

¿Cómo se formó?

CHILOÉ

EN BUSCA DE LA HISTORIA GEOLÓGICA
DEL ARCHIPIÉLAGO

Melissa González-Subiabre ★ Guido González-Subiabre



¿Cómo se formó?

CHILOÉ

EN BUSCA DE LA HISTORIA GEOLÓGICA
DEL ARCHIPIÉLAGO

Melissa González-Subiabre ★ Guido González-Subiabre

¿Cómo se formó? Chiloé

En busca de la historia geológica del archipiélago

Autores

Melissa González-Subiabre

Guido González-Subiabre

Edición y Diseño

Trafun Ediciones

Edición de textos

Lucía Alba Gudenschwager

Dirección de arte e Ilustraciones

Isabel Guerrero Schiappacasse

Diagramación

Sebastián Alvear Chahuán

Fotografías

Humberto Bertin, Álvaro Tapia

Asesores Científicos

Viktoria Georgieva, Paul Duhart, Gaëlle Plissart, Álvaro Tapia, Sven Nielsen, Rodrigo Vega, Rodrigo Soteres, Rosa Troncoso, Alexandre Corgne, Violchen Sepúlveda, Lizette Bertin, Guido González Subiabre, Melissa González Subiabre.

Asesores Pedagógicos

Claudia Oyarzún, Manuel Vargas, Delia Sánchez, Manuel Gómez.

Registro Propiedad intelectual: 2021-A-10098

ISBN Versión papel: 978-956-404-727-0

La primera edición de esta publicación se realizó en el marco del Concurso Nacional de Proyectos Ciencia Pública de Divulgación y Socialización del Conocimiento 2020.

Reimpresión, diciembre de 2022.

Proyecto financiado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación a través de subsidio directo para el desarrollo de proyectos, actividades y/o productos de divulgación y socialización del conocimiento dentro y fuera del sistema educativo.

No se permite la reproducción total o parcial de este libro ni el almacenamiento en un sistema informático, ni la transmisión de cualquier forma o cualquier medio, electrónico, fotocopia, registro u otros medios sin el permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright.

Valdivia, Chile ©2021



**TRAFUN
EDICIONES**

¿Cómo se formó? CHILOÉ

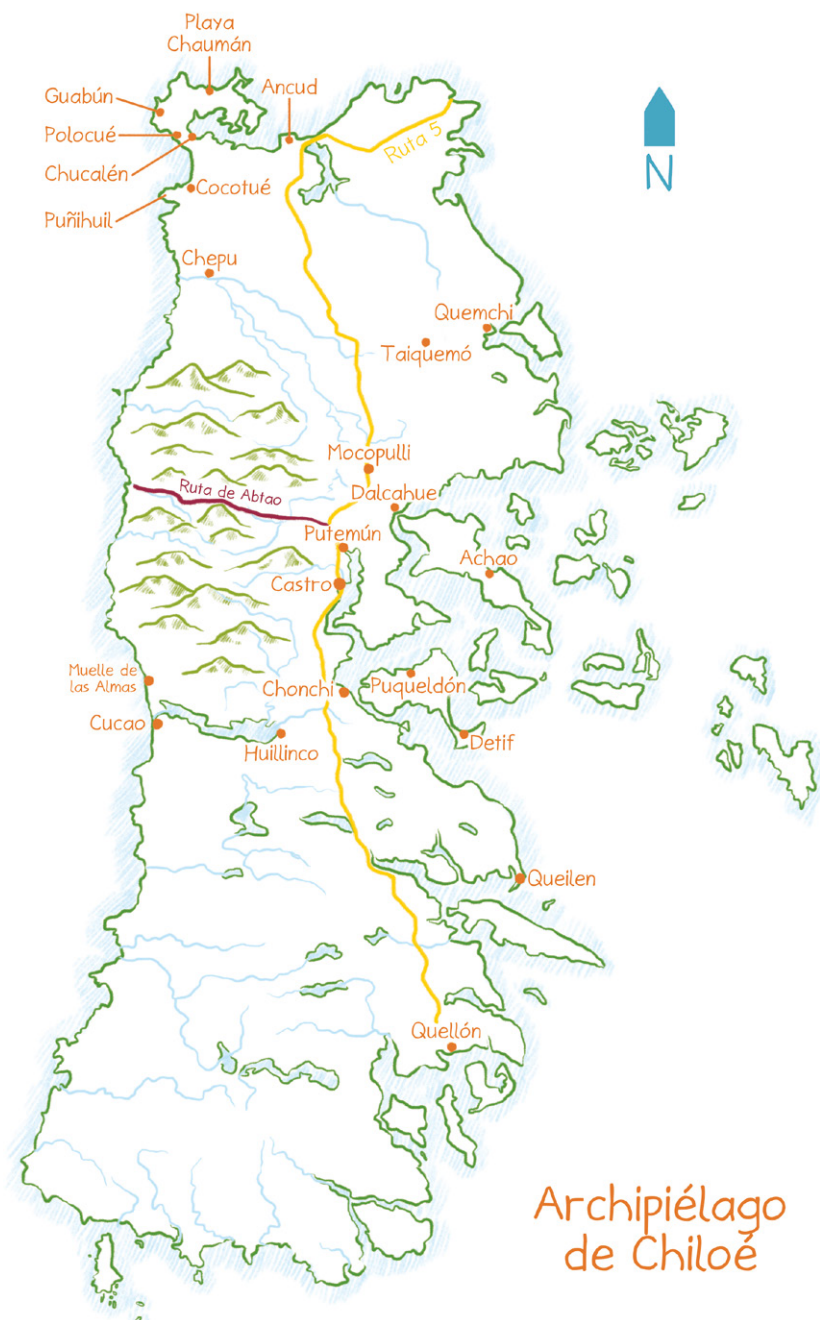
EN BUSCA DE LA HISTORIA GEOLÓGICA
DEL ARCHIPIÉLAGO

Nombre: Melissa González-Subiabre

Guido González-Subiabre

Dirección: Achao, Chiloé

Proyecto: Este libro fue financiado por el Ministerio de Ciencia,
Tecnología, Conocimiento e Innovación a través de subsidio
directo para el desarrollo de proyectos, actividades y/o
productos de divulgación y socialización del conocimiento
dentro y fuera del sistema educativo.



CONTENIDO		
PÁGINA	REFERENCIA	FECHA
06	Antes de partir	
08	¿Cómo se formó el planeta Tierra?	
16	Las rocas más antiguas de Chiloé	
26	El piso es lava	
40	Fósiles chilotes	
54	Glaciaciones	
64	El camino del oro chilote	
72	Mientras el viento sopla, una duna se forma	
78	Reserva de agua dulce en Chiloé	
94	Remociones en masa, el Chiloé escurridizo	
104	El archipiélago se mueve	
114	Cerrando nuestro viaje	
116	Bibliografía	
119	Agradecimientos	

ANTES DE PARTIR

Somos Guido y Melissa, hermanos y colegas geólogos nacidos y criados en Chiloé. Desde muy pequeños nos asombramos con la belleza e inexplicable forma de los paisajes de este archipiélago chileno: la Piedra de Achao, las rocas en la península de Lacuy, las dunas de las costas, las turberas y muchos otros rasgos geológicos, eran para nosotros un misterio. Sabíamos que cuando fuéramos adultos buscaríamos la manera de responder la pregunta: ¿cómo se formó Chiloé?

Desde que salimos de la universidad nos dedicamos a buscar la respuesta a esa interrogante. Visitamos el hermoso territorio insular que nos acogió y dio refugio durante un año. Recorrimos muchos recodos del archipiélago, aunque algunos sitios se escaparon de nuestras manos.



¿Por qué hicimos esto? Porque sabemos que hay muchas Melissas y Guidos curiosos y sedientos de respuestas. Queremos compartir con ellos métodos que les permitan encontrar por sí mismos la solución a sus observaciones. Por esa razón, hemos convertido nuestras libretas de terreno en este libro que ayuda, orienta y da a conocer el trabajo que realizamos como científicos de la Tierra.

En nuestras semanas de expedición recorrimos todas las comunas que conforman la provincia, recolectando muestras de roca para poder caracterizarlas y obtener información para reconstruir la historia geológica del territorio. A eso le llamamos SALIDAS A TERRENO.

¡En terreno!



También dedicamos tiempo al TRABAJO DE GABINETE, que significa estudiar lo observado, investigar, buscar información en libros e Internet y sacar conclusiones.

Para enriquecer nuestro trabajo realizamos ENTREVISTAS a geólogos y geólogas especialistas que nos ayudaron a entender lo que veíamos en terreno.

Y, como los procesos a veces ocurren a una escala no perceptible y en otros casos son un poco complejos, nos ayudamos con ACTIVIDADES, FICHAS DE TERRENO y alguno que otro EXPERIMENTO que nos permitieron recrear la naturaleza a escala laboratorio.



¿CÓMO SE FORMÓ EL PLANETA TIERRA?

Misión: investigar sobre el origen del planeta, para entender que la Tierra vive procesos dinámicos y cíclicos y conocer esos procesos, pues nos permitirá entender la geología de Chiloé y cómo esta ha cambiado y seguirá cambiando.

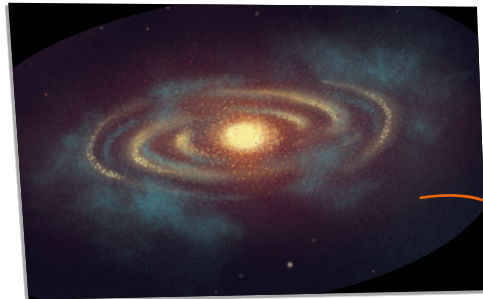
Nuestra primera tarea es descubrir cuáles fueron los acontecimientos que permitieron que el archipiélago de Chiloé se formara. Para eso debemos retroceder unos cuantos millones de años y remontarnos al origen de nuestro planeta, visitando continentes antiguos; sumergirnos bajo los océanos llenos de vida primitiva; sentir el frío de las glaciaciones y sobrevivir a innumerables ataques espaciales. Debemos viajar en el tiempo para descubrir, el nacimiento de la Tierra. Para hacerlo, reconstruiremos el pasado elaborando una línea de tiempo.

Trabajo de gabinete



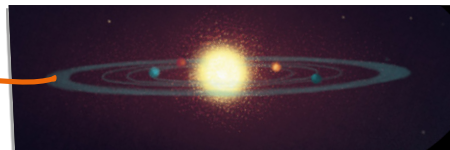
Hace 5000 millones de años: ORIGEN DEL SISTEMA SOLAR

Si retrocedemos unos 5000 millones de años el planeta que hoy habitamos, la Tierra, aún no existía, pero ¡atención! El Sol estaba dando sus primeros pasos, rodeado de una gran cantidad de polvo estelar. Se estaba formando nuestro sistema solar.



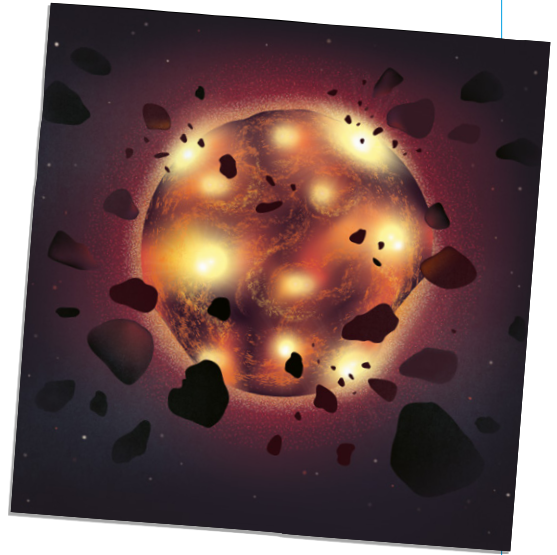
Nuestro Sol rodeado de polvo solar

Sistema Solar



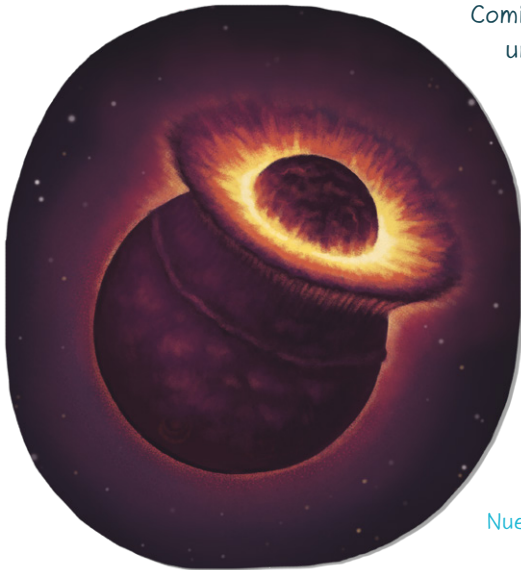
Hace 4600 millones de años: FORMACIÓN DE LA TIERRA

La fuerza de gravedad, que atrae un cuerpo con otro, permitió que el polvo y las rocas del espacio comenzaran a formar la Tierra. Hace aproximadamente 4600 millones de años atrás, nuestro planeta parecía más bien una ibola de lava! La temperatura de la superficie era mayor a 1200° Celsius. La atmósfera de la Tierra primitiva estaba compuesta de dióxido de carbono, nitrógeno y vapor de agua, que hacían que el planeta fuera tóxico y muy, muy caliente. Por eso, no había mucha posibilidad de vida, era un océano de lava, un flujo de rocas fundidas con muy poca superficie sólida.



Hace 4530 millones de años: FORMACIÓN DE LA LUNA

Comienza a acercarse a la Tierra, que aún era un infierno de lava, un planeta del tamaño de Marte, Theia. Luego de chocar con nuestro planeta, Theia, provocó una onda expansiva gigante, que, aceleró la velocidad de rotación de la Tierra, acortando los días a solo un par de horas y generó una ola de escombros y polvo que formó un anillo alrededor de nuestro planeta. Con el paso de unos cuantos miles de años descubrimos que parte de este polvo de estrellas dio origen a la Luna.



La Tierra no es redonda,
pero tampoco es plana.
Nuestro planeta tiene forma de pera
invertida, la llamamos geoide.



Hace 3900 millones de años:

LLUVIA DE METEORITOS Y FORMACIÓN DE LOS OCÉANOS

Sucedió uno de los eventos más increíbles en la historia de la Tierra: una lluvia de meteoritos. Millones de ellos impactaron incesantemente la superficie terrestre. Estos meteoritos contenían en su interior, en forma de pequeños cristales, un ingrediente que, hasta el momento, el planeta no poseía: agua. Si bien cada uno de ellos traía una pequeña cantidad, millones de ellos chocaron con la Tierra durante más de 20 millones de años. De esta forma se acumularon piscinas de agua en la superficie, que, en ese entonces, estaba más o menos sólida, pero aún a alta temperatura. El agua fue el componente vital para la generación de la vida.



¡Ojo! Esta agua primitiva es la misma que hoy inunda los océanos y lagos, también, la que bebemos cuando tenemos sed.

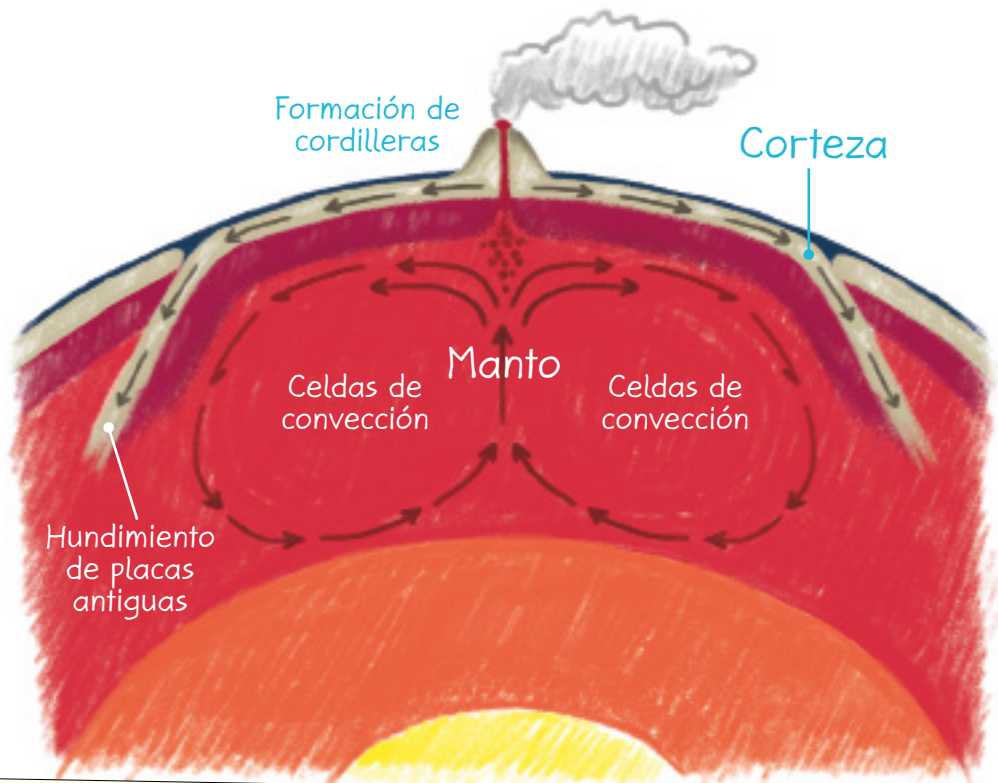


Molécula de agua

Hace 3800 millones de años:

FORMACIÓN DE LA CORTEZA TERRESTRE

La lava de la superficie de la Tierra comienza a enfriarse y como resultado se forma su corteza. Esta corteza se fue engrosando, pero el calor del interior de la Tierra, siguió alimentando miles de volcanes. Estos volcanes con forma de islas se movieron por la superficie uniéndose y separándose en un ciclo infinito. Esto ocurrió gracias a las corrientes de convección que se encontraban en el manto. Estas corrientes eran algo así como... el movimiento que hace el agua cuando hervimos una tetera.



El enfriamiento de las lavas más superficiales, ya transformadas en rocas es lo que llamamos corteza.

Hace 3800 millones de años: ORIGEN DE LA VIDA

Una nueva lluvia de meteoritos, quizás más grande que la anterior, comenzó a ocurrir en la Tierra. En esta oportunidad, las rocas espaciales trajeron consigo carbono y proteínas primitivas que se acumularon en el fondo de los océanos, formando chimeneas submarinas que liberaban un líquido muy especial, que hoy podríamos llamar, la receta de la vida. En esta “sopa orgánica” las moléculas reaccionaron unas con otras, resultando en sistemas más complejos. Este proceso se repitió durante mucho tiempo hasta que se creó el replicador, una molécula que tenía la propiedad de promover reacciones químicas para conseguir una copia de sí mismo. En la actualidad el replicador evolucionó al ADN.



Los estromatolitos son organismos que han mantenido hasta hoy su línea evolutiva.

Hace 3500 millones de años: FORMACIÓN DE LA ATMÓSFERA

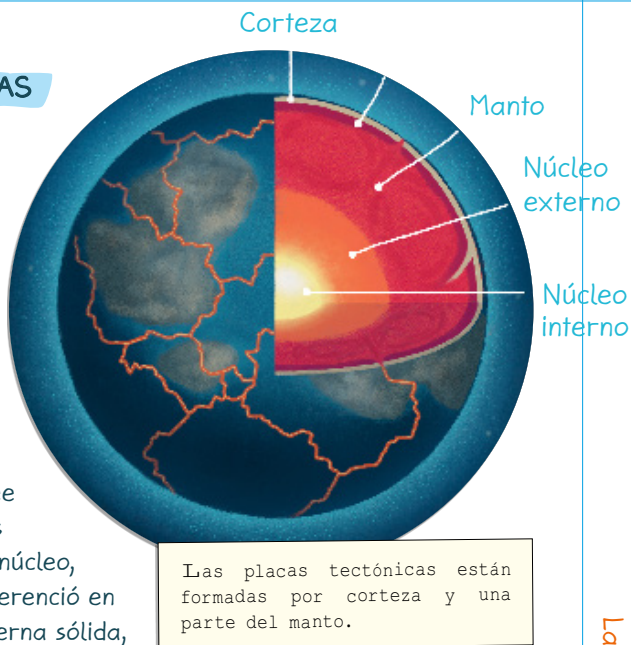
Aparecieron las primeras formas de vida más complejas, las colonias de bacterias llamadas estromatolitos que vivían en las zonas del océano poco profundo, alimentándose por fotosíntesis y liberando por primera vez en la Tierra, oxígeno. Este paso fue crucial para la construcción de la atmósfera y el aire que respiramos hoy. La próxima vez que inhaledemos una buena bocarada de aire, recordaremos que fueron estas pequeñas colonias de estromatolitos, las que nos dieron la oportunidad de existir.

Sin embargo, estudios recientes indican que el impacto de millones de rayos podrían haber aportado fósforo a la Tierra, un elemento esencial para la formación de la vida.

¿De dónde viene la vida entonces?

Hace 3200 millones de años: INICIO DE LA TECTÓNICA DE PLACAS

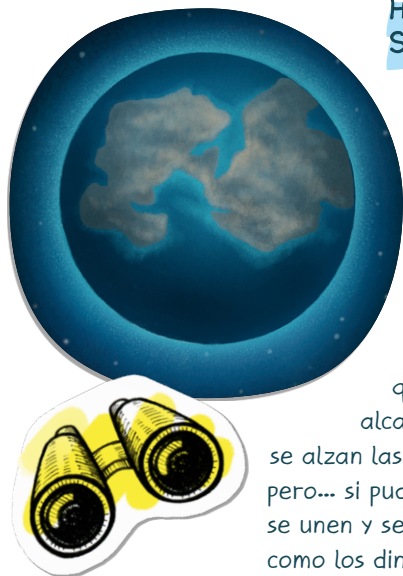
Gracias a la fotosíntesis de las cianobacterias la atmósfera de la Tierra empieza a tener más oxígeno, sin embargo, la vida humana no estaba ni cerca de acontecer. Cataclismos, enormes tsunamis y grietas interminables en el suelo, avisaban que la corteza del planeta comenzaba a fracturarse. La Tierra parecía ¡un rompecabezas! Se estaban formando las placas tectónicas. Se cree que hace mil millones de años después del inicio de la tectónica de placas, el núcleo, la capa más interna del planeta, se diferenció en su parte externa líquida y su parte interna sólida, compuesta por hierro y níquel principalmente.



Hace 1300 millones de años: SUPERCONTINENTE RODINIA

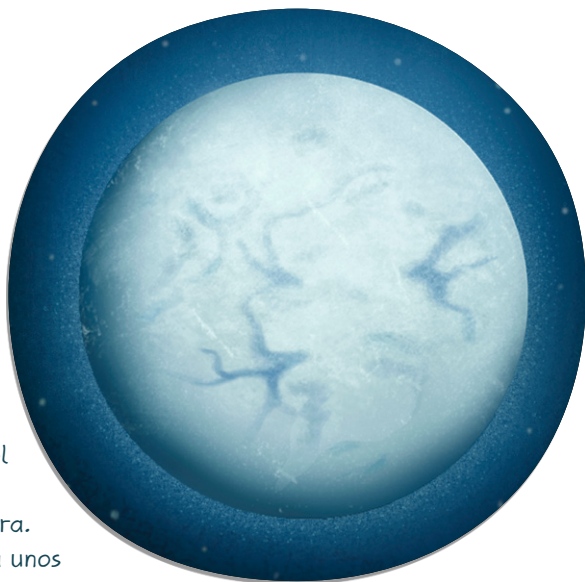
Las placas tectónicas fueron desplazadas por las corrientes de convección del manto. Este movimiento unió las masas de roca en la superficie formando supercontinentes. El primero del que hablaremos será Rodinia, un gran continente que dejó en evidencia lo vivo que estaba el planeta Tierra.

