964). La Costa Sur abarca desde Pisco hasta Tacna, donde se observan dos tipos de relieve característicos que corresponden a las unidades morfoestructurales de la Cordillera de la Costa y la Llanura Costera (Figura 2).

Valle de Tambo-Región Arequipa.

La Cordillera de la Costa del sur es una faja montañosa próxima al litoral que tiene entre 15 y 30 km de ancho, las altitudes promedio no pasan los 1,200 m s. n. m., los flancos occidentales son accidentados y abruptos, mientras que las cimas forman superficies ligeramente onduladas, valles amplios de fondo plano y colinas con laderas suaves. Está conformada en su mayor parte por rocas metamórficas precambrianas, metasedimentitas e intrusivos del Paleozoico y volcanoclásticos mesozoicos (Ruegg, 1956; Caldas, 1978; Macharé, 1987; Shackleton et al., 1979; Fernández Dávila, 1993; Montoya et al., 1994). La Llanura Costera del sur se extiende entre la Cordillera de la Costa y la Cordillera Occidental de los Andes, es una faja de terreno llano de mayor ancho y más homogéneo que en la costa centro y

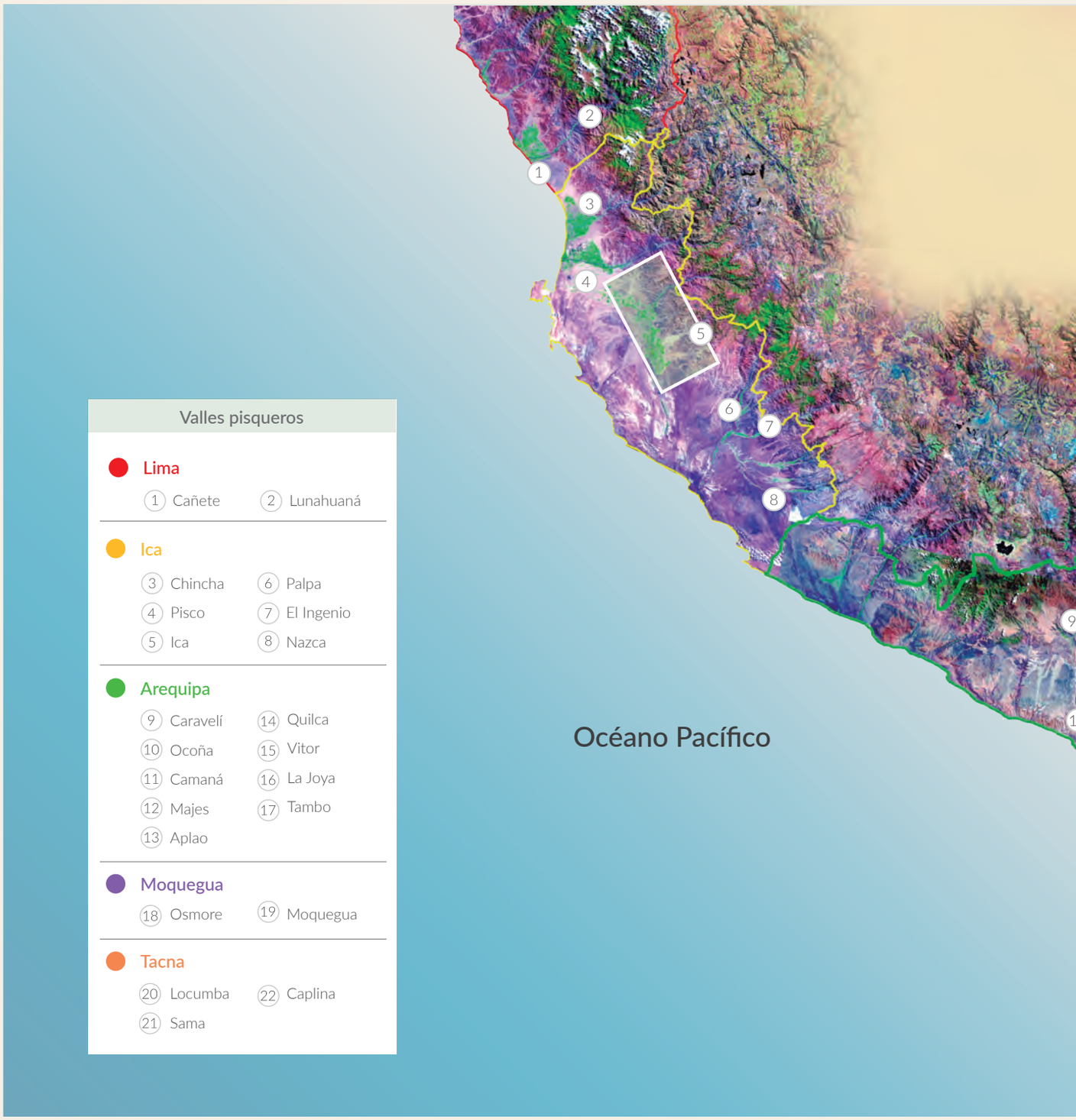
Paisaje costero bajo el atardecer.

norte. Está representada por estrechas planicies que se alternan con colinas de las estribaciones andinas y los promontorios costeros con altitudes entre 250 y 700 m s. n. m. Están conformadas por rocas sedimentarias del Terciario, que a menudo están cubiertas por rellenos aluviales que descienden de la Cordillera de los Andes y por mantos de arena transportados por el viento.

A través de estas dos unidades morfoestructurales se abren paso las aguas de los ríos que tienen sus nacientes en la Cordillera de los Andes y desembocan en el Océano Pacífico, y que forman valles de dirección general NE-SO.

En la Costa Sur del Perú prevalece el clima semicálido muy seco o desértico, lo que determina su carácter árido. El clima está influenciado por la corriente marina de Humboldt, de aguas frías, y por el fuerte desnivel existente entre la Costa y la Cordillera de los Andes que impide el paso de los vientos húmedos de la Selva hacia la Costa; por ambas razones las precipitaciones son escasas. Sin embargo, los valles ubicados en las regiones de Lima, Ica, Arequipa, Moquegua y Tacna (Figura 3) presentan las condiciones más favorables para el desarrollo de la vid, puesto que, además de las escasas precipitaciones, muestran diferencias climáticas marcadas entre las estaciones de invierno y verano. Asimismo, en estos valles se observa una variabilidad climática condicionada por la distancia al mar y su altitud, donde los valles más bajos y cercanos al mar presentan una alta humedad con temperaturas promedio de 27 °C, cuyas diferencias de temperatura entre día y noche, es decir la amplitud térmica, es moderada.

Los valles ubicados a más de 20 km de distancia al mar y con alturas entre 300 y 1,000 m presentan climas más secos y soleados, las temperaturas en invierno son cercanas a 14 °C y en las noches de verano a -20 °C y en el día 30 °C. Los valles alejados del mar entre 1,000 y 1,500 m presentan climas muy secos y soleados, con 45 % a 58 % de humedad, cuya amplitud térmica es bastante pronunciada (Vingerhoets, 2015).


Valles pisqueros
Lima
1 Cañete
2 Lunahuaná
Ica
3 Chincha
4 Pisco
5 Ica
6 Palpa
7 El Ingenio
8 Nazca
Arequipa
9 Caravelí
10 Ocoña
11 Camaná
12 Majes
13 Aplao
14 Quilca
15 Vitor
16 La Joya
17 Tambo
Moquegua
18 Osmore
19 Moquegua
Tacna
20 Locumba
21 Sama
22 Caplina
Océano Pacífico

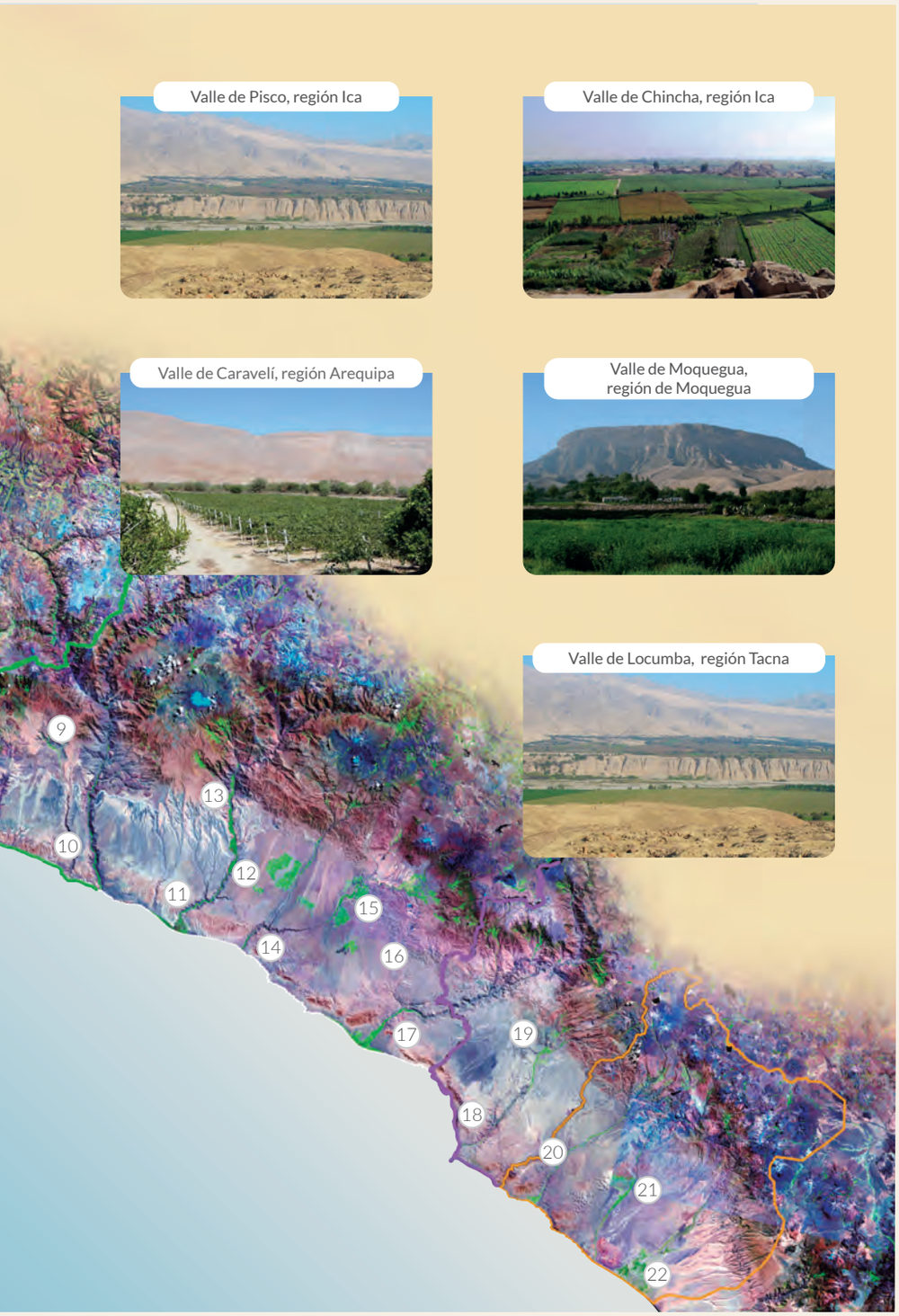


Figura 3 *Mapa de ubicación de los valles pisqueros en las regiones de Lima, Ica, Arequipa, Moquegua y Tacna, únicas regiones autorizadas para la producción de pisco. El rectángulo blanco comprende la zona de estudio que abarca el valle de Ica.*

El paisaje de la vid
pisquera del valle de Ica

La región de Ica representa la mayor productora de uva pisquera del Perú, particularmente el valle de Ica, con más del 65 % de hectáreas del total de la región (Vingerhoets, 2015); donde existen extensos viñedos desde la época colonial.

Cosecha de uvas pisqueras en el valle de Ica.

Relieve y clima

En detalle, este valle se ubica en una depresión estructural entre la Llanura Costera y los abanicos aluviales de las estribaciones andinas de la Cordillera de los Andes (Macharé, 1987). Dicha depresión se encuentra rellenada por sedimentos gruesos de edad Pliopleistocena, que alcanzan los 850 m de grosor (Teves, 1975). Es importante anotar que la orientación N-S del río Ica cambia a la dirección SO-NE cuando se aproxima a la Cordillera Occidental.

Las colinas y lomas ubicadas en la Llanura Costera presentan alturas entre 480 y 600 m s. n. m., mientras que las colinas y montañas ubicadas al este comprenden alturas entre 480 y 2800 m s. n. m. La parte alta del valle se encuentra entre los 420 y 530

Fotografía 1: Parrones de uva pisquera. Viñedo Tacama.

m s. n. m., la media entre 370 y 420 m s. n. m. y la parte baja posee alturas menores de 370 m s. n. m. (Figura 4A). Las colinas que bordean al oeste tienen una altura máxima de 700 m s. n. m., y las montañas del este llegan hasta más de 2,900 m s. n. m. Los terrenos del valle atribuidos a zonas de inundación y terrazas fluviales tienen pendientes entre 2 % y 8 %, en cambio en las zonas que corresponden a abanicos aluviales predominan pendientes entre 0 % y 4%. (Figura 4B).

El valle de Ica presenta condiciones climáticas excepcionales para la producción de uva (Fotografía 1). Así, la temperatura en el valle de Ica alcanza sus valores más altos, en los meses de febrero-mayo, con una máxima media que fluctúa entre 28.4 °C y 33.4 °C; luego disminuye lentamente hasta alcanzar su valor más bajo en junio-julio con una mínima media que oscila entre 8.1 °C y 10.5 °C (Ministerio de Agricultura, 1974). La amplitud térmica es otra de las variables que en promedio registra 15.4 °C, llega a un máximo en el invierno hasta los 22 °C, ayudando a sumar las horas de frío requeridas por la vid (Arias, 2017).

Asimismo, la cantidad de horas de sol es muy importante para las variedades de vid cultivadas y los destinos de la producción (Martínez de Toda, 1991). La radiación solar está expresada en horas efectivas de brillo solar (insolación). La radiación solar ejerce un efecto en la temperatura del aire y del suelo condicionando una variación en el ciclo de la vid, también influye en la tasa de fotosíntesis que afecta al crecimiento, así como en la acumulación de azúcares y coloración de bayas. En el valle de Ica se

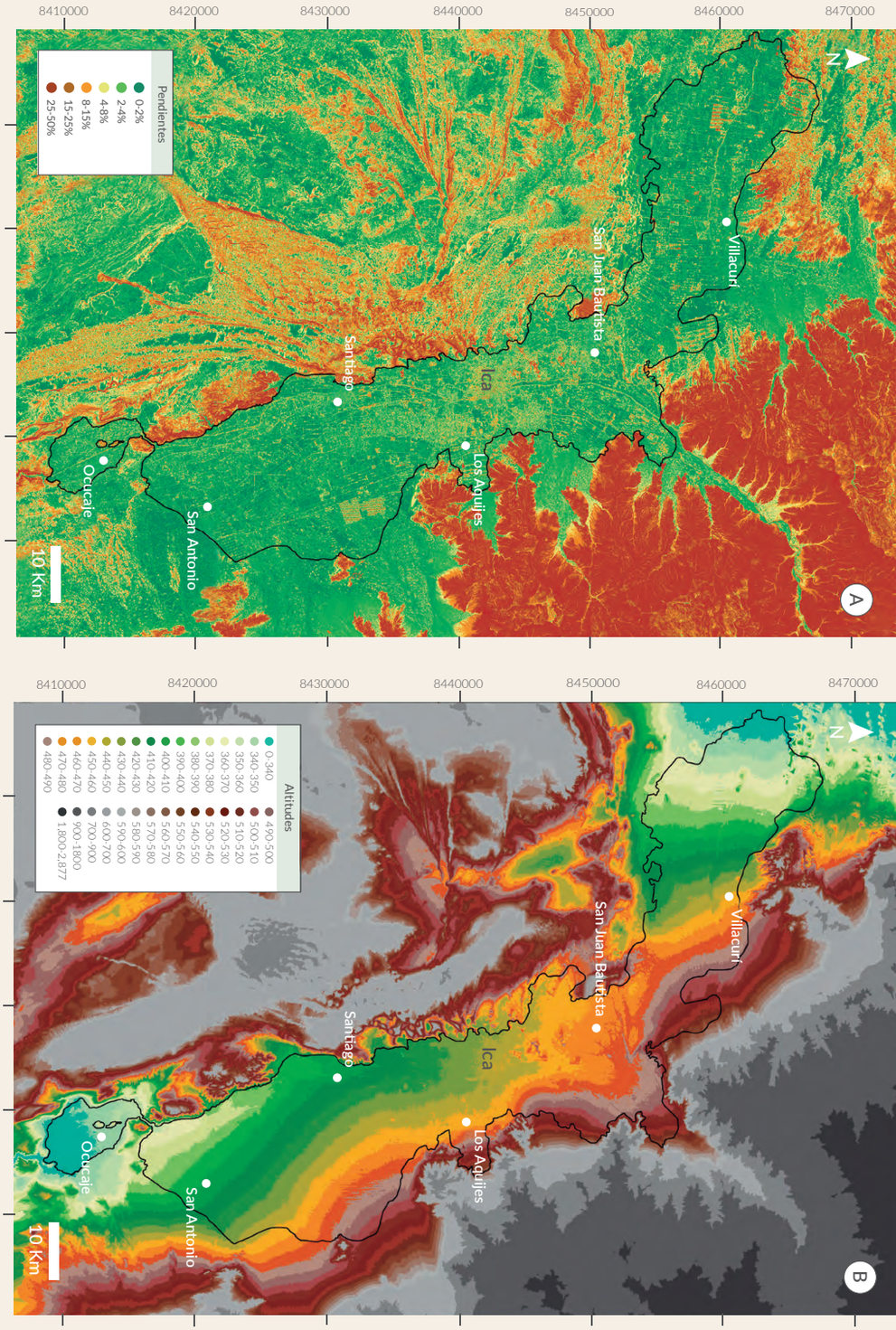


Figura 4 *A. Mapa de pendientes B. Mapa de alturas generadas a partir de Modelos de Elevación Digital (DEM), elaborados en base a imágenes satelitales de alta resolución (6m).*

El valle de Ica presenta condiciones climáticas excepcionales para la producción de uva . Así, la temperatura en el valle de Ica alcanza sus valores más altos, en los meses de febrero-mayo que luego disminuye lentamente hasta alcanzar su valor más bajo en junio-julio

registra alrededor de 2,553 horas de sol al año (Arias, 2017); es mayor al requerimiento mínimo de 1,600 horas indicado por Hidalgo & Hidalgo, 2011.

En el valle de Ica-Villacurí la radiación solar durante todo el año es variable, en los meses de mayo y agosto oscila entre 5 y 5.5 kW h/m2, en noviembre fluctúa entre 6 y 6.5 kW h/m2, mientras que en febrero llega hasta 7 kW h/m2 (Figura 5). Cuando comparamos la radiación solar en los valles de la región Ica, observamos que en el mes de noviembre todos presentan la misma cantidad de radiación solar (6.5 a 7 kW h/m2); en mayo y agosto existe una diferenciación: el valle de Ica presenta la mayor radiación (5 a 6 kW h/m2) mientras que los valles al norte de Ica reciben menor radiación (4 a 5 kW h/m2), seguidos de los del sur (<4 kW h/m2). Por otro lado, en el mes de febrero la radiación solar es menor en los valles del norte (5.5 a 6 kW h/m2) y es constante desde el valle de Ica hacia el sur (6.5 a 7 kW h/m2).

La velocidad del viento es otro factor que genera efectos beneficiosos para el desarrollo de la vid, ya que ayuda a la transpiración y favorece el suministro de CO2, pero cuando los vientos son excesivos genera daños mecánicos, aumento excesivo de la transpiración, caída de flores y frutos.

En el valle de Ica-Villacurí la velocidad del viento fluctúa de 1 a 4 m/s, al parecer estos valores no obedecen a los cambios de estaciones, pero sí se observa una variación espacial; es decir que en el sector de Villacurí se ven velocidades de 3 a 4 m/s, en Ica de 1 a 3 m/s y en Ocucaje de 2 a 4 m/s (Figura 6). En este último sector hay una diferenciación estacional, donde la velocidad del viento varía de 2 a 3 m/s en febrero y mayo; para luego incrementar en agosto y noviembre (3 a 4 m/s).

Al comparar la velocidad del viento en los valles de la región Ica (Figura 6), observamos que existe un

Racimos de uva quebranta.

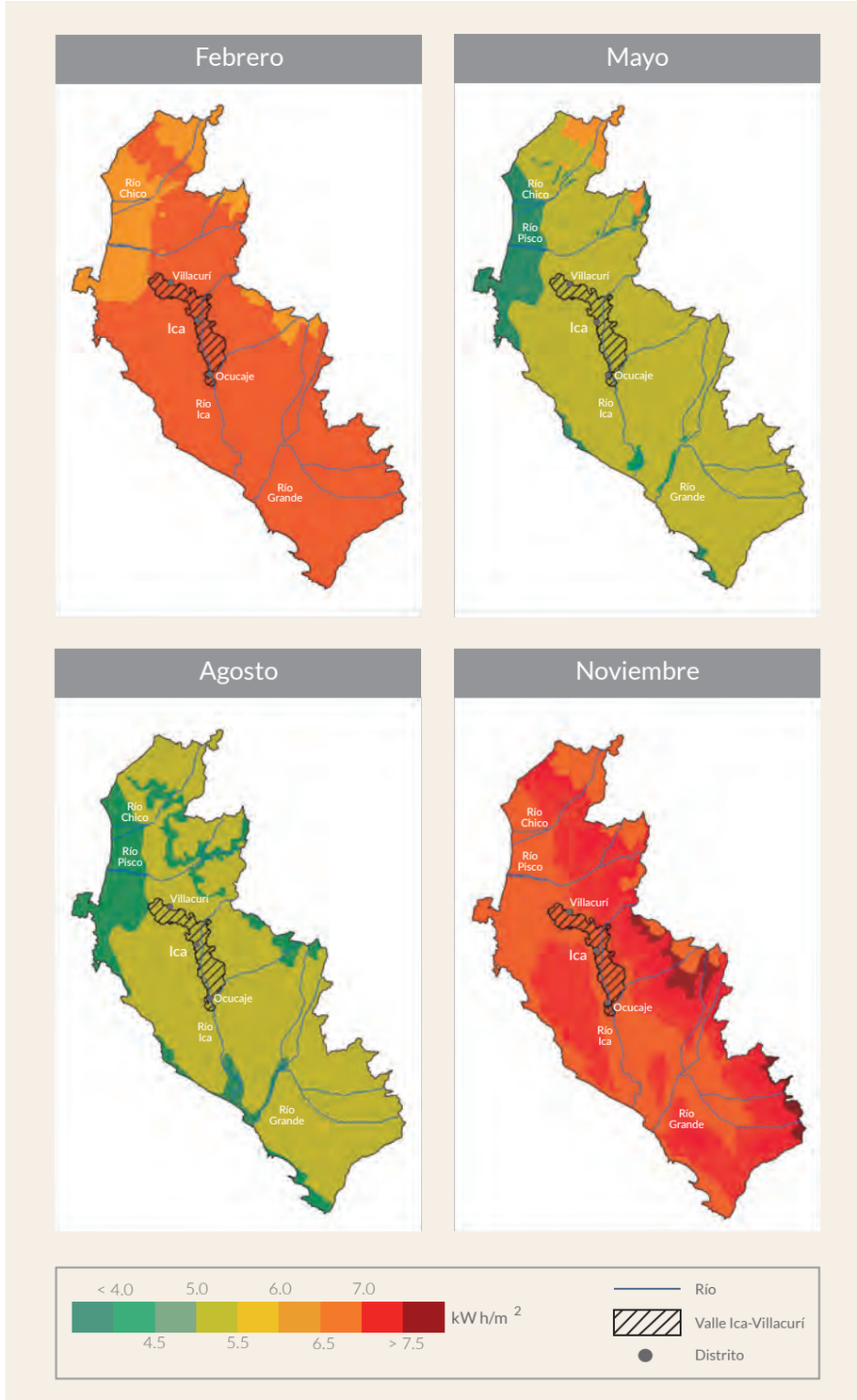


Figura 5 *Energía solar incidente para las 4 estaciones del año en la región Ica. Fuente: SENAMHI-MEM (2003).*

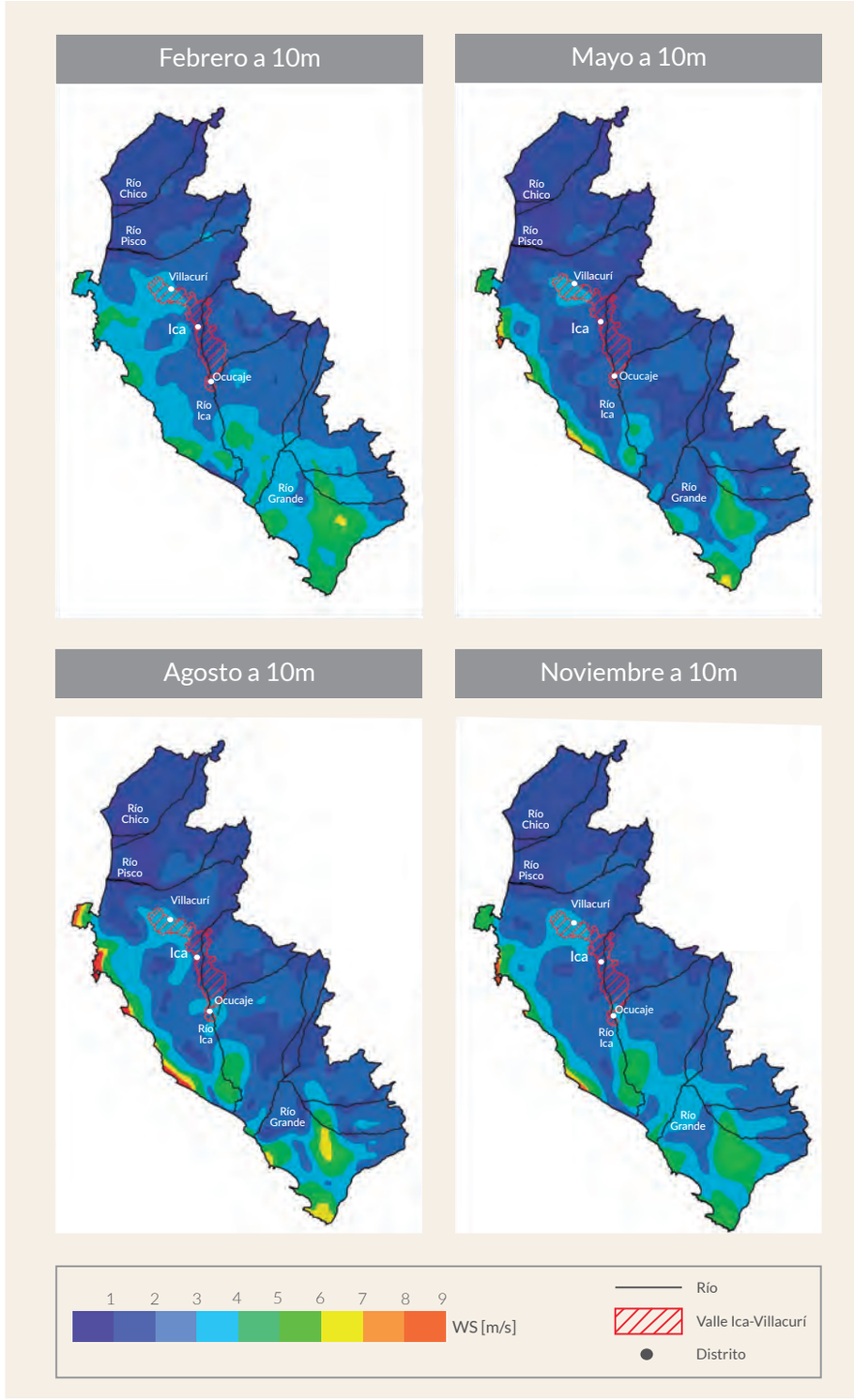


Figura 6 *Velocidad del viento a 10 m de la superficie en la región Ica. (Perú. Ministerio de Energía y Minas, 2016).*

cambio estacional y espacial; es decir que durante el año las velocidades cambian, pero de manera diferencial para los valles del norte, Ica-Villacurí y los del sur. El cambio de la velocidad del viento en los valles del norte y sur se mantiene sincronizado, tal es así que la mayor velocidad se registra en los meses de noviembre y febrero, la menor en mayo y agosto. En cambio, en el valle de Ica-Villacurí la velocidad del viento es mayor en los meses de agosto y noviembre y la menor en febrero y mayo.

Por otro lado, la humedad relativa máxima promedio es de 77 % y la mínima de 67 %, lo que determina una amplitud del 10 %. Las condiciones ambientales húmedas o húmedo-calientes donde el rocío es abundante o hay presencia de neblinas provocan ataques de mildiu[1] (Arias, 2017) y desarrollo de botrytis[2] (Hidalgo, 1993). Sin embargo, la intensidad de las diferencias térmicas puede contrarrestar las infecciones peronósporas[3] (Arias, 2017).

La vid es muy resistente a la falta de humedad, puede vegetar con escasas lluvias una vez cubiertas sus necesidades mínimas. En el valle de Ica las precipitaciones son insignificantes, se registran aproximadamente 10 mm anuales (Perú. Ministerio de Agricultura, 1974). Esta tasa permanece en la actualidad, tal como se observa en el mapa de isoyetas de la región de Ica (Figura 7).

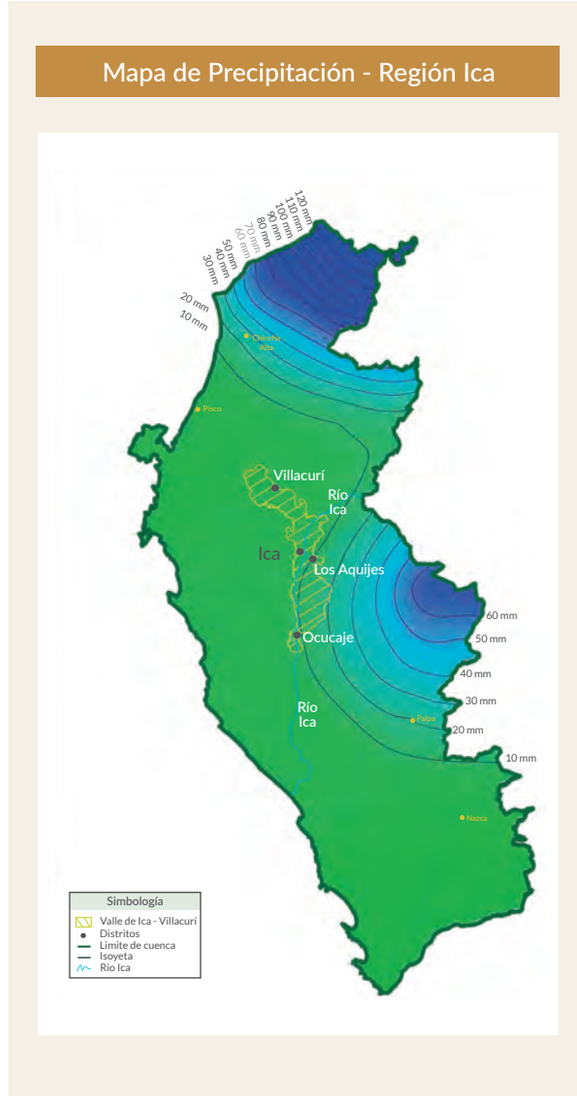


Figura 7 *Mapa de isoyetas para la región Ica (precipitación acumulada anual). La isoyeta es una isolínea que une los puntos que presentan la misma precipitación en una unidad de tiempo considerada. En el valle de Ica-Villacurí la precipitación anual es de 10 mm. Fuente: (Autoridad Nacional del Agua, 2012).*

1 Mildiu — Es una enfermedad que ataca todos los órganos verdes de la vid, causada por el hongo Plasmopara.
2 Botrytis — Podredumbre del racimo de uva causado por el hongo Botrytis cinerea.
3 Peronósporas — Nombre común de algunos géneros de hongos parásitos de la familia Peronosporáceas (Ficomicetes, Oomicetes).

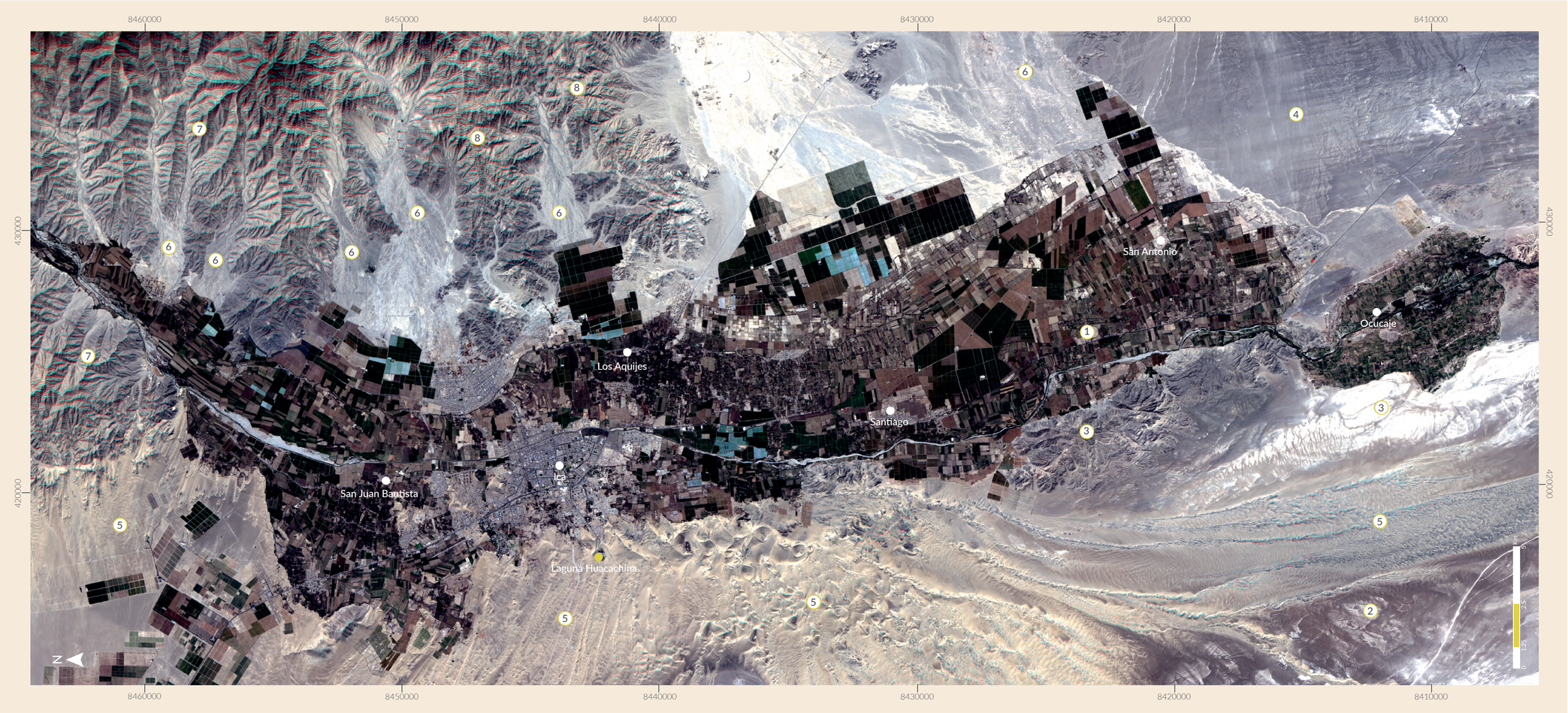


Figura 8 *El ámbito correspondiente al valle de Ica presenta un conjunto de geoformas complejas, en la zona de depresión se aprecian zonas inundables (1) en épocas de crecidas y terrazas medias. Sobre la Llanura Costera (2), al oeste, se encuentran colinas (3) y lomeríos (4) con alturas entre 490 a 700 m. s. n. m., los que están conformados por rocas terciarias cubiertas por campos de arena y dunas (5). Hacia el este se encuentran numerosos abanicos aluviales (6) que forman parte de las estribaciones andinas, seguidas por montañas de rocas intrusivas (7) y volcánicas (8) con alturas de 600 a 2800 m. s. n. m. que corresponden a la Cordillera de los Andes.*

Fotografía 2: *La Laguna de Huacachina está ubicada en la margen izquierda del río Ica. Es un atractivo turístico, donde el agua brota de corrientes subterráneas, se le atribuye propiedades curativas y relajantes (Criado, 2000).*

Rasgos culturales

El paisaje del valle de Ica también lo componen su historia, tradición y manifestaciones culturales. Así, encontramos al suroeste de la ciudad de Ica, en medio de las arenas del desierto, el llamado "Oasis de las Américas". Se trata de la Laguna de Huacachina (Fotografía 2), que está compuesta por un sistema de lagunas de aguas freáticas dulces que dependen de la cuenca hidrográfica del río Ica; y de los acuíferos existentes en el valle conformados por depósitos no consolidados de origen fluvioaluvial del Cuaternario reciente y en algunas partes de la Llanura Costera de formaciones terciarias de origen sedimentario, las cuales tienen la característica de almacenar y transmitir el agua subterránea que contienen entre ellas.

© Gihan Tubbeh | PROMPERÚ

Fotografía 3: *El caballo peruano de paso se crea, desarrolla y evoluciona en el Perú, a merced de la mezcla de las razas berber y andaluza, provenientes del viejo continente.*
Las principales líneas de sangre de nuestro caballo se desarrollaron a lo largo de la costa, podemos diferenciar entre líneas de sangre del norte, centro y del sur. Ica se convirtió en el mayor exponente de la línea de sangre del sur (Asociación Nacional de Criadores y Propietarios de Caballos Peruanos de Paso).

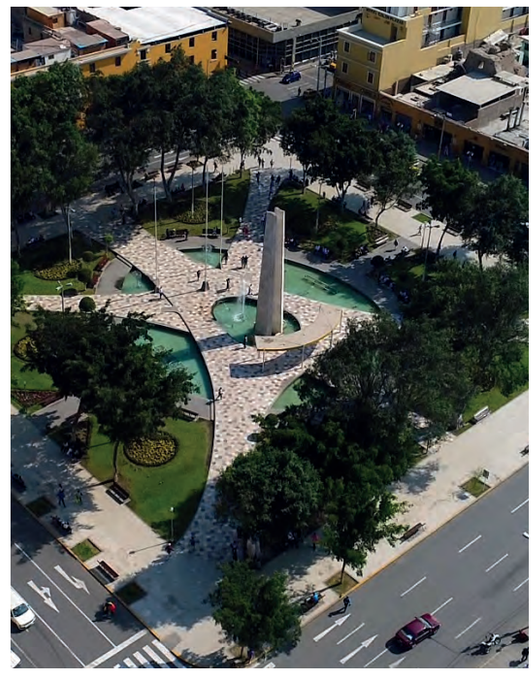
La crianza de caballos de paso peruano es otra de sus tradiciones. El caballo peruano es una raza que se desarrolla por la voluntad de los criollos peruanos y sobre la base de una variedad de razas provenientes del viejo continente (Fotografía 3). Ya en suelo peruano adquiere un trote especial atribuido a la difícil y complicada topografía y también al resultado de una selección orientada y perfeccionada de ejemplares.

Otra actividad tradicional y costumbrista es la vendimia de Ica que se remonta hacia los tiempos de la Colonia, con los primeros sembríos de la parra de uva en sus valles soleados y fértiles. La celebración de la cosecha tiene su primer antecedente en las fiestas que realizaban las culturas preincaicas e incaicas con motivo de las cosechas de maíz, según menciona el portal web de la Municipalidad de Ica. La pisada de uva es un sello distintivo de la vendimia tradicional

Fotografía 4: *La tradicional pisa de uvas marca el inicio del Festival de la Vendimia. Las uvas son llenadas en el lagar, que es un estanque pequeño donde ingresan mozos descalzos que bailando y cantando pisan la uva para extraer el mosto.*

(Fotografía 4) ya que era un proceso fundamental en la elaboración del vino y pisco de los primeros pueblos viticultores.

En resumen, el microclima del valle de Ica-Villacurí otorga condiciones específicas adecuadas para el cultivo de la vid, como son la reducida humedad, la ausencia de lluvias, las temperaturas invernales y una gran amplitud térmica, favorecida por los vientos nocturnos que descienden de las montañas. Estas condiciones climáticas locales están controladas por las características particulares del relieve en torno al valle de Ica-Villacurí (Figura 8), donde resalta la variación de alturas a lo largo del valle, así como las alturas de las colinas del oeste y montañas del este (Figura 4B), la dirección N-S del valle y la distancia al mar. Por lo tanto, la combinación de un clima particular y los rasgos culturales hacen del valle de Ica, la cuna pisquera por excelencia.



Vista aérea de la plaza principal de la ciudad de Ica

Capítulo III

GEOLOGÍA del PISCO

Geología
del pisco

La geología se ocupa de la Tierra como un todo, estudiando sus características externas e internas y su evolución en el tiempo. La capa más superficial de la corteza es el suelo y su estructura refleja la historia geológica de una región que puede haber evolucionado a lo largo de miles o millones de años. Algunos escritores de vinos afirman que los minerales y el carácter del suelo no se pueden probar en el vino, pero sin duda estos ejercen un efecto sobre el proceso de maduración de la uva que brinda a ciertos vinos un "sentido de lugar" (Meinert, 2018). Con base en lo anteriormente citado, es fácil visionar un comportamiento similar para el pisco, es por ello por lo que nace nuestro interés en caracterizar la geología del valle de Ica.

En este capítulo nos centraremos en las rocas, es decir, la litología que bordea el valle de Ica; conoceremos cómo se formaron, sus características físicas, mineralógicas y químicas.

La tierra y su naturaleza geológica

Iniciaremos recordando que la geología es la ciencia que estudia la composición y la estructura tanto interna como superficial del globo terrestre, la evolución del planeta y la vida a lo largo del tiempo geológico, así como aquellos procesos geológicos que han actuado y siguen actuando en ella. El estudio de la Tierra requiere del uso de una serie de ramas de la geología, por citar algunos ejemplos: la mineralogía estudia los minerales formadores de las rocas; la petrología investiga el origen, la estructura y la historia de las rocas; la paleontología, mediante los fósiles, estudia las diferentes formas de vida que habitaron la Tierra; la sedimentología investiga los procesos de formación, transporte y acumulación de sedimentos en continente y mar; la estratigrafía estudia la disposición de las rocas y su secuencia en el tiempo; la tectónica se centra en el estudio de las estructuras geológicas y su origen producidas por deformación de la corteza terrestre.

Toba con disyunción columnar (roca volcánica piroclástica).

La Tierra según su composición química se divide en tres capas: **el núcleo, el manto y la corteza terrestre;** la estructura se asemeja a la de un huevo, en analogía la yema corresponde al núcleo, la clara al manto y el cascarón a la corteza. La corteza terrestre es la capa más superficial y está constituida por rocas de diferente naturaleza. Por debajo de ella se encuentra el manto, que es predominantemente sólido, pero gran parte es altamente viscoso debido a las presiones altas que soporta. Por sus diferencias en densidad se reconocen un manto inferior y otro superior o

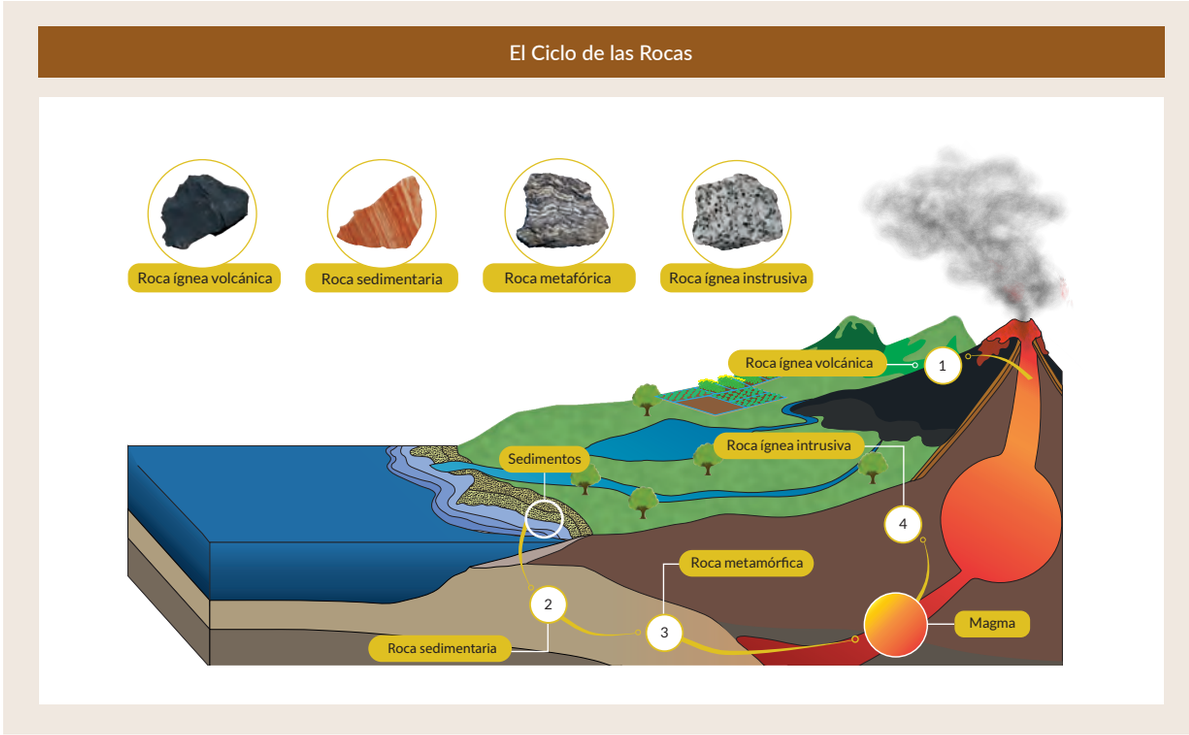


Figura 9 *Esquema simplificado de la transformación de las rocas por efecto de diversos procesos que involucran condiciones de temperatura y presión. Por ejemplo, cuando el magma sale a la superficie forma rocas volcánicas, luego estas se destruyen por agentes climáticos dando paso a sedimentos que con el tiempo y presión se compactan y dan lugar a las rocas sedimentarias. Luego estas rocas al ser sometidas a mayor presión originan las rocas metamórficas, las cuales con el incremento de presión se funden formando magma, y cuando este último se enfría en el interior de la corteza terrestre da lugar a las rocas intrusivas.*

externo, este último junto con la corteza terrestre constituye la litósfera.

La parte externa de la Tierra está conformada por varios fragmentos o porciones de litósfera, a manera de piezas de rompecabezas, a los que se conoce como placas tectónicas, y estas siempre están en movimiento. En algunas zonas de la Tierra, el choque entre placas provoca que una de ellas se deslice por debajo de la otra, a este fenómeno se le conoce como subducción. A raíz de este fenómeno se activa un conjunto de procesos geológicos que dan origen a la formación de cordilleras, también es conocido como orogénesis, que a través del tiempo conducen la evolución del relieve de una región.

Las rocas que conforman la corteza terrestre se clasifican en tres grandes grupos de acuerdo con su origen y ambientes de formación, así tenemos rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. Los cambios que sufren los diferentes tipos de rocas, transformándose unas en otras se denomina "el ciclo de las rocas" (Figura 9), estos procesos ocurren de manera lenta y pueden durar millones de años.

Las rocas que conforman la corteza terrestre se clasifican en tres grandes grupos de acuerdo con su origen y ambientes de formación, así tenemos rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas.

- **Las rocas ígneas** se forman al enfriarse el magma (roca fundida), ya sea en el interior o exterior de la corteza terrestre; en el primer caso, el magma se enfría lentamente y se crean cristales grandes dando origen a rocas intrusivas con minerales visibles como el granito[1] . Cuando el magma llega al exterior, a través de los volcanes, se denomina lava. La lava al entrar en contacto con la atmósfera o el agua se enfría rápidamente, dando lugar a rocas con cristales muy pequeños o vidrio volcánico. También existen rocas volcánicas piroclásticas (Schmid, 1981) que se forman por el enfriamiento de materiales incandescentes (piroclastos) arrojados durante una explosión volcánica, tales rocas están compuestas por minerales, ceniza, pómez[2] y fragmentos de roca en porcentajes variables.

  Aquellas rocas expuestas a factores externos como el viento, agua, hielo, actividad biológica y radiación solar se desintegran, estas partículas al ser transportadas por el agua, viento o gravedad se denominan **sedimentos.** En ciertas ocasiones los sedimentos también incluyen restos de organismos como conchas, caparazones y otros; así como materiales producidos a partir de la precipitación de sales contenidos en el agua. Los sedimentos son transportados hasta llegar a un lugar de acumulación donde se depositan, como en las playas, desembocadura de los ríos, etcétera. En estas zonas de acumulación, con el tiempo, los sedimentos son enterrados, se compactan y consolidan dando origen a las rocas sedimentarias.

- **Las rocas metamórficas** se producen por la transformación de una roca preexistente de cualquier tipo, al ser sometidas a grandes presiones y temperaturas en el interior de la corteza terrestre, la roca original cambia parcialmente o por completo sus características estructurales, físicas y químicas. Entre los fenómenos más comunes que generan metamorfismo regional destacan la subducción y la colisión de placas.

1 Granito — Roca ígnea conformada por minerales de cuarzo, con predominancia de ortosa y seguido de plagioclasa.
2 Pómez — También denominada pumita, es una roca volcánica vítrea, con baja densidad y muy porosa, de color blanco o gris.

La firma
de las rocas

Las rocas están conformadas por un conjunto de minerales en proporciones distintas. Un mineral es una sustancia sólida inorgánica homogénea que tiene una composición química definida y estructura interna ordenada, dicho ordenamiento da lugar a la formación de cristales . En este sentido, un mineral puede estar formado por muchos cristales pequeños, por pocos y grandes, y en algunos casos sin cristales[3].

Las características de tamaño, forma y relaciones intergranulares entre minerales definen la textura, esta última varía según el tipo de roca. Los minerales y texturas de algunas rocas se observan a simple vista, no obstante, para estudios de detalle se realizan observaciones a través de un microscopio óptico sobre una sección transparente de roca.

Los elementos químicos formadores de rocas, de acuerdo a su abundancia en la Tierra, se clasifican en elementos mayores y elementos traza. Los elementos mayores se presentan en altas concentraciones en las rocas y conforman la mayoría de ellas, por lo que constituyen el 99 % del total de la corteza; los principales son el silicio (Si), el oxígeno (O), el aluminio (Al), el hierro (Fe), el magnesio (Mg), el calcio (Ca), el sodio (Na), el potasio (K). En cambio, los elementos traza se hallan en concentraciones ínfimas (<0.1 %), pero existen alrededor de 70 elementos traza de los cuales solo aproximadamente 15 tienen implicancias en el desarrollo de las plantas.

La clasificación de las **rocas ígneas** se basa en los rangos de porcentajes de minerales de cuarzo,

3 Cristal Disposición ordenada de elementos químicos bajo una forma geométrica definida.

feldespato, plagioclasa y feldespatoide (Streckeisen, 1976). Las rocas ígneas intrusivas y volcánicas muestran una composición mineralógica similar, pero se diferencian por la textura; es decir que en las intrusivas los cristales se desarrollan por completo, mientras que en las volcánicas es nulo a medio.

Por otro lado, las **rocas sedimentarias** por sus componentes se clasifican en detríticas o clásticas y no detríticas (Folk, 1980). Las primeras contienen detritos (minerales, fragmentos de roca o minerales), mientras que las segundas resultan de la precipitación química, bioquímica u orgánica. Las **rocas detríticas** en función de la granulometría (tamaño de grano) se clasifican en conglomerados[4] , areniscas[5] y limoarcillitas[6] . En contraparte, las **rocas no detríticas** incluyen una variedad de tipos como las carbonatadas, evaporitas[7] , silíceas[8] , entre otras. Las rocas carbonatadas contienen menos del 50 % de material detrítico, en este grupo se encuentran las calizas y las dolomías que principalmente están constituidas por minerales de calcita.

Igualmente, las **rocas metamórficas** se clasifican de acuerdo con la textura, son del tipo foliada y no foliada. Este término se refiere a la disposición planar (casi plana) de los granos minerales o los rasgos estructurales del interior de la roca. Tal característica obedece al grado de metamorfismo, que se traduce en la intensidad de presión y temperatura con las que han sido afectadas las rocas preexistentes en un tiempo determinado. El gneis es de tipo foliado, resulta de la transformación del granito, exhibe distintas capas o bandas. Por otro lado, el mármol es de tipo no foliado y se forma partir de la caliza sometida a grandes presiones y temperaturas.

Tal como las rocas se forman también se destruyen, y esto sucede cuando cualquier tipo de roca al ser expuesta a los agentes atmosféricos es meteorizado, lo que conlleva a una inestabilidad no uniforme de los minerales, es decir, cada mineral opondrá una resistencia específica a toda modificación en su composición química o de su estructura cristalina. La estabilidad de un mineral se mide mediante la Serie de Goldich (Goldich, 1938). La mayoría de los silicatos[9] que forman las rocas (excepto el cuarzo) se meteoriza por hidrólisis[10] para formar minerales de arcilla, sílice soluble y cationes metálicos. La meteorización genera la desintegración y descomposición de las rocas conformando un manto suelto y consolidado llamado regolito, y cuando estos materiales son transportados por el agua y viento dan lugar a los suelos transportados.

En suma, la textura, la composición mineralógica y química de los diferentes tipos de roca están controladas por condiciones que difieren en presión y temperatura. Por ello las **rocas ígneas,** sedimentarias y metamórficas poseen una composición mineralógica y química particular, y rasgos texturales propios. Esta condición constituye la materia prima a partir de la cual se heredan propiedades físicas y químicas en los suelos.

4	Conglomerado	Roca sedimentaria clástica conformada por fragmentos redondeados con tamaños mayores a 2 mm.
5	Arenisca	Roca sedimentaria formada por minerales o fragmentos de roca con tamaños entre 0.06 a 2 mm.
6	Limoarcillita	Roca sedimentaria clástica de grano fino, compuesta por partículas del tamaño de la arcilla y el limo.
7	Evaporitas	Las evaporitas son rocas formadas por la evaporación de aguas salinas.
8	Silíceas	Rocas formadas por la acumulación del esqueleto silíceo (frústulas) de organismos unicelulares.
9	Silicatos	Son los componentes más importantes de las rocas y están formados por silicio y oxígeno. Constituyen el grupo de minerales de mayor abundancia.
10	Hidrólisis	Se refiere a la destrucción, descomposición o alteración de una sustancia química por el agua.