Las personas percibimos el tiempo de manera muy lenta, vivimos pocos años, si nos comparamos con los eventos que acontecen a la Tierra, es por eso que a menudo no alcanzamos a ver cómo se mueven los continentes, ni cómo se alzan las montañas (solamente algunos centímetros por año), pero... si pudiéramos ver un video a alta velocidad, veríamos cómo se unen y se separan los continentes, cómo aparecen formas de vida como los dinosaurios y cómo se extinguen completamente.



Hace 750 millones de años: TIERRA BOLA DE NIEVE

Después de millones de años, Rodinia se fracturó, lo que trajo inesperadas consecuencias. La ruptura del supercontinente generó mucha actividad volcánica. Las erupciones liberaban gran cantidad de dióxido de carbono, que gracias a la lluvia, era movilizado hasta impregnarse en las rocas. No olvidemos que este compuesto es el que permite la captación del calor del Sol y al estar en las rocas, no era suficiente para mantener la temperatura de la Tierra. Como consecuencia, esta descendió hasta unos 50° bajo cero.



El CO₂ es un gas de efecto invernadero que al aumentar su concentración en la atmósfera capta la radiación solar evitando que esta se refleje de vuelta al espacio. Cuando hay muy poca concentración en la atmósfera puede generar un período de glaciación ya que no se retiene nada de radiación solar.

Hace 600 millones de años: DESHIELO

La Tierra pasó de ser un océano de lava a ser una bola de nieve. Con una capa de hielo de aproximadamente 3000 metros de espesor, acontece lo que sería su primera gran glaciación. Pero como hemos visto a lo largo de la historia, nada es para siempre. El calor interno de la Tierra comenzó a expulsarse, rompiendo la capa de hielo, a través, de los volcanes. El dióxido de carbono que se liberó quedó en la atmósfera. Este proceso permitió que la temperatura volviera a subir y esto dio paso al deshielo del planeta.



Hace 540 millones de años:

RODINIA SE ROMPE

El planeta, una vez descongelado, muestra una nueva configuración en su superficie: las tierras emergidas aparecieron repartidas en dos supercontinentes: Laurasia y Gondwana. En ese momento la composición de la atmósfera era muy parecida a la actual, incluso se desarrollaron algunas formas de vida como algas, hongos y los primeros organismos multicelulares complejos. Desde este punto en adelante la vida irá diversificándose.



Nos acordamos de

GEO=CITA



Viktoria Georgieva, Geóloga especialista en geología estructural. “Nuestro conocimiento sobre la historia de la Tierra es tan dinámico como su superficie. Las y los geólogos y científicos en general, estamos en una búsqueda constante de respuestas, pero muchas veces encontramos nuevas preguntas. Algunos datos se consideran más precisos y bien definidos, mientras otras teorías sobre los procesos y la evolución geológica están basadas en un puzle de informaciones e interpretaciones diversas. Nuestra labor como mujeres y hombres de ciencia es mantener la mente siempre abierta hacia el conocimiento nuevo, nunca parar de analizar, integrar y diseñar de nuevo nuestras hipótesis”.



Después de nuestro trabajo de gabinete pudimos construir un resumen de la historia de la Tierra en una escala de tiempo geológico hasta justo antes el nacimiento del archipiélago. Ahora sabemos que el planeta ha vivido diferentes procesos que han modelado su paisaje constantemente, por lo que esperamos que al seguir investigando descubramos algunas sorpresas sobre la formación de Chiloé.

LAS ROCAS MÁS ANTIGUAS DE CHILOÉ

Misión: localizar las rocas más antiguas de Chiloé y comprender su formación.

Durante meses nos dedicamos a estudiar y averiguar la historia geológica de Chile y específicamente del archipiélago de Chiloé. Leímos artículos científicos, analizamos mapas geológicos, nos reunimos con geólogos y geólogas, y realizamos bastantes discusiones científicas. Gracias a ello, comprendimos que la configuración geológica de Chile estaba regida por la unión de pequeños continentes al borde suroccidental de Gondwana. Es decir, Chile en términos geológicos tiene el aspecto de un puzle, en donde cada pieza se fue anexando a medida que pasaban los millones de años.

Luego, nos centramos en la historia geológica de Chiloé y la dividimos según los acontecimientos geológicos más relevantes, en varios capítulos, ordenados desde lo más antiguo a lo más reciente.



Decidimos comenzar con un suceso que nos llamó bastante la atención: el choque de un antiguo y pequeño continente hace unos 385 millones de años, con el margen occidental de Gondwana, es decir, con la zona que hoy sería el suroeste del continente sudamericano.

Pero, ¿por qué esta colisión es importante para la historia geológica de Chiloé? ¿Cómo podíamos saber que un antiguo continente chocó con Gondwana? ¿Cómo se determinó la edad de este choque? ¿Qué información nos entregan las rocas para recrear este evento geológico? Para responder estas preguntas decidimos visitar a un experto en la materia. La etapa de investigación previa había terminado.



¡Por fin saldríamos a terreno! 

1era Parada: Oficina técnica de Sernageomin en Puerto Varas.

Nuestra primera parada fue en la oficina técnica de Sernageomin en Puerto Varas. Aquí concretamos una reunión con profesionales del Servicio Nacional de Geología y Minería. Luego de conversar sobre la geología de Chiloé, Paul Duhart, geólogo especialista en esa zona, nos ayudó a responder las preguntas que nos surgieron, respecto de la colisión del antiguo y pequeño continente al margen oeste de Gondwana.

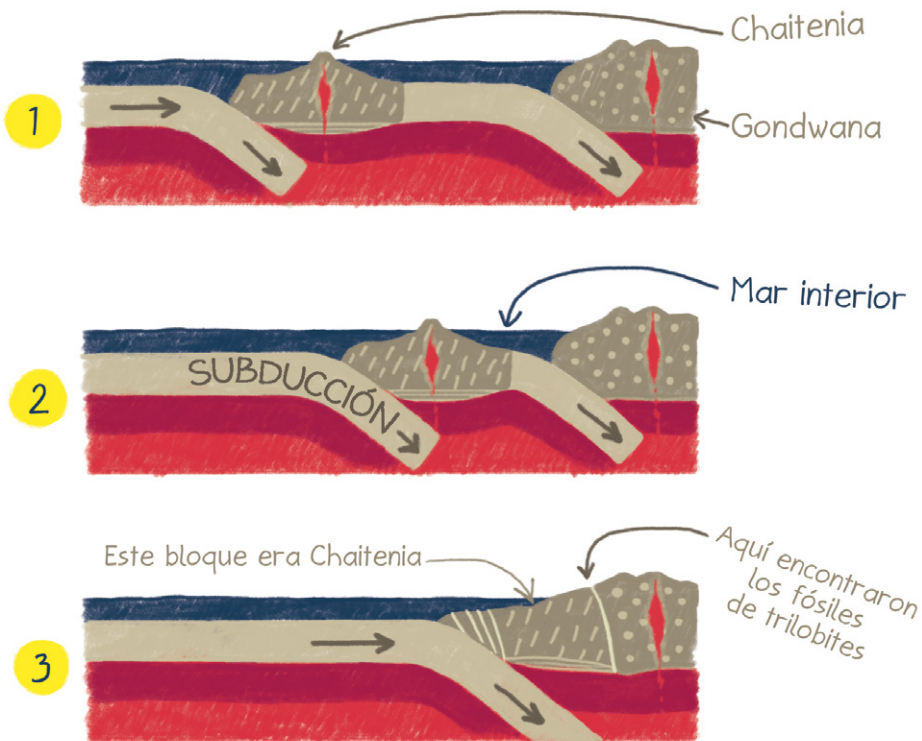


GEÓLOGO REGIONAL
DE SERNAGEOMIN

Entrevista A PAUL DUHART

Paul, ¿en qué consiste la teoría del choque del pequeño continente de Chaitenia con Gondwana?

Hace alrededor de 385 millones de años se formó un pequeño continente constituido principalmente por rocas ígneas, producto del enfriamiento de magma, al interior de la Tierra y en la superficie. Posteriormente, este pequeño continente chocó con la parte occidental del supercontinente Gondwana, dando paso al cierre de un mar interior. Este mar interior pudo ser reconstruido gracias a que se encontraron fósiles de trilobites en rocas sedimentarias, en la localidad de Buill (Península de Ayacura, comuna de Chaitén).



¿Cómo es posible que un pequeño continente formado por volcanes pueda moverse y chocar a otro?

Las placas tectónicas han interactuado de manera e intensidades diversas en el pasado geológico. Hace 385 millones de años, al igual que hoy, nuestro territorio estaba regido por un ambiente de subducción, es decir, una placa se deslizaba por debajo de otra. Cuando esto ocurre, gran parte de las rocas que componen la placa que se desliza (rocas volcánicas y rocas formadas por enfriamiento de magma al interior de la Tierra) chocan y se ‘adhieren’ al continente. De esta manera, este pequeño continente denominado Chaitenia, pudo acercarse cada vez más al margen oeste de Gondwana, colisionar y unirse a este supercontinente.

¿Cómo sabemos que es un pequeño continente, si ya no podemos verlo?

La respuesta a esto la encontramos en las rocas que son como “libros” naturales. Analizando algunas muestras de rocas encontradas en un área entre Hornopirén y Aysén, los científicos determinaron que tenían una edad de entre 360 y 400 millones de años y que poseían características muy diferentes a las conocidas hasta ese momento en la zona. Eran rocas principalmente de origen volcánico formadas en el océano y correspondían a los volcanes que dieron forma a Chaitenia.

¿Qué relación tiene esta colisión del pequeño continente con la historia geológica de Chiloé?

Este evento relata el origen del bloque completo de la región de los Lagos. Es la base de la historia geológica de ese territorio. En este sentido, sobre este pequeño continente se comenzaron a formar las rocas más antiguas que podemos encontrar en Chiloé, las cuales están ubicadas en la actual cordillera de la Costa (Guabún, cordillera de Piuchén, cordillera de San Pedro, parte oeste de Quellón y área de isla San Pedro) y están constituidas por rocas metamórficas de edades entre 240 y 220 millones de años.

2da Parada: Ruta de Abtao

El objetivo de visitar la ruta de Abtao es averiguar el origen de las rocas más antiguas de Chiloé, las cuales formaban parte de la cordillera de la Costa, una cadena de montañas que se erigía desde el norte a la zona centro sur de la isla grande de Chiloé. Según nuestra investigación, estas rocas se formaron luego de un largo trayecto de millones de años de la siguiente manera: primero se acumuló sedimento marino y del continente en una antigua fosa oceánica. Con el paso de los años este material se endureció y deformó por el efecto de la presión y la temperatura al que habría sido expuesto, finalmente por acción de fuerzas tectónicas estas rocas quedaron expuestas en la superficie donde se encuentran actualmente. Ahora la pregunta que nos surgió fue:

¿Qué relación tenían estas rocas con el antiguo continente que colisionó con Gondwana?

Desde la ciudad de Castro emprendimos viaje a la cordillera de la Costa. Realizamos el primer tramo siguiendo una conocida ruta turística denominada ruta de Abtao. Había bastante vegetación y las rocas que podíamos observar solo estaban en forma de rodados que son pequeños fragmentos de roca erosionados y transportados desde su lugar de origen. Principalmente observamos rocas compactas que a simple vista se veía que estaban formadas por muchas capas que no se podían separar con la mano. Nos llamó la atención la variación de altura que existía desde que salimos de Castro: cerca de la ciudad estábamos al nivel del mar, y en la ruta llegamos a una altura de 400 metros sobre el nivel del mar.



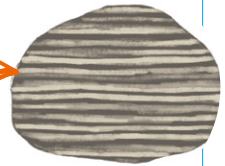
3ra Parada: Playa Guabún



Luego, nos dirigimos a la península de Lacuy, a la playa Guabún. Nos alegramos de encontrar muchos afloramientos, es decir, en toda el área había lugares donde la roca se exponía. Nos dirigimos a una pared y obtuvimos muestras de rocas. Encontramos las mismas rocas que habíamos observado en la ruta de Abtao: rocas de aspecto gris brillante con capas. El afloramiento completo estaba plegado. Con estos hallazgos terminaba nuestro segundo día de terreno.



Esquisto



Capas de gris brillante



Trabajo de gabinete



Ahora debíamos averiguar qué información nos entregarían las rocas que habíamos encontrado y descubrir cómo se habían formado. Para ello, investigamos en algunos libros y artículos y recopilamos esta información, en base a algunas preguntas que nos planteamos:

¿QUÉ NOS DICEN LAS ROCAS?

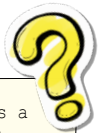
Las rocas que habíamos encontrado se llamaban “esquistos”. Son rocas muy compactas y pesadas, que tienen un aspecto laminado, es decir, se observa que están formadas por capas. Son bastante brillantes.



Esquistos deformados

¿CUÁL ES EL CICLO DE LAS ROCAS?

Para comprender su origen, primero es preciso comprender una parte del ciclo de las rocas.



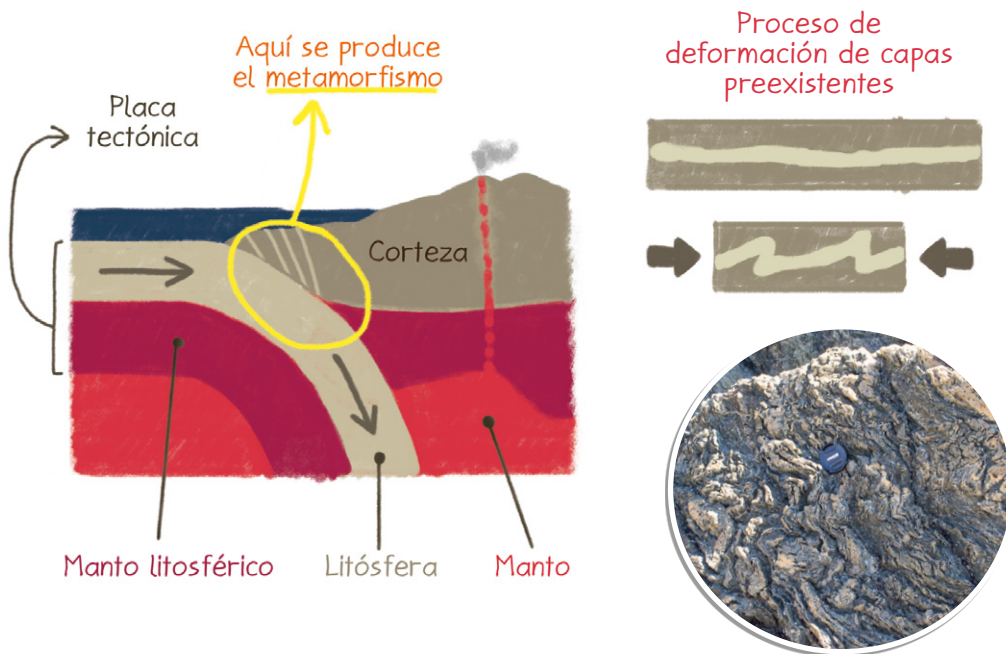
Todo comienza con rocas preexistentes. Estas están en la superficie, expuestas a la meteorización y a la erosión. Al ser pulverizadas y convertidas en sedimentos como la arena, se transportan y acumulan. Luego de un largo tiempo, (pueden ser millones de años), se convierten en rocas sedimentarias. Si estas rocas son expuestas a condiciones de temperatura y presión distintas, como llevarlas a mayores profundidades en la corteza terrestre, pueden experimentar un proceso denominado metamorfismo, en donde cambiarán su aspecto por completo y formarán nuevos minerales. Se pondrán mucho más compactas y densas y visualmente con texturas diferentes. Por ejemplo, si colocamos una masa de pan recién hecha en el horno veremos cómo esta finalmente se vuelve más sólida y con un aspecto diferente al inicial. Cabe señalar que este proceso no afecta solo a rocas sedimentarias, sino que a cualquier roca sometida a cambios de presión y temperatura.

¿CÓMO SE FORMARON LOS “ESQUISTOS” DE LA CORDILLERA DE LA COSTA DE CHILOÉ?

Estas rocas se originaron a partir de rocas sedimentarias. El aspecto “de láminas” del “esquisto” se debe a que antes de ser una roca metamórfica era principalmente arenisca, es decir, una roca formada por sedimentos tamaño arena dispuestos en forma de capas. A nivel de microscopio se han logrado identificar en estos esquistos asociaciones de minerales de color verde. Dentro de la jerga geológica esto le permite agregar un apellido a la roca: se llamarían “esquistos verdes”.

¿CUÁL FUE EL EVENTO QUE DIO ORIGEN A ESTAS ROCAS?

Cuando Chaitenia colisionó con Gondwana, justo en el borde oeste de las placas, en la antigua fosa oceánica, hace 310 millones de años, se estaba generando una gran acumulación de sedimentos en forma de cuña. Estos sedimentos del fondo submarino fueron transportados por la placa, como en una cinta transportadora. Cuando alcanzaron profundidades mayores que la corteza, en la subducción, estos sedimentos sufrieron el proceso de metamorfismo, donde debido a las altas presiones se deformaron y cambiaron sus características originales.



¿CÓMO LLEGARON A FORMAR PARTE DE LA CORDILLERA DE LA COSTA SI ANTES ESTUVIERON HUNDIDAS BAJO EL AGUA?

Estas rocas que alguna vez estuvieron bajo el mar comienzan a alzarse y, de esta forma, constituir lo que hoy es el territorio chilote insular. Esto sucedió probablemente porque fueron sometidas a fuerzas tectónicas y la erosión de la superficie.

ACTIVIDAD

Recreando el choque del antiguo continente denominado Chaitenia

Procedimiento

Materiales

- Cartón piedra.
- Goma eva café, verde, azul y naranja.
- Tijeras.
- Pegamento.
- Corta cartón.



1. Tomar el cartón piedra y en uno de los bordes marcar una línea de 2 cm de ancho.



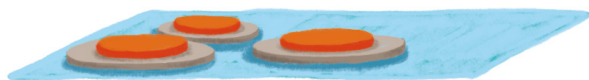
2. Con el corta cartón pasar sutilmente por encima de la línea para crear una pestaña.



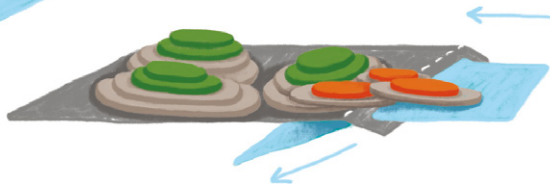
3. Dentro de la pestaña volver a trazar una línea que no llegue a los bordes y con el corta cartón pasar por encima hasta atravesarla.



4. Cortar capas de goma eva de color café y verde y pegarlas una sobre otra para simular el relieve de Gondwana en el cartón.



5. Cortar capas de goma eva color café y naranja para simular el relieve de los volcanes de Chaitenia sobre la goma eva azul.



6. Una vez terminados los relieves, deslizar la goma eva azul por el espacio dejado en el cartón.

7. Observar qué ocurre.



Con esta actividad simulamos la subducción ocurrida 385 millones de años atrás, al deslizar la goma eva azul bajo el cartón piedra y observamos que lo que está en superficie se acerca hasta chocar y unirse.

Nos acordamos de

GEO=CITA

Gaëlle Plissart, Geóloga especialista en el estudio de rocas metamórficas de la Universidad Austral de Chile. “Soy geóloga especialista en rocas metamórficas, que son las que se forman en profundidad por cambios de condiciones de presión y temperatura. Además de ser bellas, con minerales llamativos y estructuras sorprendentes, nos pueden indicar mucho sobre la evolución tectónica de una región. Estudiarlas es como ser un detective del pasado, a la búsqueda de indicios. En Chile, la cordillera de la Costa está compuesta por estas rocas que nos cuentan cómo y en qué condiciones se formó hace más de 250 millones de años”.



Aquí terminamos nuestra misión y llegamos a la conclusión de que las rocas más antiguas de Chiloé se encuentran en la zona de la cordillera de la Costa y son “esquistos”.



EL PISO ES LAVA

Misión: identificar las formaciones rocosas de origen volcánico en Fuerte San Antonio, Punta Polocué e Islotes de Puñihuil.

MAPA GUÍA PARA
PUNTOS DE OBSERVACIÓN

Alrededor de 28 millones de años atrás



1era Parada:
Depósitos
piroclásticos en el
Fuerte San Antonio

El primer punto que visitamos estaba ubicado en la ciudad de Ancud, en el Fuerte San Antonio. Esta fue una de las fortificaciones utilizadas durante la Guerra de Independencia que tuvo lugar entre lo que era Chile en ese momento y el Chiloé español.

Durante mucho tiempo se creyó que este fuerte había sido el último lugar de Chile donde habría flameado la bandera española. ¡Sí, Chiloé fue español y costó cuatro años de batalla anexarlo al territorio chileno! Además, se pensaba que había sido en este lugar donde se había firmado el Tratado de Tantauco en 1826, que ponía fin al dominio de la monarquía española sobre el territorio chileno, terminando así con el periodo colonial y dando inicio a Chile como una república independiente. Sin embargo, la firma del tratado no ocurrió exactamente en el fuerte, sino que, a las afueras de Ancud, en el puente San Antonio.

Para llegar al punto que nos habían indicado algunos de los científicos que conocían muy bien el área, entramos al Fuerte San Antonio y nos dirigimos hasta el final de este. Ahí encontramos unas escaleras que nos llevarían hasta la playa, donde podríamos observar las rocas que buscábamos. Seguimos en dirección noreste hasta el punto que indicaba el GPS. Durante todo el trayecto bordeamos la costa caminando sobre rocas que parecían ser de origen volcánico, pero su cubierta vegetal no nos permitía verlas con facilidad. Además, era muy difícil detenerse a observarlas, ya que eran muy resbaladizas y la marea estaba subiendo poco a poco.

¿Qué observamos cuando llegamos a terreno?

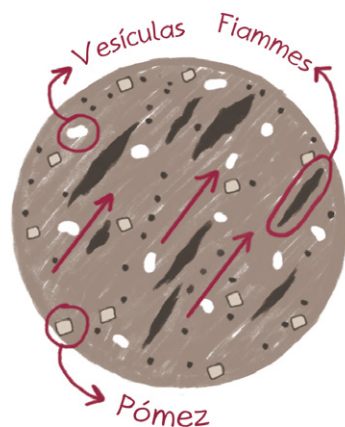
Tamaño de grano (mm)	Piroclastos
>64	  Bomba Bloque
64 a 2	 Lapilli
<2	 Ceniza

Al llegar al punto vimos una pared de rocas grises compuestas por fragmentos de roca de diferentes colores, tamaños y formas. Algunas tenían tonalidades verdes, marrón o azulado. Había también muchos pequeños fragmentos de color blanco amarillento. Cuando los tocábamos con las uñas se desprendían fácilmente. Parecía polvo acumulado en esas pequeñas formas.

Sacamos nuestra tabla de tamaños para clasificar las rocas volcánicas y descubrimos que ese polvo blanco podría ser ceniza, mientras que otros fragmentos que logramos sacar de la roca tenían un tamaño mayor. Posiblemente eran fragmentos volcánicos conocidos como "lapilli" (2-64 mm) y "bloques" (>64 mm).

Observamos, además, muchos agujeros huecos, llamados "vesículas," en algunos fragmentos de roca, que no estaban rellenos con ningún tipo de material.

Esta era la información que necesitábamos para concluir que estábamos viendo las rocas volcánicas que buscábamos. Los colores, los tamaños y la presencia de vesículas, son características principales de las rocas de origen volcánico. Había algo más y que fue muy determinante para llegar a esa conclusión: las "fiammes", unas estructuras alargadas de origen volcánico de color negro que se encontraban por todos lados en diferentes tamaños,



Fiammes



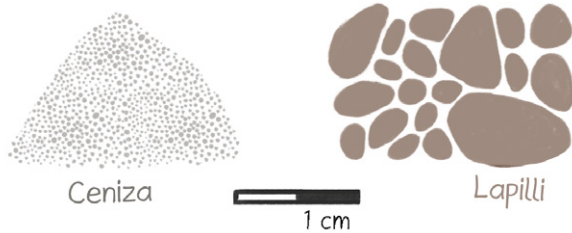
pero siempre elongadas y largas. Esto además, nos indicaba que había sido un tipo de volcanismo explosivo. Lo curioso es que se encontraban siempre apuntando a una misma dirección. Además, encontramos trozos de pómez dentro de la roca.

¿Nos ayudaría eso a entender el proceso de formación de estas rocas?

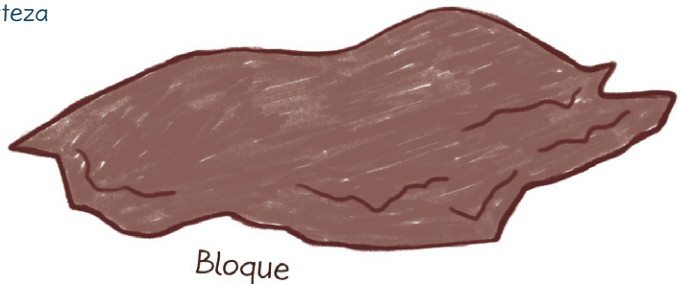
¿Y cómo se formaron estas rocas?

Sabemos que en el Chiloé de hace 28 millones de años aproximadamente, ocurrieron erupciones. Lo sabemos porque vemos los productos volcánicos de esos eventos. Pero, ¿dónde están los volcanes? Los productos volcánicos, es decir, las rocas y los sedimentos volcánicos que solemos llamar piroclastos, no son necesariamente generados a partir de un volcán. Existen diferentes tipos de manifestaciones volcánicas. En este caso, la ciencia aún no concluye nada, si es que hubo volcanes, probablemente fueron muy pequeños y ya queda poco rastro de ellos. Los procesos erosivos pueden haber desgastado la roca y luego el paso de los glaciares pudieron haber borrado todo rastro. Si bien esa respuesta no la podemos responder con tanta seguridad, sí podemos interpretar lo que vimos en esta parada y lo que quizás veremos en las siguientes.

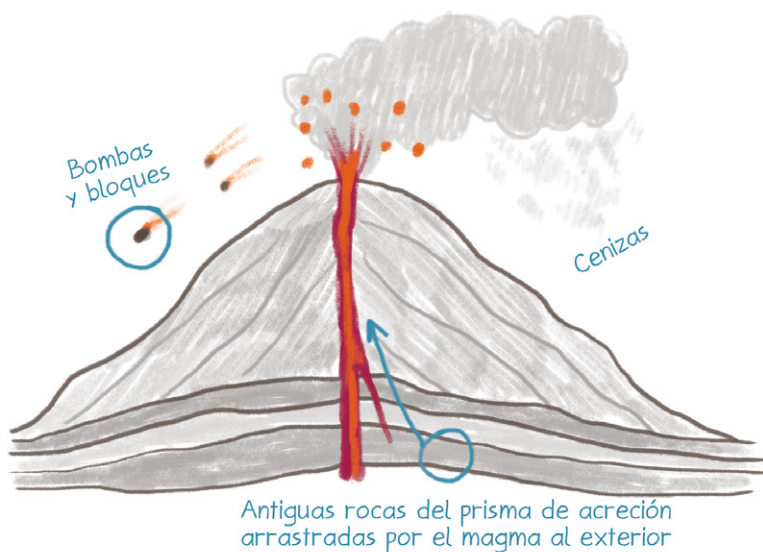
- 1) Lo primero es que vimos materiales piroclásticos: ceniza, lapilli y bloques. Estos son fragmentos de roca volcánica que se han formado a partir de la solidificación o enfriamiento de la lava en la boca de un volcán o en sus cercanías. Si no fue a través de volcanes que emergió la lava, pudo haber sido desde grietas en la corteza terrestre, sin necesidad de formar un gran edificio.



- 2) Lo segundo fue recordar los procesos que dieron origen a estos diferentes materiales piroclásticos.



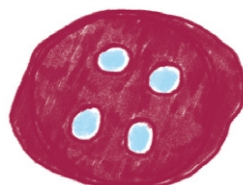
- a. La ceniza es el fragmento más pequeño que se forma durante una erupción. Mezclada con gases volcánicos produce nubes muy densas y calientes en forma de hongos. Al enfriarse en el aire no puede seguir soportando su peso y colapsa, es decir, se cae y dispersa en todas direcciones muy rápidamente y alcanzando a veces, lugares muy lejanos a la fuente de origen.



b. El lapilli en este caso era extraño ya que, en su mayoría, no tenía características volcánicas, solo el tamaño por el cual recibía su nombre. Estas rocas eran muy similares a las que vimos en la playa de Guabún, las rocas metamórficas. ¿Qué hacían aquí? Es probable que hayan sido arrastradas por el magma cuando iba subiendo. Recordemos que en su ascenso rompió la corteza, y en ese lugar la corteza estaba formada por rocas de la cordillera de la Costa. Parece que ya vamos armando un poco el puzle.

c. Las bombas se forman en el aire. Sí, mientras vuelan se forman y registran la dirección del viento. Los bloques, en cambio, ya están formados en la cámara magmática y son eyectados al producirse la erupción.

3) Lo tercero y último de este rompecabezas eran las vesículas. Estos agujeros en las rocas no siempre estuvieron vacíos. Por el contrario, acumulaban en su interior gases. Pero cuando el magma salió a la superficie como lava estos gases se liberaron rápida y explosivamente. Gracias a ellas podemos imaginar que no fue nada tranquila esta erupción.

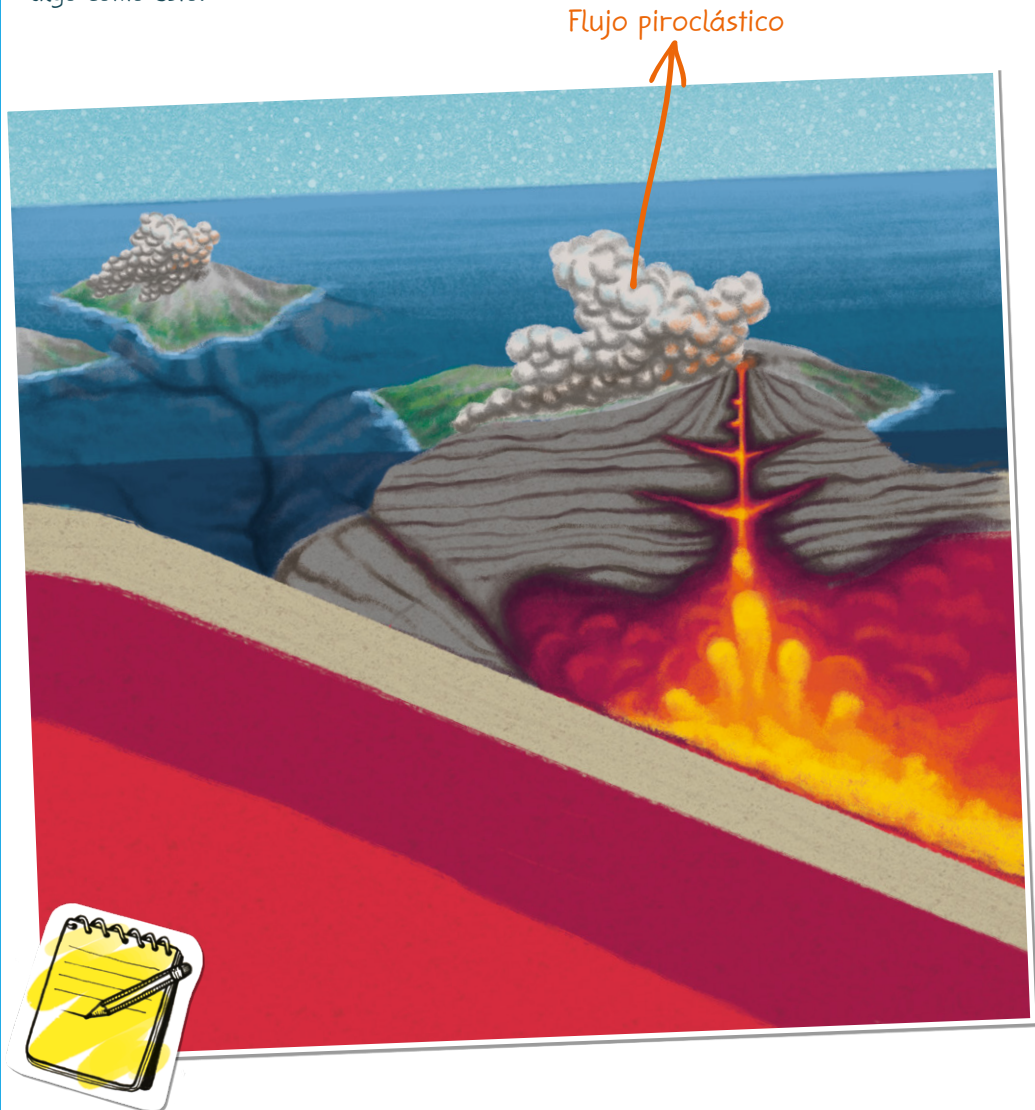


Magma con vesículas llenas de gases



Lava enfriada con vesículas vacías

Entonces hubo volcanismo explosivo que atravesó las rocas más antiguas de Chiloé, lo que actualmente es la cordillera de la Costa, probablemente por antiguas grietas en la corteza, denominadas fallas geológicas. Este volcanismo generó mucho material volcánico de diferente tamaño que se mezcló cuando la nube colapsó. Así es como nos la imaginamos, tal vez no tal cual, pero si tuviéramos una foto de ese momento, sería algo como esto:



Entrevista A ÁLVARO TAPIA

Durante esta salida a terreno, nos acompañó el geólogo y especialista en volcanes Álvaro Tapia quien nos recalcó la importancia del trabajo en terreno. Al momento de descubrir los fiammes, nos hizo ver que el hecho de poder descubrir, observar, establecer relaciones y concluir al ver las rocas, es algo que ninguna máquina o herramienta, por sofisticada que sea, podrá realizar. Al lanzar el dron para capturar algunas imágenes le preguntamos:



GEÓLOGO ESPECIALISTA
EN VOLCANOLOGÍA

Álvaro, ¿llegará un punto en el cual no será necesario venir a terreno, porque todo lo podremos conocer a través de estos aparatos?

La verdad yo no creo que eso pase. El ojo del geólogo y la interpretación que se realiza de las observaciones es algo que un dron no puede hacer por sí mismo. Si bien es una herramienta que facilita la observación de lugares de difícil acceso, solo capturan una parte de la información. ¿Cómo un dron va a sacar una muestra?

Pero, ¿qué rescatas tú del trabajo en terreno?

Cada vez que llegamos a un punto nos detenemos a observar varias cosas y eso es lo que vamos anotando en nuestras libretas. La memoria es frágil, así que hay que registrarlo todo. Lo principal es ir apuntando desde lo general a lo particular: entonces siempre observamos el afloramiento desde lejos, para entender su distribución, el contexto y la relación que tiene con otras formaciones

de rocas. Luego nos vamos a lo particular y sacamos una muestra pequeña de la roca para observar sus características y determinar de qué tipo de roca se trata. En este punto es importante usar la lupa, para ver los elementos con más detalle, como la forma de los granos o cristales y el color de los minerales, por ejemplo. A veces, también sacamos nuestras brújulas geológicas para medir algunas características de las rocas, como la inclinación, que nos permite conocer la disposición espacial de las rocas. A veces nos llevamos las muestras de roca, para analizarlas en más detalle y obtener aún más información como la edad de la roca, por ejemplo.

Nos sentimos muy identificados con las ideas que nos planteó Álvaro, ya que nos motivan a seguir realizando nuestro trabajo. Así terminamos nuestra primera parada.



Nos dirigimos a la siguiente parada del día, la misteriosa playa de Polocué. Tomamos el camino hacia Quetalmahue, luego nos desviamos hacia Guabún y cruzamos el puente Quilo.

Pero antes de continuar, hicimos una pausa en el conocido Museo geológico Puente Quilo. En este lugar nos recibieron los dueños, quienes nos comentaron parte de la historia del lugar. Durante mucho tiempo coleccionaron rocas que encontraban en diferentes lugares de la zona, pero fue con ayuda de un grupo de geólogos y geólogas que pudieron entender de dónde venían estas rocas. Así, las ordenaron cronológicamente en una pequeña casita que hoy es uno de los museos más interesantes de la zona.

Era importante parar ahí para contrastar la información que habíamos visto en terreno, ver si había alguna roca que pudiera sernos familiar. Y así fue!

Muchas muestras expuestas en el museo correspondían a las que habíamos encontrado en nuestras expediciones. Además de eso, descubrimos una tremenda sorpresa:

¡Encontramos ámbar gris! ¿Qué es y por qué es tan impresionante?

El ámbar gris es una roca que se forma a partir de la bilis calcificada en el intestino de los cachalotes. Los cachalotes lo defecan y esta piedra queda en el suelo marino.

Cuando se seca produce un aroma dulce y duradero y tiene un gran valor, pues con ella se fabrican caros perfumes.

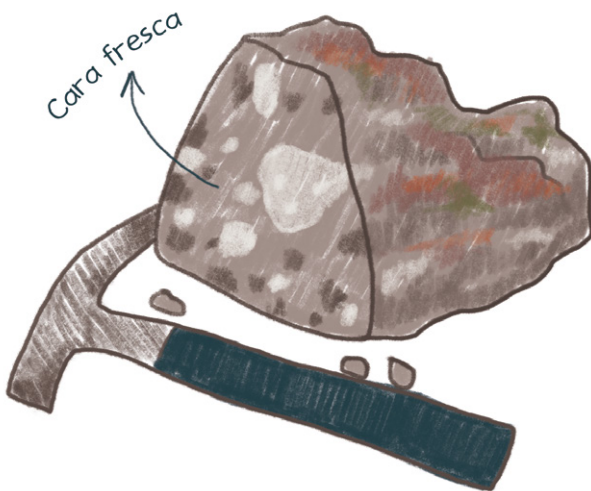
Luego de nuestro paso por el museo, continuamos rumbo a Mar Brava. El GPS nos indicaba seguir por un camino de tierra unidireccional que nos llevó hacia una puntilla de pescadores donde nos estacionamos para observar la pared de roca. Tomamos algunas fotografías del sitio, ya que presentaba características bien particulares que no habíamos encontrado en otros lugares.



¡Qué curiosas estas columnas!

En el lugar observamos rocas de color oscuro con evidente disyunción prismática, es decir, mostraban columnas de formas variadas, desde hexagonales a cuadradas. Esto nos llamó mucho la atención.

Identificamos, además, unos agujeros circulares perfectos, que correspondían a rastros de antiguos sondajes realizados en las rocas, probablemente durante una expedición de personas científicas que buscaban información de la edad de estas. **¿Pero cómo se puede saber la edad de las rocas?** Lo primero es sacar la muestra. No martillamos por capricho, lamentablemente las rocas se erosionan y meteorizan cuando están en contacto con el aire, el agua y otros agentes ambientales, por lo que debemos romper la roca para obtener la cara fresca, es decir, la cara por donde se rompe la roca. De esa cara podemos obtener algunos minerales que irán al laboratorio. La química de esos minerales nos permite a las personas que hacemos ciencia identificar la edad que tienen esas rocas.

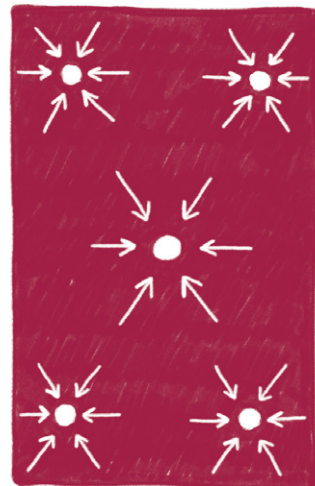


¿Por qué se forman columnas en las rocas volcánicas de Polocué?



Formación de los basaltos de Polocué-Ancud (hace 28 millones de años aproximadamente).

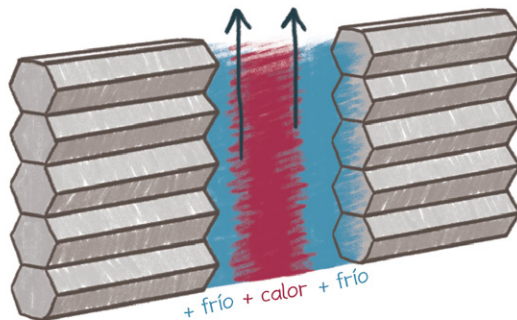
- 1) Las rocas volcánicas que se observan en Polocué, se formaron por el enfriamiento y solidificación de flujos de lava. Recordemos que la lava es roca fundida. En Chiloé esta lava emergió de manera no explosiva, es decir, escurriendo lentamente hacia la superficie, desde un conducto principal, que se cree estuvo en el sector de Chonos Polocué y salió a la superficie atravesando lo que actualmente es la cordillera de la Costa. ¿Y las columnas? El enfriamiento lento de la lava, la obliga a rellenar cada vez menos espacio, porque va reduciendo su volumen a medida que pierde calor. Este proceso es facilitado por el contacto con agua y produce fracturas en las rocas como cuando el barro se seca.



LAVA

- 2) Los hexágonos son figuras geométricas que se ven en muchos elementos de la naturaleza. Los panales de abejas, el caparazón de la tortuga, las grietas de desecación en el desierto, la forma de los copos de nieve y las rocas que vemos en Polocué. ¿Por qué hexágonos en las rocas? Cuando el flujo de lava avanza a través del conducto en dirección a la superficie, es decir, avanza hacia arriba, la lava que está más cerca de las paredes del conducto comienza a enfriarse por el contacto con rocas más frías.

Este enfriamiento lento y casi sin movimiento es lo que genera la formación de hexágonos en la cara perpendicular al flujo, es decir, la cara que da hacia la pared del conducto. La ciencia dice que esta es la forma más eficiente de liberar la energía.



Columnas en Polocué

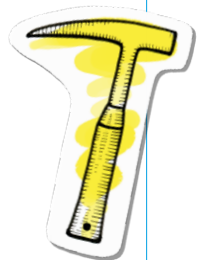
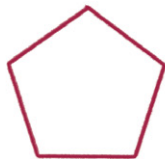


- 3) Pero, ¿por qué son unas más grandes que otras y tienen formas más perfectas?

Cuando el enfriamiento de la lava es muy lento, es decir, ocurre durante el transcurso de mucho tiempo, se forman unos hexágonos bien bonitos, súper definidos. Hasta podemos medir con un transportador sus ángulos y nos darán los 120° .



Pero cuando el enfriamiento es muy rápido, es decir, ocurre en muy poquito tiempo, no se forman exactamente hexágonos, da tiempo solo para cuadrados, semicírculos y hasta unas formas raras que no sabríamos definir.



ACTIVIDAD

Comprobemos la pureza de la miel

Y, para que no nos quedaran dudas respecto de cómo se forman los hexágonos realizamos este experimento. ¡Ah! Y, por cierto, sirve para saber si la miel que consumimos es pura o no.

Procedimiento

1.



En un plato untar miel para formar una capa circular del grosor de unos cinco milímetros, es un aproximado, no es necesario medirlo con la regla.

2.



Verter un chorrito de agua tibia sobre la miel, puede ser el agua de la llave. ¡Un chorrito!

3.



Agitar el plato en varias direcciones, de lado a lado. Aquí es necesario ser paciente, no hay que hacerlo muy brusco o la miel se despegará del plato. Esperar así unos segundos antes de ver qué es lo que ocurre.

4.



¿Qué resultó? ¿Miel pura o una mezcla de azúcares? Tuvimos que realizar cinco intentos para saberlo, pues recién a la quinta vez que tratamos, se formaron nuestros hexágonos.

3era Parada: Islotes de Puñihuil

Monumento natural
Islotes de Puñihuil



En nuestro quinto día de expedición, visitamos los islotes de Puñihuil, uno de los atractivos turísticos más importantes de Chiloé. Los tres islotes en conjunto, conforman el Monumento Nacional Islotes de Puñihuil, que alberga a dos de las diecisiete especies de pingüinos del mundo: los pingüinos Magallánicos y los de Humboldt, que nidifican y se reproducen en este lugar. Por lo que sabíamos, estos islotes son el único lugar del mundo donde estas dos especies de pingüinos nidifican juntos.

¡Estábamos muy ilusionados con la visita!



Pingüino
de Magallanes

Cuando llegamos el tiempo parecía estar tranquilo. Estaba nublado y con frío, pero no parecía que fuera a llover. Sin embargo, y para nuestra sorpresa al subirnos a la lancha que nos llevaría hacia los islotes, para identificar las rocas que lo conformaban, se desató un chubasco que duró tanto como nuestro fallido recorrido. ¡Lluvia traicionera!



Pingüino
de Humboldt

Solo pudimos ver un pequeño pingüino buscando refugio de la tormenta. Después nos percatamos de que esta época no es buena para avistar pingüinos, ya que las colonias se habían marchado casi por completo. Aunque fue un poco decepcionante no verlos, una gran variedad de otras aves ocupaba el lugar y lo llenaban de gracia. Carancas, cormoranes, fardelas, patos silvestres y muchas otras reinaban en la ausencia de los pingüinos. En todo caso, nuestra expedición no estaba orientada a ver aves, sino a identificar qué rocas de origen volcánico había en el lugar.

Si bien no pudimos observar bien las rocas, algunos afloramientos se encontraban en la costa, así que caminamos en esa dirección, para aprovechar un poco el sol que comenzaba a asomarse. Al llegar a las rocas comenzamos a realizar nuestro trabajo de observación cuando de pronto en uno de los centros de operadores turísticos vimos una ilustración gigante elaborada por geólogos. ¡Ya habían estado por estos lados! Comparamos esa información con nuestras observaciones y parecía que todo calzaba.