Una mirada al pasado geológico peruano

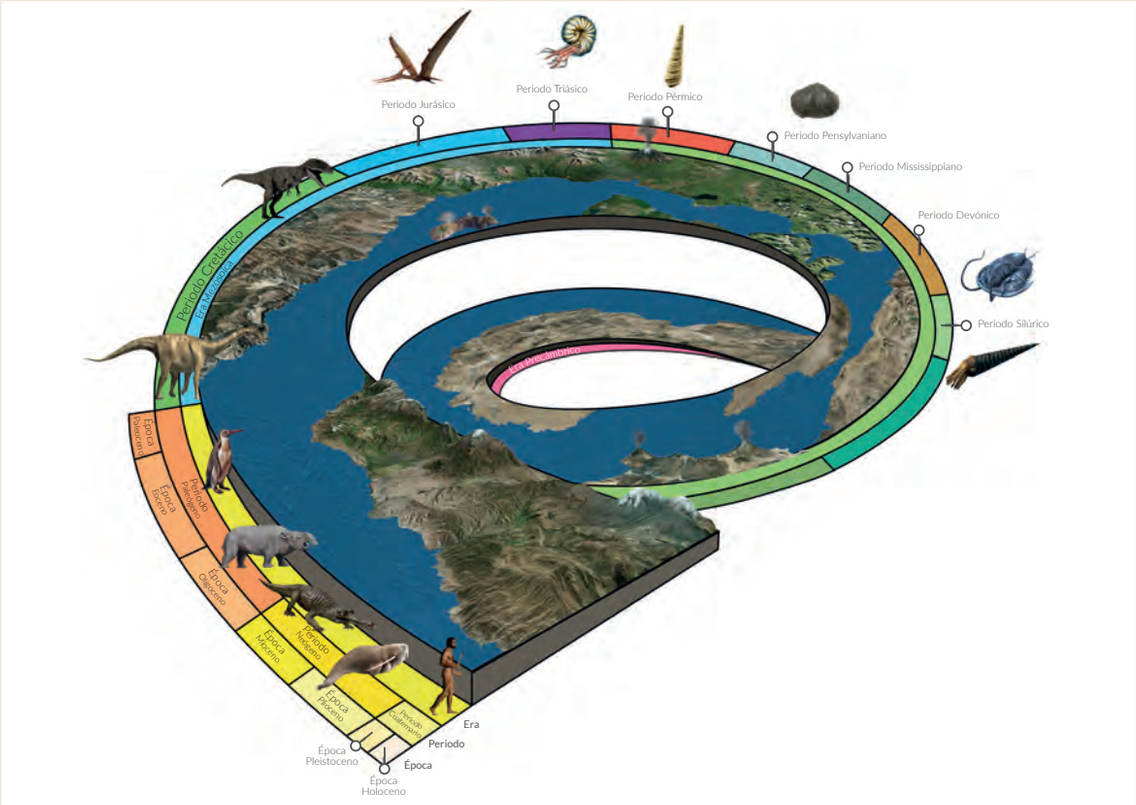


Figura 10 *Esquema de la historia geológica del Perú a lo largo de millones de años, adaptado de Graham et al., 2008. Este gráfico nos ayuda a comprender las dimensiones del tiempo geológico donde se han dado estos cambios.*

El relieve actual del Perú es consecuencia de la evolución geológica a lo largo de millones de años (Figura 10). Las rocas más antiguas que se encuentran en el territorio peruano tienen más de 541 millones de años, corresponden a remanentes de antiguas cordilleras que conformaron el súpercontinente Pangea, cuando hace 135 millones de años Sudamérica se alejó de África (Le Pichon & Hayes, 1971). Estas antiguas cordilleras se erosionaron y dieron lugar a la acumulación de sedimentos en

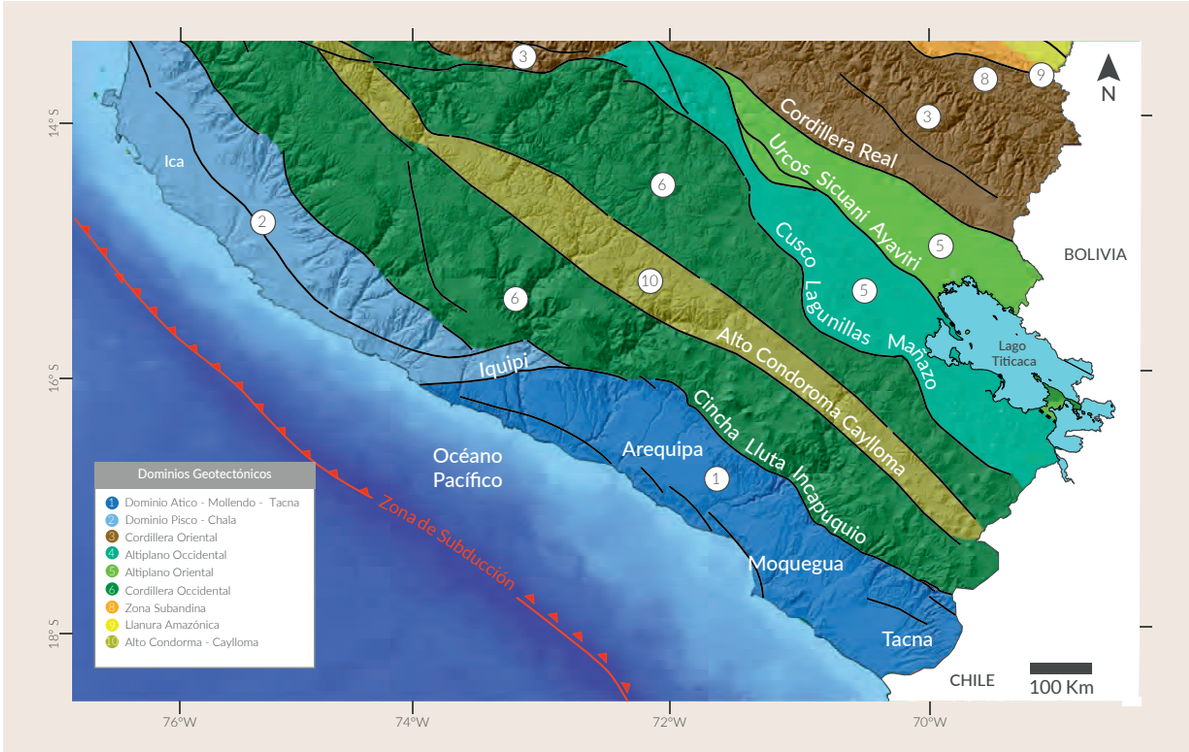


Figura 11 *Mapa de dominios geotectónicos en el sur del Perú, controlados por sistemas de fallas regionales. Los dominios geotectónicos se caracterizan por su propia evolución sedimentaria, tectónica y magmática. Fuente: Carlotto et al., 2009.*

los mares circundantes de épocas anteriores a 66 millones de años (Riccardi, 1987) los cuales fueron acompañados por intenso magmatismo y volcanismo intermitente. A partir de esta edad, estos sedimentos consolidados (rocas sedimentarias) y las rocas intrusivas y volcánicas fueron levantados debido a la fuerza de subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana, lo que a su vez desencadenó una serie de periodos magmáticos (Soler, 1990); esto dio lugar a la formación de la cadena montañosa más larga de la Tierra denominada Cordillera de los Andes. Juntamente con todos estos procesos las formas de vida también fueron evolucionando.

La corteza del territorio peruano exhibe diferentes bloques estructurales yuxtapuestos, los cuales se traducen en los diferentes dominios geotectónicos. Específicamente la evolución geológica del sur del Perú se define por 9 dominios geotectónicos limitados por grandes sistemas de fallas[11] de dirección noroeste-sureste, este-oeste y noreste-suroeste (Figura 11). Los dominios geotectónicos se caracterizan por su propia evolución sedimentaria, tectónica y magmática. La evolución geológica de cada bloque está atribuida a la litología[12] propia de cada dominio, que como resultado genera una alta heterogeneidad en la fisiografía del sur del Perú.

11 Fallas — Es una fractura en la corteza terrestre a lo largo de la cual se mueven los bloques rocosos que son separados por ella.
12 Litología — Parte de la geología que estudia las características de las rocas..

Geología
del valle de Ica

La historia del pisco en el valle de Ica se remonta a épocas geológicas inimaginables que dieron lugar a un terreno propicio y perfecto para su nacimiento. El paisaje de Ica ostenta un componente geológico representado por rocas intrusivas, sedimentarias, volcánicas y afloramientos puntuales de rocas metamórficas. Este conjunto de rocas se formó en tiempos geológicos de grandes escalas (Figura 12) y bajo escenarios distintos (Figura 13).

Las rocas más antiguas son los gneis (Bellido y Narváez, 1960), se formaron hace más de 560 millones de años (Ma), cuando la Tierra empezaba a solidificarse y se creaba la atmósfera primitiva. Luego estas rocas se alzaron dando lugar a una región levantada que fue la zona de aporte de la sedimentación en un ambiente marino entre los 541 a 485 Ma. Posteriormente, alrededor de los 395 Ma se emplazaron rocas intrusivas producto de un episodio magmático que dio lugar a la formación del Batolito de San Nicolás (Mukasa y Henry, 1990).

Más tarde, a lo largo del margen peruano, aproximadamente a los 200 Ma, se activó un arco volcánico, es decir una franja de volcanes (James, 1971). Debido a este fenómeno, a partir de 170 a 145 Ma se originó una alternancia de rocas sedimentarias y volcánicas que se extendió desde el norte peruano hasta Chile (Ramos y Aleman, 2000). Posteriormente, se abrió la corteza provocando el hundimiento de este arco volcánico (Jenks, 1948; Aleman, 1996), conjuntamente se dio la formación de rocas sedimentarias clásticas en ambientes fluviales a marinas de aguas poco profundas desde los 145 a 113 Ma, donde las zonas de aporte son rocas antiguas emergidas en bloques continentales (León et al., 2008).

Entre los 113 a 93 Ma, un arco volcánico bien definido se desarrolló episódicamente originando una gruesa secuencia de rocas volcánicas alternadas con rocas sedimentarias de aguas someras. Este volcanismo es sincrónico con la etapa inicial de la instalación de las rocas intrusivas del Batolito de la Costa que se emplazó en episodios desde los 102 a 59 Ma (Soler y Bonhomme, 1990).

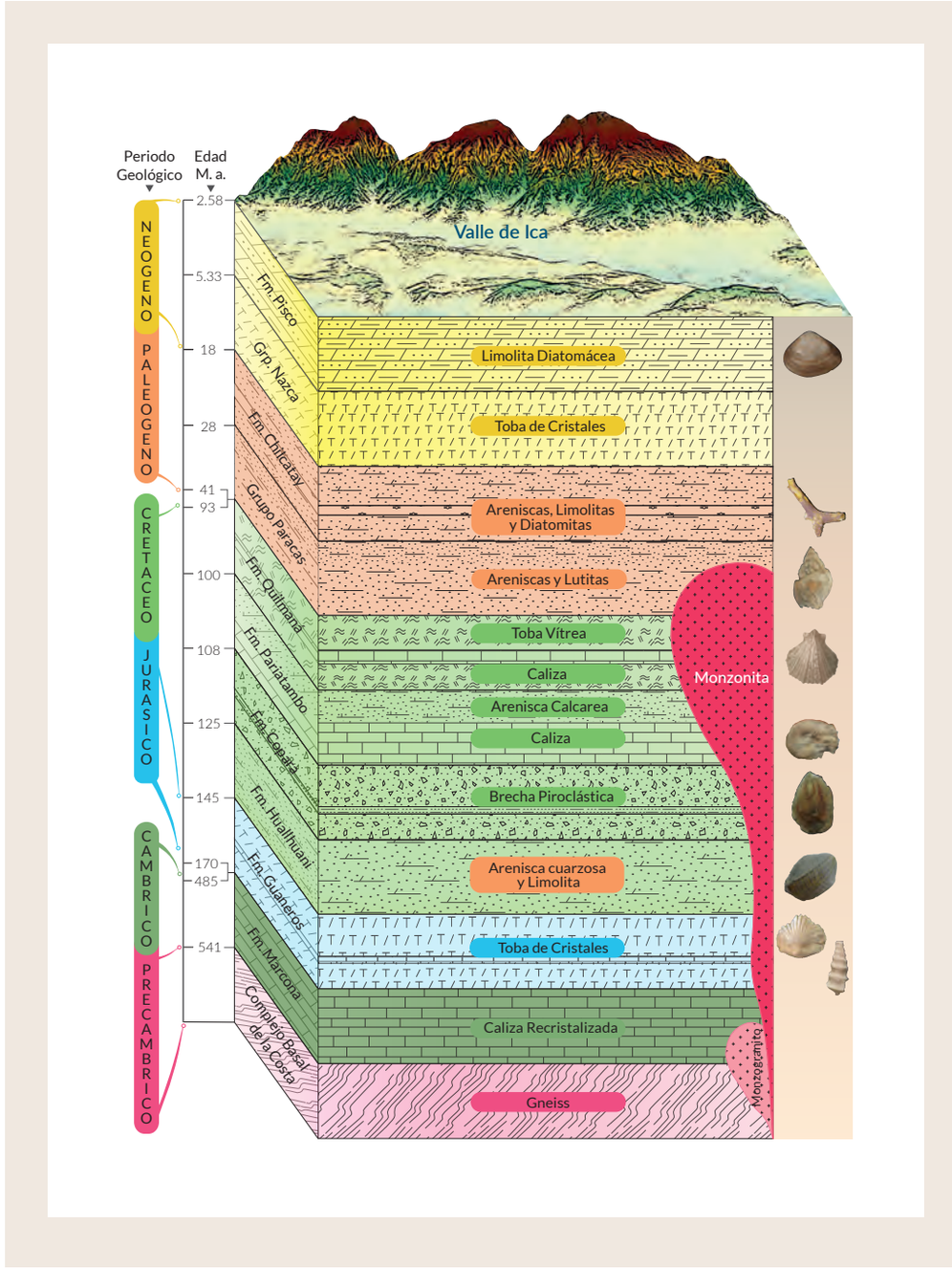


Figura 12 *Columna estratigráfica esquemática que representa las principales unidades rocosas en el valle de Ica, el tiempo de formación está dado en millones de años (Ma) y fueron determinadas mediante los fósiles asociados a las rocas. Estas rocas toman diferentes denominaciones según la zona tipo con la finalidad de realizar correlaciones estratigráficas con otras regiones.*

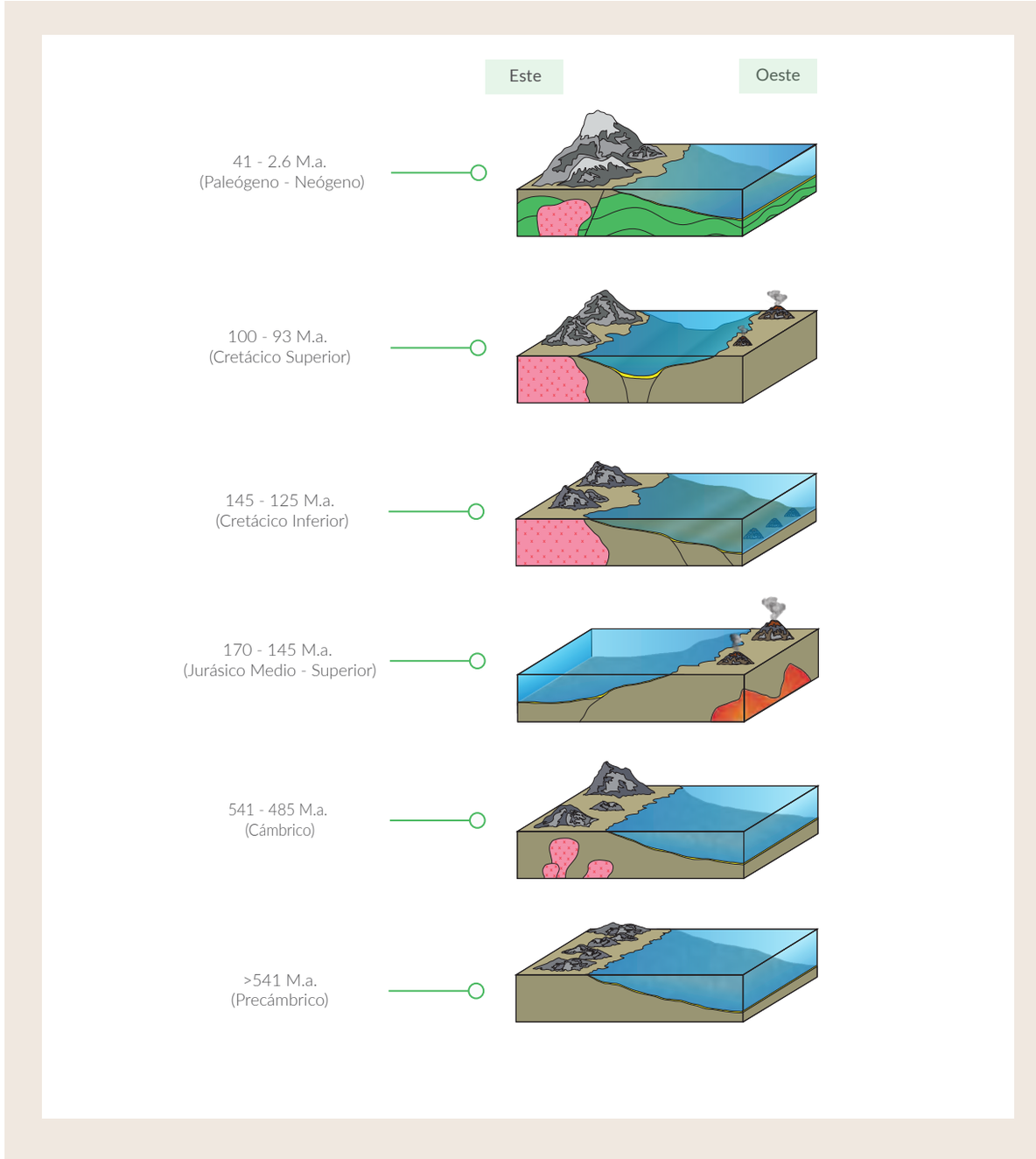


Figura 13 *Ambientes de formación de los diferentes tipos de rocas que circundan el valle de Ica. Las rocas más antiguas se formaron en mares primitivos producto de la erosión de superficies emergidas precámbricas (>540 Ma). Luego el relieve incrementa someramente y continúa la sedimentación al mismo tiempo que ocurre el emplazamiento de rocas intrusivas del Batolito San Nicolás. Posteriormente, las zonas emergidas se hunden por el régimen de tectónica extensiva dando lugar a la formación de un arco magmático con sedimentación simultánea. Continúa el régimen extensivo, lo que provoca el hundimiento del arco y la emersión de las rocas más antiguas, pero conjuntamente ocurre el emplazamiento del Batolito de la Costa. Posteriormente sucede la inversión tectónica, dando lugar a la formación de un nuevo arco magmático con sedimentación simultánea. Finalmente, con el levantamiento de los Andes se instala el mar actual dando paso a una sedimentación duradera hasta los 2.5 Ma.*

La textura, la composición mineralógica y química de los diferentes tipos de roca están controladas por diferentes condiciones de presión y temperatura.

A partir de los 40 Ma hasta los 2.5 Ma se formaron rocas sedimentarias que corresponden a una superposición de ambientes fluvial y marino debido a las oscilaciones en el nivel del mar. Uno de estos episodios de vaivén está relacionado a la subducción de la Dorsal de Nazca a los 13 Ma (Macharé, 1987). Cabe resaltar que en estas aguas habitó el monstruo marino dentado más grande de todos los tiempos, conocido como Leviathan (Lambert et al., 2010) (Figura 14).

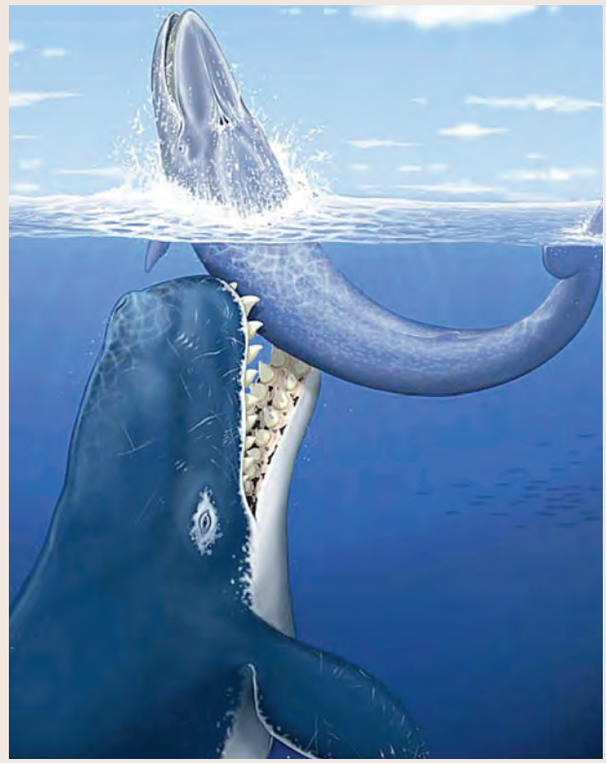


Figura 14 *Representación del cachalote Leviathan melvillei atacando a una ballena barbada. Fuente: C. Letenneur/MNHN.*

Las rocas del valle de Ica

Las rocas que rodean el valle de Ica han sido agrupadas independientemente de su edad, por lo tanto, se diferenciaron 12 unidades litológicas (Figura 23). Sin embargo, solo describiremos aquellas que tienen mayor presencia en la zona.

Las rocas más abundantes que circundan el valle de Ica son las intrusivas félsicas, seguidas por las intermedias y máficas. Estas rocas se ubican al norte del valle de Ica, forman topografías abruptas, tienen un aspecto masivo y presentan un color beige, en algunas zonas se observan coloraciones rojizas producto de alteraciones por fluidos hidrotermales (Fotografía 5). Hacia el este y oeste afloran rocas volcánicas, tales como andesitas y brechas piroclásticas intercaladas con algunos niveles de rocas sedimentarias como calizas, areniscas y lutitas. A la intercalación de litologías volcánicas y sedimentarias se le denomina secuencias volcanosedimentarias. Los afloramientos presentan capas de distintos colores relacionados a su variada litología (Fotografía 6). Al sur del valle de Ica, en las inmediaciones de Ocucaje, afloran rocas sedimentarias de tipo diatomeas, areniscas tobáceas y niveles de yeso. Esta secuencia es de color blanquecina y presenta estratificación métrica a centimétrica (Fotografía 7). Estas rocas tienen una extensión regional, donde se han encontrado fósiles de mamíferos marinos, como el cetáceo de 8 millones de años de antigüedad, ancestro de las actuales ballenas francas.

Las **rocas félsicas**, de acuerdo con su composición mineralógica, están representadas por dioritas con cuarzo, monzonitas con cuarzo, tonalitas, monzogranitos y sienogranitos. Las intrusivas intermedias corresponden a monzonitas y monzodioritas, las intrusivas máficas son gabros. El monzogranito es la roca más predominante, bajo el microscopio óptico presenta textura granular hipidiomórfica (Figura 15). Está constituida por cristales de feldespatos potásicos (32 %), plagioclasas (27 %), cuarzo (25 %). Asimismo, anfíboles (8 %), biotita (4 %), minerales opacos asociados a ferromagnesianos (1 %), y trazas de esfena, apatito y zircón. Como minerales de alteración se aprecian cloritas, sericita, epidota y óxidos de hierro.

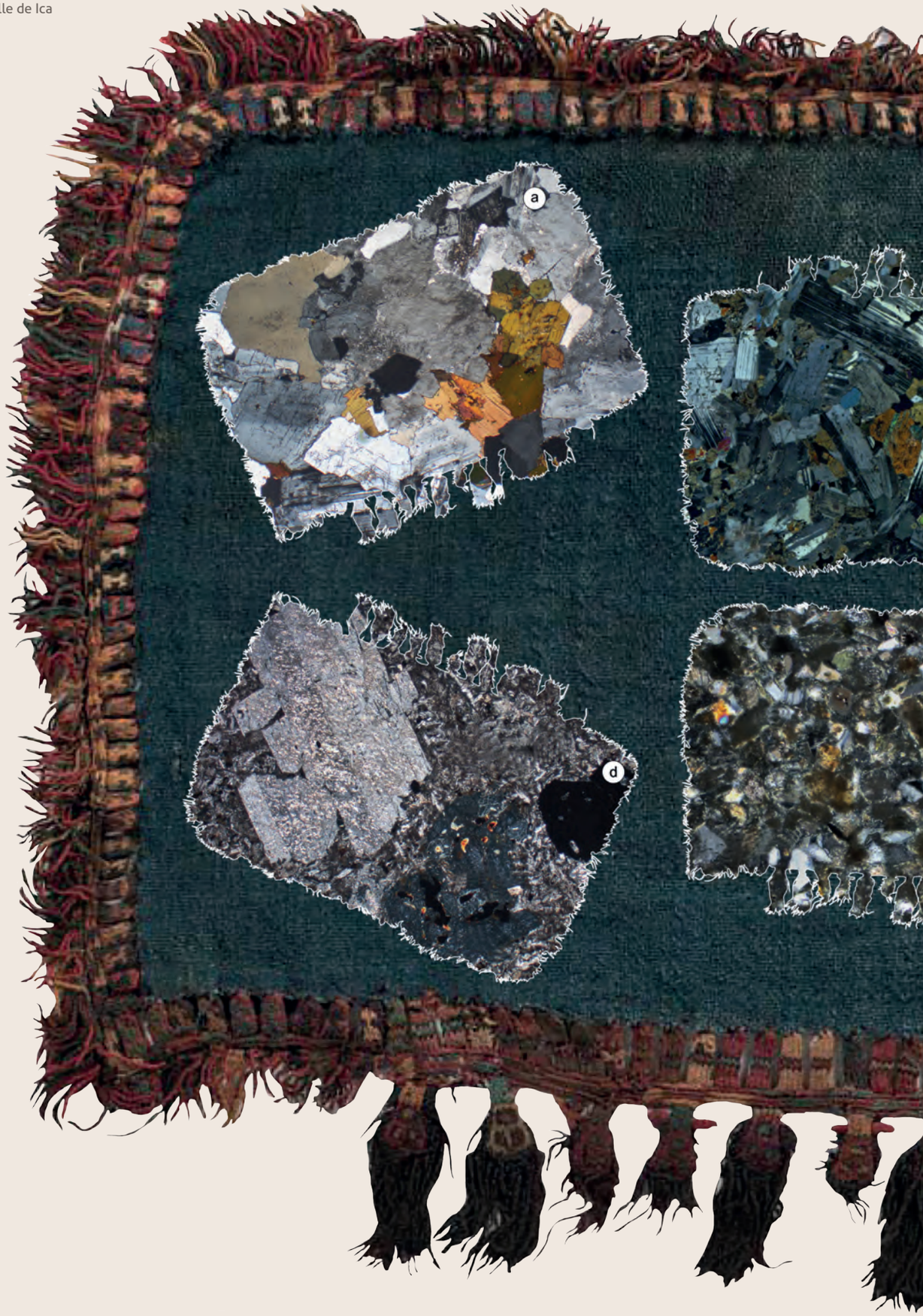
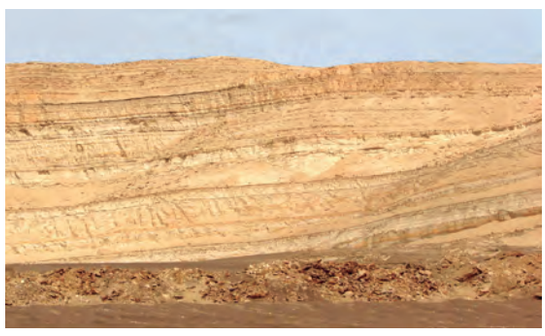

a
d

Figura 15 *Montaje de fotos (fotomicrografías) de rocas vistas al microscopio sobre un tejido de la cultura preinca Paracas. En las fotomicrografías se observan diferentes minerales y texturas que corresponden a diversas muestras de rocas extraídas durante el estudio: a) Monzogranito. b) Gabro. c) Monzodiorita. d) Andesita. e) Grauvaca (arenisca). f) Brecha volcánica. Las tres primeras son rocas intrusivas, d) y f) rocas volcánicas y la e) es una sedimentaria. Los cristales que se observan en todas las rocas son minerales de cz: cuarzo; FPsK: feldespato potásico; ANFs: anfíboles; bt: biotita; PLGs: plagioclasas; PXs: piroxenos; CLOs: cloritas; OXs: óxidos; OPs: minerales opacos; ARCs: arcillas; ARCs-MCs: arcillas y micas; CBs: carbonatos y epidota.*

Fotografía 5: *Afloramiento de monzogranito al norte de la ciudad de Ica, en la margen izquierda del río Ica. Presenta una topografía abrupta y son masivas, es decir no tienen capas (estratos). En el pie se observa un cono aluvial resultado de la deposición de material caído de la parte alta.*

Fotografía 6: *Afloramiento de secuencias volcanosedimentarias en el sector de los Aquijes, en la margen izquierda del río Ica. Los colores grises verdoso a gris rojizo corresponden a andesitas y brechas piroclásticas y los blancos a tobas.*



Fotografía 7: *Afloramiento de diatomeas y areniscas tobáceas en las cercanías a la localidad de Ocucaje. Se observan estratos subhorizontales de diferentes espesores.*

La andesita tiene textura porfirítica (Figura 15), está compuesta por fenocristales de plagioclasas (27 %), moldes de cristales reemplazados por cloritas y carbonatos; además minerales opacos diseminados (7 %). La matriz está constituida por microcristales de plagioclasas alteradas por sericita y arcillas (23 %); también material criptocristalino está alterado a óxidos y arcillas (15 %). Se observa alteración por cloritas, carbonatos, arcillas, óxidos y sericita. Por otro lado, las brechas piroclásticas están constituidas por cristales de plagioclasas alteradas a sericita y arcillas (22 %), moldes de cristales reemplazados por carbonatos y epidota. La matriz está compuesta por microcristales de plagioclasas (10 %) y material criptocristalino alterado (posible desvitrificación) por cloritas, carbonatos y cuarzo; las cloritas ocurren fragmentando la matriz lo que da aspecto brechoide, también se observan parches de carbonatos y cuarzo en oquedades.