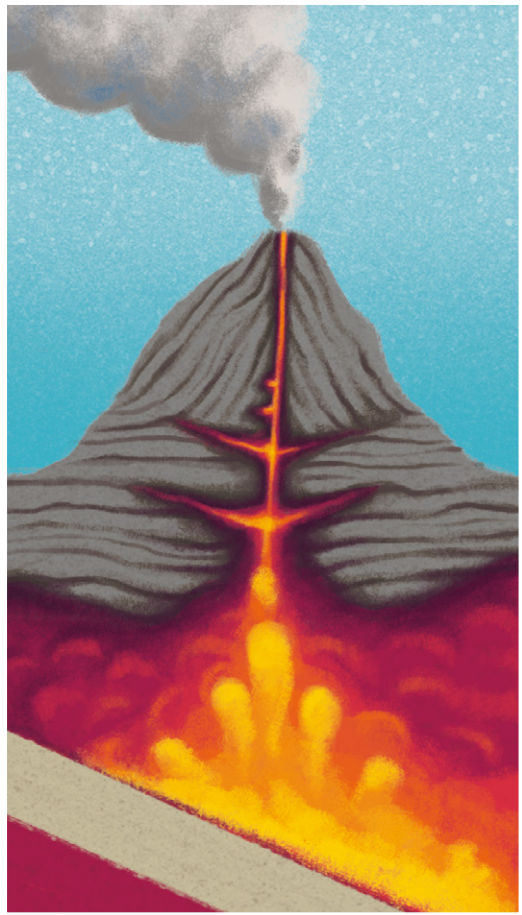
Islotes de Puñihuil

¿Qué eran esas rocas que estábamos mirando?

Las rocas que formaban estos pequeños islotes eran andesitas, lavas, que aprovecharon el espacio entre las grietas de las rocas más antiguas de Chiloé y quedaron semi entrapadas, enfriándose bajo la superficie, pero muy cerca de ella. De esta manera los minerales habían tenido tiempo para crecer y esa era la razón por la que ahora podíamos verlos fácilmente. Una parte de la lava sí alcanzó a llegar a la superficie, y al encontrarse con el agua del mar se enfrió rápidamente, se quebró y mezcló con sedimento, como la arena, formando una textura amarillenta y que solo se ve en las rocas de la entrada de esta reserva natural. Si no hubiese llovido tanto, no habríamos visto estas extrañas formaciones. Ahora la lluvia no nos parecía tan mala compañera.

¿De dónde viene la lava?

En estricto rigor lo que debíamos preguntarnos es, ¿de dónde viene el magma? Recordemos que magma es la roca fundida bajo la superficie y que cuando esta llega arriba, al exterior, se le dice lava. El magma se almacena en grandes reservorios a muchos kilómetros de profundidad que llamamos cámaras magmáticas. Estos magmas llegan a la superficie gracias a los conductos, de los que ya entendemos bastante. Salen a la superficie atravesando las grietas de las rocas (denominadas fallas geológicas) de la que actualmente es la cordillera de la Costa, se deslizan por los lados y se van formando pequeñas capitas, como una torta. Eso les da forma a los volcanes, pero como ya sabemos, quizás estos fueron muy pequeñitos y desaparecieron por la erosión.



Después de realizar esta expedición de dos días en la que visitamos el fuerte San Antonio, punta Polocué y los Islotes de Puñihuil, podemos decir que cumplimos nuestro objetivo:

logramos identificar las rocas volcánicas.

Pero para que no se nos olvide hicimos un pequeño resumen.



Rocas volcánicas

Hay magma acumulado bajo la superficie de la Tierra. Este llega al exterior mediante conductos y en Chiloé, probablemente atravesando grietas en la roca denominadas fallas geológicas. En su camino va arrastrando material rocoso de las paredes con las cuales tiene contacto el conducto en su parte externa.

Al llegar arriba una parte se expulsa al exterior en forma de lava, otra parte se expulsa como una mezcla de gases con forma de nube y una parte no sale, se queda enfriando cerquita bajo la superficie. La mezcla de todos estos productos es lo que vemos hoy en el exterior. Es un poco complejo armar el puzle, pero con mucha imaginación podemos reconstruir este pedacito de historia del pasado volcánico de Chiloé. En resumen, se podría decir que en Chiloé existieron dos tipos de volcanismo, según la composición del magma: uno explosivo que explica el origen de las rocas del fuerte San Antonio y otro no explosivo, que explica el origen de los basaltos columnares en Polocué y las rocas de los islotes de Puñihuil.



FÓSILES CHILOTES

Misión: comprobar si las rocas marinas encontradas en la península de Lacuy, Chonchi y Cucao tienen el mismo origen en común.

1era Parada: PENÍNSULA DE LACUY, PLAYA CHAUMÁN

Al primer lugar al que nos dirigimos con el equipo fue a la zona norte de Chiloé, a la península de Lacuy. Amigos geólogos nos habían dicho que en playa Chaumán podríamos encontrar afloramientos de roca de muy fácil acceso y que se nos haría cómodo poder obtener muestras para analizarlas. Un afloramiento es un lugar donde la roca se expone de manera visible siendo posible la extracción de alguna muestra.



Salimos de casa alrededor de las 07:30 am.

Luego de manejar alrededor de una hora y media desde la ciudad de Ancud llegamos a la playa. Observamos rocas de colores grises apiladas en extensas capas horizontales llamadas "estratos", que tenían alrededor de diez centímetros de espesor cada uno. Estas rocas se extendían por toda la playa. Logramos obtener una muestra de roca.

Estratos de rocas marinas en playa Chaumán

Cada estrato parecía contener granitos de rocas de diferentes tamaños. Algunos estaban compuestos casi por puros sedimentos gruesos, mientras que otros eran una mezcla de diferentes tamaños. Con nuestro martillo geológico le pegamos a uno de los estratos y obtuvimos una muestra de roca.



Restos de otras rocas



Al mirarla con nuestra lupa nos dimos cuenta de que había restos de otras rocas dentro de ellas, de colores muy variados, rojos, negros, blancos y algunos restos de minerales también. Esto nos indicaba que estos estratos estaban formados por residuos de rocas antiguas que habían sido erosionadas.



Fósiles

Algunas de las rocas que observamos contenían restos de fósiles de antiguos seres marinos que actualmente viven en el mar. Pero, **¿cómo llegaron estos fósiles a estar en estas rocas?** ¿Por qué si estos animalitos solían vivir en el mar, estaban dentro de la isla? ¿Cómo puede ser posible esto? Debíamos seguir explorando para responder estas preguntas.



2da Parada **CHONCHI**

Alrededor del mediodía viajamos a la ciudad de Chonchi. ¿Por qué aquí? Bueno, porque habíamos averiguado que Lacuy, Chonchi y Cucao tenían afloramientos de roca del mismo aspecto y queríamos comprobarlo. Bajamos a la playa que estaba cerca de la costanera de la ciudad y caminamos durante unos 10 minutos.

Encontramos unas grandes murallas de roca de color amarillento.

¿Podrían ser estas rocas las mismas de Lacuy si tenían diferente color?

Esta pared de roca también estaba formada por muchas capas. Al igual que en Lacuy cada estrato estaba compuesto por un conjunto de granos de diferentes tamaños. Nos intrigaba bastante el color de las rocas, así que obtuvimos una muestra. Al verla con la lupa nos dimos cuenta de que también estaba formada por fragmentos de rocas antiguas. También de diferentes colores. Pero, ¿por qué el aspecto amarillento de la pared de roca? Quizás algún proceso químico tiñó las rocas de este lugar.



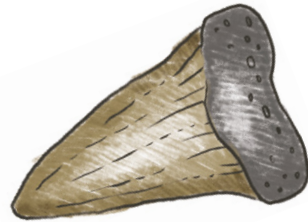


Martillo Geológico
(Aquí lo usamos como
escala para medir el
tamaño).

Nos impresionó mucho encontrar grandes esferas de sedimentos entre los estratos. Estas según recordábamos se llamaban “concreciones” y son conocidas porque suelen contener algunos fósiles. No obtuvimos ninguna muestra, pero sí le sacamos algunas fotos bonitas para pegar en nuestra libreta de terreno. Esto, ya que por ley, está prohibido recolectar fósiles (a menos de tener una autorización para investigación científica). Son patrimonio natural protegido.



Lo más alucinante de todo fue que en algunas rocas logramos reconocer, algunos dientes de tiburones y restos de mantarrayas. Pero, **¿cómo podíamos tener en estas rocas, estos seres vivos que suelen vivir en aguas más cálidas?**



Diente de tiburón

3era Parada
CUCAO

Finalmente, alrededor de las cinco de la tarde emprendimos rumbo a Cucao. Visitamos el sector denominado Muelle de las Almas y también fuimos a la hermosa playa de Cucao.



Acantilado formado por muchos estratos

Apenas llegamos a Cucao, conversamos con personas de la zona y nos indicaron la ruta hacia el muelle. Nos llamó la atención que el camino estaba lleno de montes y terrenos llanos, como si lo hubieran esculpido. Cuando llegamos al mirador del muelle, echamos a volar nuestro dron. Capturamos imágenes impresionantes. Desde la costa podíamos ver un gran acantilado, formado por muchos estratos de diferentes tamaños. Se veían diferentes capas de colores.



¡Concreciones gigantes!



Melissa posando con las concreciones

Luego, nos adentramos en el Parque Nacional Chiloé, bajamos directamente a la playa y después de caminar algunos minutos por la costa, volvimos a encontrar concreciones. Esta vez eran mucho más grandes. Eran gigantes, a decir verdad. Las rocas aquí también tenían un aspecto amarillento al igual que en Chonchi. Y, al igual que en las dos localidades anteriores, las rocas estaban formadas por fragmentos diminutos de rocas de diferentes colores y aspectos.

En esta playa, observamos otros tipos de fósiles: aturias, restos de cangrejos, volutas y ostiones.

Pero, ¿los fósiles encontrados en las tres localidades tenían alguna relación?

¿Qué nos podían indicar?

¿Cómo se formaron estas rocas?

¿Por qué tienen tantos fósiles?

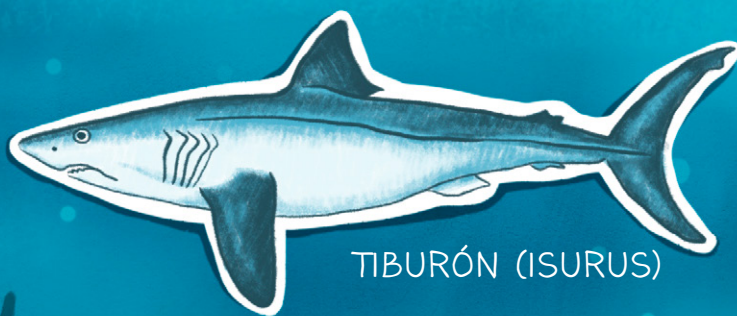


Fósiles

Trabajo de gabinete



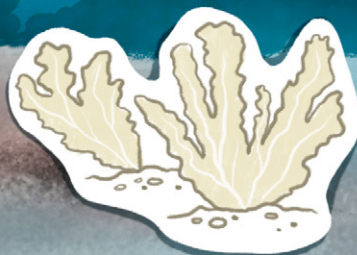
Al día siguiente hicimos una pausa y nos dedicamos a interpretar la presencia de los fósiles observados y fotografiados en los tres puntos visitados. Gracias al paleontólogo Sven Nielsen, quien nos acompañó en nuestra salida a terreno logramos crear un mapa esquemático de los seres vivos que habitaron los mares en el pasado.



TIBURÓN (ISURUS)



VOLUTA
(PALAEOMELON
JEFFI)

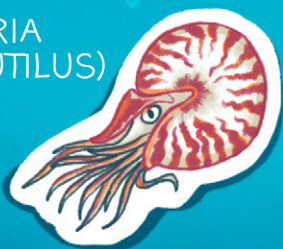


CORAL TIPO "FLABELLUM"



Después de nuestra investigación logramos concluir que todos estos seres vivieron alguna vez en el talud continental (zona inclinada del fondo marino), pero a diferentes profundidades y en distintas zonas. Observar los mismos fósiles en distintos lugares, nos informaba que podrían tener algún origen en común.

ATURIA
(NAUTILUS)



MYLIOBATIS
(MANTARRAYA)



OSTIÓN
"CHLAMYS"
SIMPSONI



CANGREJO (GERYON MANNINGI)

Luego de leer bastante, formulamos algunas preguntas, las que respondimos creando un resumen para recurrir cuando quisiéramos recordar algo sobre los fósiles.

¿QUÉ SON LOS FÓSILES? ¿CÓMO SE FORMAN?



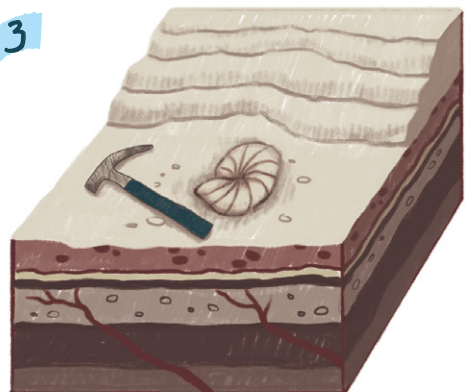
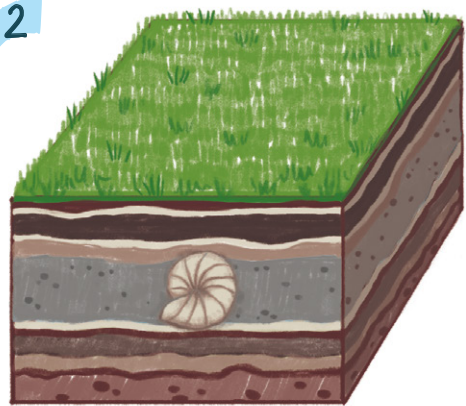
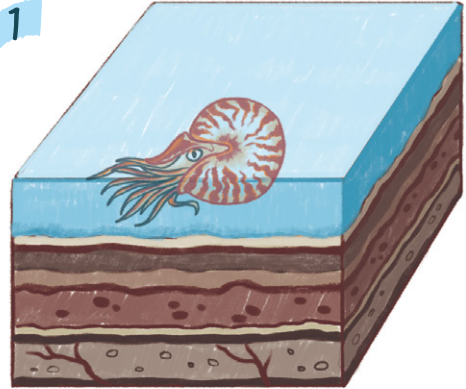
Los fósiles son restos de animales, vegetales y huellas que algún ser vivo dejó en la superficie y, que luego con el paso del tiempo, se transformaron en elementos muy duros y resistentes.

Veamos el caso de un “nautilus”.

Este animal marino poseía un caparazón resistente, y al morir, su cuerpo se depositó en el fondo del mar.

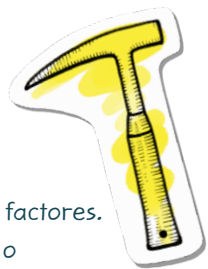
Durante la descomposición desapareció la parte blanda de su cuerpo, pero se conservó su caparazón.

El sedimento marino fue depositándose sobre él en capas, y luego de millones de años, el caparazón más la capa de sedimento que lo rodeaba se transformaron en roca, que por estar formada de sedimento, se llama roca sedimentaria.



¿PERO ENTONCES LOS FÓSILES SIEMPRE SE FORMAN EN EL FONDO DEL MAR?

No, no siempre. La fosilización de un organismo depende de muchos factores. Por ejemplo, si ese organismo posee estructuras duras como huesos o caparazones. Depende también del ambiente en el que se deposita, y lo que ocurra con el terreno en el cual se produce la fosilización.



¿SOLO SI TIENE PARTES DURAS SE FOSILIZA?

No, existen estructuras blandas como vegetales o plumas que también se fosilizan.



¿Y ESAS PARTES BLANDAS NO SE DESCOMPONEN?

Para que fosilice una parte blanda, el organismo debe depositarse en algún ambiente con características poco aptas para la vida. Por ejemplo, en aquellos donde existe poco oxígeno, o en ambientes muy ácidos o muy fríos. Además, en el lugar debe haber abundante sedimento.

Los fósiles son nuestro vínculo directo con el pasado. Nos permiten viajar en el tiempo geológico y conocer cómo eran las condiciones de vida. Aquellos fósiles que vivieron exclusivamente en una época o en un período que podemos acotar con precisión, nos permiten datar las rocas en las que se encuentran. Por ejemplo, en Chiloé los fósiles encontrados, nos permiten saber que las rocas sedimentarias de Cucao tienen edades de alrededor de 20 millones de años. Por otro lado, el registro fósil encontrado en Chiloé ha permitido inferir que en aquella época el clima era subtropical y la temperatura era al menos 5° más alta que hoy.



Entrevista

A SVEN NIELSEN

¿Quién es Sven Nielsen?

Soy geólogo de formación y paleontólogo de especialización. Nací en Alemania, en la ciudad de Hamburgo. Actualmente trabajo en la Universidad Austral de Chile en Valdivia estudiando organismos marinos que habitaron Chile los últimos 25 millones de años.

¿Cómo es tu trabajo?

Es bastante interesante e intrigante. Solemos ir a lugares donde hay un registro previo de fósiles de una edad que nos interesa. Cuando encontramos fósiles, registramos el contexto geológico en nuestras libretas. Luego dependiendo del tipo de fósil, los extraemos. A veces si encontramos muchos de ellos también obtenemos muestras de sedimentos para analizar los fósiles más pequeños (microfósiles). Posteriormente, en el laboratorio, tratamos, tamizamos y miramos el sedimento bajo una lupa, para separar los microfósiles.

¿Cómo es ser paleontólogo en Chile?

En Chile se conoce muy poco con respecto al registro fósil y sus contextos geológicos. Básicamente en muchas unidades geológicas no se tienen buenas edades de formación o no están bien interpretados los ambientes que representan. Debido a esto, muchas veces debemos trabajar desde cero. Lo que en otras partes del mundo ya está hecho desde hace décadas o siglos, aquí

Para profundizar un poco más en el tema decidimos hacerle una entrevista a nuestro amigo.



GEÓLOGO-PALEONTÓLOGO DE LA
UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE

en Chile aún no está desarrollado.

Eso se puede ver como ventaja o desventaja, porque deja mucho campo abierto por estudiar.

¿Se puede sacar un fósil cuando se encuentra uno?

La ley 17.288 de Monumentos Nacionales, protege el patrimonio arqueológico y paleontológico. Esta ley permite que cada fósil que se encuentre tenga el mismo grado de protección legal que un registro arqueológico. Por lo tanto, no se puede sacar, tener, ni mucho menos vender un fósil.

Para buscar fósiles se requiere de un permiso del Consejo de Monumentos Nacionales, incluso los paleontólogos lo necesitamos. Cuando uno encuentra un fósil, hay que informarlo a algún paleontólogo profesional o al Consejo de Monumentos Nacionales.

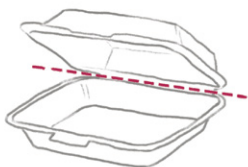
ACTIVIDAD

Luego de recorrer bastante la isla y de encontrar varios fósiles aún teníamos dudas respecto de cómo se formaron. Sven Nielsen nos recomendó hacer una actividad al llegar a nuestro hogar, para poder comprender mejor su mecanismo de formación.

Procedimiento

Materiales

- 200 gramos de yeso.
- Aceite de cocina.
- 1 pincel.
- 2 barras de plastilina.
- Una caja de plumavit.
- 1 figura de animal de juguete.
- 50 gramos de café.
- Tijeras.



1. Partir la caja de plumavit por la mitad.



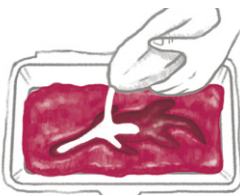
2. Rellenar el fondo de una de las tapas con plastilina.



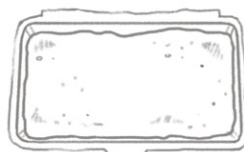
3. Marcar la figura del fósil con el animal de juguete.



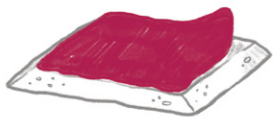
4. Cubrir toda la plastilina con aceite de cocina.



5. Colocar yeso, previamente preparado en una bolsa con abundante agua.



6. Esperar 24 horas o hasta que esté completamente seco el yeso.



7. Sacar con cuidado el yeso, del molde de plastilina.



8. Romper el cuadro de yeso de manera irregular para obtener un aspecto de roca antigua.



9. Mezclar café con agua y pintar el fósil. La parte del centro debe estar más oscura.

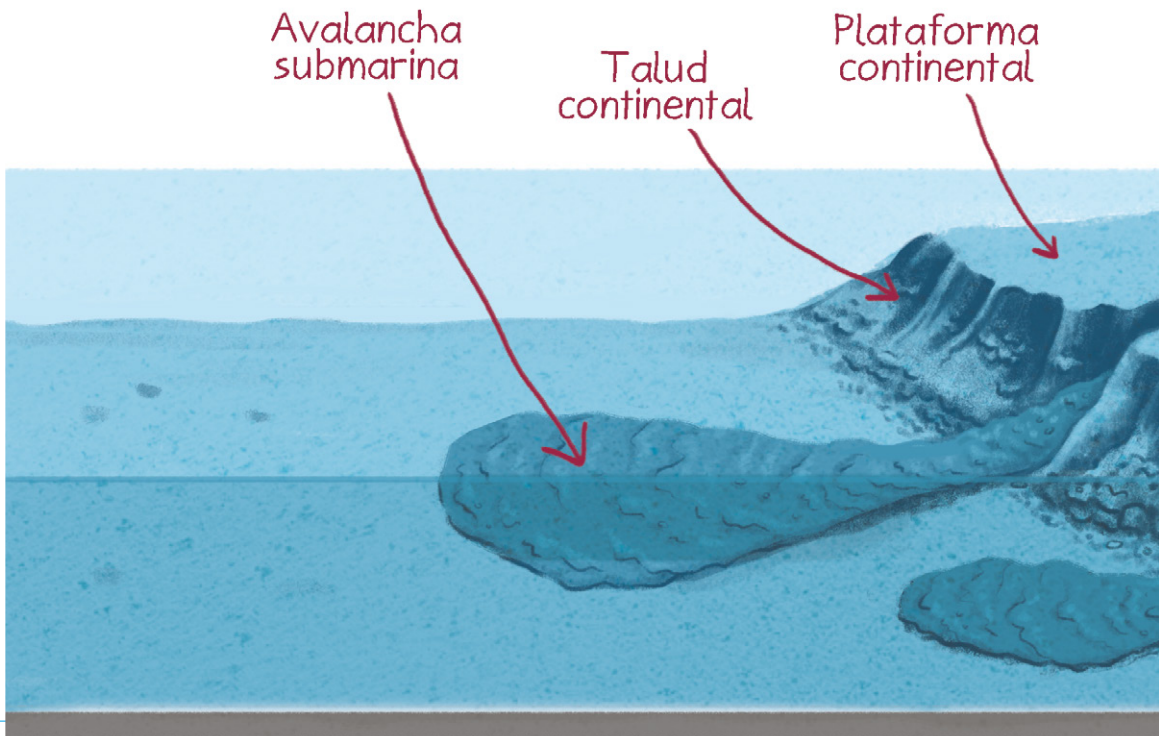
Trabajo de gabinete



Entonces, ¿cómo se habían formado las rocas que encontramos en Lacuy, Chonchi y Cucao? ¿Tenían alguna relación? ¿Qué nos indicaban los fósiles que encontramos? ¿Podrían darnos alguna pista de algo?