Las areniscas del suroeste del valle presentan textura soportada por la matriz, conformada por granos de plagioclasas, fragmentos líticos, cuarzos monocristalinos y feldespato; además, anfíboles, biotita, epidota y esfena como accesorios. La matriz se encuentra constituida por arcillas y micas, y cemento de sílice con sericita. La roca se encuentra alterada débilmente a arcillas, sericita y óxidos de hierro (Figura 15).

Con relación a la composición geoquímica, los contenidos de Mg y Ca son más altos en las rocas intrusivas máficas e intermedias, mientras que en las rocas volcánicas solo el Mg es alto. El P es alto en rocas intrusivas intermedias (Figura 16). Cabe resaltar que las rocas intrusivas del sur del Batolito de la Costa están enriquecidas en K con respecto a los intrusivos de la Costa norte (Pitcher, 1985, Moore y Agar, 1985).

En resumen, la marcada distribución de las rocas intrusivas, secuencias volcanosedimentarias y rocas sedimentarias en los alrededores del valle de Ica (Figura 23) constituye un contexto litológico condicionante para una meteorización diferencial, dando lugar a regolitos de profundidad variada y características particulares en textura, color, composición mineralógica y química. Simultáneamente, la erosión diferencial se ve expresada en el relieve, elemento que ha conducido la evolución de la configuración del drenaje de la cuenca del río Ica, tema que será abordado en el siguiente capítulo. Por lo tanto, el regolito y el relieve son factores que controlaron los procesos sedimentarios que dieron origen a los particulares depósitos aluviales y fluviales que conforman el material parental de los suelos del valle de Ica.

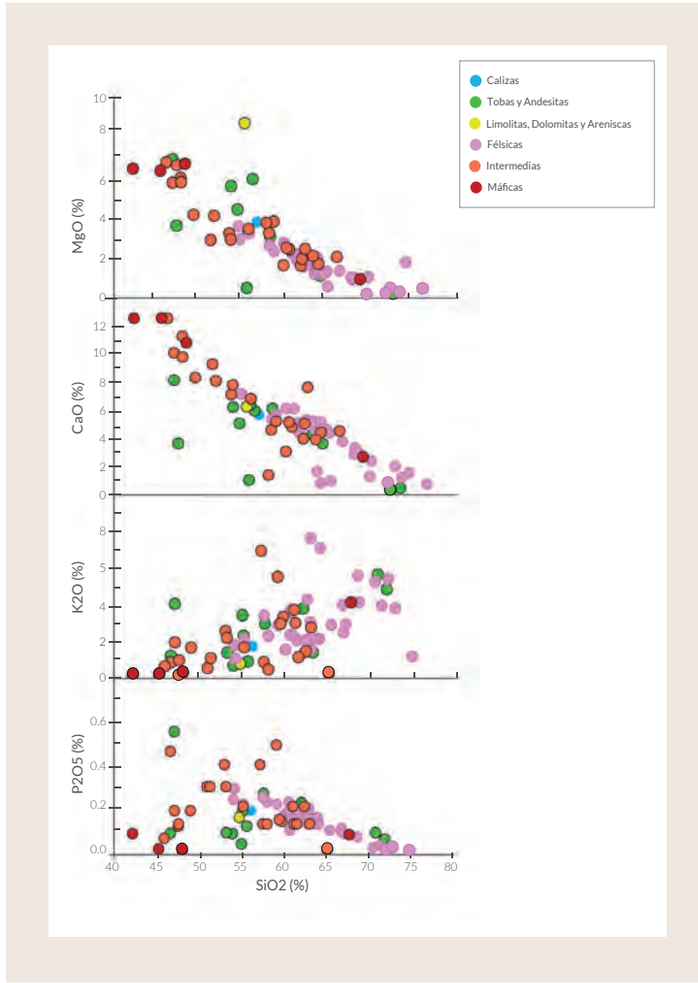


Figura 16 *Contenidos de elementos mayores en las rocas del valle de Ica.*

© Karina Mendoza | PROMPERÚ

Capítulo IV

ESCULTURA DIVINA para **el PISCO**

Relieves con pendientes altas en respuesta a la erosión del río Ica.

Escultura divina
para el pisco

Cual afamado artista de esculturas épicas, la naturaleza tiene como material a las rocas como fuente de su inspiración para forjar sobre ellas diversas formas que hoy en día podemos admirar. Así tenemos montañas, colinas, planicies, mesetas, volcanes, valles, etcétera. Estas formas son el resultado de una combinación de procesos geológicos y climáticos ocurridos en los últimos miles y millones de años. En este apartado estamos enfocados en comprender la evolución del valle de Ica, que es el valle de mayor producción de uva pisquera a nivel nacional. En el presente capítulo, veremos cómo se originó este valle tan peculiar, cuáles son las características geológicas y climáticas que influencian en el modelado del relieve; el modo en que las rocas de los altos Andes llegan a las pampas costeras por medio de los ríos, tal cual fuese un sistema venoso que permite el transporte de grandes cantidades de rocas de distintas composiciones mineralógicas. La recurrencia de estos procesos genera la profundización de valles y trae consigo la generación de terrazas naturales en forma de andenes, en algunos casos excepcionales para el uso agrícola.

Orígenes del valle de Ica

La Cordillera de los Andes se caracteriza por tener cadenas de montañas con elevaciones extraordinarias (6,700 m), se constituye como la segunda cordillera más alta del mundo, después de los Himalayas. Aunque existen aún discusiones científicas sobre el modo y el tiempo de formación de estas montañas, podemos citar las dos mayores hipótesis: a) Los Andes se levantaron de manera muy rápida en los últimos 10 millones de años (e.g. Garzione et al., 2006); mientras que otra idea se contrapone y sugiere que b) El proceso de levantamiento de los Andes fue lento y continuo durante los últimos 50 millones de años (e.g. Barnes & Ehlers, 2009).

En el proceso de formación de los Andes se configuraron rasgos morfológicos característicos, de oeste a este: la Costa, la Cordillera Occidental, el Altiplano, la Cordillera Oriental, la Zona Subandina y la Llanura Amazónica. Cada uno de estos rasgos, a escala mayor, se encuentra conformado por dominios geotectónicos; limitados o controlados por grietas, discontinuidades o fracturas en la corteza terrestre denominadas fallas geológicas (Figura 11). Estas estructuras tectónicas permitieron el levantamiento no homogéneo de los Andes; y en algunos casos hundimientos, que permitieron el ingreso del mar al continente, cubriendo la costa peruana.

La historia de la formación del valle de Ica está ligada al levantamiento de los Andes y a la evolución de los valles de la vertiente del Pacífico, esta se resume en cuatro periodos que se detallan a continuación:

En el proceso de formación de los Andes se configuraron rasgos morfológicos característicos, de oeste a este: la Costa, la Cordillera Occidental, el Altiplano, la Cordillera Oriental, la Zona Subandina y la Llanura Amazónica.

- **Periodo 1 (Pre-70 millones de años).**
  Este periodo está marcado principalmente por un marcado ingreso del mar al continente (Mégard, 1978), que da lugar a depósitos fluviodeltaicos. Pero, en el sur del Perú, la parte más occidental de la margen registró intensa actividad volcánica debido a la formación de una cadena de volcanes (arco magmático Casma), que fue acompañada por el inicio del emplazamiento de intrusiones magmáticas de la corteza superior (Beckinsale et al., 1985). Por otro lado, la tectónica extensional favoreció la formación de grandes depresiones, que a su vez fueron rellenadas por gruesas secuencias de rocas volcanoclásticas (Figura 17a). Finalmente, los valles de la vertiente del Pacífico de la cordillera andina fueron poco profundos en este periodo y trasladaron sedimentos de las partes más altas de la Cordillera hacia el Océano Pacífico, siendo el recorrido o distancia menor en comparación a los valles actuales.

- **Periodo 2 (~70 a ~45 millones de años).**
  Durante este periodo el mar abandonó el continente debido al levantamiento de los Andes, este incremento de la elevación de la cadena andina está asociado con dos episodios tectónicos importantes: a) la fase tectónica Peruana (Mégard F., 1984; Steinmann G., 1930) y b) la fase tectónica Incaica (Jaillard & Soler, 1996; Steinmann., 1930); estos episodios tectónicos están relacionados a reconfiguraciones de las placas tectónicas. En consecuencia, gracias a estos dos procesos geológicos, la Costa emergió, generándose una topografía importante (Figura 17b). De otro modo, los valles de la vertiente del Pacífico de la cordillera andina se tornan un poco más profundos en comparación al periodo 1, debido a que los ríos erosionan los fondos de los valles buscando el estado de equilibrio o su nivel base. Este proceso erosivo contribuye al transporte de grandes cantidades de sedimentos de las partes más altas de la cordillera hacia la planicie costera. Es en este periodo donde se comienzan a formar extensos abanicos aluviales al pie de la cordillera, cubriendo o erosionando parcialmente las rocas volcánicas y las secuencias fluviomarinas formadas durante el periodo 1.

- **Periodo 3 (~45 a ~2 millones de años).**
  A inicios de este periodo se reportó el incremento del nivel del mar, cubriendo nuevamente gran parte de la costa peruana (Macharé et al., 1988) y de manera similar al periodo 1 (Figura 17c). Esta incursión marina está relacionada a tectónica extensional y consiste en el hundimiento progresivo, en este caso, de la costa peruana. El mar cubre la costa peruana hasta los 2 millones de años, depositándose grandes cantidades de rocas de ambiente marino.

Periodos de la historia de la formación del valle de Ica

Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4
Pre-70 millones de años	~70 a ~45 millones de años	~45 a ~2 millones de años	<2 millones de años

Por otro lado, entre 9-7 millones de años se inició la mayor profundización o formación de los ríos de la vertiente del Pacífico de la cordillera andina [e.g. Lima, Cañete, Pisco, Ica, Nazca, Colca, entre otros] (e.g. Benavente, 2017; Gunnell et al., 2010; Schildgen et al., 2007), lo que está asociado a procesos tectónicos y climáticos. Es así como sedimentos de las partes altas de la cordillera llegan a la costa y una fracción de estas desemboca en el Océano Pacífico.

- **Periodo 4 (<2 millones de años).**
  Un periodo de levantamiento de la cadena andina se registra en este intervalo de tiempo y se asocia a la migración de la Dorsal de Nazca (Eakin et al., 2014; Macharé & Ortlieb, 1992). La Dorsal de Nazca es una cordillera oceánica o cordillera submarina de 4,000 metros de elevación que se introduce por debajo de la placa continental, generando mayor fricción entre la placa oceánica y continental, y que a su vez origina el levantamiento del continente.

Actualmente, la Dorsal de Nazca se ubica frente a la costa de Ica. En esta zona se registran terrazas marinas cuaternarias (<1 millones de años) y afloran rocas del basamento[1] asociadas a levantamiento (Saillard et al., 2011). El levantamiento de las rocas de la Cordillera de la Costa bloqueó el curso del río Ica (Figura 17d), haciendo variar el curso del río a una dirección norte-sur, con la finalidad de buscar su desembocadura hacia el Océano Pacífico. Este cambio de dirección contribuyó a la formación del valle de Ica.

Mientras tanto, la profundización de los ríos continúa en los valles de la vertiente del Pacífico de la cordillera andina y a diferencia de los otros periodos donde el material desemboca en el Océano Pacífico, en este periodo, los sedimentos o material erosionado se acumulan en la depresión o cubeta formada entre la Llanura Costera y la Cordillera de los Andes, ahora conocido como el valle de Ica.

1 Basamento Corteza terrestre conformada por rocas ígneas, metamórficas, granitizadas o altamente plegadas que soportan a las rocas sedimentarias.

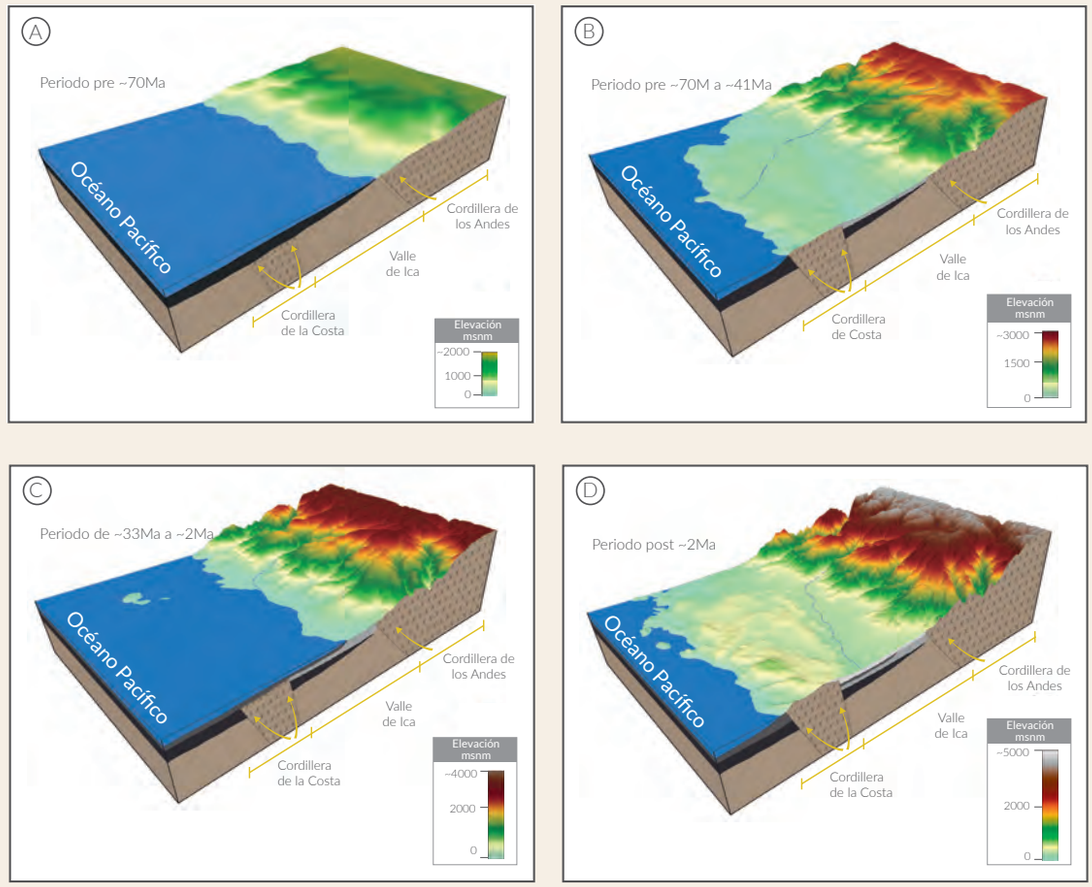


Figura 17 *Block de diagramas que resume la historia tectónica de los últimos ~70 millones de años. a) Representa el ingreso del Océano Pacífico al continente, cubriendo gran parte de la Costa peruana lo que da lugar a depósitos fluviodeltaicos; la Cordillera de los Andes comienza a formarse. b) La Cordillera de los Andes se levanta por procesos tectónicos, alcanza mayor elevación y como consecuencia el Océano Pacífico se retira de la Costa peruana; se comienzan a formar los valles en la Cordillera de los Andes y a su vez se forman extensos abanicos aluviales en la zona costera, a partir de los sedimentos que llegan de la Cordillera de los Andes. c) El nivel del Océano Pacífico incrementa y cubre nuevamente gran parte de la Costa peruana, mientras tanto, los valles de la Cordillera de los Andes se profundizan más y transportan más sedimentos a la Costa. En este periodo, se desarrolló uno DE los ecosistemas más ricos del mundo, conviviendo ballenas, cachalotes, delfines, tortugas, aves, delfín morsa y el perezoso acuático. d) La Costa peruana y la Cordillera de los Andes emergen nuevamente, generando el retiro del Océano Pacífico del continente. La Cordillera de la Costa alcanza mayor elevación y bloquea el paso del río Ica hacia el Océano Pacífico, generando el cambio de dirección y a su vez la formación de un valle de dirección N-S, único a lo largo de todos los Andes. Los valles de la Cordillera de los Andes son más profundos, presentan laderas inestables y transportan más sedimentos hacia el valle.*

Configuración de la cuenca hidrográfica:
interacción entre el relieve, roca, clima y erosión

Entonces, la formación de los Andes a lo largo de los últimos ~60 millones de años estuvo caracterizada por la interacción de procesos tectónicos, climáticos y de erosión, factores que modelaron el relieve y que dieron como resultado una topografía abrupta, con altas montañas, valles profundos, planicies costeras y el Altiplano (la segunda meseta más alta del mundo, ~4,000 metros de elevación). Gracias a todos estos procesos se individualizaron diferentes cuencas hidrográficas a lo largo de los Andes (e.g. cuenca Lima, Cañete, Pisco, Ica, Nazca, entre otros).

Una cuenca hidrográfica se define como una región en la cual el conjunto de aguas caídas sobre la superficie converge hacia un único río colector (e.g. río Ica). Se delimita de sus cuencas vecinas por una línea divisoria de aguas (Figura 18).

La topografía abrupta más las precipitaciones en las partes altas generan la profundización de los valles, la inestabilidad de taludes (deslizamientos y caída de rocas) y el transporte de grandes cantidades de sedimentos a lo largo de toda la red de drenaje. Los sedimentos luego se depositan en las partes más bajas o costeras, formando extensos abanicos aluviales (Figura 18).

Los ríos cumplen un papel principal en la dinámica de los relieves ya que sus perfiles longitudinales fijan el nivel de base de los canales tributarios, en consecuencia, condicionan procesos de remoción en masa (deslizamientos, caídas de rocas, avalanchas) en los interfluvios (Burbank et al., 1996). Implícitamente, ellos constituyen el mecanismo principal de transmisión/transporte de material a todo el drenaje de la cuenca (Sklar & Dietrich, 1998).

En conclusión, la actividad tectónica produce el relieve que controla los procesos superficiales influenciando los patrones de erosión (Figura 19), el desarrollo de las redes de drenaje, el crecimiento de cuencas sedimentarias y el clima local (van der Beek et al., 2010). Por otro lado, los procesos de erosión, transporte y sedimentación promueven la transferencia de grandes cantidades de material a través de la cadena montañosa o de la cordillera andina, para luego ser depositado en las partes más bajas y planas.

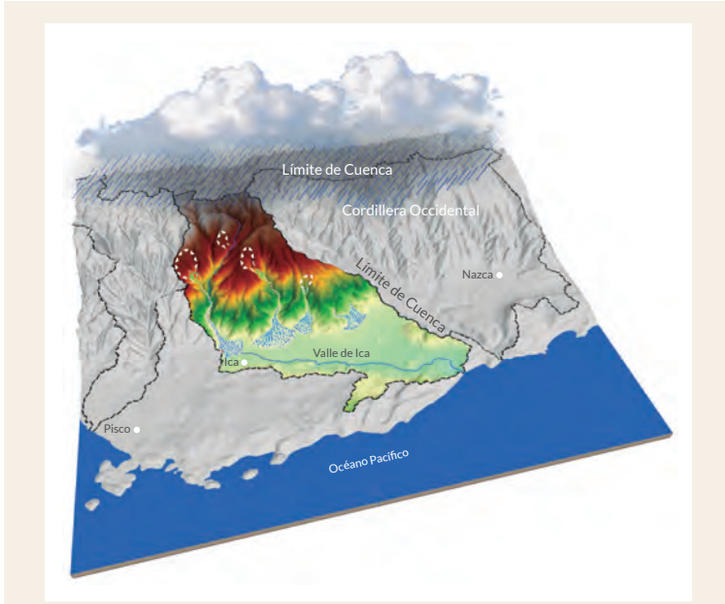


Figura 18 *El levantamiento de los Andes dio como resultado una topografía abrupta, pero gracias a esta evolución del relieve se pudieron individualizar diferentes cuencas hidrográficas (e.g. Pisco, Ica y Nazca). Cada una de estas cuencas están delimitadas por una línea divisoria de aguas (línea color negro), en cuyo interior se forman abanicos aluviales (puntos celestes).*

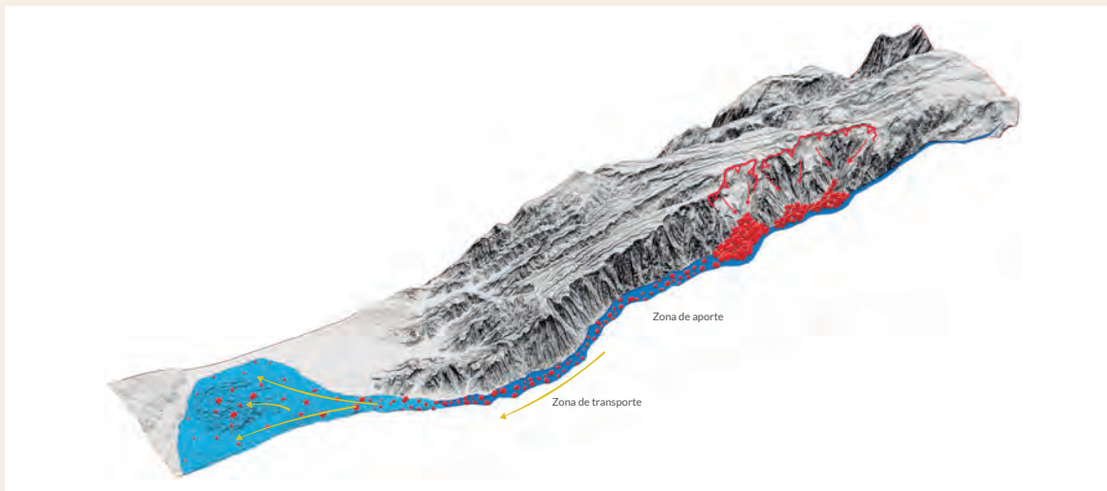


Figura 19 *Modelo de elevación digital (DEM) que muestra la vertiente del Pacífico de los Andes, caracterizada por tener elevación alta (>4,000 metros), valles profundos y topografía abrupta. Estas condiciones generan laderas inestables con pendientes altas, originando caída de rocas, avalanchas o deslizamientos (líneas color rojas) con la finalidad de buscar un punto de reposo o estabilidad. Todo el material/rocas caídas en el fondo del valle (círculos asimétricos en color rojo) son luego transportados a lo largo del cauce del río, hasta depositarse en zonas más planas, como las pampas costeras del Perú. Este proceso ocurre a lo largo de cada río principal y secundario de la cuenca hidrográfica, entonces tendremos como producto final la mezcla de los diferentes tipos de roca presentes en estas zonas, que imprimen las características mineralógicas y las propiedades físico-químicas de los sedimentos depositados en el valle de Ica.*

Dinámica
de los sedimentos

Desde el punto de vista geológico, el suelo es la capa más superficial, móvil y suelta de la corteza terrestre. Su formación típica comienza cuando la roca madre comienza a alterarse y disgregarse en el mismo lugar que aflora (in situ).

Pero no todos los suelos se forman bajo estas condiciones, es decir in situ y a partir de una sola roca madre o fuente. Existen suelos con procesos de formación más complejas, como los suelos del valle de Ica, que se formaron a partir de varias fuentes o tipos de sedimentos. Así, la diversidad de los sedimentos en el valle de Ica deriva de los distintos tipos de rocas que afloran en la Cordillera, los sedimentos descienden por la red de ríos desde la parte más elevada hasta la Costa. Del mismo modo, también descienden sedimentos de la zona de piedemonte de la Cordillera, el transporte de estos sedimentos situados en zonas de pendientes moderadas a bajas se asocia a lluvias extraordinarias (fenómeno El Niño) o lluvias de trasvase. Todos estos materiales (sedimentos) se depositan en el valle costero de Ica. La variedad de procesos sedimentarios contribuye en la diferenciación de las características físicas, mineralógicas y químicas de los sedimentos.

Pero es cierto que para formar suelos de alta calidad necesitamos condiciones climáticas apropiadas que contribuyan a la alteración de los minerales. El clima en Ica desde hace 15 millones de años es desértico, entonces surge la pregunta ¿Cómo formamos suelo sin precipitaciones?, la respuesta es que durante este periodo árido de tan larga duración existen tiempos cortos pero con alta precipitación

Épocas en las que se dieron las mayores acumulaciones de sedimentos

Entre 54,000 y 38,000 años

Entre 26,000 y 14,900 años

Entre 12,000 y 11,000 años

(e.g. fenómeno El Niño), estos periodos de corta duración tienen la facilidad de acumular grandes cantidades de sedimentos e inundar grandes zonas costeras.

Recientes trabajos en esta zona determinan que las mayores acumulaciones de sedimentos de los últimos tiempos se dieron en tres épocas: a) Entre 54,000 y 38,000 años, b) Entre 26,000 y 14,900 años y c) Entre 12,000 y 11,000 años. Cada una de estas épocas está asociada con tiempos de precipitación alta, tanto que permitieron generar en la cabecera de la cuenca Ica lagunas de extensiones similares al lago Titicaca, denominados como los paleolagos Minchin y Tauca (Steffen et al., 2009). En consecuencia, el valle de Ica, en los últimos miles de años tuvo condiciones privilegiadas para la formación de suelos.

Con la finalidad de representar y reproducir la erosión y el transporte de sedimentos en la cuenca Ica, utilizamos el programa CIDRE (Carretier et al., 2016), que nos permite modelar la interrelación entre el levantamiento de la vertiente del Pacífico de la cordillera andina, la erosión, la profundización de los valles, el transporte de los sedimentos y el clima para los últimos miles de años (Figura 20). Para ello simulamos tres litologías representadas en círculos de color verde, morado y anaranjado, esto con la finalidad de observar cómo estas litologías se pueden mezclar entre sí, por más que la fuente o zona de aporte sean diferentes. En la zona que corresponde a la Cordillera de los Andes se distribuyeron dos tipos de litologías (círculos de color verde y morado), mientras que en la Cordillera de la Costa se tomó en consideración solo una litología (círculo de color anaranjado). La parte central o el valle de Ica recibirá los aportes de todas estas litologías, será el lugar en el que se acumulan los sedimentos.