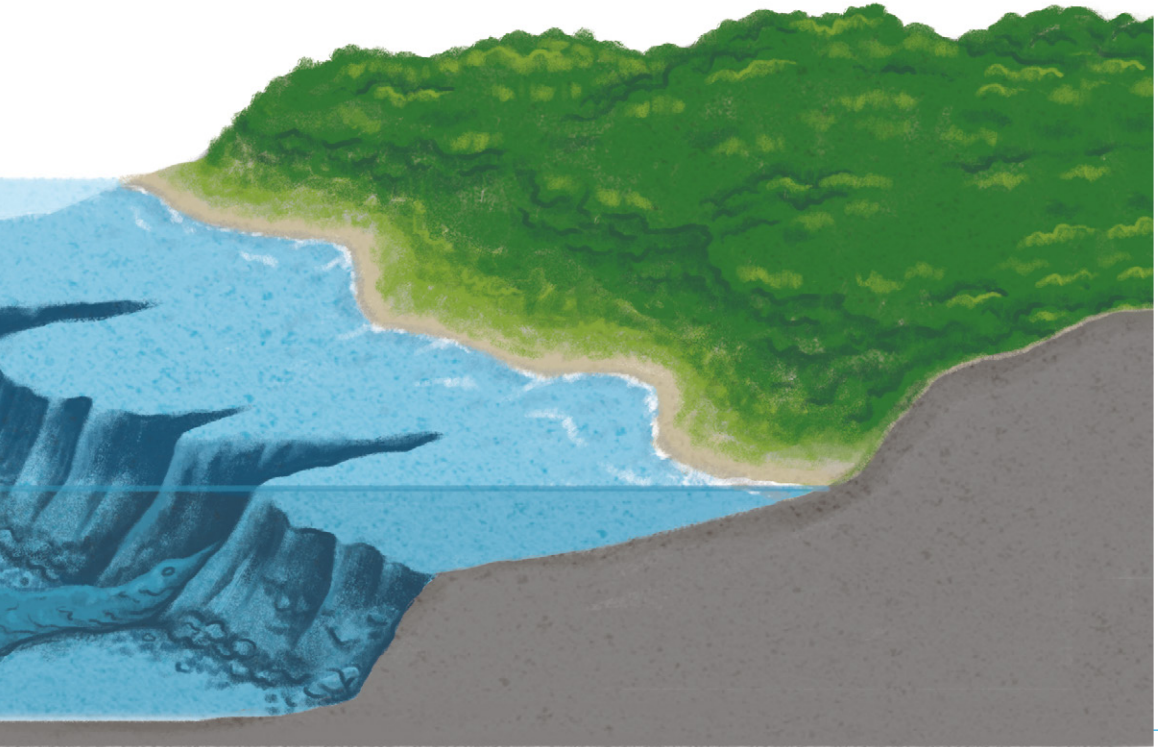
Las rocas encontradas en estos lugares corresponden a rocas de origen marino. Podemos afirmar esto porque observamos en las rocas, fósiles de especies que vivían en el mar. Sven, nos comentó que actualmente se cree que las tres localidades que visitamos forman parte de una misma unidad geológica, es decir, comparten el mismo mecanismo de formación, el mismo origen.

Tal como está dibujado en el diagrama en las páginas anteriores, estos fósiles vivían a diferentes profundidades, pero, ¿por qué encontramos fósiles que habitaron en zonas más superficiales en rocas que representan lugares más profundos? ¿Cómo sabe Sven que las rocas de las tres localidades tienen el mismo mecanismo de formación?



En primer lugar, hay que pensar en las rocas. Cuando las observamos con la lupa, nos damos cuenta de que están formadas por muchos granitos de diferentes colores y tamaños. Esto nos indica que fueron movidas desde su lugar de origen hasta el mar. Como encontramos fragmentos de rocas volcánicas y metamórficas, podemos intuir que proceden de las rocas más antiguas encontradas en Chiloé, pero ¿cómo se mezclaron en las rocas fósiles de diferentes profundidades?

Bueno, actualmente se cree que todos estos estratos se originaron por miles de avalanchas submarinas durante millones de años. Cuando se acumulaba suficiente material erosionado en la plataforma continental, por inestabilidad en el contacto con el talud, o bien por terremotos, se originaban estas avalanchas provocando que todos los fragmentos de rocas y fósiles que se encontraban en el talud se mezclaran y depositaran en el fondo marino, al pie del talud continental, en lo que llamamos cuencas, lugares con grandes profundidades que permiten que se acumule material, como si fuera una especie de olla geológica. Luego, debido a procesos de alzamiento tectónico, estas rocas fueron traídas a superficie.



GLACIACIONES

Misión: descubrir el origen del paisaje de Chiloé.

1era Parada: Isla de Quinchao

Estábamos muy emocionados de poder estar en Achao, nuestra ciudad de origen. Teníamos muchos lugares en mente para ir a visitar. Pero como estábamos contra el tiempo debimos priorizar dos puntos. Primero caminamos por la playa de Achao. Desde muy pequeños nos habíamos preguntado qué eran esas rocas que se veían

por toda la costa. La gente local la llamaba "piedra laja".

Era de color blanco y estaba formada por muchas capas blandas blanquecinas que podías sacar con las uñas de los dedos. Extrajimos una muestra de mano de una gran pared y ocurrió algo maravilloso. Encontramos huellas de patas de aves y restos de hojas. ¿Qué significaba esto? ¿Qué

decían estos fósiles encontrados en esas rocas? ¿Qué era realmente la piedra laja?

Seguimos caminando por la playa y comenzamos a encontrar grandes rocas que no parecían tener relación alguna con el paisaje como si algo las hubiera movido hasta este lugar. ¿Cómo habían llegado hasta aquí estos bloques?



Bloque errático

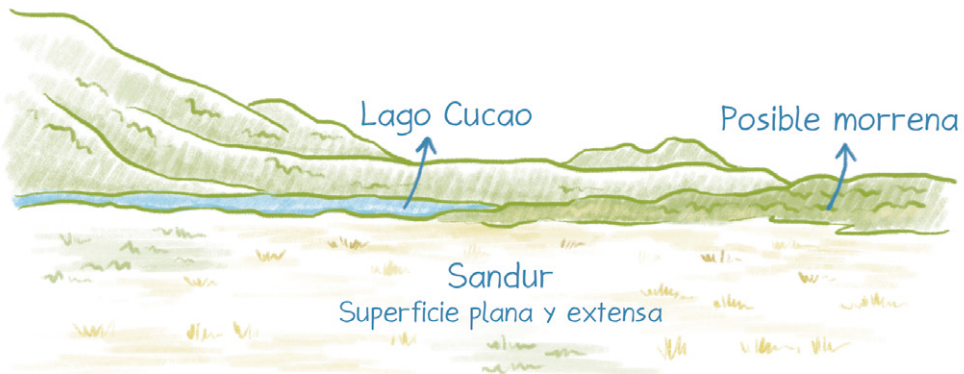
Luego de caminar un buen rato por la costa de la ciudad, emprendimos el viaje en kayak hacia la piedra de Achao. Una formación rocosa que se encontraba en el mar, directamente al frente de la costa. Remamos alrededor de unos 35 minutos hasta llegar a una base que nos permitió bajar. Rodeamos la roca caminando e hicimos un hermoso dibujo con los rasgos principales que pudimos observar. Eran muchas capas de sedimentos que contenían granos de diferentes tamaños.



¿Cómo se formó la piedra de Achao?
¿Cómo llegó a este lugar?

2^{da} Parada: Cucao

Al otro día viajamos a Cucao. Nos tomó alrededor de 2 horas y media. Esta vez íbamos en busca de otros rasgos geológicos que nos dieran pistas respecto de cómo se formó el relieve de Chiloé. El camino era bastante sinuoso, lomas muy altas y bajadas muy empinadas. En la mitad del trayecto, el sector de Mocopulli nos llamó mucho la atención, porque allí el paisaje cambiaba rotundamente: era una superficie plana y muy extensa. Al llegar a Cucao nos sorprendió encontrar unas colinas alargadas de forma arqueada y bajo ellas unas superficies planas como las que habíamos visto en Mocopulli. ¿Qué relación tenían entre sí todos los rasgos que encontramos en Achao y en Cucao?

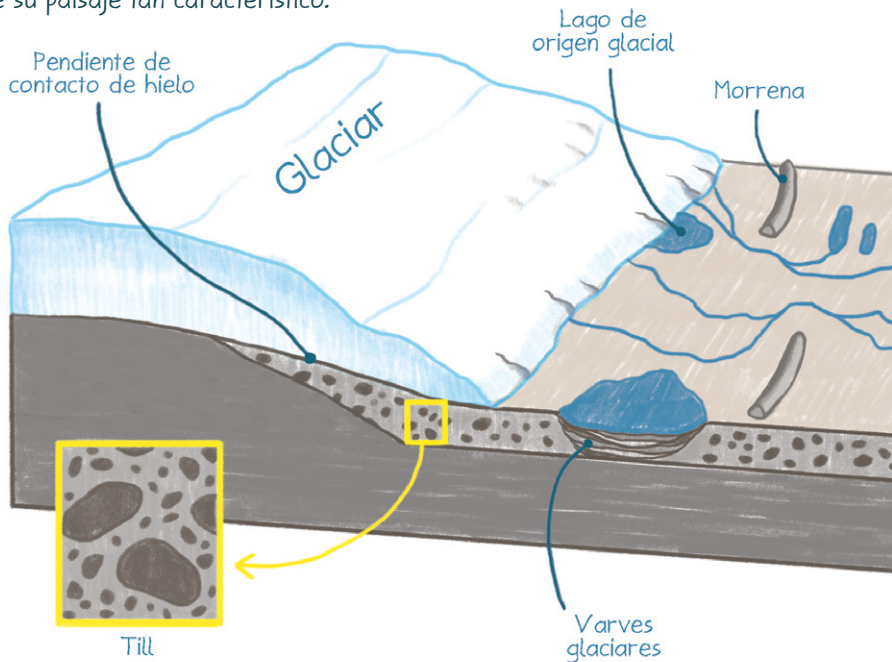


Trabajo de gabinete

Para poder resolver nuestras preguntas, nos reunimos con Rodrigo Vega y Rodrigo Soteres, nuestros especialistas del área, y sentados en el suelo, comenzamos a dibujar lo que observamos durante los días de terreno.

Nuestra meta era armar un gran puzzle geológico. Ellos nos informaron que los rasgos observados en terreno tenían un origen en común: eran de origen glacial y serían los que le daban a Chiloé su paisaje tan característico.

Una forma del relieve que encontramos camino a Castro son las pendientes de contacto de hielo, cuevas bastante empinadas y largas donde el glaciar estuvo reposando y que son muy útiles para saber hasta dónde llegaron los glaciares.



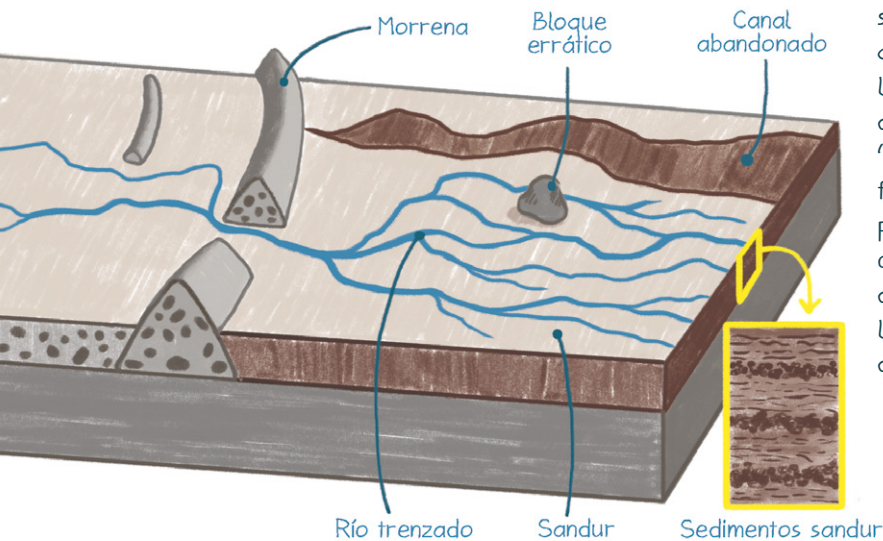
La piedra de Achao, corresponde a un depósito de "till", es decir, material sedimentario muy desordenado y de diferentes tamaños que se depositó allí producto del avance glaciar. Esta roca se encuentra aislada en el mar, y probablemente se originó por la continua erosión del agua y el viento a lo largo de los años.

Las piedras laja encontradas en la costa se denominan "varves glaciares".

Estas evidencian la acumulación de material al fondo de un antiguo lago glacial. Los "varves" están formados por láminas de distinta coloración, según la temporada del año: capas claras se forman en periodos cálidos y capas oscuras en periodos fríos.

Las colinas alargadas de forma arqueada y afilada que encontramos en Cucao, se llaman "morrenas".

Estas se forman gracias a que los glaciares tienen una gran capacidad para esculpir los paisajes. El hielo glacial fluye desde las cumbres de las montañas arrancando, lijando, generando estrías y transportando rocas que son depositadas en el frente de las lenguas de los glaciares dando lugar a estas formas de relieve.



Las grandes rocas solitarias de granito que encontramos en la costa de la playa de Achao, se llaman "bloques erráticos", y fueron arrastradas por antiguos glaciares cientos de kilómetros desde la cordillera de los Andes hace miles de años atrás.

Mocopulli y las planicies que encontramos en Cucao se denominan "sandur". Aunque los glaciares están principalmente formados de hielo, también tienen una gran cantidad de agua líquida, la cual fluye desde los frentes glaciales dando lugar ríos trenzados que en su discurrir remueven rocas y arenas. Estos sedimentos se van depositando poco a poco hasta formar unas grandes llanuras muy planas que conocemos como "sandur" o "outwash".

Trabajo de gabinete



Terminamos nuestro bosquejo y luego comenzamos a leer un poco sobre cómo la vegetación nos ayuda a entender la historia pasada de esta glaciación que afectó a nuestro territorio, y logramos encontrar lo siguiente.

RECONSTRUCCIÓN DE LA PALEOVEGETACIÓN

Cada especie vegetal tiene una preferencia de clima para vivir. Por ejemplo, algunas de ellas están cómodas en temperaturas relativamente cálidas y secas, como los coihues y lengas. Mientras que otras, prefieren condiciones más frías y húmedas, como el mañío. Por esta razón, las especies vegetales se reparten el territorio teniendo en cuenta las diferencias climáticas que existen.

Así pues, si viajamos desde la costa hacia las montañas atravesaremos primero, un bosque húmedo y siempre verde con abundantes coihues y cuando más alto estemos en las montañas, empezarán a aparecer mañíos.

Gracias a esta cualidad de la vegetación podemos estimar cómo fue el clima del pasado a través del estudio de los granos de polen "fósil" que se encuentra preservado en los sedimentos que encontramos en Chiloé, especialmente en el fondo de los lagos y los pomponales. ¡Increíble! El polen fósil nos revela el tipo de vegetación y el clima en que esta habitaba.



Como los sedimentos más profundos son más antiguos y se van haciendo más jóvenes según vamos acercándonos a la superficie, el polen atrapado en ellos nos permite saber qué vegetación había en la zona durante un largo periodo de tiempo. Este tipo de estudio se conoce como análisis palinológico.



ANÁLISIS PALINOLÓGICO TAIQUEMÓ

A lo largo de Chiloé hay muchos sitios donde se han realizado análisis palinológicos. Uno de los más famosos se encuentra en las cercanías de Taiquemó, donde se logró obtener una serie continua de sedimentos que permitió reconstruir la vegetación de los últimos 50.000 años, lo que incluye el último máximo glacial.

Gracias a este estudio sabemos que entonces el archipiélago estuvo cubierto de coihues, lengas y ñirres acompañadas de mañíos, formando un bosque abierto parecido al que nos podríamos encontrar hoy en Magallanes, lo que sugiere que el clima era relativamente frío y húmedo.

Hace 38.000 años, este bosque comenzó a desaparecer y Chiloé se convirtió en una estepa de hierbas similares a las pampas que hoy podemos observar en Tierra del Fuego. Sin embargo, entre los 38.000 y los 18.000, coincidiendo con el último máximo glacial, hay varios momentos en que los bosques aparecen nuevamente durante breves periodos de tiempo. Este patrón indica que el clima chilote alternó entre intervalos muy fríos y húmedos interrumpidos por periodos cortos de clima un poco más cálido y seco, que permitieron la expansión de gigantes glaciares que cubrieron el archipiélago. Finalmente, hace 18.000 los bosques de coihues comenzaron a aparecer rápidamente, llegando a formar el bosque cerrado que conocemos hoy solo 1000 años después, indicando el establecimiento de condiciones climáticas más cálidas y secas que cuando habían glaciares. Sin embargo, aproximadamente entre los 14.500 y los 13.000, el polen de mañío creció a gran velocidad, lo que significa que el clima en Chiloé se volvió frío y húmedo nuevamente durante un periodo de 1500 años.



Gracias a los estudios que han reconstruido el comportamiento de los glaciares chilotes durante el último máximo glacial sabemos que, en general, los periodos en que los bosques desaparecieron coinciden con momentos de grandes avances glaciales lo que indica que los análisis palinológicos son una excelente herramienta para estimar la evolución climática en el pasado.

Entrevista

A RODRIGO VEGA Y RODRIGO SOTERES



LICENCIADO EN CIENCIAS
ESPECIALISTA EN GEOMORFOLOGÍA
DE LA U. AUSTRAL DE CHILE



GEÓGRAFO ESPECIALISTA EN
GEOMORFOLOGÍA GLACIAL

¿Quién fue la primera persona en estudiar el registro glaciar en Chiloé?

A principios del siglo XX, un geólogo sueco llamado Carl Caldenius fue el primero de reconocer las huellas glaciales en el paisaje chilote y, en 1932, publicó un hermoso mapa en el que delimitaba con poco detalle la extensión de los glaciares que cubrieron la región durante la última glaciación.

¿Cómo se formó el lago Cucao?

Rodrigo Soteres comenta que las evidencias geológicas más externas sugieren que, en el norte de la isla, el hielo alcanzó el área de Taiquemó y que se dirigió hacia el sur, pegado a las faldas orientales de la cordillera de la Costa, internándose hacia el océano Pacífico por el valle de los lagos Huillín y Cucao hasta detenerse en lo que interpretamos como la pendiente de contacto de hielo de lago Quilque.

Posteriormente, el hielo retrocedió y volvió a avanzar hasta una posición similar, aunque un poco más interna, hace 34.000 años formando probablemente lago Cucao, por lo que debe ser uno de los lagos más antiguos de la isla. Rodrigo Vega, por su parte, agrega que el lago Cucao se originó por una barra de sedimentos costeros que contuvo el agua.

¿Cómo se formaron las islas del archipiélago de Chiloé?

Gracias a las morrenas y las pendientes de contacto de hielo hoy sabemos que los lóbulos glaciales de Ancud y golfo de Corcovado avanzaron y retrocedieron en varias ocasiones entre los 50.000 y los 18.000 años en el pasado.

Finalmente, ambos lóbulos desaparecieron de manera catastrófica hacia el continente, llegando a los valles andinos hace unos 16.700 años. Esto significa que, en un breve periodo de tiempo, tanto el lóbulo Ancud como golfo de Corcovado retrocedieron unos 70 kms.

Aunque aún permanece el misterio, debió ser en este momento cuando se formaron las islas del archipiélago de Chiloé. Estas están formadas por sedimentos de origen glacial y poseen el relieve típico de las áreas anteriormente cubiertas por el hielo. Sin embargo, aún no se sabe con seguridad si su aparición se relaciona con la inundación del mar de Chiloé o con la activación de las grandes fallas que se han identificado en la zona durante la retirada de los hielos. Lo más probable es que una combinación de ambos mecanismos haya contribuido a elevar las islas que hoy podemos ver en Chiloé.

ACTIVIDAD

¿Cómo comprender entonces la capacidad erosiva de un glaciar? Nuestros asesores científicos nos recomendaron realizar un pequeño y fácil experimento para poder comprender cómo el paisaje de Chiloé fue esculpido por los glaciares.



Agua



Agua y arena



Agua y gravilla

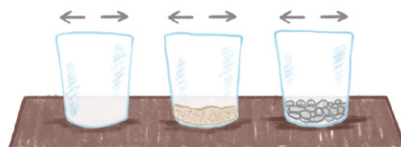
Materiales

- 3 vasos de plástico.
- Arena de playa.
- Gravilla fina.
- Agua.
- Congelador.
- Paño.
- Superficie de madera o plástico duro



Procedimiento

1. Llenar el primer vaso con agua de la llave. El segundo y tercero deben llevar un poco de arena de playa y gravilla en la base y deben ser cubiertos con agua. Luego deben congelarse.
2. Una vez que los vasos estén congelados se debe retirar el plástico.
3. Cubrir las manos con un paño y frotar cada uno de los bloques de hielo sobre una superficie de plástico duro o bien, madera.
4. Al finalizar observar: ¿qué efecto genera en la superficie cada una de las muestras de hielo? ¿Cuál de los tres erosiona más la superficie? ¿Se forman algunas estrías en la superficie?
5. Es importante entender que los glaciares no están formados exclusivamente por hielo puro. Los glaciares transportan importantes volúmenes de sedimentos tanto por encima, como por dentro y por debajo. La existencia de estos sedimentos bajo el glaciar es la responsable de la abrasión, ocasionando el pulimento y estriado de las rocas del sustrato.



Trabajo de gabinete



¿CÓMO FUE ENTONCES LA GLACIACIÓN QUE AFECTÓ A NUESTRO TERRITORIO?

El clima en nuestro planeta ha variado significativamente durante los 4.600 millones de años de la historia de la Tierra. Los últimos 2,7 millones de años, durante un periodo conocido como Cuaternario, el clima global varió de manera cíclica entre periodos extremadamente fríos y cálidos, conocidos como glaciales e interglaciales, respectivamente. Gracias a los testigos de hielo antárticos, sabemos que el último ciclo glacial empezó con una disminución paulatina de las temperaturas hace unos 130.000 años y finalizó de manera repentina hace unos 12.000 años.

Dentro de este periodo, diferenciamos un intervalo concreto en el que las temperaturas medias globales llegaron a su mínimo y en el que el hielo alcanzó su máximo volumen a escala global, el Último Máximo Glacial y ocurrió, más o menos, entre los 26.500 y los 19.000 años antes del presente. Después de este evento, los grandes casquetes glaciales comenzaron a retroceder rápidamente hasta prácticamente desaparecer hace unos 12.000 años como consecuencia de un calentamiento global que puso fin a la última glaciación.

Gracias al registro geológico disperso a ambos flancos de la cordillera de los Andes, hoy sabemos que durante el periodo de mayor frío dentro del último ciclo glacial, un inmenso y continuo campo de hielo cubrió las montañas entre las latitudes de Temuco y Tierra del Fuego. Este grandioso cuerpo de hielo se conoce como Manto de Hielo Patagónico y se estima que pudo alcanzar un espesor de varios kilómetros de hielo en las áreas que hoy ocupan los Campos de Hielo Patagónicos, los cuales son los últimos vestigios de este inmenso glaciar.



El paisaje del archipiélago de Chiloé, pese a encontrarse constantemente azotado por las aguas del océano Pacífico, tiene una fuerte impronta glacial. Durante los últimos 130.000 años, grandes glaciares provenientes de la cordillera de los Andes se extendieron desde el continente hasta cubrir casi en su totalidad el territorio chilote.

¿CÓMO ESTABA DISPUESTO EL HIELO EN CHILOÉ?

La isla grande del archipiélago de Chiloé estuvo cubierta por grandes glaciares que provenían de la cordillera de los Andes. En su cabecera, estos se encontraban constreñidos por los valles de las montañas, sin embargo, al llegar al valle central, el hielo se desparramó en todas direcciones dando lugares a frentes glaciares con forma de abanico. Por esta razón, este tipo de glaciar se conoce como glaciar de piedemonte.

Existen distintas teorías de cómo el hielo se distribuyó en el archipiélago. Algunas sostienen que fueron dos extensos lóbulos glaciales que lo cubrieron; otras que fueron tres, y una tercera, postula que desde Castro hacia arriba hubo solo un gran glaciar de piedemonte y que hacia el sur todo estaba congelado como un cubo de hielo. ¿Con cuál nos quedamos? No tenemos la respuesta, pero cumplimos nuestra misión. Podemos concluir que los glaciares dieron origen al paisaje de Chiloé.



EL CAMINO DEL ORO CHILOTE

Misión: comprender cómo se forma el oro y cómo llegó a Chiloé.

¿Oro en Chiloé? Nos parecía bastante increíble que, en un lugar como Chiloé, en algún momento de la historia del territorio, una de las principales actividades económicas haya sido la extracción de oro. Sí, alrededor de la primera mitad del siglo XX casi mil personas ejercieron este oficio. Más increíbles nos parecieron las razones por las cuales se dejó de trabajar extrayendo oro. Primero, el terremoto de 1960, el más grande registrado en la historia de la humanidad, dejó bastante secuelas en la costa de Cucao, principal lugar de trabajo. Ya no era rentable sacar oro, los depósitos habían quedado muy maltratados a causa del tsunami. Segundo, aunque, nos parezca impactante hoy, antes, la forma de trabajo era muy tóxica. Se usaban en grandes cantidades mercurio y cianuro, elementos estrictamente prohibidos (hasta hace poco se usaba mercurio en los termómetros). La última razón por la que ya el oro no es tema en Chiloé, es básicamente porque otra actividad ganó mucho más interés: la extracción de machas. Actualmente diríamos que es más bien la salmonicultura, pero en aquel tiempo fueron estos moluscos el centro de atención de la nueva economía.



En nuestra expedición de hoy nos acompañará el geólogo Alexandre Corgne, especialista en lo que ocurre bajo las profundidades de la Tierra. Él será quien nos ayude a comprender cómo se formó el oro que llegó a Chiloé y cuáles fueron los caminos que tomó para asentarse en el territorio.

Entrevista

A ALEXANDRE CORGNE

GEÓLOGO ESPECIALISTA
EN PETROLOGÍA ÍGNEA
DE LA UNIVERSIDAD
AUSTRAL DE CHILE



Para el día de hoy programamos una sola parada. El oro no es algo tan evidente al ojo humano, de hecho, no se encuentra puro aquí en Chiloé, sino que, aleado con más metales, por lo que es muy difícil distinguirlo. En esta ocasión iríamos a ver el famoso manto rubí.

Pero, ¿qué es y por qué se asocia a nuestra búsqueda del oro? Durante el camino tuvimos la oportunidad de conversar con Alex quien nos dejó mucho más claro el tema del oro.

Alex, sabemos que el oro no se ve a simple vista, existen diferentes técnicas para su identificación y extracción, unas más artesanales que otras. Pero, ¿cómo supieron que había oro en Chiloé?

El oro es un metal que se encuentra unido a otros elementos metálicos. Generalmente está concentrado en depósitos que tienen espesores no mayores a un par de centímetros. En algunos casos como en el extremo sur de la playa de Cucao, el oro se encuentra como sedimento en pequeños horizontes o capas de arena mezcladas con granate, un mineral rojo proveniente de las rocas metamórficas, las rocas que conforman la cordillera de la Costa en Chiloé. A estas capas se les denomina manto de rubí.

¿Esto quiere decir entonces que en los lugares donde haya arena roja sabremos que existe presencia de oro?

No necesariamente, existen otros tipos de horizontes o capas que pueden contener pequeñas cantidades de oro. Los mantos de fierrillo, por ejemplo, son capas con abundante presencia de magnetita, un mineral con propiedades magnéticas que se acumula en los bordes del oleaje, se ven de color negro en casi todas las playas. En Pumillahue, sin embargo, se observan sobre estos mantos, de rubí o fierrillo, una capa de color verde, que corresponde a un mineral llamado “epidota”, aquí también existe presencia de oro en forma de detritos.

En estas capas se encuentra mezclado el oro con otros metales, pero si pudiéramos verlo como un grano separado, ¿cómo se vería?

Los granos de oro son partículas finas y muy aplastadas. Son muy pequeñas, el largo y el ancho son inferiores a 0,5 mm y de espesor menos a 0,1 mm. Es decir, si usas lentes como yo, es probable que no logres verlo a simple vista.

1era Parada: CUCAO



Tomamos rumbo hacia el lugar donde alguna vez, más de mil personas encontraban trabajo removiendo la tierra en busca de oro. Durante el camino hacia Cucao recordábamos una de las historias de la mitología de Chiloé que ahora llama mucho la atención gracias a un muelle construido en uno de los acantilados costeros. El Muelle de las Almas o Muelle de las Ánimas está inspirado en la historia que cuentan los lugareños. Al parecer durante mucho tiempo se han escuchado llantos y lamentos de almas en pena, que con sus gritos llaman al balsero Tempilcahue, el encargado de llevarlos hacia el lugar del descanso eterno. Se dice que no debemos responder a estos llamados, sino nuestras almas serán las siguientes en gritar ¡auxilio! El muelle se construyó para recordar esta historia y es un simbolismo de la cultura mapuche huilliche.

Estábamos bastante intrigados, porque no sabíamos si veríamos oro o una mezcla de arenas que en teoría lo contenían. Sin importar cuál fuera el resultado nos dimos a la aventura, ya que los minerales con los que se encuentra mezclado el oro también resultan interesantes.

Cuando llegamos a la playa solo veíamos arena y más arena. No había rastro alguno del manto de rubí. Caminamos largo rato bajo el sol en busca del oro mezclado con granate. Sin embargo, solo encontramos mantos de fierrillo, que se veían como llagas negras en la arena mojada por las olas del mar. Acercamos un imán para corroborar la presencia de magnetita, e inmediatamente granitos de arena se pegaron al imán y corroboraron nuestra hipótesis. Estos mantos igual contienen oro, pero como son más comunes de ver en las playas, casi ni se les presta atención.

Manto de granate



Seguimos avanzando por la playa hasta que, a lo lejos, pasada una colina de arena y grava de unos dos metros más o menos, vimos un sector de color rojo muy intenso. Fue tanta la emoción que gritamos lo mismo que Arquímedes cuando descubrió el principio que lleva su nombre y con el cual logró calcular el peso de la corona de oro del rey tirano: ¡Eureka! Nos entusiasmaba mucho la idea de encontrar una playa de características tan particulares y extrañas. Tomamos un poco de arena en nuestras manos y con la lupa intentamos ver los granitos de granate. Ya sabíamos que no veríamos el oro, pero el granate es un mineral bastante extraño de encontrar así que nos extasiábamos contemplándolo. Mientras observábamos, nos surgió una pregunta: **¿cómo llegó el oro mezclado con granate hasta esta playa? ¿Cuáles fueron los caminos por los cuales el oro llegó a asentarse en territorio chilote?**



Nos sentamos a reflexionar sobre lo que habíamos leído antes de comenzar la expedición, información que otras y otros geólogos obtuvieron de análisis químicos y observaciones al microscopio. Lo primero que se concluía es la forma de los granos. Y, **¿por qué importa la morfología? ¿Qué información relevante nos entrega?** Bueno, cuando una roca, de cualquier tamaño tiene una forma angulosa, es decir, tiene cantos, significa que no se ha trasladado mucho, que está relativamente cerca de su fuente de origen. Sin embargo, cuando tiene forma redondeada, como los granos de oro y granate que se observan en la playa de Cucao, implica que se ha desplazado bastante, es decir, puede que estos granos de oro provengan de un lugar bastante más alejado.

Muelle de las Almas



Trabajo de gabinete



LOS CAMINOS DEL ORO

Junto con Alex, comenzamos a dibujar un esquema que nos permitiera entender cuáles fueron los caminos que recorrió el oro para llegar a asentarse en las costas pacíficas del archipiélago de Chiloé.

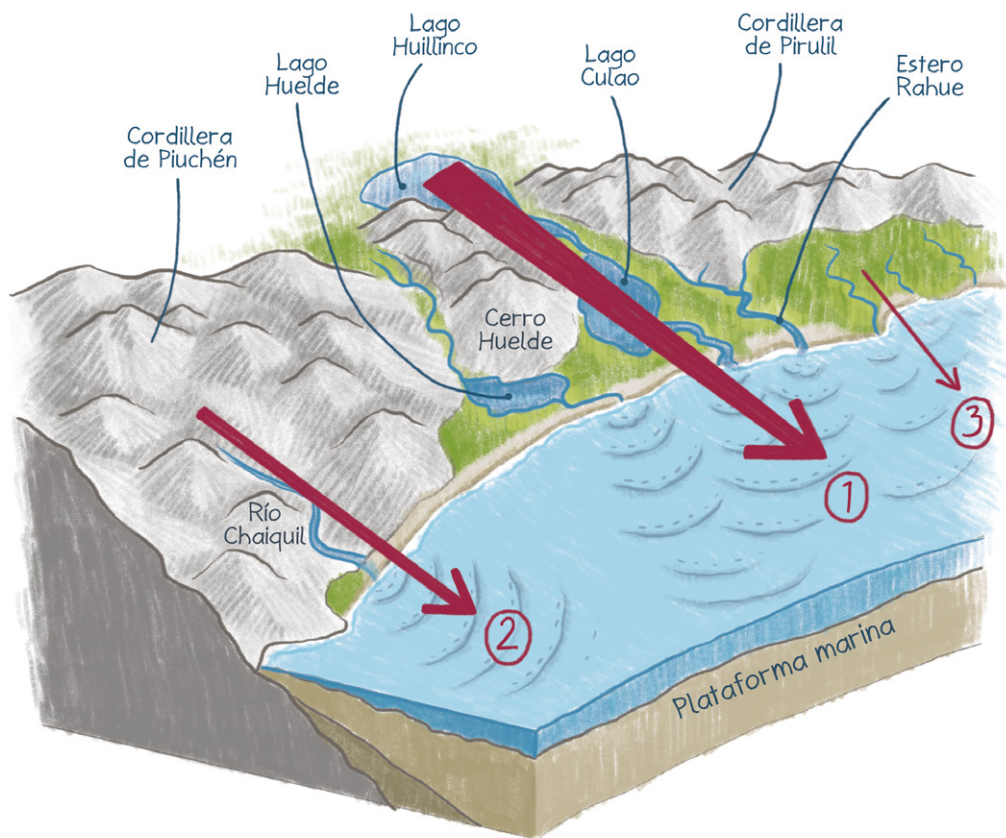
El oro que se encuentra en Chiloé es el resultado de una cadena de procesos de erosión y transporte de material que fue arrastrado tanto por glaciares, como por ríos. Pero, ¿de dónde viene el oro?

Concluimos que existen tres fuentes principales desde donde tiene su origen el oro chilote:

1. La cordillera de los Andes. Es extraño pensar que el oro que se formó en una cordillera que está al otro lado del mar haya sido el lugar de origen de este mineral que se encuentra actualmente en la costa pacífica de Chiloé. ¿Cómo se transportó a través del mar para llegar al archipiélago? ¿Acaso había un puente que ya no existe? ¡Exactamente! Pero no era cualquier puente, ¡era un puente de hielo!

El Cuaternario, el período de vida en que actualmente está la Tierra desde hace 2,5 millones de años, fue testigo de muchas glaciaciones, sobre todo a nivel local. Los glaciares actúan erosionando todo a su paso. Es como si lijaran las superficies. Eso ocurrió con la cordillera andina. El hielo sacó los minerales que se encontraban más cercanos a la superficie y los trajo consigo durante su avance. ¿Por qué llegó a la costa pacífica de Chiloé? Porque los hielos estaban avanzando en esa dirección, cruzaron la cordillera de la Costa y depositaron todo lo que arrastraban en su parte frontal, como un tractor, que en su parte delantera acumula material: si retrocede queda ese bulto depositado al frente. Lo mismo pasa con los glaciares, cuando comienzan a derretirse, depositan el material. Esta es la principal fuente del oro chilote.

2. La cordillera de la Costa. Las rocas metamórficas que son el basamento del archipiélago, las rocas más antiguas de Chiloé, que identificamos durante las primeras expediciones, constituyen la fuente del oro que se formó a nivel local. Si bien, este oro puede haber llegado por las mismas razones que el oro andino, existen más formas, como la erosión del viento y las lluvias. Esta es la fuente secundaria del oro que vemos en Chiloé.



3. Los depósitos marinos que afloran en el borde costero. Las capas o estratos que vimos cuando andábamos buscando si tenían o no del mismo origen, las rocas que vimos en la península de Lacuy, Chonchi y Cucao, son la tercera fuente de oro en Chiloé.

GEO=CITA

Nos acordamos de



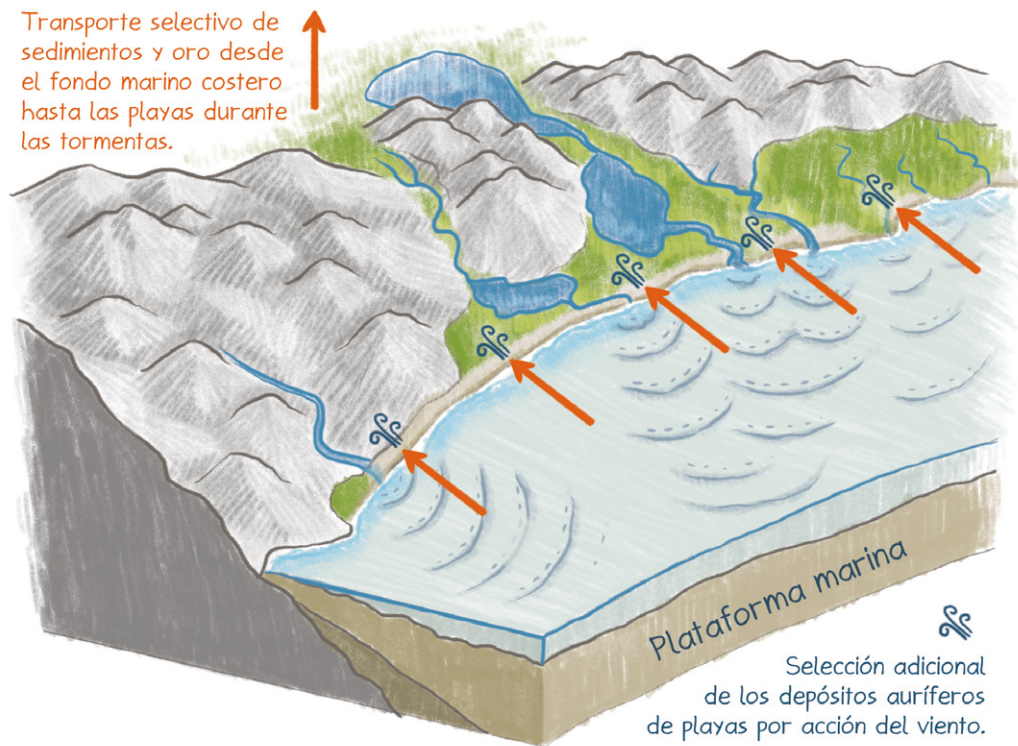
Melissa González-Subiabre, Geóloga especialista en divulgación científica. “En la actualidad se desconoce la presencia de oro en Chiloé. Sin embargo, durante mucho tiempo fue de conocimiento popular ya que muchas personas se encargaban de lavar las arenas de las playas para recolectar pequeñas cantidades de oro de forma artesanal”.

¿CÓMO SE SABE LA FUENTE DE LA QUE PROVIENE EL ORO?

Las tres fuentes del oro tienen algo muy distinto entre sí: la distancia de transporte. El oro que viene de más lejos será más redondeado que el oro que viene de más cerca, pues cuando el transporte es menor, se mantienen las características originales de los granos.

A pesar de todas nuestras reflexiones, aún nos quedaban algunas dudas.

Si el glaciar, los ríos, el viento y otros agentes erosivos transportaban el oro hacia la costa pacífica, eso significa que el oro estaba bajo el mar, en las arenas que no están sobre la superficie. Si a esto le sumamos que las corrientes marinas llevan a más profundidad estos sedimentos, ¿cómo es que luego se encuentran en las playas donde los antiguos pirquineros extraían oro, y que son las mismas por donde caminamos hoy para ver los mantos de fierrillo y de rubí?



Los antiguos trabajadores locales del oro sabían perfectamente cuándo ir y cuándo no ir a trabajar. Durante las tormentas las corrientes marinas están en caos, revuelven los sedimentos y los traen de vuelta a la superficie, depositándolos en las costas formando las playas. Las tormentas forman playas, y el oleaje las destruye durante el tiempo en que no hay tormentas. Pero, ¿qué sedimentos vuelven a la playa después de una tormenta? Generalmente los sedimentos más gruesos y pesados que se encuentran más cerca de la costa, que en este caso son los que contienen más oro. Si a esto le sumamos el trabajo de selección que hace el viento, transportando lo más fino y dejando lo más grueso, podemos ver el resultado de horizontes o capas de oro mezclado en arenas, como las que vimos en los mantos de fierrillo y rubí en Cucao.

Entonces, ¿en qué época del año trabajaban más estas personas?

Claramente los veranos no eran época de trabajo.

Para finalizar el día de la expedición hicimos un pequeño resumen de las aventuras que vivió el oro para llegar a descansar a tierras insulares.



MIENTRAS EL VIENTO SOPLA, UNA DUNA SE FORMA

Misión: comprender el proceso de formación de las dunas y por qué hay dunas en Chiloé.



Durante toda nuestra expedición observamos un rasgo característico en la costa pacífica de Chiloé: las dunas. Hoy decidimos analizar las fotografías que tomamos los días de expedición previa, para poder comprender cómo se formaron dunas en un lugar como Chiloé.

El viento
chasconeas
las dunas

Entrevista

A ALEXANDRE CORGNE

GEÓLOGO ESPECIALISTA EN
PETROLOGÍA ÍGNEA DE LA
UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE



Alex, el geólogo que nos acompañó en nuestra salida en busca del oro, será nuestro guía en el trabajo de interpretación. Si bien somos capaces de reconocer una duna cuando estamos frente a ella, queríamos saber qué es lo que la define como tal, por lo que nuestra primera pregunta para Alex fue:

¿Solo es necesario viento para que una duna se forme?

Si vemos las dunas como una receta de cocina, podríamos decir que necesitamos de tres ingredientes para fabricarlas: (1) grandes reservas de arena, (2) un régimen adecuado de vientos y (3) una zona litoral de relieve suave.

¿Cuáles son los pasos para que esta receta resulte en las dunas que vimos en nuestras expediciones?

Para formar una duna el principal ingrediente que necesita la naturaleza es la materia prima, en este caso la arena, mucha arena. ¿De dónde sale toda esa arena? Existen períodos donde el mar baja su nivel, es decir, la línea de costa retrocede y más plataforma marina queda expuesta. Esto provee más arena para formar dunas.

Pero, ¿cuándo y por qué ocurre esta baja de nivel del mar?

La Tierra y todos los procesos que acontecen en ella son dinámicos. Nada permanece mucho tiempo igual, y aunque sea difícil de creer, en algunos períodos

de tiempo el planeta se ha congelado parcial o completamente. En el sur de Chile esto sucedió hace 20.000 años. Al haber estado una parte del agua de la Tierra congelada, redujo su volumen en estado líquido y esto generó que la línea de costa retrocediera y se formaron playas. Eventos tectónicos como los grandes terremotos también pueden generar un levantamiento costero, pero no siempre. De hecho, el terremoto de 1960 tuvo el efecto contrario: hundió la costa algunos metros y restó playa al territorio de Chiloé.

Tenemos clara la función del primer ingrediente, ¿qué hay de los otros dos?

Los regímenes de viento adecuados son los factores que influyen de manera positiva para la construcción natural de una duna. También lo son el tamaño de los granos (más fino es más fácil de transportar por el viento), la forma de estos, la velocidad y dirección del viento, el grado de humedad del aire y la presencia de vegetación. Un relieve costero suave permite almacenar la arena y formar campos de dunas de grandes dimensiones.

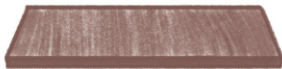
ACTIVIDAD

Decidimos realizar la receta y preparar una duna artificial a pequeña escala para simular la formación de una real. Cuando podemos experimentar la geología es más fácil estudiarla.

Procedimiento

Materiales

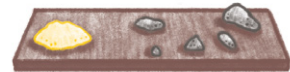
- Maicena o harina.
- Secador de pelo de al menos dos velocidades.
- Rocas de diferentes tamaños y formas.



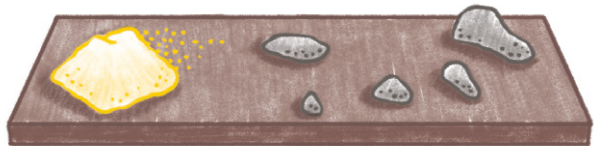
1. Despejar el lugar donde construiremos la duna.