En este sentido escogimos seis escenarios que muestran (Figura 20):

En la geomorfología del valle de Ica es única, por la dirección que presenta, la distancia a la línea de costa y altura del valle. Estas características obedecen a procesos tectónicos relacionados con el levantamiento de la Cordillera de los Andes. Contemporáneo al levantamiento, los ríos profundizan su cauce a través de las diferentes litologías, transportando sedimentos hacia las partes más bajas, hasta encontrar el equilibrio y dar la configuración actual del drenaje de la cuenca del río Ica.

a) La **Cordillera de los Andes** con valles poco profundos, donde los círculos verdes y morados comienzan a rellenar el valle de Ica, del mismo modo que por el lado de la Cordillera de la Costa.

b) Los valles de la **Cordillera de los Andes** se desarrollan más y profundizan generando un relieve abrupto. La acumulación de los sedimentos es mayor en el valle de Ica, asociada a la erosión y transporte de sedimentos de la Cordillera de los Andes. Se comienza a generar también una red de drenaje en el valle de Ica.

c) **El relieve** es más abrupto en la Cordillera de los Andes, los ríos comienzan a cambiar de direcciones con la finalidad de buscar su desembocadura al Océano Pacífico, la Cordillera de la Costa se lo impide. Esta acción de los ríos en el valle de Ica, genera que los sedimentos se mezclen entre sí.

d) **Los ríos** se desarrollan cada vez más en el valle de Ica, mientras continúa el depósito de sedimentos en esta zona.

e) **Los ríos** llegan a desarrollarse más y cruzan la Cordillera de la Costa, logran tener un paso directo hacia el Océano Pacífico.

f) Finalmente, la **Cordillera de la Costa** y de los **Andes** incrementan su elevación, y corta el paso a la desembocadura de los ríos. Con el incremento de elevación de los Andes hay mayor erosión y, por consiguiente, aporte de sedimentos al valle de Ica. Los ríos siguen buscando su salida hacia el Océano Pacífico, y el río Ica cambia de dirección a norte-sur, tal como se le conoce en la actualidad, para luego cruzar la Cordillera de la Costa más al sur. La migración de ríos en el valle de Ica favoreció el rejuvenecimiento continuo del valle generando condiciones para la formación de suelos excepcionales.

En síntesis, la geomorfología del valle de Ica es única, por la dirección que presenta, la distancia a la línea de costa y altura del valle. Estas características obedecen a procesos tectónicos relacionados con el levantamiento de la Cordillera de los Andes. Contemporáneo al levantamiento, los ríos profundizan su cauce a través de las diferentes litologías, transportando sedimentos hacia las partes más bajas, hasta encontrar el equilibrio y dar la configuración actual del drenaje de la cuenca del río Ica.

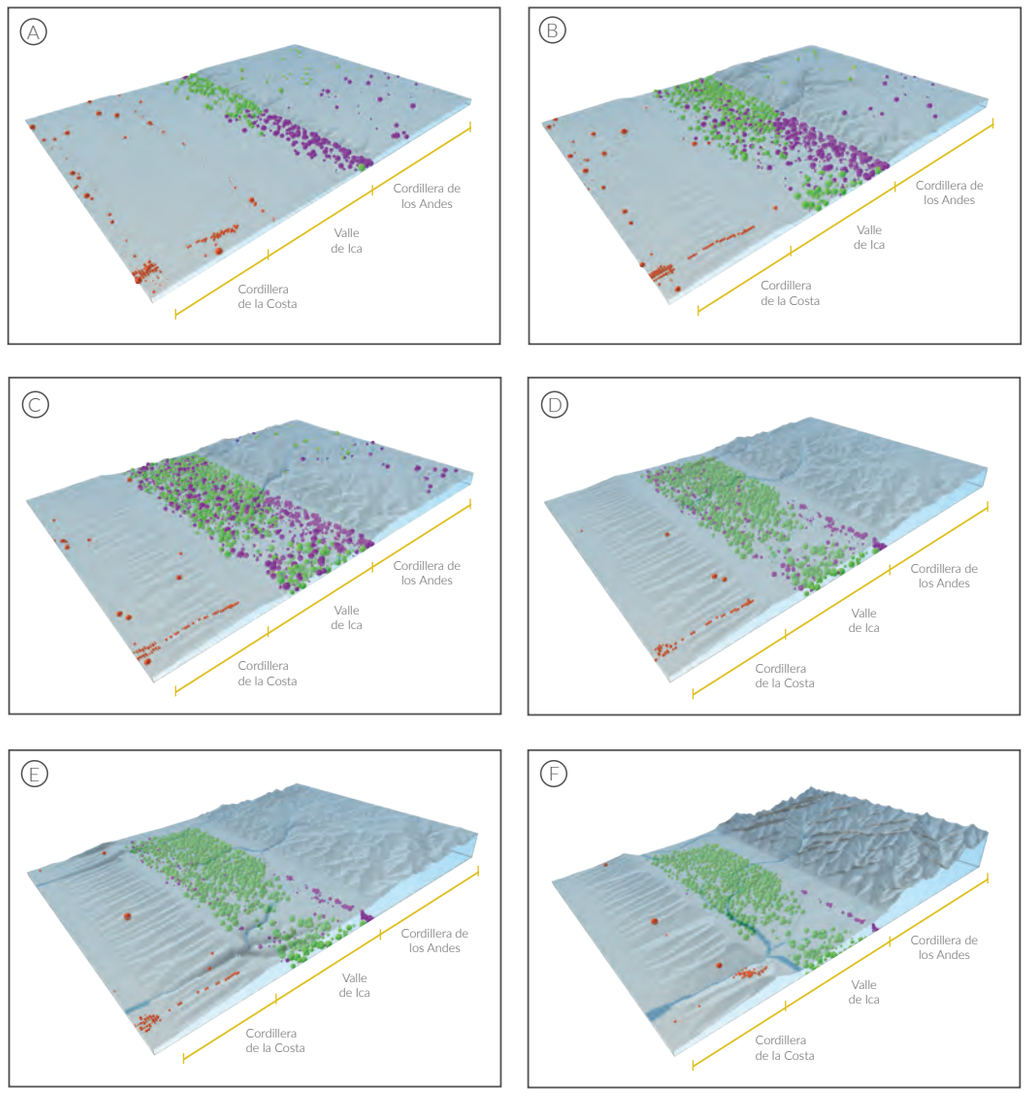


Figura 20 *Block de diagramas desarrollados a partir de modelos numéricos con CIDRE. Las figuras muestran la evolución del relieve y sus implicancias en el levantamiento andino, erosión, profundización de los valles y acumulación de sedimentos en las partes bajas (valle de Ica). Los círculos con coloraciones verdes, morado y anaranjado representan diferentes litologías que van interactuando con el transcurrir del tiempo, modelando el paisaje del valle de Ica, conjuntamente con la migración de los cauces del río. El cauce del río Ica tiene una dirección norte-sur, única a lo largo de toda la cadena andina, esta modificación responde a procesos geológicos que controlaron el levantamiento de bloques. El cambio de dirección constante de ríos en el valle del Ica dio como resultado un rejuvenecimiento continuo del valle, generando condiciones para la formación de suelos excepcionales.*

Capítulo V

EL LEGADO de las **ROCAS**

El legado
de las rocas

Las rocas son cuerpos sólidos de gran importancia para la vida en el planeta y para el mantenimiento de nuestra civilización. Las rocas han formado y forman parte de la vida del hombre e incluso de muchos animales; brindan refugio, es material de construcción y materia prima para la fabricación de herramientas y tecnología. Sin embargo, es el material suelto (suelo), generado a partir de la desintegración de las rocas por agentes meteóricos, el mayor legado de las rocas para el soporte de la vida terrestre.

En este capítulo nos ocuparemos de las características en la forma de deposición de los sedimentos, estableceremos su posible procedencia y sus particularidades mineralógicas y químicas.

Los sedimentos
y su historia

Los materiales terrestres y rocosos cuando son expuestos a los agentes atmosféricos, en o cerca de la superficie terrestre, sufren cambios en color, textura, composición, firmeza o forma sin transporte del material suelto o alterado. Todos estos cambios se generan por intemperismo o meteorización, que involucra la destrucción física (desintegración) y la alteración química (descomposición) de las rocas.

Producto de la meteorización se forma una capa in situ de partículas desgastadas (detritos) y preparados para su transporte, a esta capa se le denomina **regolito.** La **erosión** es el proceso de transporte del material meteorizado mediante una variedad de mecanismos y agentes, entre los que destacan el agua, el viento y la gravedad. El material transportado por el agua incluye sedimentos y partículas disueltas. Finalmente el **sedimento** será depositado por procesos físicos, químicos y biológicos en una zona de depositación (ambiente sedimentario) en el continente o en el mar (Nichols, 2009) (Figura 21).

Un **ambiente sedimentario** es una región donde se acumulan y depositan grandes cantidades de sedimentos. Cuando la sedimentación ocurre en el continente se denomina **ambiente sedimentario terrestre** y si se diera en el mar corresponde a un **ambiente sedimentario marino.** Existe una variedad de ambientes sedimentarios terrestres que se forman por distintos agentes climáticos, así tenemos de los tipos: fluvial, aluvial, lacustre, glacial y eólico.

La acumulación de sedimentos y su modificación en un ambiente sedimentario específico genera una suma de características texturales, composicionales y estructurales, que se registran en las facies sedimentarias.

En un **ambiente fluvial,** los ríos provocan erosión, transporte y sedimentación. Estos procesos dependen de múltiples factores como la forma del canal, la velocidad de la corriente de agua y el tamaño de las partículas (sedimentos). Los ríos se caracterizan por erosionar verticalmente el terreno dando lugar a valles fluviales y cañones.

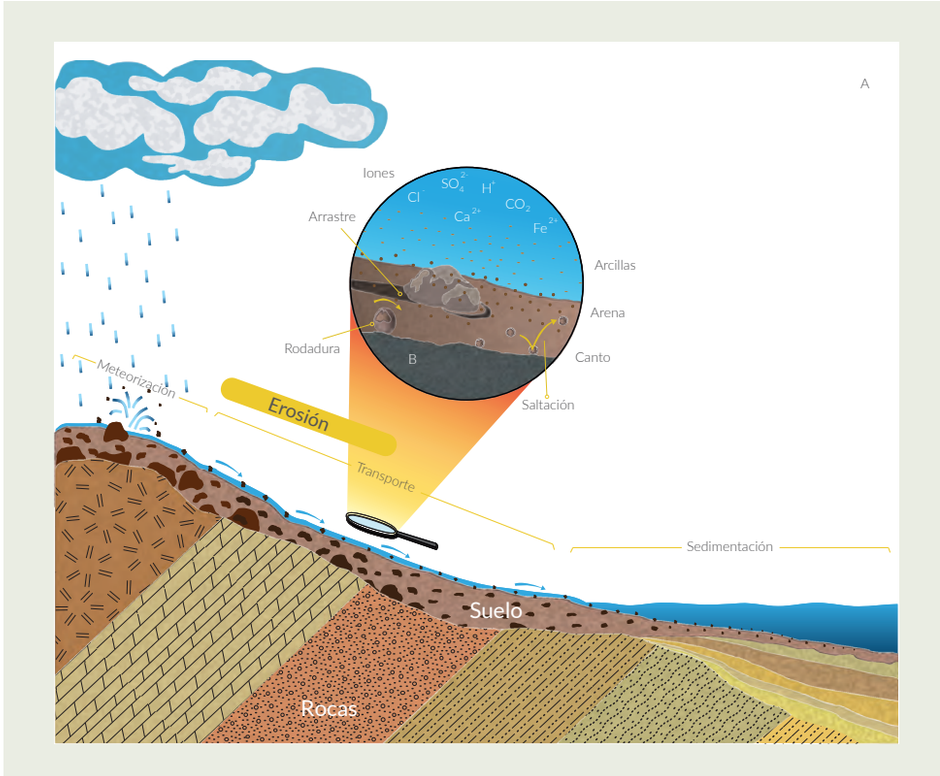


Figura 21 *Esquema de proceso erosión/sedimentación. A. El agua es uno de los principales agentes modeladores del relieve. Este agente erosiona, transporta y sedimenta materiales en un proceso lento y continuo. Su papel principal consiste en retirar los materiales sueltos y transportarlos a zonas más bajas. B. El agua transporta sedimentos de variados tamaños (cantos, arenas y arcillas) por diferentes mecanismos (rodadura, arrastre, saltación y suspensión), pero además de sedimentos también transporta iones en disolución (Plummer & McGeary, 1999).*

Los **depósitos fluviales** son sedimentos que se acumulan a partir de los materiales que transportan los ríos, los cuales se pueden generar en diversas condiciones climáticas (Arche, 2010). Los **sedimentos** son transportados y acumulados en el curso medio y bajo de los ríos dando origen a los depósitos de canales, las llanuras de inundación y las terrazas (Figura 22). Los **canales** están constituidos por sedimentos gruesos (gravas y arenas) que los ríos transportan en periodos de alta energía; las **llanuras de inundación** constan de sedimentos finos encontrados en suspensión en las aguas del río que inundan las zonas bajas y planas adyacentes al canal; las terrazas representan depósitos fluviales antiguos del río, los cuales fueron depositados a los lados adyacentes al cauce. Cada uno de estos depósitos se caracterizan por el tamaño de los sedimentos y la forma de acumulación los cuales están determinados por la cantidad de sedimentos, la inclinación del río y las variaciones estacionales del flujo (Nichols, 2009).

Por otro lado, en un **ambiente aluvial** los sedimentos se depositan a partir de los torrentes de montaña. Se pueden formar en zonas con condiciones climáticas que van desde húmedas hasta áridas y son producidos por el avance detrítico que se extiende desde la base de una montaña hacia una zona llana ubicada a una altura menor, ayudados principalmente por agua y

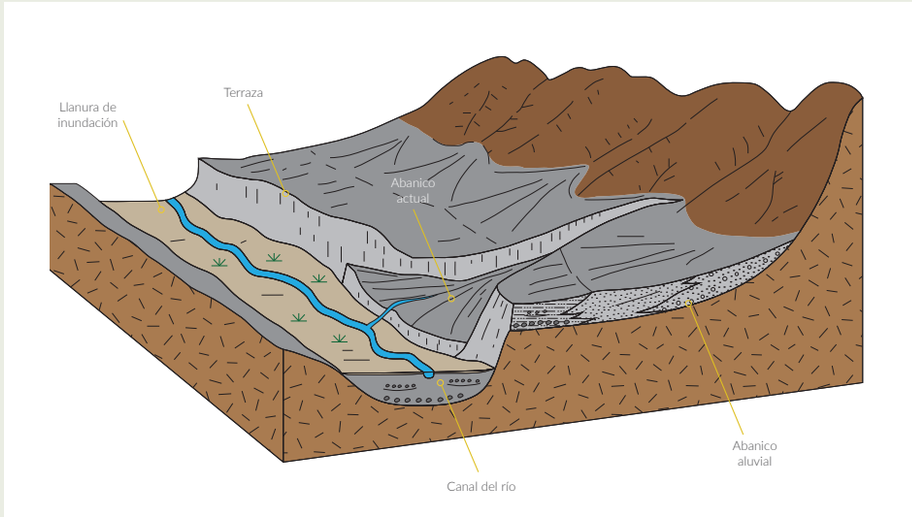


Figura 22 *Morfología de depósitos aluviales y fluviales. Fuente: Hürlimann , 2015. El material transportado y depositado por la acción del río conforma los depósitos fluviales, que según su dinámica dan lugar a depósitos de canal y llanura de inundación. En cambio, los materiales que bajan de las zonas de mayor pendiente y se acumulan en zonas más planas forman depósitos aluviales, que por su forma de disposición se denominan abanicos aluviales. Estos depósitos pueden desarrollarse en las márgenes de los valles fluviales, como se muestra en la figura. Con el socavamiento del río ambos tipos de depósitos conforman terrazas.*

gravedad; estos tipos de depósitos se forman como producto de interacciones complejas de erosión y deposición (Collinson, 1996).

Los **depósitos aluviales** tienen un espesor apreciable y conforman terrazas desarrolladas especialmente en los márgenes de valles fluviales. Estos depósitos están compuestos por detritos mal clasificados cuya granulometría varía desde la arcilla hasta las gravas gruesas, cantos y bloques. Con la distancia desde su origen los sedimentos se hacen de grano más fino, presentan organización en capas (estratos) y entran en transición con depósitos de otros ambientes (fluviales, lacustres, etcétera).

Los sedimentos presentan cambios con respecto a su posición dentro del abanico aluvial. La zonación del abanico aluvial también es apreciable en la forma del terreno, tal es así que en zonas más proximales el terreno presenta una mayor pendiente o inclinación, la cual disminuye en forma gradual hacia las zonas más distales. La primera zona es el abanico proximal, constituido por sedimentos predominantemente gruesos, se sitúa por debajo del límite roca-depósito y posee una inclinación pronunciada (8 % a 15 %); la segunda es el abanico medio, constituido por sedimentos menos gruesos que el abanico proximal, presenta intercalaciones de sedimentos gruesos y finos, en esta zona los canales son trenzados y muestran un notorio cambio de pendiente (4 % a 8 %); finalmente la tercera zona es el abanico distal, constituido por sedimentos predominantemente finos, se presentan numerosos canales con una pendiente muy débil (0 % a 4 %) (figuras 23 y 24).

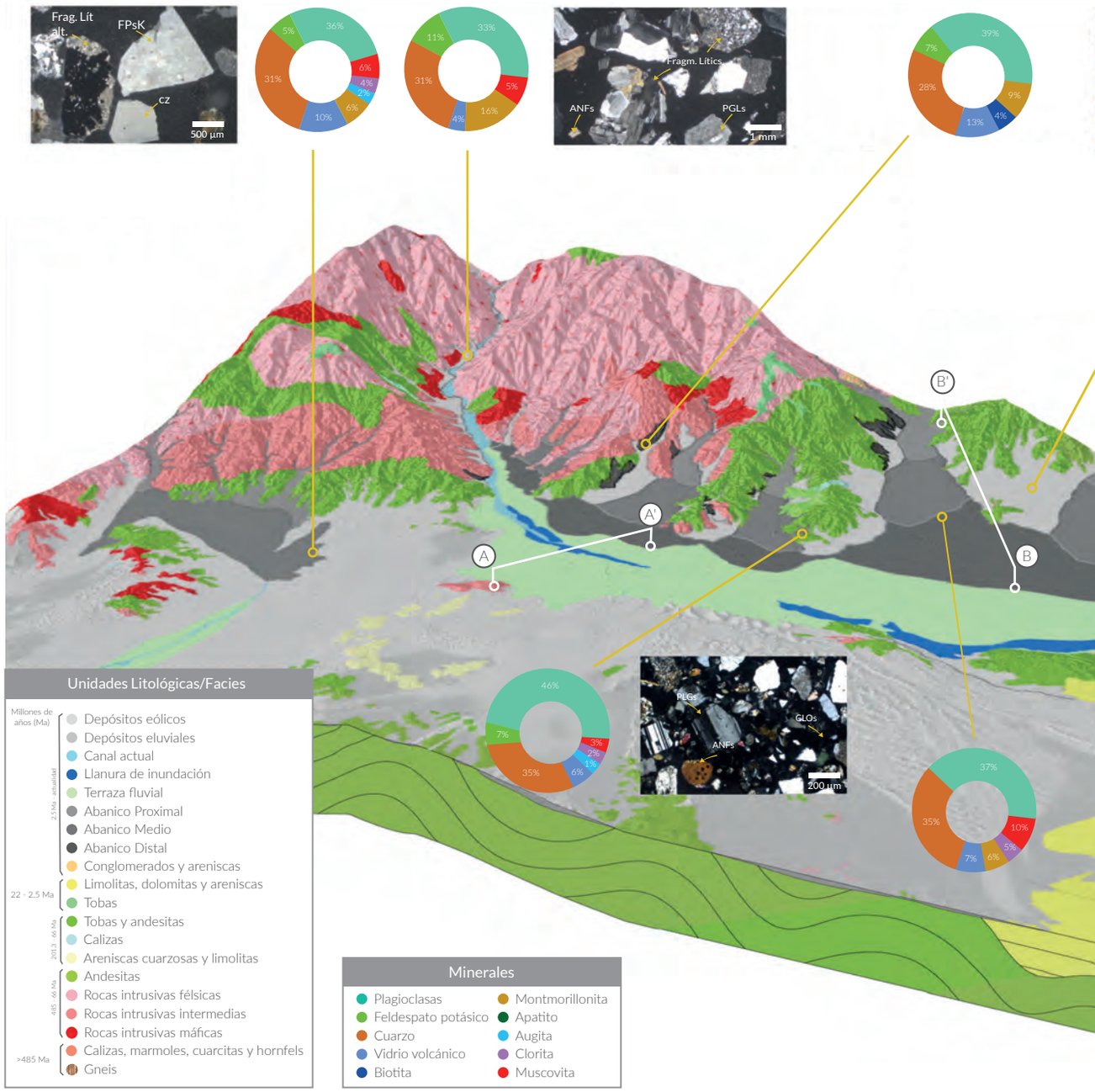
Los sedimentos
del valle de Ica

La naturaleza de los depósitos (fluvial, aluvial, eólico, eluvial) imprime propiedades físico-químicas en los suelos, de ahí que surge la importancia de conocer las características de la sedimentación, la mineralogía y la química de los sedimentos que dieron origen a los suelos del valle de Ica.

Con base en estudios geológicos anteriores, en la zona que circunscribe el valle de Ica se han reconocido varios tipos de depósitos de edad Cuaternaria (Figura 23), entre ellos están los depósitos eólicos, eluviales, fluviales y aluviales. Sin embargo, solo se dará mayor detalle a las características físicas, químicas y mineralógicas de los depósitos fluviales y aluviales que conforman el valle propiamente dicho.

Los **abanicos aluviales** presentan un gran desarrollo longitudinal pues los materiales que los componen pueden alcanzar una distribución de hasta 20 km. En el corte longitudinal B-B' sobre el abanico de la zona de Los Aquijes (Figura 23), se observan materiales de tamaño más grueso en las zonas más próximas al área fuente, mientras que en las zonas más lejanas o distales existe una reducción gradual del tamaño de los clastos (Figura 24), lo que es acorde con la definición de las facies de abanicos aluviales.

Los **depósitos fluviales** se encuentran a lo largo del río Ica distribuidos como depósitos de canales, llanura de inundación y terrazas, los que se pueden apreciar en el corte trasversal A-A' del río Ica en el sector norte del valle (Figura 25).


Frag. Lít alt.
FPsK
cz
500 µm
36%
6%
4%
2%
6%
10%
31%
5%
33%
11%
5%
16%
4%
31%
Fragm. Litics
ANFs
PGLs
1 mm
39%
9%
4%
13%
28%
7%
A
A'
B
B'
46%
3%
2%
1%
6%
35%
7%
PLGs
GLOs
ANFs
200 µm
37%
10%
5%
6%
7%
35%
Unidades Litológicas/Facies
Millones de años (Ma)
2.5 Ma - actualidad
Depósitos eólicos
Depósitos eluviales
Canal actual
Llanura de inundación
Terraza fluvial
Abanico Proximal
Abanico Medio
Abanico Distal
Conglomerados y areniscas
22 - 2.5 Ma
Limolitas, dolomitas y areniscas
Tobas
201.3 - 66 Ma
Tobas y andesitas
Calizas
Areniscas cuarzosas y limolitas
485 - 66 Ma
Andesitas
Rocas intrusivas félsicas
Rocas intrusivas intermedias
Rocas intrusivas máficas
>485 Ma
Calizas, marmoles, cuarcitas y hornfels
Gneis
Minerales
Plagioclasas
Feldespato potásico
Cuarzo
Vidrio volcánico
Biotita
Montmorillonita
Apatito
Augita
Clorita
Muscovita

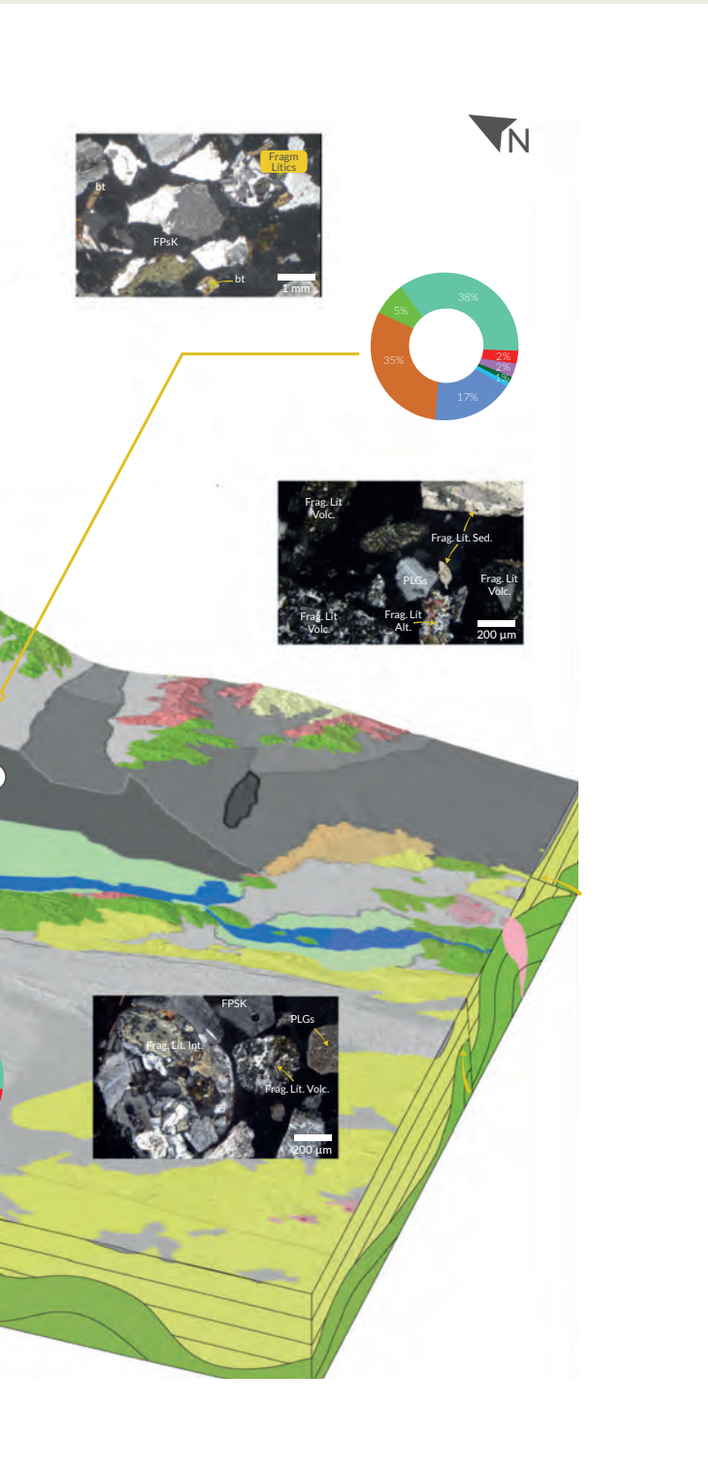


Figura 23 *Mapa de distribución de las diferentes rocas y depósitos recientes que circundan el valle de Ica. Los círculos representan el contenido de minerales en la fracción limo-arcilla de los depósitos aluviales. En las fotomicrografías se puede observar la mineralogía de la fracción arena.*

Abanico Aluvial de Tacama (valle de Ica)

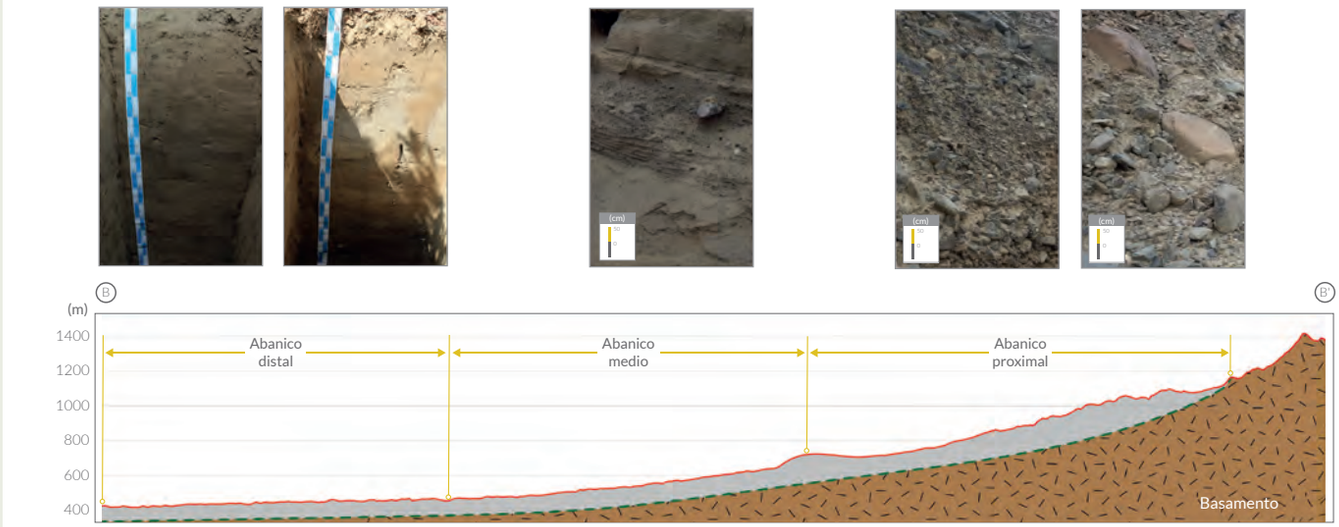


Figura 24 *Zonación de los diferentes tipos de sedimentos del abanico aluvial de Los Aquijes, vista en un perfil longitudinal.*