2. Colocar la maicena o harina (nuestra arena artificial) en el borde de la mesa.



3. Posicionar las rocas en diferentes lugares de la mesa, algunas más cerca otras más lejos.

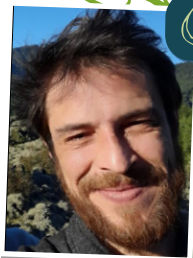
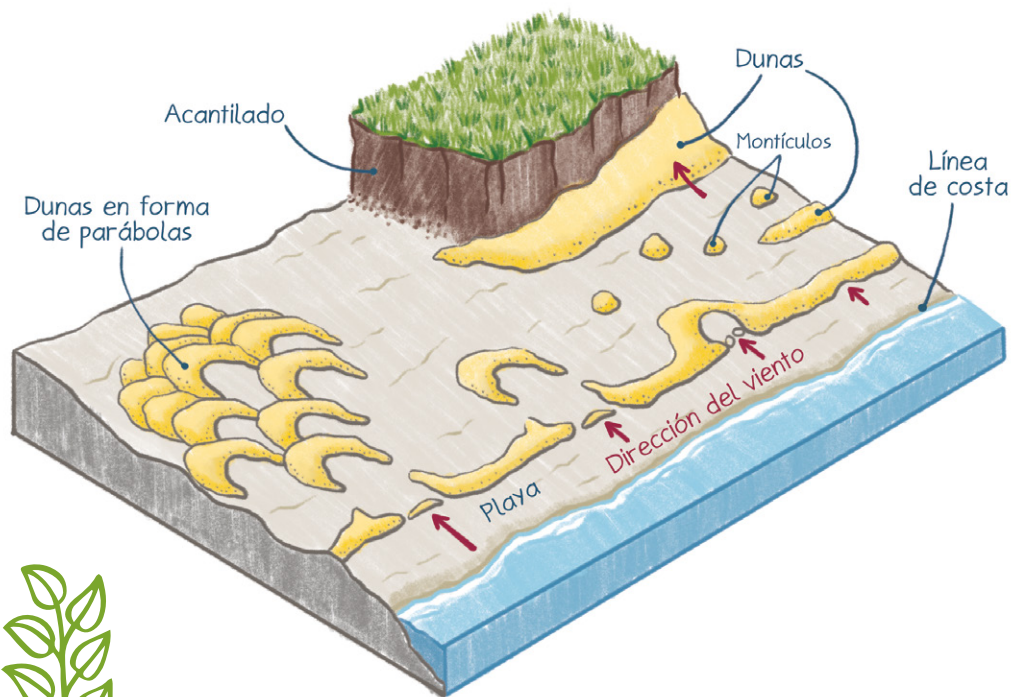


4. Con el secador de pelo en su velocidad mínima apuntar en dirección de la maicena desde una distancia de al menos un metro, sino será una tormenta de arena.

5. Probar diferentes distancias y velocidades del viento para observar cómo influyen en la construcción de la duna.

Para lograr geomorfologías diferentes podemos jugar con la posición de las rocas, poner diferentes tamaños, crear cordones de rocas, dejar algunas aisladas, ¡el resultado es increíble!

La receta nos resultó perfecta, logramos crear dunas con diferentes características. Descubrimos cómo se logran los montículos y dunas en forma de parábolas. Para que la información nos quedara completamente clara, dibujamos nuestros resultados en un ambiente marino, así, la próxima vez que viéramos una duna, lo recordaríamos con más facilidad.



GEO=CITA

Nos acordamos de

Rodrigo Vega, licenciado en ciencias especialista en geomorfología de la Universidad Austral de Chile. “Las dunas avanzan de forma similar a una ola, pero más lento. Me gusta pensar que ese avance imparable ocurre por la acumulación de pequeños saltos de granitos de arena, y cómo la suma de pequeños, pero constantes aportes, puede resultar en efectos gigantescos”.

Trabajo de gabinete



Hoy, decidimos analizar la información que recopilamos durante nuestras visitas a terreno a las dunas de Chepu, Guabún y Cucao para sacar algunas conclusiones. Al leer las notas y observar las imágenes nos dimos cuenta de que las dunas han sido bastante intervenidas para la extracción de arena, el desarrollo de pastizales para la agricultura y sobre todo por el paso de vehículos. Encontramos varios autos circulando y estacionados al interior de las dunas, a pesar de que había carteles muy grandes indicando que estaba prohibido ingresar.



Dunas de Chepu



Cucao

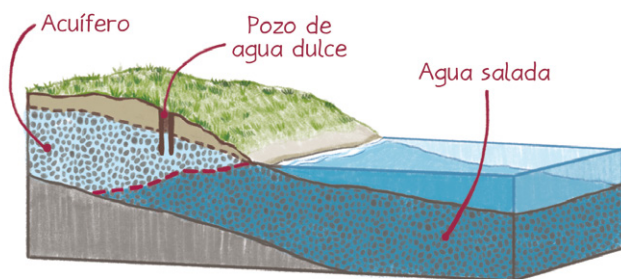
Humedal Guabún



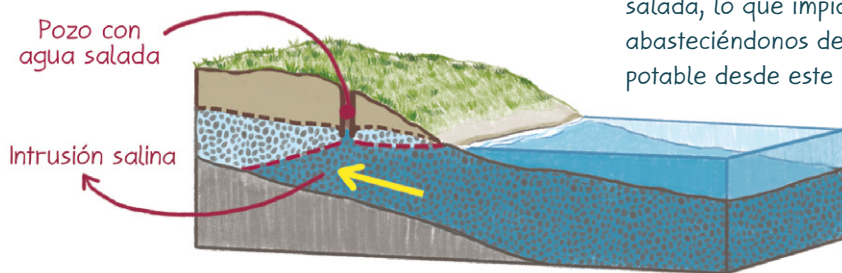
Pero, ¿por qué es tan importante que las dunas se cuiden y protejan? Aunque es difícil imaginar que una zona como las dunas albergue un ecosistema, así es. ¿Qué puede crecer y vivir en una duna? Al estar ubicadas a menudo en la desembocadura de ríos, las dunas están asociadas a humedales y pequeñas lagunas, donde se desarrolla una gran biodiversidad. Albergan especies únicas de aves, como los zarapitos, que utilizan las dunas como lugar de nidificación, luego de su largo recorrido desde Alaska.



En nuestra investigación encontramos, además, que las dunas juegan un rol fundamental en la formación de reservorios subterráneos de agua dulce, conocidos como acuíferos. Un acuífero es una zona donde el agua dulce proveniente del agua de lluvias, se acumula. Es un sistema dinámico con equilibrio sensible. Las personas consumimos el agua del acuífero y este se vuelve a llenar cuando llueve. Tanto en Chiloé como en el resto del mundo los acuíferos están en riesgo. El calentamiento global que genera menos precipitaciones en lugares antiguamente muy lluviosos, resulta en una baja recarga de los acuíferos: entra menos agua al reservorio. Por otro lado, cada día es mayor la demanda de consumo de agua potable.



Si el acuífero no logra recargarse antes de seguir explotándolo, el agua de mar, es decir, el agua salada, gana más lugar y espacio en la zona que antes contenía agua dulce, a eso se le llama intrusión salina. Finalmente, se produce una contaminación del acuífero con agua salada, lo que impide seguir abasteciéndonos de agua potable desde este reservorio.



Alex, nuestro experto, nos comentó que, además, las dunas juegan un papel importante como amortiguadoras de tsunamis o alzas de nivel del mar por efectos del calentamiento global, es decir, son las protectoras del borde costero. La vegetación y los árboles que las rodean actúan como una barrera, no solo contra eventos como maremotos, sino que también, contra fuertes vientos. Esta es otra de las razones por lo que es importante mantener y proteger las dunas.

Llegamos al final de nuestro trabajo de gabinete con nuestra misión cumplida. Comprobamos empíricamente cómo se forman las dunas y podemos decir que las dunas de Chiloé se formaron a causa de la fuerza del viento en sus playas.

RESERVA DE AGUA DULCE EN CHILOÉ

Misión: entender dónde están las reservas de aguas subterráneas de Chiloé.

Hoy haremos un viaje desde Dalcahue a Castro. Queremos comprender la hidrogeología de Chiloé, es decir, entender dónde están las reservas de agua subterránea y comprender cómo esta fluye bajo nuestros pies. Habíamos viajado por muchos lugares de Chiloé y gracias a ello entendido bastante de la geología del archipiélago.

Sin embargo, queríamos saber de las aguas subterráneas. Para esto seguimos el recorrido que unos colegas geólogos habían hecho anteriormente y nos formulamos algunas preguntas: ¿Cómo podríamos entender el comportamiento de las napas subterráneas? ¿Qué deberíamos hacer en terreno para saberlo?

¿Qué relación existía entre las rocas que vimos durante toda la campaña con el agua subterránea?



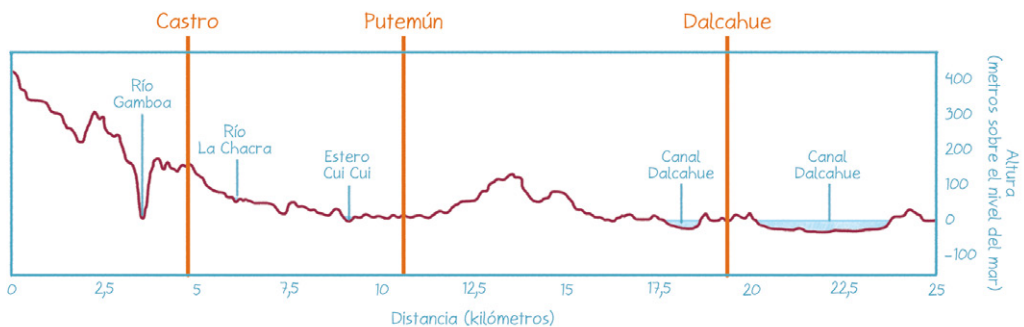


La tarea no era simple. Como Chiloé es bastante grande, acordamos acotar el área de estudio entre Dalcahue y Castro, abarcando los diferentes tipos de rocas que habíamos visto en terreno.

Viendo un afloramiento de rocas cerca de Dalcahue.

Antes de viajar, imprimimos desde nuestro computador un perfil topográfico, es decir, una representación del relieve del terreno que abarcara la distancia entre ambas localidades. La idea era utilizar este perfil como base para ir registrando las rocas que encontráramos en terreno. De esta manera nos darían una pista para descubrir las reservas de aguas subterráneas en las rocas.

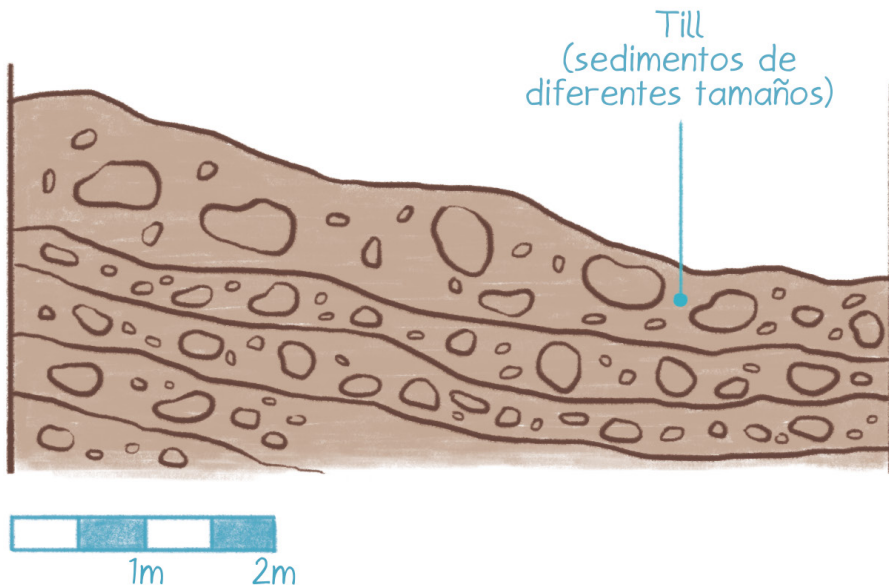
Perfil topográfico

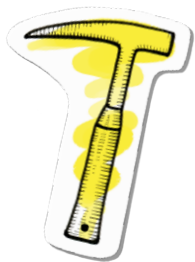


1ra Parada: Dalcahue

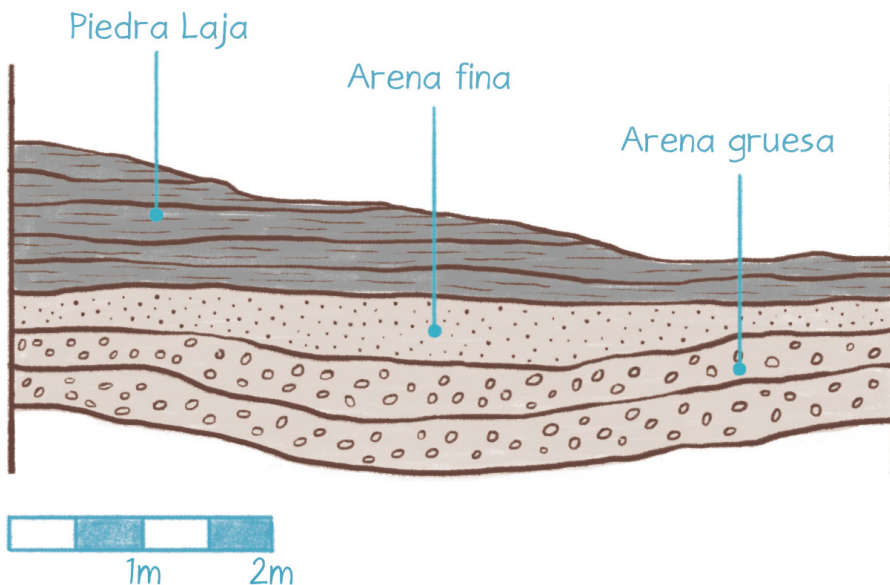
Llegamos muy temprano por la mañana a la ciudad de Dalcahue. Recorrimos varios lugares, hasta que encontramos cortes de caminos y comenzamos a hacer nuestra descripción geológica en nuestra libreta.

El primer corte de camino tenía rocas de diferentes tamaños. Había sedimentos de tamaño arena y también unas rocas muy grandes, como si estuvieran flotando en los sedimentos pequeños. Realizamos un dibujo, y gracias a lo que sabíamos de Chiloé concluimos que eran depósitos de till, es decir, un conjunto de sedimentos de diferentes tamaños dejados por los glaciares hace miles de años atrás.



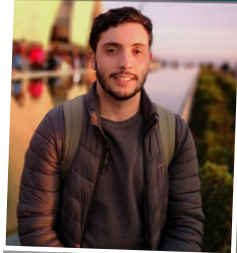


El segundo corte de camino tenía un aspecto diferente. En la parte superior había sedimentos finos de color blanco, piedra laja. Mientras que en la parte inferior del corte encontramos sedimentos tamaño arena y granos muy redondeados como los que encontramos cuando vamos a algún río. Estos depósitos eran registros de antiguos ríos generados por el retroceso glacial.



GEO=CITA

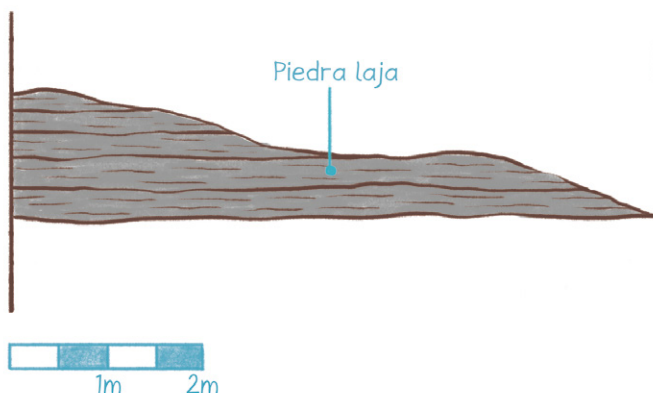
Nos acordamos de



Guido González Subiabre, Geólogo estudiante de doctorado en Hidrogeología de la Universitat Politècnica de Catalunya. “Nuestro trabajo como hidrogeólogos comienza en terreno. Medimos la profundidad a la que se encuentra el agua y obtenemos muestras para analizar su química. También utilizamos softwares que nos permiten comprender hacia dónde fluye, cuánta agua hay almacenada en el acuífero e incluso predecir cómo será el comportamiento de las aguas subterráneas en el futuro”.

2da Parada: Putemún

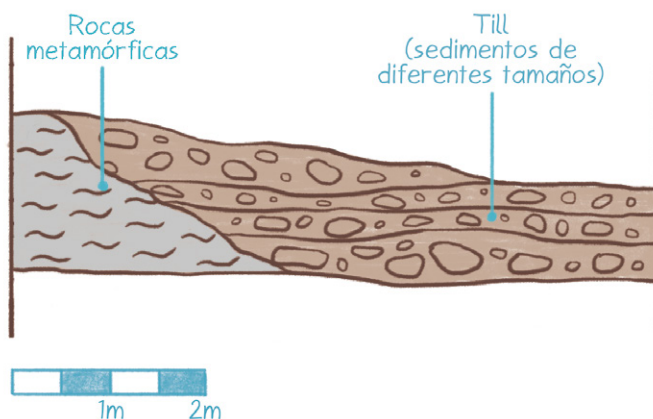
Al medio día viajamos a la localidad de Putemún. Cerca de ahí encontramos otros lugares donde se exponía la roca. Encontramos piedra laja y sedimentos finos al igual que en la parada anterior.



3ra Parada: Castro

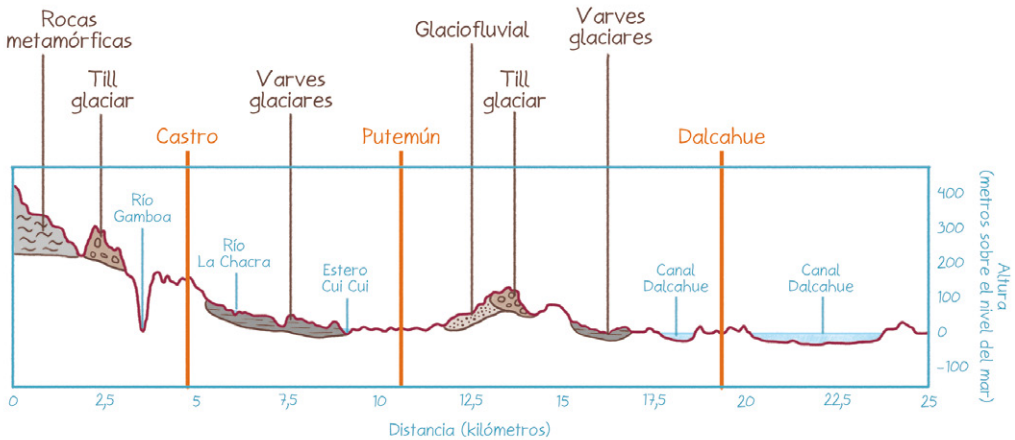
Cuando ya estábamos terminando el día viajamos a Castro. Aquí ocurría algo diferente a lo que habíamos observado. Nos dirigimos a Gamboa y encontramos rocas metamórficas.

Eran muy compactas y de aspecto brillante. Paramos en un corte de camino y encontramos depósitos de till, las mismas rocas que habíamos encontrado en la primera parada.





Cuando terminamos los dibujos de las tres paradas completamos el perfil topográfico con las rocas que habíamos encontrado:



Till: conjunto de rocas de diferentes tamaños dispuestas de forma desordenada.

Glaciofluvial: registro de antiguos ríos de origen glaciér.

Rocas metamórficas: rocas muy pesadas y compactas.

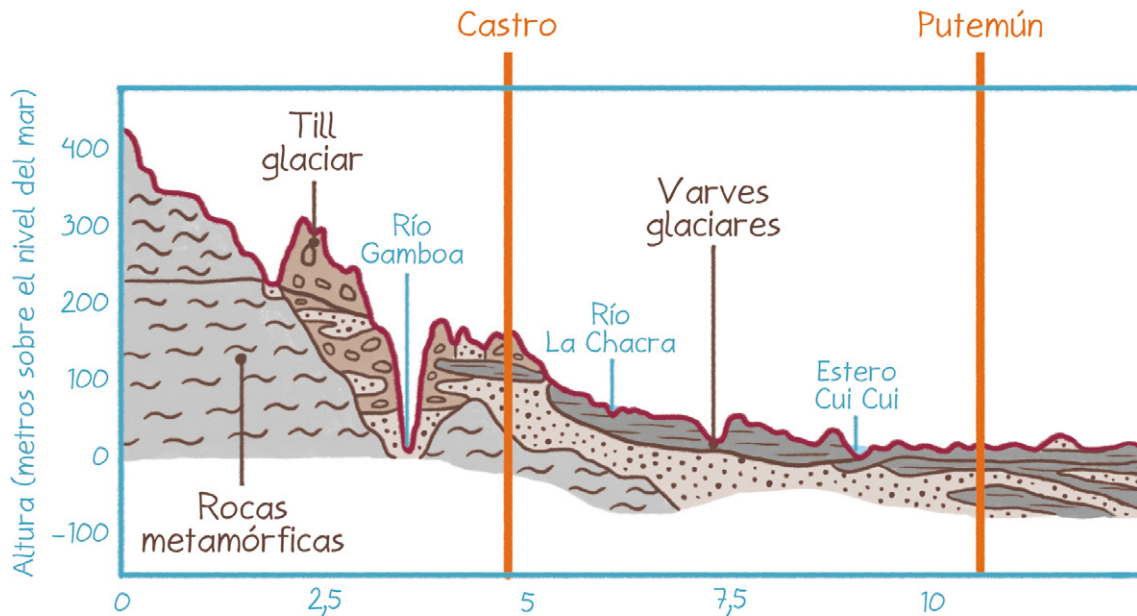
Varves glaciares: piedra laja.

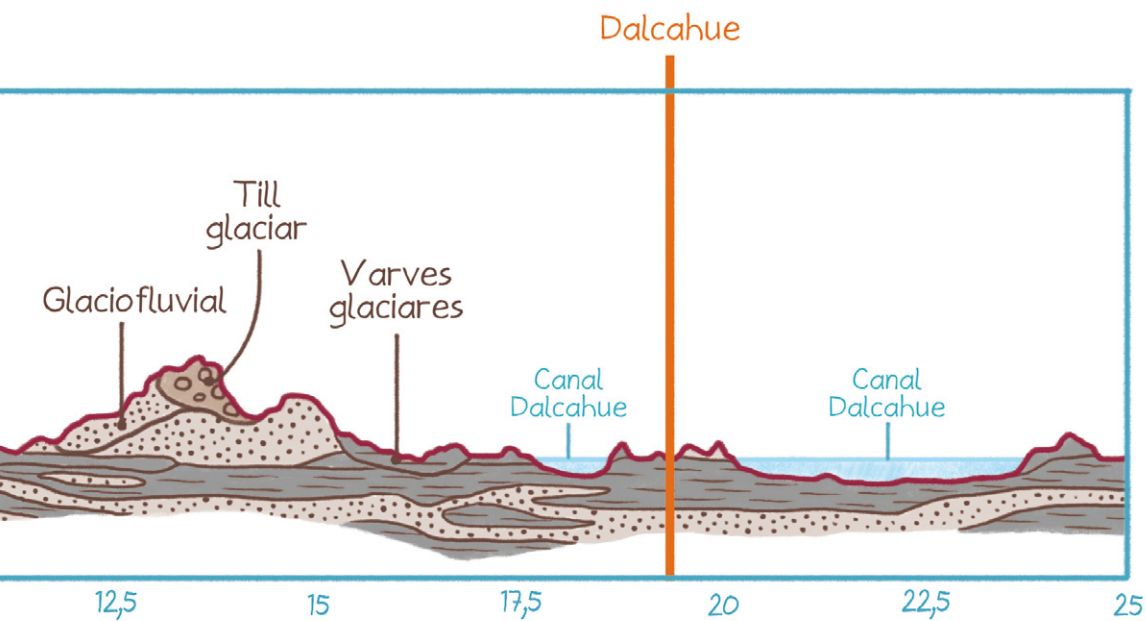
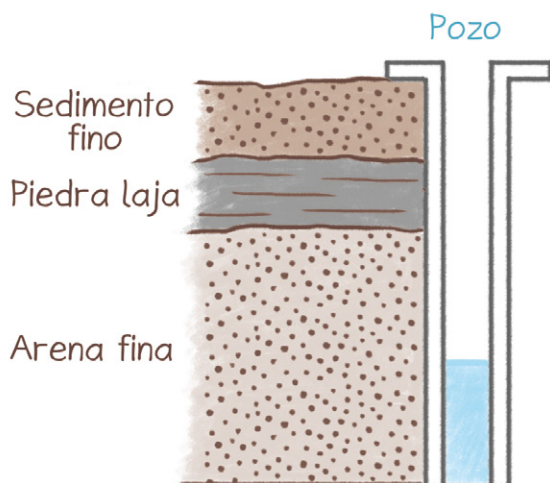
Trabajo de gabinete



Ya teníamos la información de lo que pasaba sobre la superficie pero, ¿cómo podríamos saber que había bajo ella? ¿Cómo saber qué tipos de roca había bajo el suelo?