Sección transversal del Río Ica en el sector del Carmen

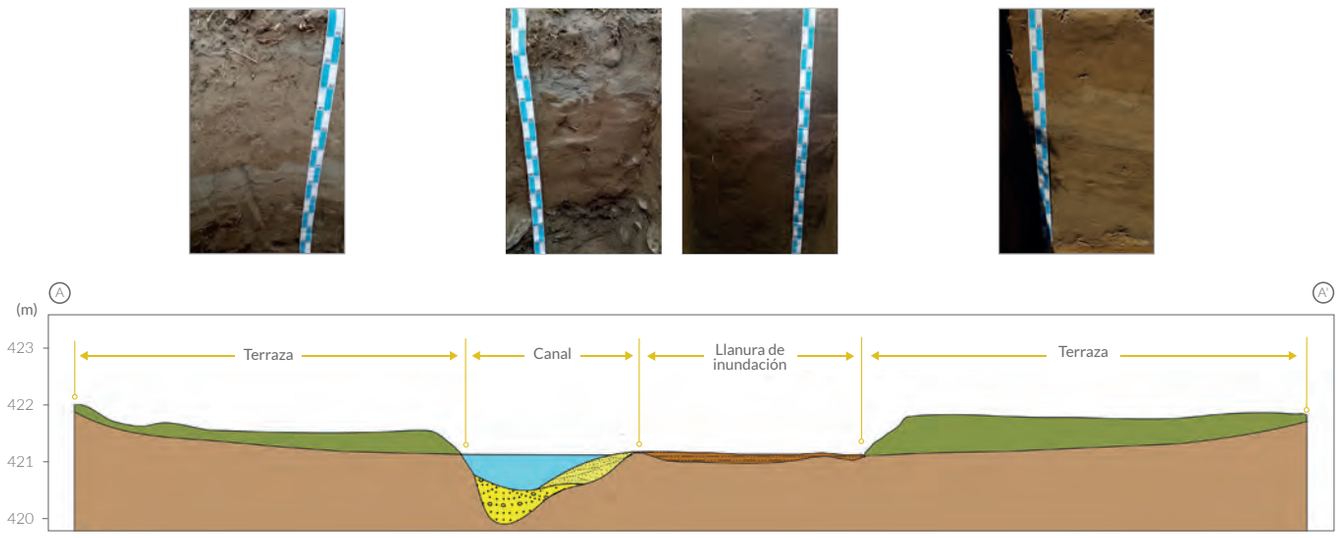


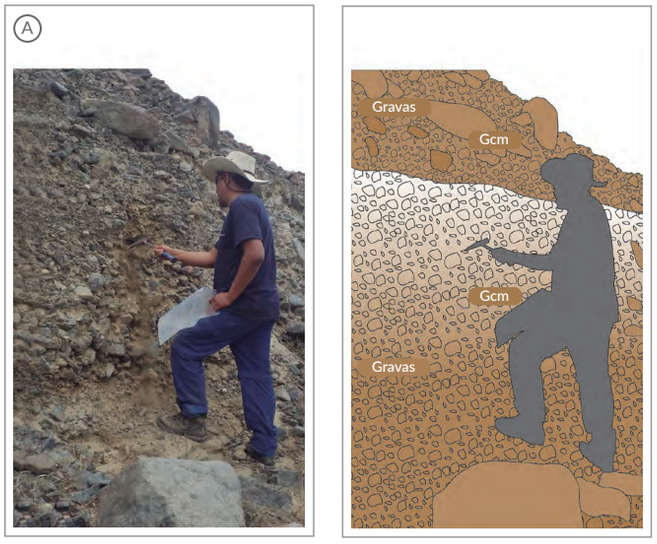
Figura 25 *Distribución de los depósitos fluviales en la parte norte del valle de Ica (sector de El Carmen), se muestran los depósitos de canal, llanura de inundación y terrazas.*

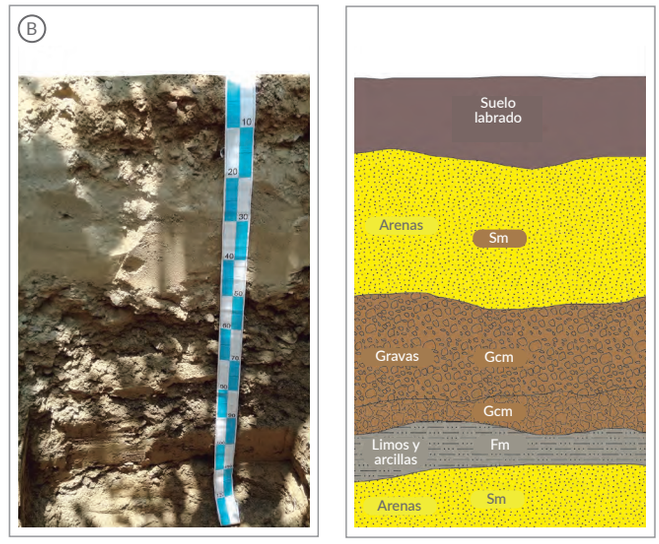
Depósitos aluviales

Los sectores proximales (Figura 24) del abanico se caracterizan por poseer sistemas de canales entrelazados en los que se desarrollan barras compuestas predominantemente por gravas masivas, inmersas en una matriz de arenas y limos (Gcm), todos estos sedimentos son transportados por flujos turbulentos o también llamados comúnmente como "huaycos", los que pueden llegar a transportar hasta bloques (Figura 26A).

El **sector medio** (Figura 24) presenta una menor cantidad de canales entrelazados, los **depósitos dominantes** son los canales con relleno de gravas y arenas en aspecto masivo o sin estructura (Gcm), así también son comunes las barras de arena (Sm). La energía del flujo que transporta estos materiales es más baja que en el sector proximal, lo cual posibilita que los sedimentos finos como limos y arcillas (Fm) se conserven (Figura 26B).

El **sector distal** (Figura 24) muestra extensas llanuras de material fino como limos y arcillas. En estos sectores los canales prácticamente desaparecen y solo llegan materiales finos como limos, arcillas y arenas finas, los cuales son transportados por flujos no canalizados, pero sí en suspensión. Los sedimentos finos suelen presentarse en forma masiva y hasta en láminas horizontales (Fm, Sm y Sh) (Figura 26C).





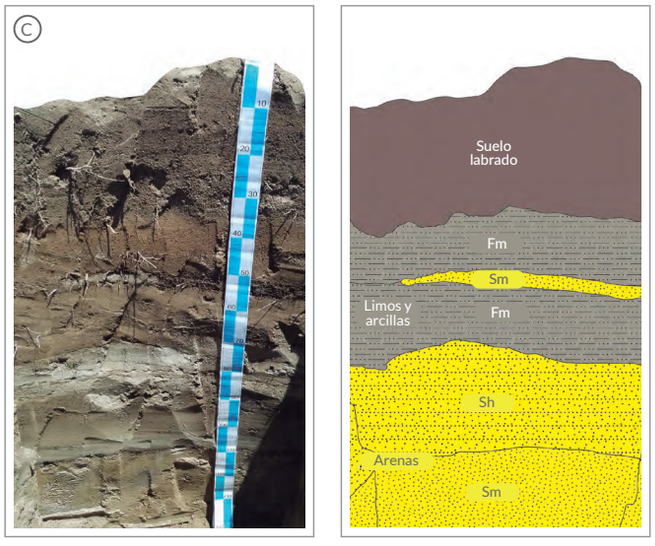


Figura 26 *Sedimentos aluviales. A. Depósito de abanico proximal. B. Depósito de abanico medio. C. Depósito de abanico distal. Se observan diferencias de textura y estructura mucho más marcadas que en los depósitos fluviales. Se reconocen las siguientes facies (Miall, 1996): grava con poca matriz (Gcm), arenas sin estructuras o masivas (Sm), arenas con laminación horizontal (Sh) y limos y arcillas sin estructura o masivas (Fm).*

Depósitos fluviales

Los depósitos de canal en el valle de Ica están distribuidos en el curso del río (Figura 25), los cuales estan compuestos por gravas y arenas. Estas gravas son redondeadas con diámetros en promedio de 10 cm en una matriz arenosa (Gcm y Gmm), las arenas poseen un aspecto masivo o sin estratos (Sm), también pueden presentar laminaciones horizontales y sesgadas (Sh y St) (Figura 27A).

Los **depósitos de llanura de inundación** estan distribuidos en las zonas adayacentes al canal de río (Figura 25). Están compuestos principalmente por sedimentos finos, tales como limos y arcillas, que de modo general poseen un aspecto masivo o sin estructura (Fm) y forman amplias zonas llanas (Figura 27B).

Los **depósitos de terraza** están distribuidos en los lados adyacentes al cauce (Figura 25), están compuestos por depósitos fluviales antiguos (depósitos de canal y llanuras de inundación). Estos sedimentos están conformados por gravas, arenas y sedimentos finos (limos y arcillas) que crean zonas elevadas planas (Figura 27C).

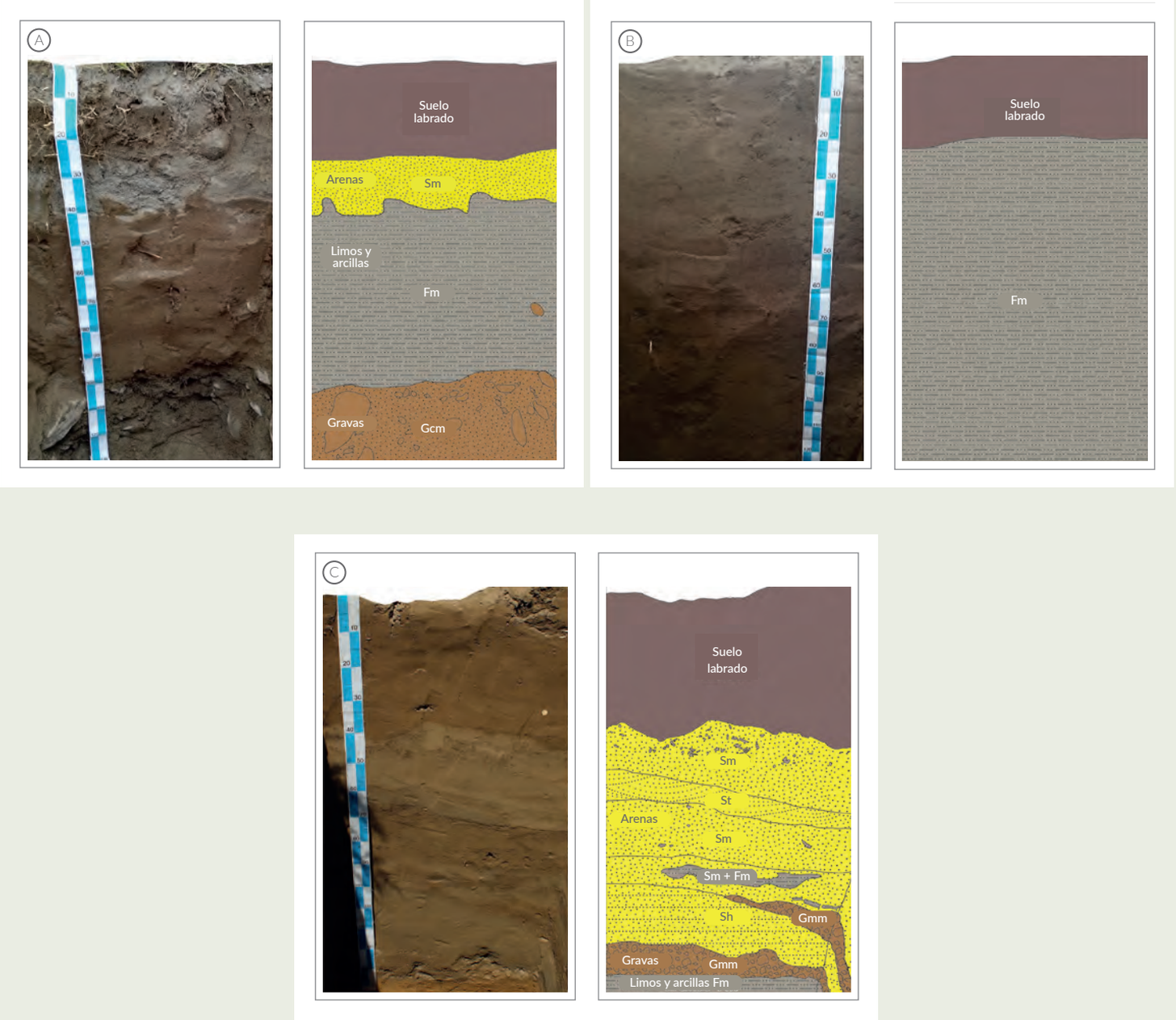


Figura 27 *Sedimentos fluviales. A. Depósito de canal. B. Depósito de llanura de inundación. C. Depósito de terrazas. Los tres depósitos se diferencian en textura y estructura. Es así como se diferencian facies propias para cada depósito: grava con poca matriz (Gcm), grava con abundante matriz (Gmm), arenas sin estructuras o masivas (Sm), arenas con laminación horizontal (Sh), arenas con laminación sesgada (St) y limos y arcillas sin estructura o masivas (Fm).*

Características mineralógicas de los sedimentos

La distribución de los componentes mineralógicos en los sedimentos depende en cierta medida del material fuente (tipo de roca) del que proviene, de la configuración de la cuenca hidrográfica y de la intensidad de los procesos de meteorización, erosión y transporte. En las zonas más distales del área fuente estarán presentes minerales más resistentes a dichos procesos, mientras que en las zonas más cercanas la mineralogía corresponderá directamente a los componentes mineralógicos de la roca.

Una de las formas de determinar la **mineralogía de la fracción arena** es a través de una lámina delgada con la ayuda de un microscopio óptico. Este equipo utiliza la luz visible y un sistema de lentes para magnificar imágenes de muestras. Por otro lado, para conocer la mineralogía en la fracción limo-arcilla se utiliza la técnica de difracción de rayos X, el cual se basa en la radiación electromagnética de la misma naturaleza que la luz, pero con longitud de onda mucho más corta.

Precisamente, mediante los análisis mencionados se logró determinar la mineralogía de la fracción arena de los depósitos aluviales del valle de Ica, donde se observan asociaciones de minerales, tales como plagioclasas, feldespato potásico, cuarzo y fragmentos de rocas volcánicas e intrusivas que están ligadas directamente a la fuente de roca del cual derivan. Así, en los **depósitos aluviales del norte** sobresalen fragmentos de rocas intrusivas félsicas e intermedias, fragmentos líticos alterados y plagioclasas. En cambio, hacia el sur predominan las plagioclasas, los líticos volcánicos y cuarzo. En el sector de Ocucaje se observan plagioclasas, líticos alterados e intrusivos. (Figura 23).

En la **fracción limo-arcillosa** se observan plagioclasas, feldespato potásico, cuarzo y muscovita, los cuales están asociados a una fuente de rocas ígneas félsicas e intermedias, rocas que se ubican principalmente al norte del valle. La augita es un mineral máfico y está relacionado a las rocas volcánicas tipo andesita que afloran en menor proporción hacia el norte y el este. El vidrio volcánico deriva de las tobas y andesitas presentes en la zona; por otro lado, los minerales como montmorillonita y clorita corresponden a la alteración de minerales primarios de la roca como feldespato potásico, augita, anfíboles y biotita (Figura 23).

Características químicas de los sedimentos

La composición química de los depósitos aluviales y fluviales del valle de Ica se determina mediante la disolución del sedimento en ácidos y la medición con el espectrómetro de masas por plasma de acoplamiento inductivo (ICP).

Los elementos químicos necesarios para el desarrollo de la vid son el potasio (K), el hierro (Fe), el magnesio (Mg), el calcio (Ca), el manganeso (Mn), el fósforo (P), el azufre (S), el cobre (Cu), el zinc (Zn), el molibdeno (Mo) y el níquel (Ni). La concentración y la distribución espacial de estos elementos en el valle de Ica están representadas en los mapas de isolíneas (figuras 28 y 29). La elaboración de estos mapas se basan en el trazado de líneas sobre puntos de igual valor, en el cual se realiza una interpolación para determinar valores desconocidos a partir de valores conocidos.

En dichos mapas se observan diferencias en las concentraciones del K, P, Mg, Ca, Cu, Mo, Zn y Ni, en los depósitos fluviales y aluviales a lo largo del valle de Ica. En los sectores de Villacurí e Ica norte se registran mayores contenidos de K, en Ica sur se observan valores intermedios y en el sector de Villacurí tienden a ser bajos. En cambio, el P y el Ca tienen un comportamiento inverso al K, es así como en Villacurí se observan altos valores, en Ica norte y Ocucaje son bajos, mientras que en Ica sur presentan valores intermedios. Por otro lado, el Mg es alto en Ica sur, en Ica norte y Ocucaje es bajo y

Los elementos químicos necesarios para el desarrollo de la vid son:

- **K** — Potasio
- **Fe** — Hierro
- **Mg** — Magnesio
- **Ca** — Calcio
- **Mn** — Manganeso
- **P** — Fósforo
- **S** — Azufre
- **Cu** — Cobre
- **Zn** — Zinc
- **Mo** — Molibdeno
- **Ni** — Níquel

en Villacurí presenta valores intermedios (Figura 28). Con relación a los elementos traza, se observa que el Mo y el Ni tienen valores altos en Ica sur y son bajos en las demás zonas. El Cu es también alto en Ica sur, tiende a ser medio en Ica norte y Ocucaje, mientras que en Villacurí es bajo. El Zn es también alto en Ica sur, tiende a ser intermedio en Villacurí e Ica norte, y es bajo en la zona de Ocucaje.

Los altos valores de K y P están relacionados a la presencia de feldespato potásico y al apatito, respectivamente, los que se hallan asociados a las rocas félsicas. El Ca y el Mg se relacionan a plagioclasas y ferromagnesianos, respectivamente, estos minerales son afines a las rocas volcánicas. Además, los mayores contenidos de Cu, Mo, Zn y Ni, en el sector de Ica sur, están ligados a la presencia de ocurrencias minerales de Cu-Au y Cu hospedadas en las rocas intrusivas félsicas ubicadas, en las partes altas, al este de este sector.

En esencia, las **diferencias mineralógicas y químicas** en los **depósitos fluviales y aluviales del valle de Ica** reflejan la variada mineralogía de la roca madre de donde proceden y la fuerte influencia de los procesos sedimentarios. Por lo tanto, las características de los depósitos sedimentarios del valle controlan las propiedades físicas y físico-químicas de los suelos que se desarrollan a partir de estos depósitos y, por consecuencia, estas propiedades ejercen un efecto sobre el extraordinario desarrollo de la vid pisquera en este valle.

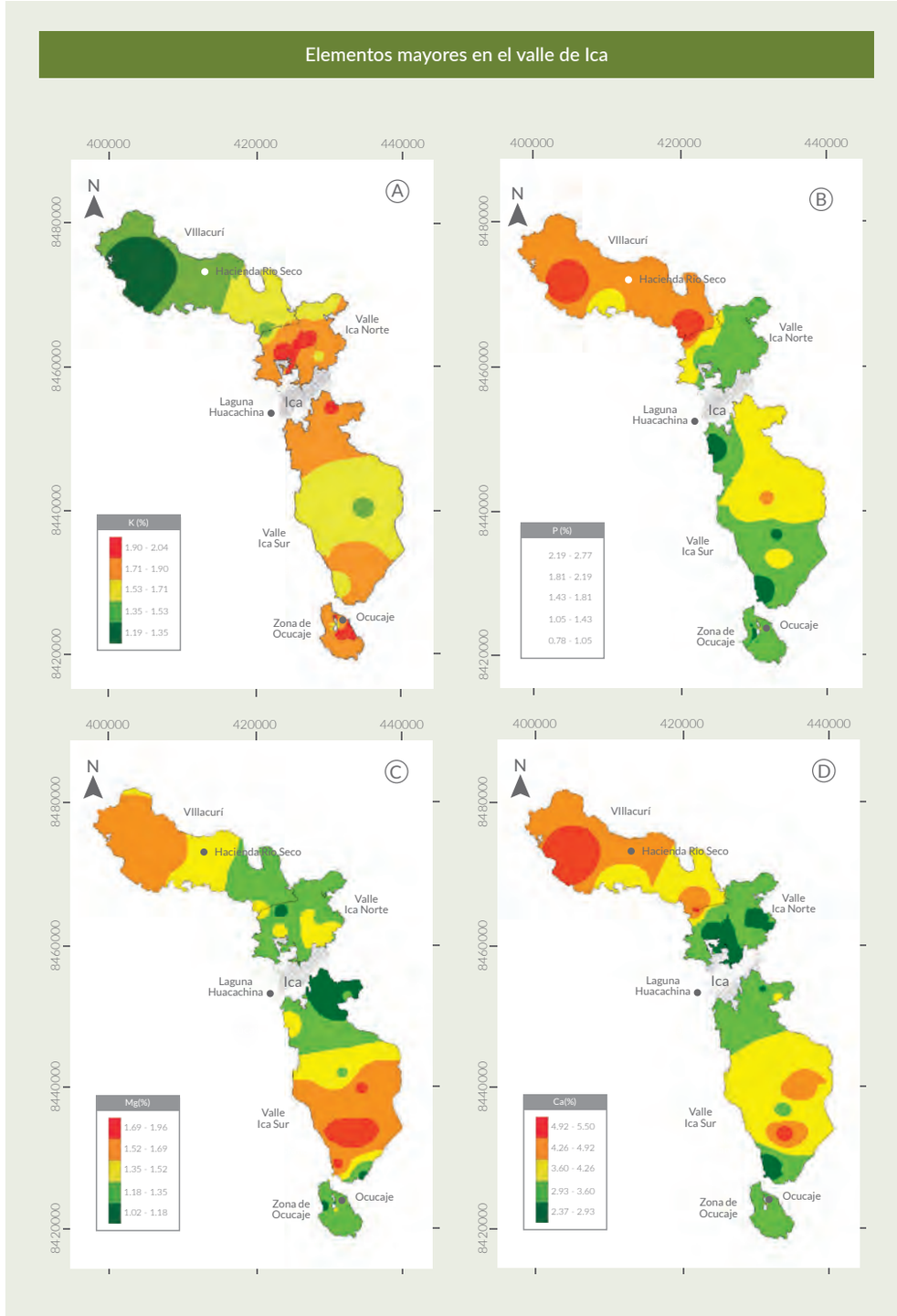


Figura 28 *Mapa de distribución de los elementos mayores en el valle de Ica.*

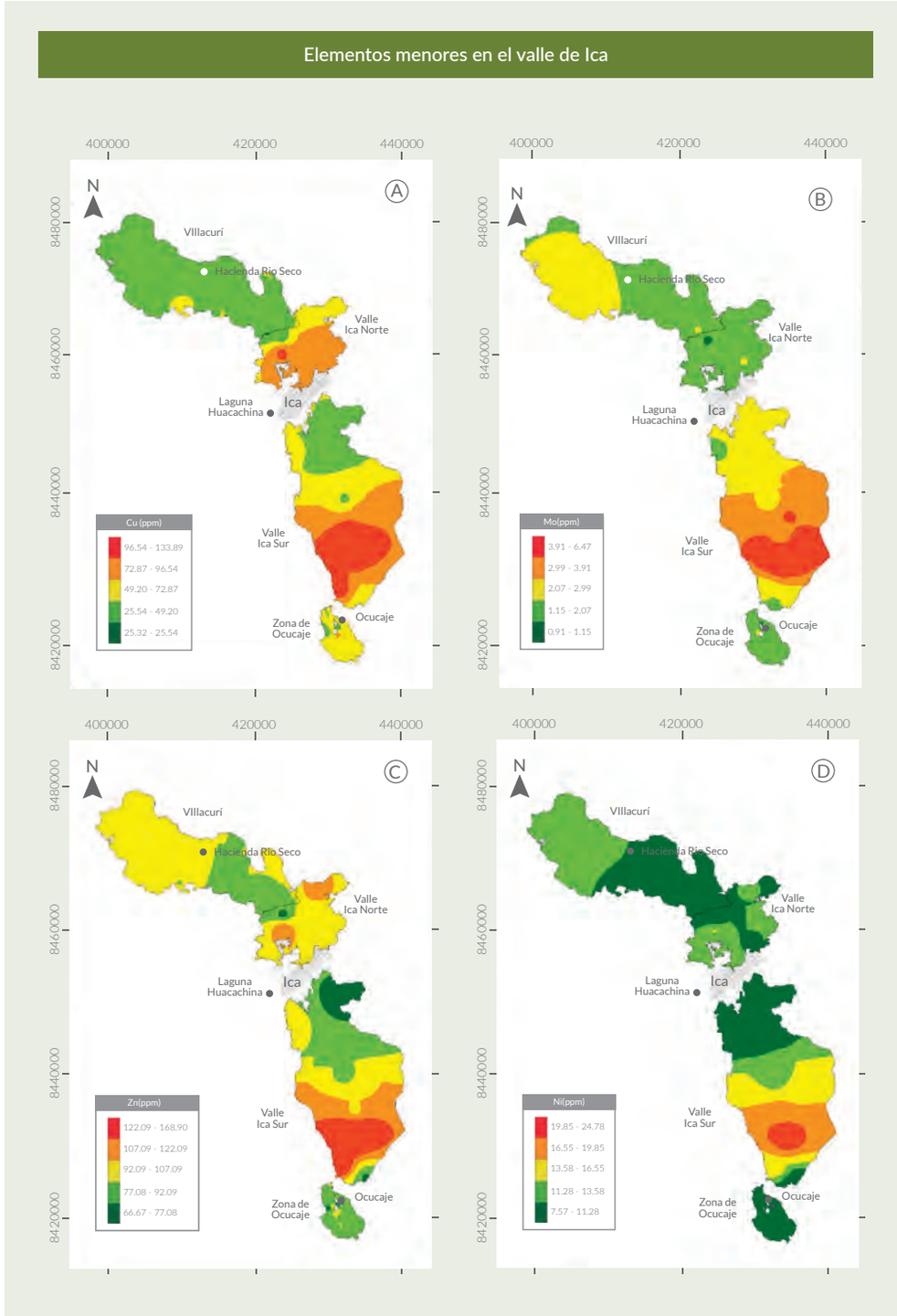


Figura 29 *Mapa de distribución de los elementos traza en el valle de Ica.*

Capítulo VI

SUELO que EMANA **PISCO**

© Karina Mendoza | PROMPERÚ

Suelo que
emana pisco

La influencia directa del suelo en la calidad del vino continúa siendo un tema controversial; y aunque ya es clásico el estudio de Amstrong y Wetherby (1977), sin duda el desarrollo de estudios que ahondan en el análisis de los parámetros del suelo que determinan dicha influencia, constituyen bases que abren fronteras para futuras investigaciones y mayor conocimiento del tema.

Análogo al vino, las uvas pisqueras de donde se extrae el pisco contienen aromas y sabores que aportan sus propios atributos y características a este destilado; es por este motivo que surge la oportunidad de realizar la caracterización de los suelos del valle de Ica, primer productor nacional de uva pisquera, lo que indudablemente contribuirá a la cultura del pisco en el Perú.

En este capítulo nos referimos a la importancia del suelo, sus propiedades, las características de los suelos óptimos para el desarrollo de la vid y finalmente descubriremos los tipos de suelos que se encuentran en el valle de Ica y sus particularidades físico-químicas que le dan los dones para el sustento de las más exquisitas uvas pisqueras.

El suelo,
cuna de la vida

El suelo es la capa más superficial de la corteza, es dinámica (constante cambio) y de escaso grosor, es donde se asienta la vida. El suelo o pedósfera, es la interfaz entre la biósfera, la hidrósfera, la atmósfera, la criósfera y la litósfera; como tal, es un determinante importante de los ciclos globales de agua, carbono y geoquímicos.

El **suelo** representa un cuerpo natural que cubre esencialmente toda la superficie no acuosa del planeta Tierra, está íntimamente involucrado en la absorción, el almacenamiento, la transferencia y la liberación de calor, agua, gases y componentes químicos (Figura 30). Además, sirve como reservorio para la diversidad biológica y microbiana y, como tal, tiene una profunda influencia en todos los seres vivos.

Los **suelos** son el soporte de la mayor parte de las actividades humanas; brindan servicios ecosistémicos que hacen posible la vida, pero es un recurso finito, lo que significa que su pérdida y degradación no son reversibles en el curso de la vida humana. Por lo tanto, es necesario poner énfasis en las buenas prácticas de manejo de suelos, apoyados con la tecnología; todo ello en armonía con el medio ambiente. Las buenas prácticas de manejo conllevan implicancias en la base de toda actividad forestal, ganadera o de ingeniería y, por supuesto, agrícola en general y vitícola en particular. En conclusión, la conservación del suelo es esencial para la seguridad alimentaria y nuestro futuro sostenible.

El conjunto de alteraciones que sufren las rocas hasta llegar a constituir el **suelo** se denomina meteorización. En este sentido, la formación del suelo se da mediante la meteorización física, la alteración química y la translocación de sustancias que influyen en la transformación, la transferencia, la pérdida y la acumulación de materiales; afectan tanto a la fase mineral como a la fase orgánica del suelo. Los **suelos** que evolucionan in situ se denominan suelos residuales, estos son superficiales, de poco desarrollo; en cambio los suelos transportados son arrastrados de otros lugares, según la distancia de recorrido y el relieve pueden ser de moderado desarrollo o profundos.

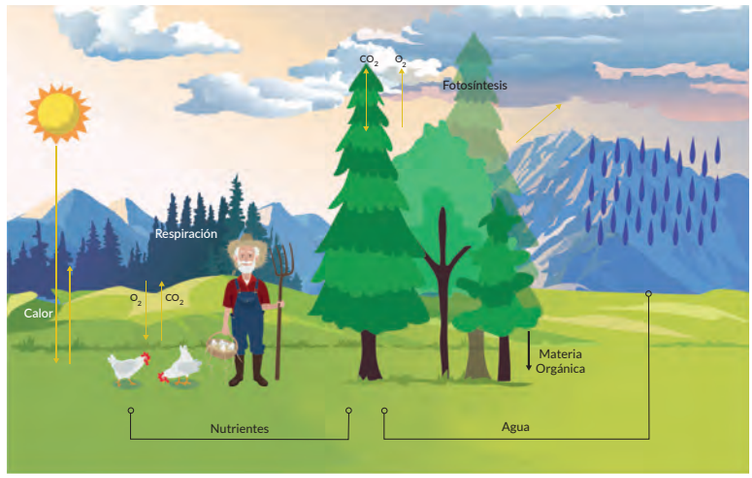


Figura 30 *Dentro del sistema Tierra, el suelo es el nexo de unión entre todos los subsistemas (geósfera, biósfera, hidrósfera y atmósfera), constituye el límite entre todos ellos y es donde todos interactúan.*

Composición del suelo

El **suelo** es un sistema heterogéneo, constituido de varias fases, diversos elementos separados y además es poroso. La fase sólida está compuesta por agregados minerales y orgánicos; la fase líquida, por agua de la solución del suelo, y la fase gaseosa, por el aire del suelo contenido en el espacio poroso (Figura 31).

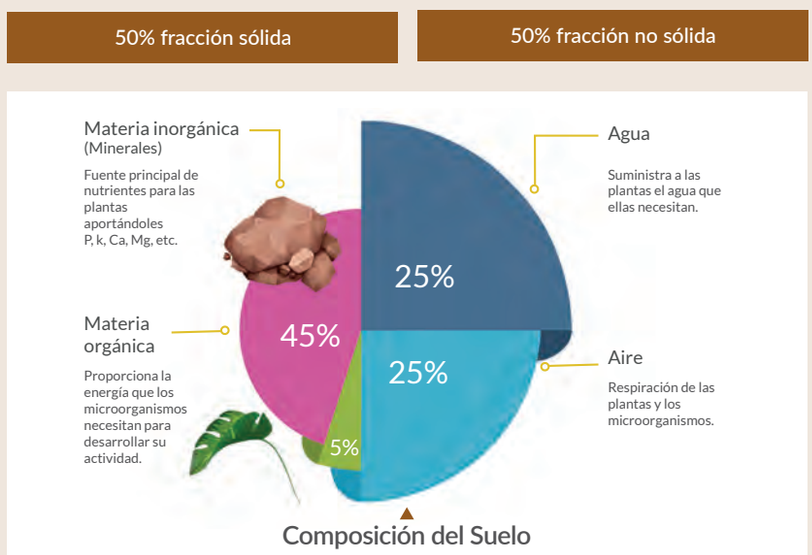


Figura 31 *El suelo está conformado por cuatro componentes: minerales, materia orgánica, agua y aire. Basado de Plant and Soil Sciences. eLibrary, 2019.*

El suelo representa un cuerpo natural que cubre esencialmente toda la superficie no acuosa del planeta Tierra, está íntimamente involucrado en la absorción, el almacenamiento, la transferencia y la liberación de calor, agua, gases y componentes químicos

Evolución y desarrollo de los suelos

El **suelo,** de acuerdo con su desarrollo, puede presentar horizontes. En un corte transversal del suelo (perfil del suelo), se muestra una secuencia típica de horizontes principales, denominados con letras mayúsculas A, B, C y R (Figura 32).

El horizonte A es el más importante desde el punto de vista agronómico ya que alcanza el máximo desarrollo de actividad biológica, con mayor contenido de materia orgánica que los horizontes subyacentes, típicamente de color gris oscuro más o menos negro. El horizonte B es una capa subsuperficial de enriquecimiento en donde se observan rasgos pedológicos, tales como acumulación iluvial de arcillas, hierro, aluminio, humus, carbonatos, yeso o sílice; acumulación residual de sesquióxidos, revestimientos de sesquióxidos; evidencia de remoción de carbonatos; formación de arcilla o liberación de óxidos; forma estructura blocosa o prismática. El horizonte C es derivado del material original sin desarrollo de estructura edáfica que ha sido muy poco afectado por procesos pedogenéticos, incluye sedimentos, saprofita y fragmentos de roca madre no consolidado; puede estar meteorizado pero nunca edafizado.

Algunos suelos tienen una capa orgánica denominada horizonte O, compuesto principalmente por hojas, desechos de animales, hongos y otros materiales orgánicos parcialmente descompuestos. El horizonte R es el material original, es decir la roca dura coherente.

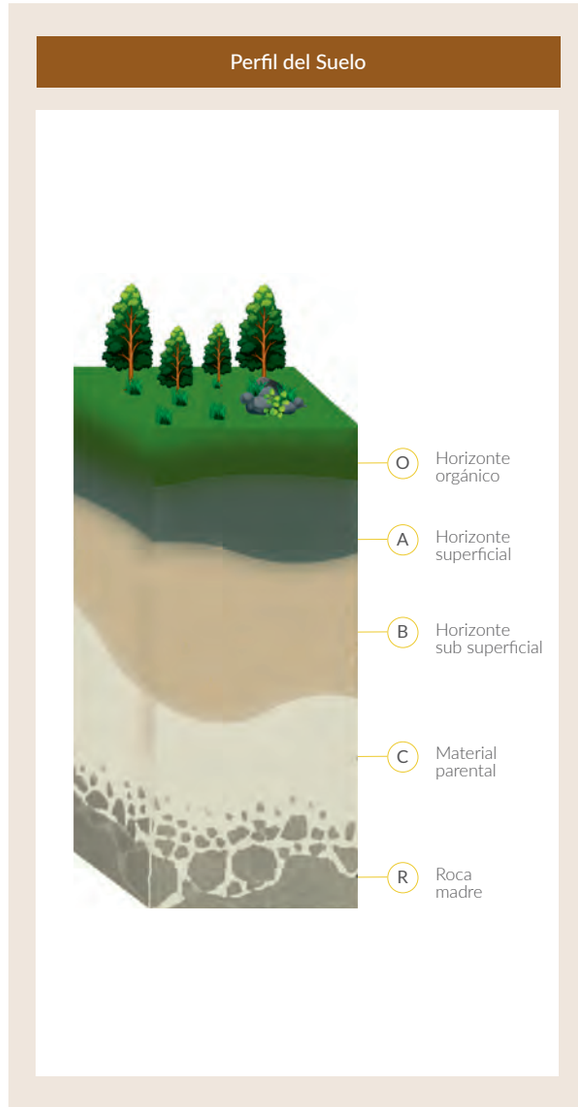


Figura 32 *En el perfil teórico del suelo se pueden apreciar diferentes capas de acuerdo con el desarrollo del suelo. Modificado de Soil Survey Division Staff, 1993.*

Propiedades de los suelos

El comportamiento del suelo depende de sus propiedades, por lo que el estudio de ellas es de suma importancia para entenderlo, de manera que se pueda realizar un manejo y uso óptimo del recurso suelo. Algunas de las propiedades afectan a la totalidad de la masa del suelo y rigen su comportamiento físico, otras intervienen en los procesos relacionados con la superficie de las partículas sólidas y de la interfase sólido/líquido, y algunas otras dependen de su composición química (Jaramillo, 2002). Existen numerosas propiedades dentro de las que destacamos: textura, estructura, contenido de materia orgánica, pH y disponibilidad de nutrientes.

La textura hace referencia a la composición granulométrica de la fracción inorgánica del suelo (arenas, limos y arcillas). También la textura condiciona el grado de erosión del suelo ya que las arenas son arrastradas por el viento y el agua, son las arenas finas las más fáciles en erosionar al igual que los limos, mientras que las arcillas se unen protegiéndose entre sí, lo que inhibe la erosión.

Los **suelos arenosos** poseen muy bajo desarrollo, alto grado de aireación, muy alta permeabilidad y escasa retención de agua (baja capacidad de campo), lo que limita el desarrollo de la vegetación bajo climas secos. Los suelos limosos son de muy bajo desarrollo ya que carecen la capacidad de agregación, baja proporción de materia orgánica, con cierta capacidad de retención de agua superior al de las arenas; al ser partículas relativamente finas pueden ser arrastradas por el agua, depositándose y rellenando los poros del suelo, de esta manera disminuye la aireación y permeabilidad. **Los suelos arcillosos** son muy activos desde el punto de vista químico, poseen capacidad de agregación entre sí, también intervienen en la materia orgánica, tienen alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) y además presentan una elevada capacidad de retención de agua, son bien estructurados pero por su baja porosidad pueden ser impermeables y asfixiantes. **Los suelos francos**[1] tienen bajo a alto desarrollo, lo que favorece los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo (Jaramillo, 2002).

1 Suelo franco Suelo que contiene porcentajes similares de arena y limo, y en menor proporción arcilla.

Algunos suelos tienen una capa orgánica denominada horizonte O, compuesto principalmente por hojas, desechos de animales, hongos y otros materiales orgánicos parcialmente descompuestos.

La **estructura del suelo** es el resultado de su composición granulométrica, la actividad biológica y una serie de condiciones físico-químicas que permiten la aglomeración de las partículas. Los suelos con estructura granular tienen una porosidad y permeabilidad ideal para la fertilidad del suelo debido a que facilitan la infiltración, permiten buena circulación y acumulación de agua, aire y nutrientes que favorecen el desarrollo de la fauna del suelo, facilitan el crecimiento y desarrollo de las plantas (Hillel, 1998).

La **materia orgánica** es producto de la transformación de todos los residuos de origen vegetal (mayor fuente) y animal, aportan energía y alimento a los organismos del suelo, es la materia prima para la formación de coloides orgánicos (humus) que se acumulan en el suelo. En todas sus formas, la materia orgánica tiene efectos en casi todas las propiedades del suelo como color, humedad, estructura, CIC, pH, disolución de minerales, compuestos órgano-minerales, microorganismos (Jaramillo, 2002).

El pH representa la relación entre los contenidos de iones OH- y protones. En términos generales, con base en el pH, los suelos se pueden agrupar en tres grandes categorías: Suelos ácidos, los que presentan pH < 6.5; suelos neutros, los que tienen pH entre 6.5 y 7.3, y suelos básicos, aquellos que exhiben valores de pH > 7.3 (Land and Water Division, 2006). La importancia del pH radica en el efecto de movilidad de los nutrientes adheridos al complejo húmico-arcilloso que retienen los cationes y los cede progresivamente, en la cual los aptos para la agricultura tienen un pH de 5.5 a 8.5. El pH del suelo puede afectar a la nutrición mineral de las plantas, ya que existe una fuerte relación entre la acidez y la solubilidad de los nutrientes (Figura 33). Asimismo, la elevada solubilidad de compuestos de Al, Fe, Zn, Mn o Ni a pH muy ácido puede llegar a provocar efectos de toxicidad en las plantas (Jordan, 2005).

La disponibilidad de nutrientes depende también del complejo húmico-arcilloso ya que cuando los poros entre las partículas del suelo son muy pequeños propician la retención de agua y el encharcamiento. La presencia de materia orgánica en el complejo húmico-arcilloso permite que el agua se impregne e infiltre lentamente, logrando así que las raíces la aprovechen mejor. Por ello la materia orgánica disminuye la pérdida de nutrientes facilitando que sean tomados por las plantas. (Jaramillo, 2002). Los nutrimentos minerales esenciales para las plantas son aquellos: a) necesarios para la ocurrencia de un ciclo de vida completo, b) involucrados en funciones metabólicas o estructurales en las cuales no pueden ser sustituidos y c) cuya deficiencia se asocia a síntomas específicos. Los elementos con funciones específicas y esenciales en el metabolismo de las plantas son 17 y según su concentración en la planta y conforme a sus requerimientos para su

adecuado crecimiento y reproducción se clasifican en dos grupos: macronutrientes (C, H, O, N, P, Ca, Mg, K y S) y micronutrientes (Ni, Mo, Cu, Zn, Mn, Fe, B y Cl). La deficiencia de alguno de estos elementos esenciales provoca desórdenes nutricionales durante el ciclo vegetativo que afectan negativamente el desarrollo y rendimiento del cultivo (Marschner, 1995).

Los **suelos** con fines agrícolas requieren de la fertilidad y presencia de agua. La fertilidad del suelo es un fenómeno complejo que está relacionado con los factores extrínsecos (clima, geosituación, planta), con las propiedades físicas, químicas y físico-químicas del suelo y con la existencia o ausencia de ciertos elementos nutritivos (Telles et al., 2011).

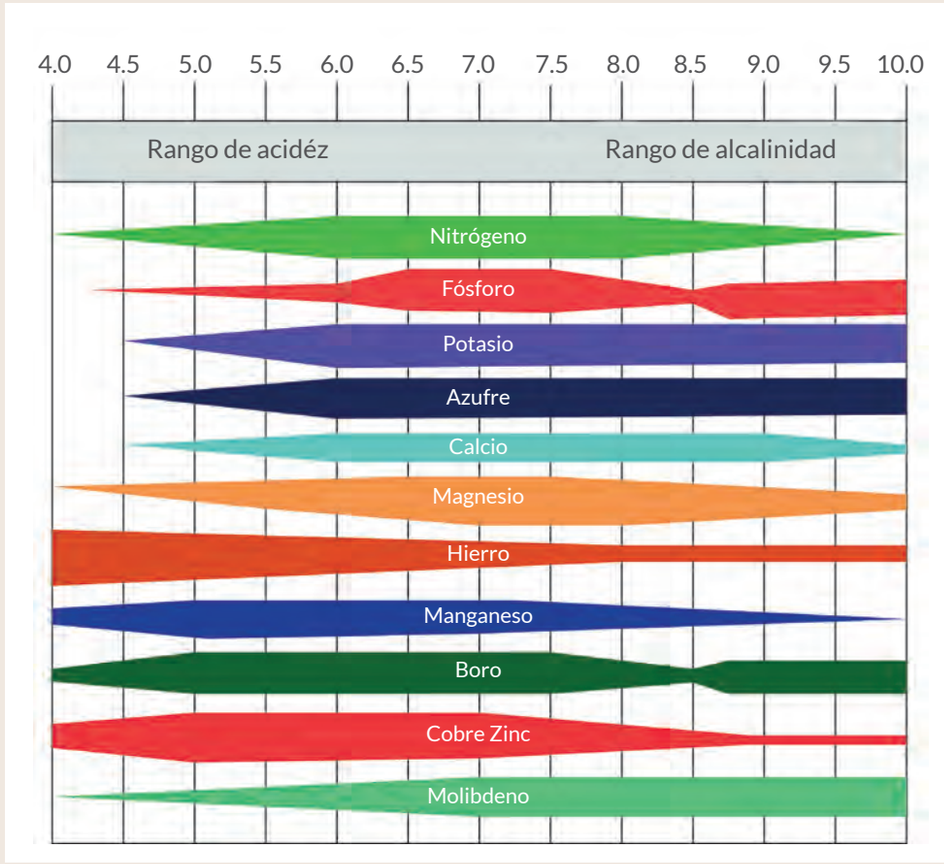


Figura 33 *Comportamiento de la solubilidad de los elementos en función del pH (Castellanos et al., 2000). En el cuadro se observa que el fósforo es insoluble en medios muy ácidos (en los que se encuentra como FePO4 o ALPO4) o muy alcalinos (Ca3 (PO4)2). En general, las sales de Mn, Fe o Zn, son más solubles en medio ácido que en medio alcalino.*

Suelos
para la dulce vid

La morfología de los suelos (perfil del suelo homogéneo) afecta el desarrollo del sistema de raíces de la vid que es el requisito primordial para el suministro de nutrientes y agua de la planta. La profundidad efectiva debe ser mayor de 80 cm, ya que permite regular la propagación del sistema radicular (Telles et al., 2011). El manejo del suelo y otras actividades se llevan a cabo en un intento por mejorar el perfil del suelo y remediar las características no deseadas (van Zyl and van Huyssteen, 1987), como la compactación, contrastes en el tamaño del grano, barreras químicas y niveles de agua subterránea excesivamente altos.

Los terrenos más adecuados para el cultivo de la vid son los suelos arenosos francos, sueltos, silíceo-calizos o calizo-silíceos, profundos, aunque sean cascajosos (Telles et al., 2011). Aquellos suelos muy arcillosos se relacionan con vinos ricos en extractos, aromáticos, bien coloreados y frecuentemente gruesos[2] (Fregoni, 1973). Por otra parte, aquellos terrenos arenosos con contenidos superiores al 60 %-70 % y con menos del 6 % de elementos finos, limo más arcilla, tienen una gran resistencia filoxérica[3] (Hidalgo & Hidalgo, 2011). Asimismo, Ruesta y Rodríguez (1992) señalan que deben evitarse suelos pesados[4] y con mal drenaje.

Por otro lado, la humedad del suelo puede ser considera como el resultado del balance entre aportes y pérdidas de agua, donde el suelo actúa como un agente regulador a través de la textura, estructura, porosidad, profundidad, etcétera. La falta de humedad durante algunas estaciones es un factor condicionante del poco desarrollo, baja productividad, alta riqueza en azúcares y baja acidez de los vinos (Telles et al., 2011).

La temperatura del suelo está influenciada por el color y la topografía del relieve. El color está dado por el calor específico de los materiales que constituyen el suelo

2 Gruesos — Vino rico en alcohol, en cuerpo y en extracto, pero carente de finura en su expresión técnica.
3 Filoxérica — Referido a la plaga de la filoxera.
4 Suelos pesados — Suelos con textura fina donde predominan las partículas de limo y arcilla.

(agua, materia orgánica, cobertura vegetal y elementos gruesos). Respecto al binomio color/temperatura, se puede afirmar que las vides cultivadas en suelos con tonalidades oscuras (depresiones, vaguadas) presentan mayor desarrollo, crecimiento más vigoroso y coloración más oscura de la vegetación, en cambio en suelos con tonalidades cálidas incrementa el riesgo de quemaduras, disminución de la precocidad e incremento del intervalo térmico (Telles et al., 2011).

La **vid** es una especie que se acomoda a suelos con pH variado, ya que se relaciona con importantes propiedades y procesos como la estructura, la nitrificación, los equilibrios nutricionales y las distintas deficiencias y toxicidades que tienen una gran influencia en la calidad del vino (Telles et al., 2011).

Los altos valores en capacidad de intercambio catiónico (CEC) y saturación de bases (SB) representan suelos fértiles. Sin embargo, en el caso de la vid, la fertilidad, el vigor y el rendimiento excesivo reducen drásticamente la calidad del vino (Telles et al., 2011). Los principales elementos que requiere la vid son nitrógeno (para el desarrollo), potasio (metabolismo) y fósforo (transporte de sustancias y metabolismo). Además también requieren del calcio (incrementa el vigor y la asimilación de nutrientes) y magnesio (promueve la formación de azúcar y la calidad del mosto).

Los elementos traza previenen el desequilibrio de nutrientes y aumenta el rendimiento de la vid; así, los valores bajos pueden causar deficiencias y toxicidad. Los elementos más importantes con respecto a la calidad de la uva son el boro, el hierro, el manganeso, el cobre y el zinc (Telles et al., 2011). Por otra parte, algunas propiedades de los jugos (Baumé y acidez) se correlacionan con la disponibilidad de algunos elementos traza específicos disponibles en los suelos, tales como Ca, Sr, Ba, Pb y Si (Mackenzie y Christy, 2005).

Suelos del valle de Ica

Con base en su morfología, expresada por sus características físico-químicas y biológicas, en el valle de Ica-Villacurí se identificaron los siguientes tipos de suelos: regosols, cambisols, arenosols, fluvisols (Figura 34).

Los **suelos** de tipo **regosols** están distribuidos en todo el valle, se han desarrollado a partir de materiales aluviales y coluvio-aluviales. En la parte noroeste y este, predominan suelos de textura gruesa a media, con pocas a abundantes gravas finas y gravas gruesas subredondeadas, pH neutro a fuertemente básico (6.94-8.66), drenaje algo excesivo a bueno, contenidos medios a altos de carbonatos (1.00 %-10.10 %) y moderadamente salinos a fuertemente salinos en la capa superficial (6.64-10.06 dS/m). Al sur son suelos de textura media a moderadamente fina, ligeramente a moderadamente básico (7.85-8.40) y drenaje bueno.

Los **arenosols** se encuentran distribuidos en su mayoría en el sector de Villacurí, están desarrollados a partir de materiales eólicos (dunas). Se caracterizan por poseer textura gruesa y drenaje excesivo. Presentan contenidos medios de carbonatos (2.00 %-3.40 %), bajos niveles de materia orgánica (0.03 %) y un pH moderadamente básico a muy fuertemente básico (8.40-9.25).

Los **fluvisols** se localizan mayormente en la parte norte y sur del valle, se desarrollan a partir de materiales fluviales depositados por el río Ica. Estos

suelos tienen textura gruesa a media, con drenaje excesivo a algo excesivo. Presentan contenidos bajos a medios de carbonatos (0.1 %-2.60 %), bajos niveles de materia orgánica (0.03 %-1.38 %) y un pH ligeramente básico a fuertemente básico (6.55-8.82).

Los **cambisols** se encuentran distribuidos principalmente en la parte sur y en menor proporción en la parte central este, se han desarrollado a partir de los depósitos de llanuras de inundación del río Ica. Son suelos de textura media, drenaje bueno y tienen excelentes condiciones para el desarrollo de los cultivos. Presentan contenidos bajos a medios de carbonatos (0.1 %-1.70 %) y un pH neutro a fuertemente básico (7.15-8.74).

Los **suelos** tipo **solonchaks** se encuentran restringidos en la parte sureste de la zona de Ocucaje. Tienen textura media a moderadamente fina, drenaje algo excesivo y condiciones adversas para el desarrollo de los cultivos, ya que contienen niveles extremadamente salinos (>12 dS/m). Presentan un pH ligero a moderadamente básico (7.61-8.44).

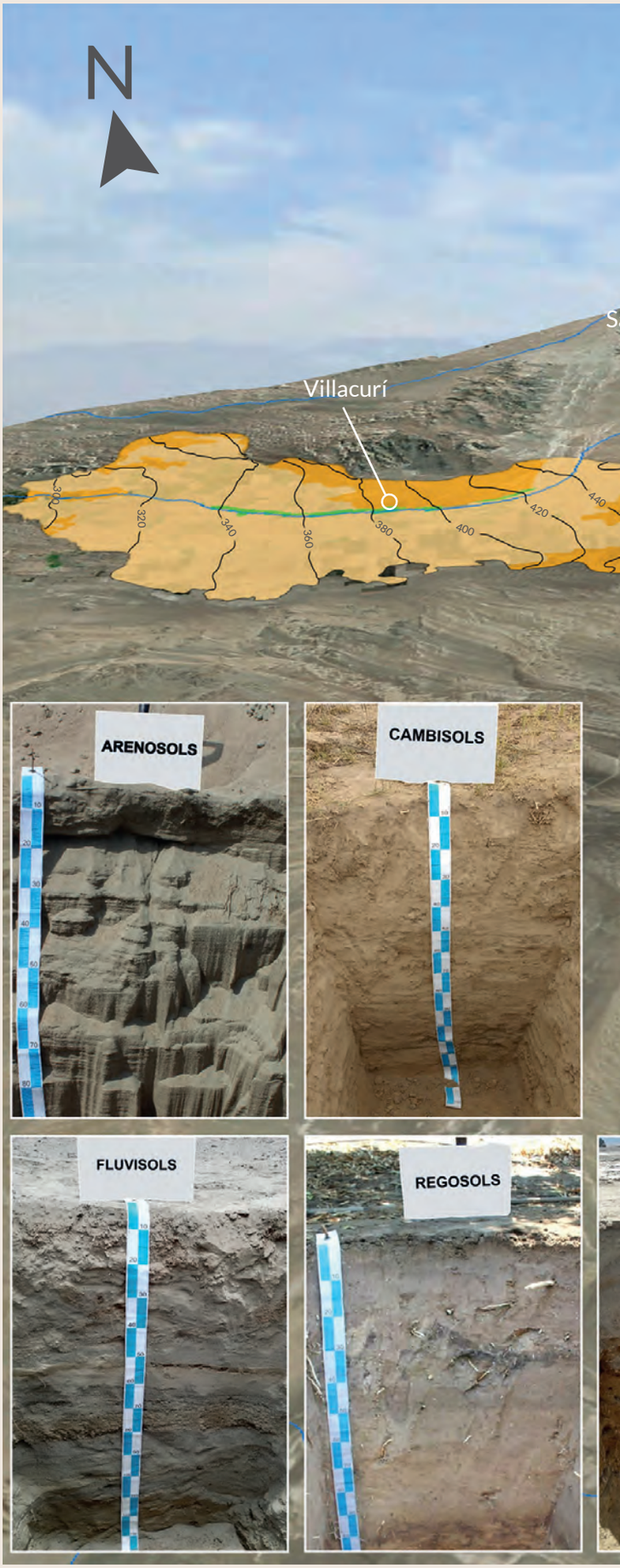
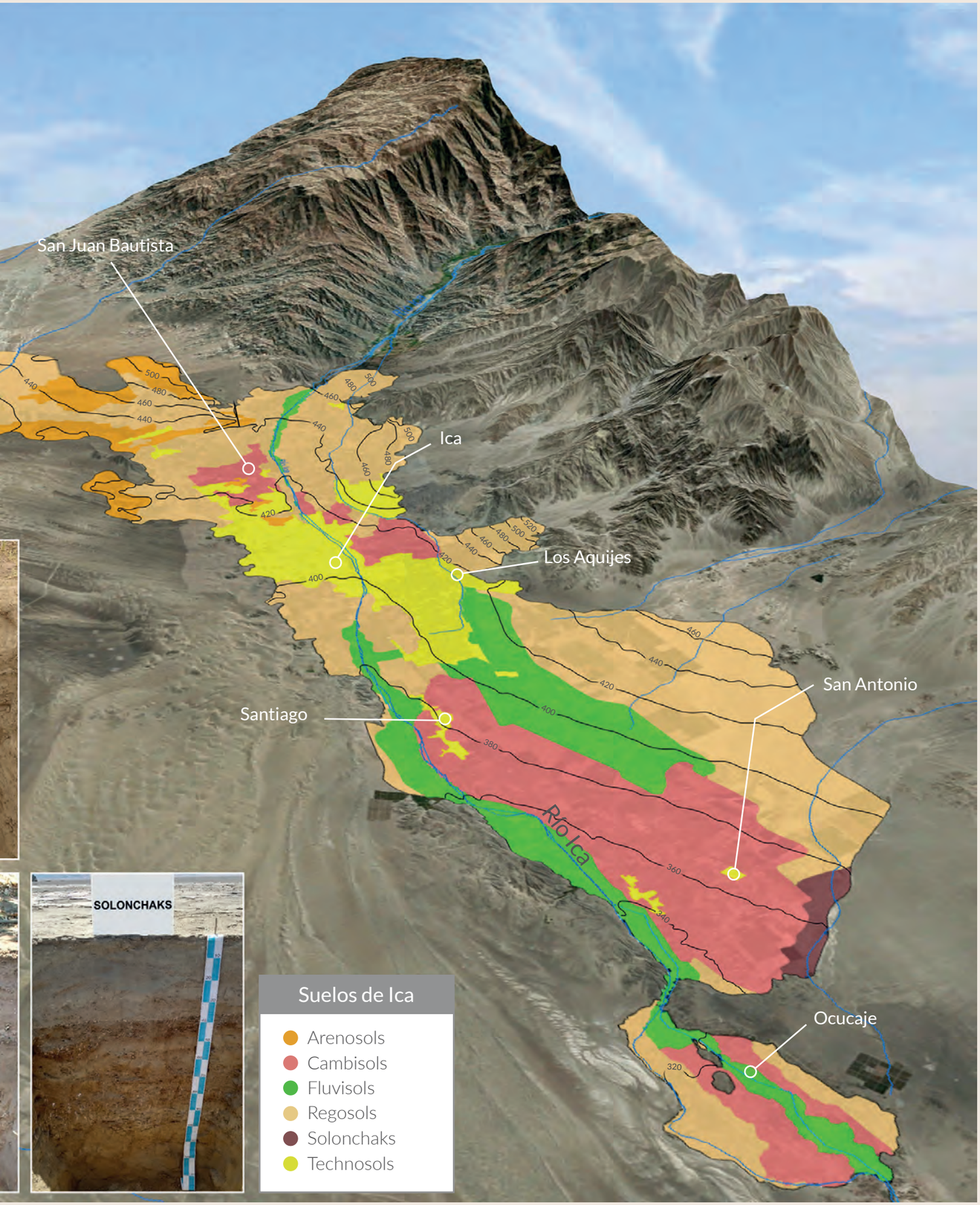


Figura 34 *Mapa de suelos del valle de Ica. Los suelos predominantes son los regosoles y cambisoles. En las fotografías de los perfiles de suelos se observan las características físicas de los diferentes tipos de suelos. Los regosoles distribuidos en los diferentes sectores del valle se hallan siempre a mayor altura que los cambisoles, a excepción de la zona de Ocucaje. Los arenosoles están asociados a la influencia de los depósitos eólicos que se acumulan hacia el noroeste.*


San Juan Bautista
Ica
Los Aquijes
Santiago
San Antonio
Ocucaje
Río Ica
SOLONCHAKS
Suelos de Ica
Arenosols
Cambisols
Fluvisols
Regosols
Solonchaks
Technosols

Química de los suelos del valle de Ica

Los elementos que intervienen en el desarrollo de la uva y su calidad son el Ca, Fe, Mn, Sr, Ba, Pb, Zn y Cu. En los suelos a lo largo del valle de Ica-Villacurí se observan diferencias en las concentraciones de estos elementos (Figura 35). Tal es así que, en los regosols, los elementos Fe, Mn y Ba son casi constantes con 4 %, 900 ppm y 600 ppm, respectivamente. Mientras que los elementos Ca, Pb, Zn y Cu oscilan entre 2-6 %, 10-40 ppm, 70-150 ppm y 30-130 ppm, respectivamente. En los arenosols se registran valores más altos en Mn (1200 ppm) y más bajos en Cu (10-30 ppm) con respecto a los regosols. Asimismo, los fluvisols y cambisols presentan valores similares en Mn (800-1300 ppm), Ba (450-700 ppm) y Pb (18-40 ppm). En lo referente a Ca (2-4 %), Fe (4-8 %) y Sr (290-500 ppm) son más bajos, mientras que el Zn (100-160 ppm) y Cu (70-100 ppm) son más altos en los cambisols.

En síntesis, los suelos de tipo regosols y cambisols son los que predominan en el valle de Ica. En general, estos suelos son profundos, pedregosos, tienen textura media, presentan altos a medios contenidos de carbonatos, pH neutro a fuertemente básico. Asimismo, tanto los cambisols como los regosols contienen valores similares de Fe, Mn, Sr, Ba, Pb; sin embargo, los regosols tienden a contener mayor Ca, menor Zn y Cu en comparación con los cambisols. Estas son las propiedades exclusivas de los suelos del valle de Ica en donde nacen las más exquisitas uvas pisqueras.

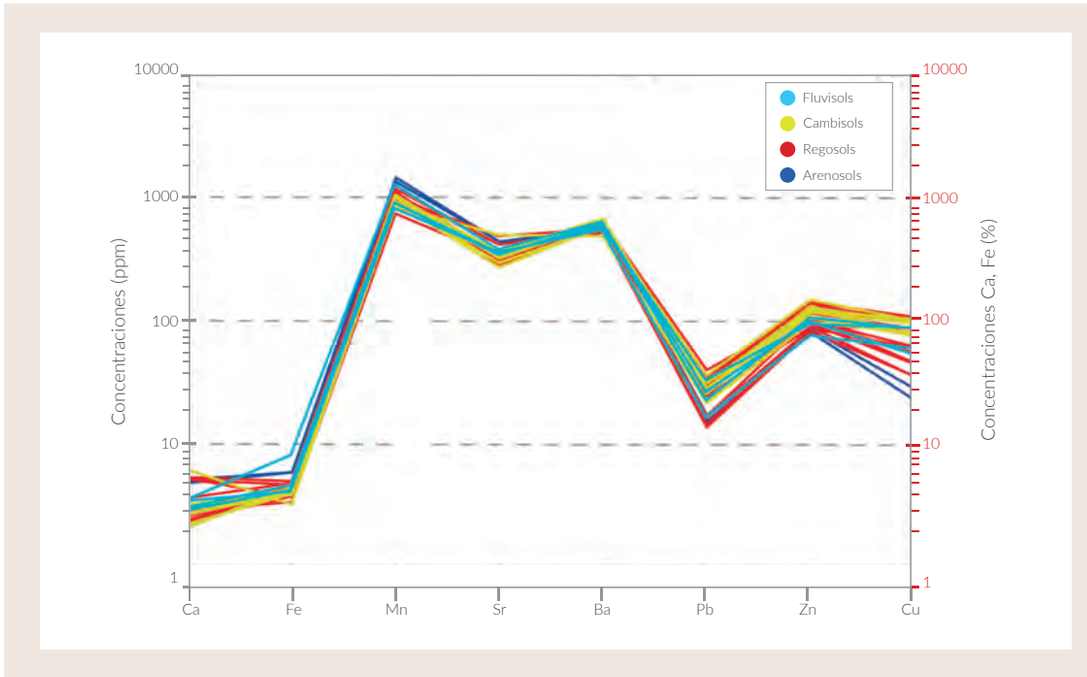


Figura 35 *Contenidos de elementos químicos esenciales para el desarrollo de la vid en los suelos del valle de Ica- Villacurí.*

© Yayo López | PROMPERÚ

© Karina Mendoza | PROMPERÚ

Bibliografía

- Amante, C. and B.W. Eakins (2009). ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24. National Geophysical Data Center, NOAA. doi:10.7289/V5C8276M.

- Alemán, A. (1996) - Stratigraphy, sedimentology, and tectonic evolution of the rio Cañete basin: central coastal ranges of Peru. En: International Symposium of Andean Geodynamics, 3, Saint Malo, 1996, *Extended abstracts*. Paris: ORSTOM, p. 261-264.

- Armstrong, D.W. & Wetherby, K.G. (1977) – *Soils, grapes and quality - is there a relationship?* Adelaide: S.A. Dept. of Agriculture and Fisheries, Soil Conservation Branch, Report S3/77, 5 p.

- Arche, A., ed. (2010) – *Sedimentología: del proceso físico a la cuenca sedimentaria*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1288 p.

- Arias, F. (2017) – *Situación y experiencia en el cultivo de uva vinífera (Vitis vinifera L.) en el valle de Ica*. Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, 61 p.

- Asbury, H. (1989) – *The Barbary Coast: an informal history of the San Francisco dnderworld*. New York: Thunder's Mouth Press, 318 p.

- Autoridad Nacional del Agua (2012) – *Atlas de recursos hídricos del Perú*. Lima: ANA, Oficina del Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos, 355 p. Disponible en: <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/217>

- Barnes, J.B. & Ehlers, T.A. (2009) - End member models for Andean Plateau uplift. *Earth Science Reviews*, 97(1-4): 105-132.

- Beckinsale, R.D.; Sánchez, A.; Brook, M.; Cobbing, E.J.; Taylor, W.P. & Moore, N.D. (1985) - Rb-Sr whole-rock isochron and K-Ar age determinations for the coastal batholith of Peru. En: Pitcher, W.S.; Atherton, M.P.; Cobbing, E.J. & Beckinsale, R.D., eds. *Magmatism at a plate edge. The Peruvian Andes*. Glasgow: Blackie, p. 177-202.

- Bekaddour, T.; Schlunegger, F.; Vogel, H.; Delunel, R.; Norton, K.P., et al. (2014) – Paleo erosion rates and climate shifts recorded by Quaternary cut-and-fill sequences in the Pisco valley, central Peru. *Earth and Planetary Science Letters*, 390: 103–115.

- Bellido, E. & Narváez, S. (1960) - Geología del cuadrángulo de Atico, Hoja 33-o. *Comisión Carta Geológica Nacional*, 2, 59 p.

- Benavente, C. (2017) – *Neogene tectonic and exhumation of the Andes Centrales, southern Peru*. Thèse de Doctorat, Université Grenoble Alpes, Grenoble, 369 p. Disponible en: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01781458>

- Burbank, D.W.; Leland, J.; Fielding, E.; Anderson, R.S., Brozovic, N., et al. (1996) - Bedrock incision, rock uplift, and threshold hillslopes in the northwestern Himalayas. *Nature*, 379(6565): 505-510.

- Cáceres, H.; Quispe, P.; Pignataro, D.; Orjeda, G. & Lacombe, T. (2017) – Caracterización morfológica de variedades de vid para producción de Pisco bajo condiciones de la zona media del valle de Ica, Perú. *Scientia Agropecuaria*, 8(1): 63-72.

- Caldas, J. (1978) - Geología de los cuadrángulos de San Juan, Acarí y Yauca. *Instituto de Geología y Minería, Boletín* 30, 78 p.

- Carlotto V.; Quispe, J.; Acosta, H.; Rodríguez, R.; Romero, D., et al. (2009) - Dominios geotectónicos y metalogénesis del Perú. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, (103): 1-89.

- Carretier, S.; Martinod, P.; Reich, M. & Godderis, Y. (2016) – Modelling sediment clasts transport during landscape evolution. *Earth Surface Dynamics*, 4(1): 237-251.

- Castellanos, J.; Uvalle, J. & Aguilar, A. (2000) – *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas*. 2a. ed. México: Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola, 239 p., Colección INCAPA.

- Collinson, J.D. (1996) – Alluvial sediments. En: Reading H.G. ed. *Sedimentary environments: processes, facies and stratigraphy*. 3a. ed. Oxford: Blackwell Science, p. 37-81.

- Criado, M. (2000) – *Spa para la salud en el Balneario de Huacachina*. Tesis Arquitecto, Universidad Ricardo Palma, Lima, 80 p.

- Eakin, C.M.; Lithgow-Bertelloni, C. & Dávila, F. (2014) – Influence of Peruvian flat-subduction dynamics on the evolution of western Amazonia. *Earth and Planetary Science Letters, 404:* 250-260.

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

- Folk, R.L. (1980) - *Petrology of sedimentary rocks*. 4a. ed. Austin, TX: Hemphill Publishing, 184 p.

- Fregoni, M. (1973) – Ecologia e viticoltura: adattamento degli obiettivi della produzione all'ambiente naturale. En: Simposio Internacional de Viticultura, México, 1973. México: Comisión Nacional de Fruticultura, XII, p. 9-25.

- Gansser, A. (1973) – Facts and theories on the Andes. *Journal Geological Society London*, 129(2): 93-131.

- Garzione, C.; Molnar, P.; Libarkin, J.C. & MacFadden, B.J. (2006) – Rapid late Miocene rise of the Bolivian Altiplano: Evidence for removal of mantle lithosphere. *Earth and Planetary Science Letters*, *241*(3-4): 543-556.

- Goldich, S.S. (1938) – A study in rock weathering. *The Journal of Geology*, 46(1): 17-58.

- Graham, J.; Newman, W. & Stacy, J. (2008) – The Geologic time spiral: a path to the past (en línea). U.S. Geological Survey, General Information Product 58. (consulta: 13 julio 2018). Disponible en: <http://pubs.usgs.gov/gip/2008/58/>

- Gunnell, Y.; Thouret, J.C.; Brichau, S., Carter, A. & Gallagher, K. (2010) – Low-temperature thermochronology in the Peruvian Central Andes: implications for long-term continental denudation, timing of plateau uplift, canyon incision and lithosphere dynamics. *Journal of the Geological Society London*, *167*(4): 803-815.

- Hidalgo, L. (1993) – *Tratado de viticultura general*. Madrid: Mundi-Prensa, 993 p.

- Hidalgo, L. & Hidalgo, J. (2011) – *Tratado de viticultura*. 4a. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 2 t.

- Hillel, D. (1998) – *Environmental soil physics*. San Diego: Academic Press, 771 p.

- Huertas, L. (2004) – Historia de la producción de vinos y piscos en el Perú. *Universum*, Talca, 19(2): 44-61.

- Hürlimann, M. (2015) – Depósitos aluviales (en línea). (consulta: 17 abril 2018). Disponible en: <https://www.slideshare.net/dudshan/depositos-aluviales>

- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (1995) - Geología del Perú. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 55, 177 p.

- Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (2012) – *Denominación de origen: guía informativa*. Lima: INDECOPI, Centro de Información y Documentación, 26 p. (consulta: 27 setiembre 2018). Disponible en: <http://hdl.handle.net/11724/4686>

- Jaillard, E.; & Soler, P. (1996) - Cretaceous to early Paleogene tectonic evolution of the northern Central Andes (0-18°S) and its relations to geodynamics. *Tectonophysics*, 259(1-3): 41-53.

- James, D.E. (1971) - Andean crustal and upper mantle structure, *Journal of Geophysical Research*, 76(14): 3246-3271.

- Jaramillo, D. (2002) – *Introducción a la ciencia del suelo*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias, 613 p.

- Jenks, W.F. (1948) - Geología de la hoja de Arequipa al 200,000. Geology of the Arequipa Quadrangle of the Carta Nacional del Peru. *Instituto Geológico del Perú, Boletín 9*, 204 p.

- Jordan, A. (2005) – *Manual de edafología*. Sevilla: Universidad de Sevilla, Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, 143 p.

- Jordan, T.E.; Isacks, B.L.; Allmendinger, R.W.; Brewer, J.A.; Ramos V. & Ando, C.J. (1983) - Andean tectonics related to geometry of subducted Nazca Plate, *Geological Society of America Bulletin*, 94(3): 341-361.

- Lambert, O.; Bianucci, G.; Post, K.; Muizon, C.; Salas R., et al. (2010) – The giant bite of a new raptorial sperm whale from the Miocene epoch of Peru. *Nature*, 466(7302): 105-108.

- Land and Water Division (2006) – *Guía para la descripción de perfiles de suelo*. World Soil Resources Reports, A0541, 110 p.

- 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.

- Le Pichon, X & Hayes, D.E. (1971) – Marginal offsets, fracture zones, and the early opening of the South Atlantic. *Journal of Geophysical Research*. 76(26): 6283-6293.

- Macharé, J. (1987) - *La marge continentale du Pérou: régimes tectoniques et sédimentaires cénozoiques de l'avant-arc des Andes Centrales*. Thése Docteur, Université de Paris XI-Orsay, 391 p.

- Macharé, J.; DeVries, T.J.; Barron, J.A. & Fourtanier, E. (1988) – Oligo-Miocene transgression along the Pacific margin of South America: new paleontological and geological evidence from the Pisco basin (Peru). *Geodynamique*, *3*(1-2): 25-37.

- Macharé, J. & Ortlieb, L. (1992) - Plio-Quaternary vertical motions and the subduction of the Nazca Ridge, central coast of Peru. Tectonophysics, 205(1-3): 97-108.

- Mackenzie, D.E. & Christy, A.G. (2005) – The role of soil chemistry in wine grape quality and sustainable soil management in vineyards. *Water Science and Technology*, 51(1): 27-37.

- Marschner, H. (1995) – *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2a. ed. London: Academic Press, 889 p.

- Martínez de Toda, F. (1991) – *Biología de la vid: fundamentos biológicos de la viticultura*. Madrid: Mundi-Prensa, 346 p.

- Mégard, F. (1978) - *Étude géologique des Andes du Pérou Central, contribution a l'étude géologique des Andes N 1*. Paris: Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, 310 p. Mémoires ORSTOM, 86.

- Mégard, F. (1984) - The Andean orogenic period and its major structures in central and northern Peru. *Journal of the Geological Society London*, 141 (5): 893-900.

- Meinert, L.D. (2018) – The science of terroir. *Elements*,14(3): 153–158.

- Miall, A.D. (1996) *The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology*: Berlin Heidelberg New Cork, Springer-Verlag, 565 p.

- Montoya, M.; García, W. & Caldas, J. (1994) – Geología de los cuadrángulos de Lomitas, Palpa, Nasca y Puquio. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 53, 100 p.

- Moore, N.D. & Agar, R.A. (1985) - Variations along a batholith: the Arequipa segment of the Coastal Batholith of Peru. En: Pitcher, W.S.; Atherton, M.P.; Cobbing, E. J. & Beckinsale, R.D., eds. *Magmatism at a plate edge: The Peruvian Andes*. Glasgow: Blackie, p. 108-118.

- Mukasa, S.B. & Henry, D.J. (1990) - The San Nicolas batholith of coastal Peru: early Palaeozoic continental arc or continental rift magmatism? *Journal of the Geological Society London*, 147(1): 27-39.

- Nichols, G.J. (2009) - *Sedimentology and stratigraphy*. 2a. ed. Oxford: Blackwell Science, 435 p.

- Ortelius, A. (1584) – Peruviae Auriferae Regionis Typus (mapa). Aparece en su obra Theatrum orbis terrarum. Disponible en <https://www.loc.gov/item/84696980/>

- Perú. Ministerio de Agricultura. Dirección General de Aguas. Dirección de Preservación y Conservación (1974) – *Estudio Agrológico detallado y zonificación climática de cultivos del valle de Ica*: departamento de Ica. Perú: Ministerio de Agricultura, 292 p. También disponible en: <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/1471>

- Perú. Ministerio de Energía y Minas (2016) – *Atlas eólico del Perú*. Lima, MINEM, 262 p.

- Pitcher, W.S. (1985) - A multiple and composite batholith: En: Pitcher, W.S.; Atherton, M.P.; Cobbing, E.J. & Beckinsale, R.D., eds. *Magmatism at a plate edge: The Peruvian Andes*. Glasgow: Blackie, p. 93-101.

- Plummer, C. & McGeary, D. (1999) – *Physical geology: with interactive plate tectonics*. 7a. ed. Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown, 539 p.

- Pose, F.; Spagnuolo, M. & Folguera, A. (2005) – Modelo para la variación del volumen orogénico andino y acortamientos en el sector 20°-46°S. *Revista Asociación Geológica Argentina*, 60(4): 724-730.

- Ramos, V. & Alemán, A. (2000) - Tectonic evolution of the Andes. En: Cordani, U.G.; Milani, E.J.; Thomaz, A. & Campos, D.A., eds. *Tectonic evolution of South America*. Rio de Janeiro: 31st International Geological Congress, p. 635-685.

- Riccardi, A.C. (1987) – Cretaceous paleogeography of southern South America. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 59:169-195.

- Rüegg, W. (1956) - Geologie zwischen Cañete-San Juan 13°00'-15°24' Sudperu. *Geologische Rundschau*, 45(3): 775-856.

- Ruesta, A. & Rodríguez, R. (1992) – *Cultivo de la vid en el Perú*. 2a. ed. Lima: Proyecto TTA, Fundación para el Desarrollo Agrario, 241 p.

- Saillard, M.; Hall, S.R.; Audin, L.; Farber, D.L.; Regard, V. & Hérail, G. (2011) – Andean coastal uplift and active tectonics in southern Peru: 10Be surface exposure dating of differentially uplifted marine terrace sequences (San Juan de Marcona, ~15.4°S). *Geomorphology*, 128(3-4): 178-190.

- Schildgen, T.F.; Hodges, K.V.; Whipple, K.X.; Reiners, P.W. & Pringle, M.S. (2007) - Uplift of the western margin of the Andean plateau revealed from canyon incision history, southern Peru. *Geology*, 35(6): 523-526.

- Schlüpmann, J. (2006) – *Cartas edificantes sobre el comercio y la navegación entre Perú y Chile a comienzos del siglo XVIII: Correspondencia y contabilidad de una compañía comercial (1713-1730)*. Lima: Institut français d'études andines, Embajada de Francia en el Perú, Banco Central de Reserva del Perú, 346 p. Travaux de l'IFEA, 206.

- Schmid, R. (1981) – Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic deposits and fragments: Recommendations of the IUGS Subcommission on the Systematics of igneous rocks. *Geology*, 9(1): 41-43.

- Schuler, J. (2004) – *Pasión por el pisco*. Lima: Quebecor World Peru, 208 p.

- Schweigger, E. (1964) - *El Litoral Peruano*. 2a. ed. Lima: Universidad Nacional Federico Villareal, 435 p.

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología & Perú. Ministerio de Energía y Minas (2003) – *Atlas de energía solar del Perú*. Lima: Senamhi, Dirección General de Investigación y Asuntos Ambientales y MINEM, 31 p. (consulta: 18 junio 2018). Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/pdf/atlas_solar.pdf>

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. (2018) – *Mapa climático del Perú* (en línea). Lima: SENAMHI. (consulta: 21 mayo 2018). Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru>

- Shackleton, R.M.; Ries, A.C.; Coward, M.P. & Cobbold, P.R. (1979) - Structure, metamorphism and geochronology of the Arequipa massif of coastal Peru. *Journal of the Geological Society*, 136(2): 195-214.

- Sklar, L. & Dietrich, W.E. (1998) - River longitudinal profiles and bedrock incision models: stream power and the influence of sediment supply. En: Tinkler, K.J. & Wohl, E.E., eds. *Rivers over rock: fluvial processes in bedrock channels*. Washington, DC: American Geophysical Union, p. 237-260.

- Soárez, O. (2008) – *Por las bodegas peruanas del pisco y vino*. Lima: Universidad de San Martin de Porres, 137 p.

- Soil Survey Division Staff (1993) – *Soil survey manual*. Washington D.C.: United States Department of Agriculture, Handbook, 18, 437 p.

- Soler, P. (1990) - Cronología y distribución espacial del magmatismo en el Perú Central durante el Cretáceo superior y el Cenozoico. Relaciones con modalidades de la subducción de la Placa de Nazca (Farallón) debajo del continente sudamericano. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, (81): 81-86.

- Soler, P. & Bonhomme, M.G. (1990) - Relation of magmatic activity to plate dynamics in Central Peru from Late Cretaceous to present. En: Kay, S.M. & Rapela, C.W., eds. *Plutonism from Antarctica to Alaska*. Boulder, CO: Geological Society of America, Special Paper 241, p. 173-192.

- Steffen, D.; Schlunegger, F. & Preusser, F. (2009) – Drainage basin response to climate change in the Pisco valley, Peru. *Geology*, 37(6): 491-494.

- Steinmann, G. (1930) - *Geología del Perú*. Heidelberg: Carl Winters Universitätsbuchhandlung, 448 p.

- Streckeisen, A. (1976) - To each plutonic rock its proper name. *Earth-Science Reviews* 12(1): 1-33.

- Telles, M., Lehmann, J., Eiras, J. & Böhm, J. (2011) – *Atlas das Castas da Península Ibérica*, História, Terroir, Ampelografia. Lisboa: Dinalivro, 320 p.

- Teves, N. (1975) - Aspectos sedimentarios y estructurales del sector costanero peruano frente a la dorsal de Nazca. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, (50): 87-98.

- Toro, G. (2017) – Pisco, un nombre que está impreso en tinta. (en línea). *El Comercio*, 29 mayo 2017. (consulta: 25 de mayo 2018) Disponible en: <https://elcomercio.pe/gastronomia/bares-y-copas/pisco-nombre-impreso-tinta-426535>

- Vásquez, G. (1989) – *Pampas de Hanan y Santa Ana*. S.l.: s.e., Texto inédito

- Van der Beek, P.A.; Valla, P.G.; Herman, F.; Braun, J.; Persano, C., et al. (2010) – Inversion of thermochronological age–elevation profiles to extract independent estimates of denudation and relief history — II: Application to the French Western Alps. *Earth and Planetary Science Letters*, 296(1-2): 9-22.

- Van Zyl, J. & Van Huyssteen, L. (1987) – Root prunning. *Deciduous Fruit Grower*, 37(1): 20-25.

- Villagarcía, L. (2014) – *La magia del pisco*. Lima: Universidad San Martin de Porres, 198 p.

- Vingerhoets, M. (2015) – *Los secretos del pisco*. Lima: Universidad de San Martín de Porres, 174 p.

- Whipple, K.X. & Tucker, G.E., (2002) - Implications of sediment-flux-dependent river incision models for landscape evolution. *Journal of Geophysical Research*, Solid Earth, 107(B2): ETG3-1-20, doi: 10.1029/2000JB000044.

- Zinck, J.A. (2012) – Geopedologia: *Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales*. Enschede: ITC, Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation, 132 p.

© PROMPERÚ

© PROMPERÚ

TACAMA
TACAMA

© Karina Mendoza | PROMPERÚ

El pisco es la bebida bandera del Perú, un producto de orgullo nacional que viene conquistando los paladares del mundo con su exquisito sabor y calidad. Son razones suficientes por las que el INGEMMET, a través de las geociencias, se compromete a impulsar el conocimiento del medio físico donde nace la uva pisquera, con la ambición de poner en valor el terruño (relieve, suelo y clima). Es un modo de reconocer que la interacción entre estos factores es único e inherente para cada región pisquera, cuyas particularidades imprimen el sabor y el aroma propios del pisco.

En este libro nos enfocamos en describir, con un lenguaje sencillo y claro, todas aquellas características del terruño del valle de Ica, principal productor de uva pisquera. Este es el primer arquetipo de esta clase de estudios, que en adelante será replicado en todas las regiones pisqueras del Perú. Igualmente, esperamos motivar investigaciones especializadas sobre cada uno de los parámetros que influyen en el desarrollo de la uva pisquera.

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

www.gob.pe/ingemmet