Para descubrirlo, debíamos revisar la información de los pozos de bombeo de agua que existían en las zonas visitadas durante el terreno. Cuando se construye un pozo de captación de aguas subterráneas se crea una ficha técnica que contiene información del subsuelo, y estas fichas están disponibles en la página web de la Dirección General de Aguas. Si un pozo mide 50 metros, se puede conocer por tramos qué tipo de sedimentos existen hasta llegar al fondo de este. Es decir, funciona igual que con los bizcochos de una torta, cuando cortamos un trozo de ella, podemos ver que está compuesta por varias capas. Con esta información adicional logramos completar nuestro perfil.





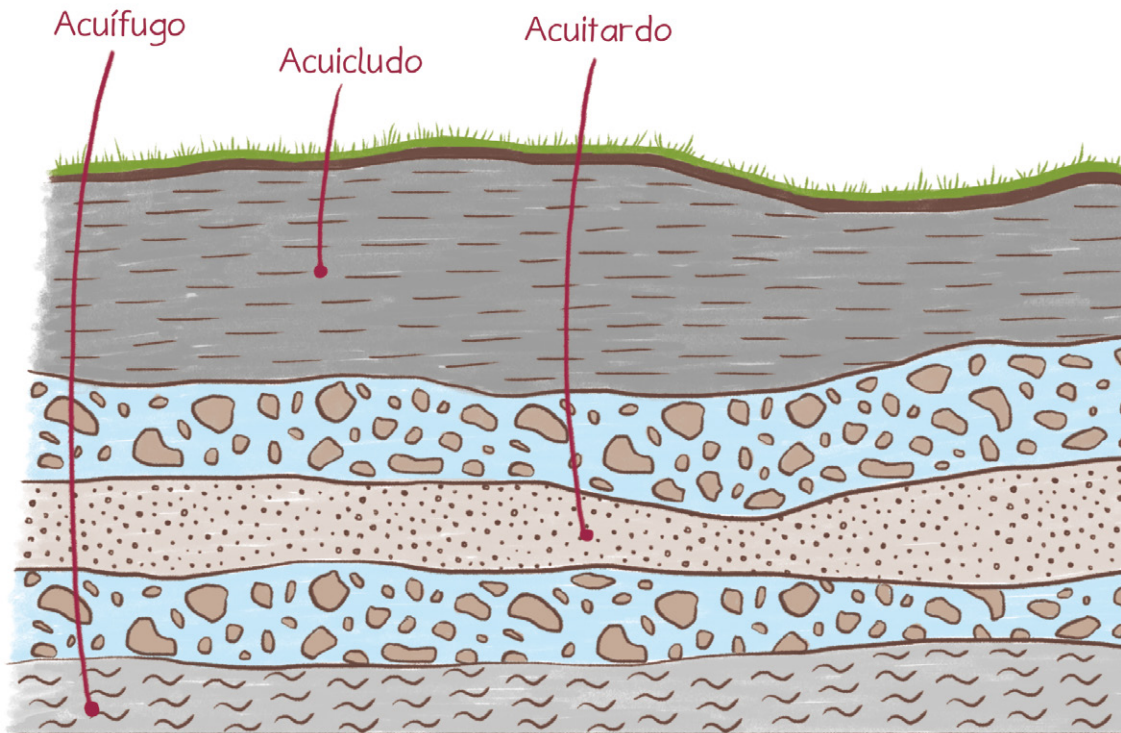
Ya teníamos completo nuestro perfil geológico. Ahora era necesario traducirlo al lenguaje del agua. ¿Cómo podíamos hacer eso?

Primero debíamos entender algunos conceptos básicos. Nos dispusimos a investigar y encontramos lo siguiente:

Un **acuífero** es un cuerpo de rocas que contiene agua en cantidad apreciable y que permite que circule a través de ella con facilidad, como los sedimentos generados por los ríos de los antiguos glaciares.

Un **acuicludo** es un cuerpo de rocas que contiene agua en cantidad apreciable y que no permite que el agua circule a través de ella, como los sedimentos de tamaño fino, por ejemplo, los varves glaciales.

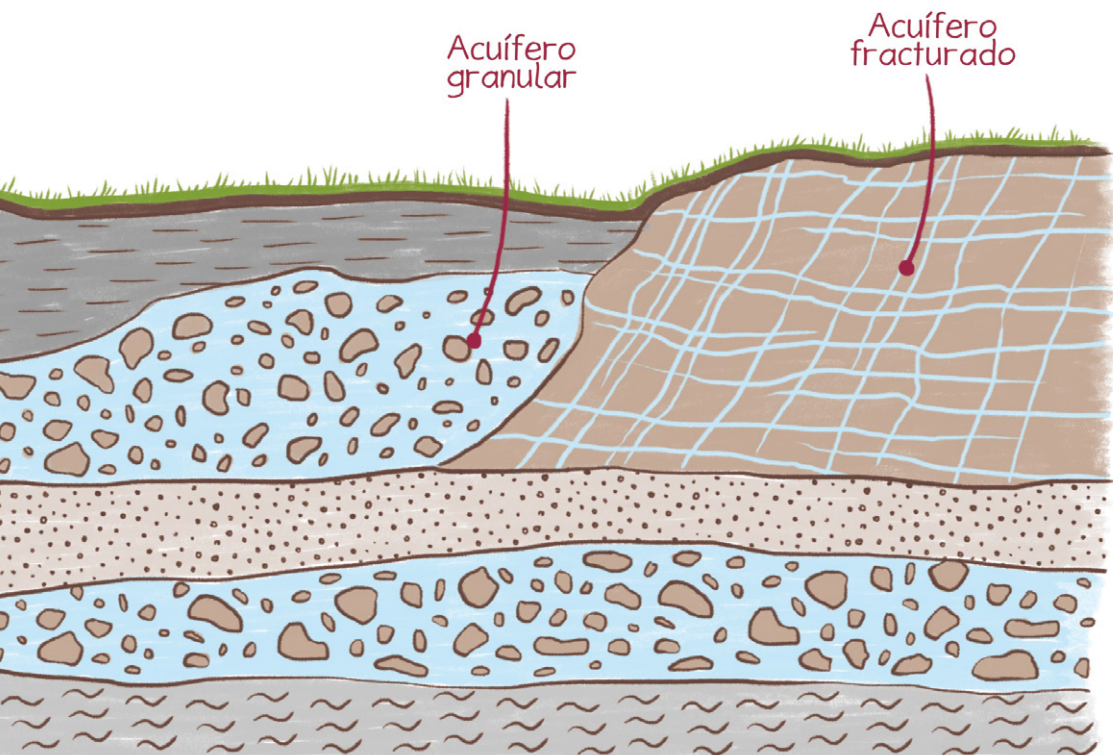
Un **acuitardo** es un cuerpo de rocas que contiene agua en cantidad apreciable, pero que el agua circula a través de ella con dificultad, como arenas mezcladas con sedimentos finos.



Un **acuífugo** es un cuerpo de rocas que no contiene agua porque no permite que circule a través de ella, como las rocas metamórficas de la cordillera de la Costa.

De la misma manera que si colocamos una esponja en el agua del lavaplatos, el agua se acumulará en los agujeros, en el subsuelo, el agua subterránea ocupa los espacios o poros. Esto es lo que se llama porosidad. Si los agujeros o espacios están interconectados entre sí, el agua subterránea fluye por el subsuelo, a esto le llamamos permeabilidad.

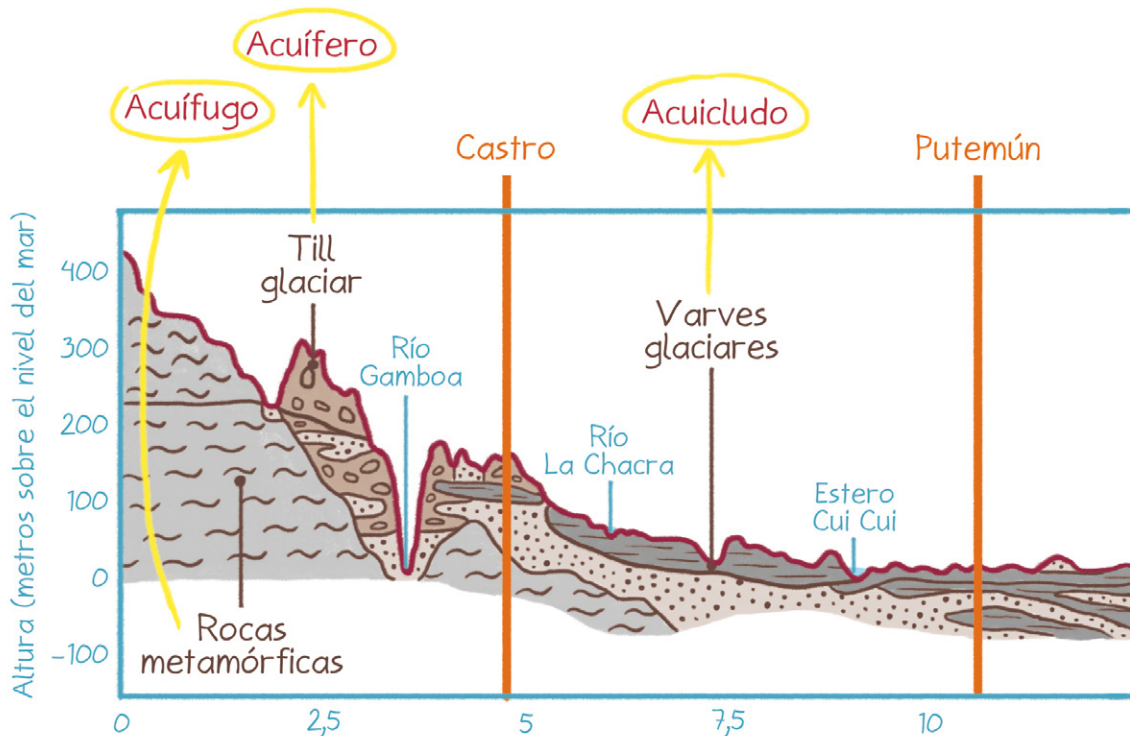
Ahora, si el agua fluye en depósitos sedimentarios, estos se llamarán “acuíferos granulares”, como son las arenas que vimos en todo el camino entre Dalcahue y Chonchi. Si fluye por medio de fracturas se llamarán “acuíferos fracturados”, como las lavas fracturadas que vimos en Polocué.



Con toda la información recopilada en terreno y luego de lo que investigamos sobre los pozos, podemos sacar nuestras conclusiones sobre las aguas subterráneas. Nos planteamos también algunas preguntas.

ENTONCES, ¿CÓMO PODÍAMOS COMPRENDER EL FLUJO DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN CHILOÉ?

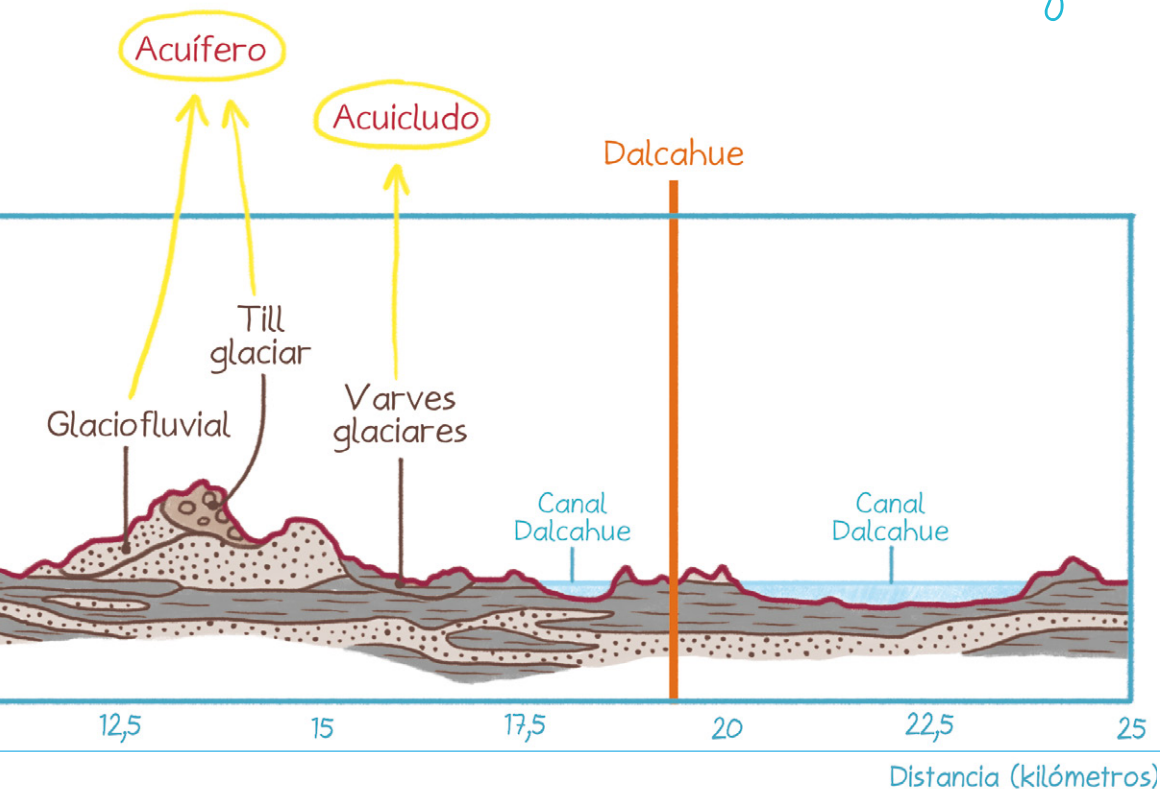
A partir del perfil geológico que realizamos era bastante simple entender dónde están las reservas de aguas subterráneas de Chiloé. En primer lugar, nos dimos cuenta de que las rocas metamórficas no tenían buena capacidad para almacenar ni transportar agua, dado que no tenían buena porosidad ni permeabilidad. Del mismo modo la piedra laja, o varves glaciares podían almacenar agua, pero no transmitirla con facilidad. El mayor recurso de agua subterránea que teníamos entonces en Chiloé estaba localizado en depósitos glaciares como los registros de antiguos ríos de origen glacial compuestos de arena y grava y en los depósitos de till, formados por arena y grava también. Un punto a considerar es que si hay fracturas en la roca el agua también podría fluir a través de ellas.





¿CÓMO LLEGÓ ESTA AGUA?

La fuente de recarga del agua subterránea en el archipiélago de Chiloé son las precipitaciones y, se estima que el tiempo de residencia en el subsuelo debe ser relativamente rápido. Por esto es importante regular la extracción de las aguas subterráneas para evitar que la cantidad de agua que se extrae sea mayor que la recarga al subsuelo, considerando que esta última puede verse afectada en el futuro por los efectos del cambio climático. Además, la regulación de las extracciones permitiría controlar el fenómeno de intrusión salina y, por lo tanto, la salinización de las aguas en el borde costero.



Entrevista

A ROSA
TRONCOSO

Para profundizar un poco más en el tema de la hidrogeología entrevistamos a Rosa Troncoso, hidrogeóloga.

¿Qué es ser hidrogeóloga? ¿Cómo alguien puede ser hidrogeóloga?

Es ser un profesional que se dedica a estudiar las características y comprender el comportamiento de las aguas subterráneas, es decir, determinar su composición química, dirección de flujo, fuentes de recarga, tiempos de tránsito en el acuífero, conexión con las aguas superficiales, entre otras. En Chile para ser hidrogeóloga hay que estudiar geología y luego realizar estudios de postgrado para especializarse en esta temática. Aunque en otros países hay otros profesionales que se especializan en hidrogeología, en Chile, hay geólogos que han aprendido de hidrogeología mediante la experiencia de trabajo con especialistas y actualmente se desempeñan en este campo de las ciencias geológicas.

¿Qué importancia tienen las aguas subterráneas en Chiloé?

Como en cualquier otro lugar, el agua es un recurso estratégico para el desarrollo humano y para el mantenimiento de los ecosistemas. Las aguas subterráneas son una fuente crítica para el abastecimiento de agua potable para casi la mitad de la población mundial, además de suplir necesidades de irrigación en la agricultura. Por otro lado, estas son también importantes para el sostenimiento de ríos, lagos, humedales y sus ecosistemas asociados. En Chiloé, en particular, el agua subterránea es de gran importancia, especialmente en el verano, ya que como no nieva en invierno, es principalmente el agua subterránea la que permite mantener los niveles de base de los ríos y el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos en la época de calor. Además, como la velocidad de flujo de las aguas subterráneas es más lenta que la de las aguas superficiales, es retenida por más tiempo en el terreno para ser utilizada, lo que puede ser un factor de importancia en islas de tamaño relativamente pequeño. Por lo anterior, el agua es un recurso que debería ser protegido para asegurar su sustentabilidad y traspaso a las futuras generaciones.



HIDROGEÓLOGA DE SERNAGEOMIN

¿Cómo es la legislación del agua subterránea en Chile?

La utilización de las aguas subterráneas se rige por el Código de Aguas que, aunque las considera como un bien nacional de uso público, le otorga el derecho de aprovechamiento de ellas a particulares, que es entregado a perpetuidad. Por otra parte, no establece usos prioritarios ni considera aspectos ambientales como el cambio climático, que son claves para el desarrollo de Chile en el largo plazo. Sin embargo, actualmente (agosto 2021) se encuentra en trámite en el Congreso un proyecto de ley para reformar el Código de Aguas y considerar estos aspectos. Por lo que esperamos que esto cambie en el futuro.

¿Qué son las turberas? ¿Qué relación tienen con las aguas subterráneas?

Son un tipo de humedal que en el caso de Chiloé tienen un origen asociado al derretimiento del hielo glacial y que permitió la acumulación de agua en cuencas, que evolucionaron para formar ecosistemas que se caracterizan por una vegetación dominada por la presencia de musgo del género *Sphagnum*. La acumulación del material vegetal en estas cuencas, durante un largo periodo de tiempo y sin la presencia de oxígeno, es lo que permitió la formación de turba. La turba posee la particularidad de ser un material parecido a una esponja, que permite almacenar un gran volumen de agua y, por lo tanto, es de gran importancia en la mantención de los niveles de agua en los ríos durante el verano, especialmente si se localiza en la parte superior de una cuenca. Además, las turberas entregan agua de manera progresiva a las napas subterráneas. Por esto, son de vital importancia para la regulación del ciclo hidrológico en Chiloé.

ACTIVIDAD



Rosa, también nos habló sobre cómo afecta la contaminación en la calidad de las aguas subterráneas, y nos recomendó realizar una actividad para poder comprenderlo. La actividad consiste en primero, construir un “pozo” y luego, comprobar cómo este se contamina.

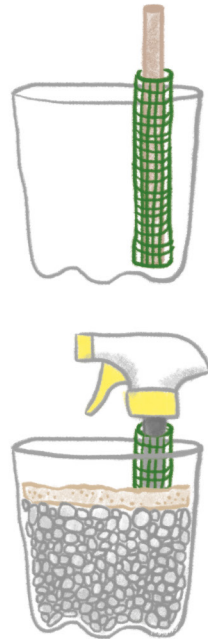
Procedimiento

Paso I: Construir el “pozo”.

- Cortar la botella con cuidado. Usar la parte de abajo.
 - Enrollar la malla de plástico al palo.
 - Colocar el palo con la malla dentro de la botella, cerca de la pared, no en el centro.
 - Añadir grava (procurar que el palo quede recto) hasta un poco más de la mitad de la botella (3/4).
 - Añadir encima de la grava una capa de arena (de un dedo de grosor).
 - Retirar el palo, dejando dentro del recipiente la malla enrollada.
 - Añadir muy despacio 200 ml de agua por el lateral, hasta que la grava esté cubierta, pero no la arena.
 - Colocar el pulverizador dentro del hueco de la malla enrollada.
 - Apretar varias veces el pulverizador para comprobar que funciona.
 - Seguir apretando el pulverizador de manera que se extraiga el agua que está en el interior y recoger esa agua en un vaso.
- Observar, ¿de qué color es?

Materiales

- 1 pulverizador limpio (como el de cualquier producto de limpieza).
- 1 botella de plástico de 1 litro.
- 1 palo cilíndrico o un rotulador gordo.
- 1 trozo de malla de plástico.
- Tijeras.
- Grava.
- Arena.
- Cinta adhesiva.
- Contaminantes: jugo de limón, jabón, colorante, sal.



Paso 2: Contaminar el “pozo”.

- **1er contaminante:** un vaso con agua y jugo de limón (simulará la lluvia ácida).
- **2do contaminante:** un vaso con agua limpia (simulará que las aguas subterráneas no se han contaminado).
- **3er contaminante:** un vaso con agua y sal disuelta (simulará el agua de mar, contaminación por intrusión marina).
- **4to contaminante:** añadir el colorante sobre la capa de arena (simulará contaminación del suelo con fertilizantes y pesticidas). Verter muy poco a poco de agua limpia para arrastrar el colorante.
- **5to contaminante:** un vaso con agua con jabón (simulará agua contaminada por los detergentes de las viviendas).

Extraer el agua subterránea con el pulverizador.
¿Cómo es el agua ahora? (en el caso del agua con sal y el agua con limón, deberán mojarse ligeramente el dedo y catar su sabor). ¿Está o no contaminado el pozo?

Añadir por tercera vez, agua al pozo -esta vez solo agua limpia- para comprobar que, a pesar de ello, el agua sigue saliendo ligeramente contaminada. Esto significa que una vez contaminado un acuífero es muy complicado descontaminarlo y restaurarlo.



REMOCIONES EN MASA, EL CHILOÉ ESCURRIDIZO

Misión: identificar y clasificar los diferentes tipos de remociones en masa que acontecen en Chiloé.

El día de hoy promete ser muy interesante. Captaremos uno de los fenómenos más rápidos, recurrentes y destructivos de la zona sur de Chile: las remociones en masa.

Y, gracias a la tecnología del dron, lo podremos observar desde una perspectiva global y en tiempo real. Pero, ¿qué son las remociones en masa? Para contestar esta pregunta y adentrarnos en el tema con mayores detalles nos contactamos con Violchen, geóloga especialista en estos eventos y que actualmente trabaja identificándolos en terreno y vía satélites.



GEÓLOGA ESPECIALISTA EN REMOCIONES
EN MASA DE SERNAGEOMIN

Entrevista A VIOLCHEN SEPÚLVEDA

Violchen, sabemos que estos eventos son recurrentes en el territorio, pero ¿qué se entiende por remociones en masa?

Existen definiciones extensas para este tipo de eventos geológicos. Donde yo trabajo, en Sernageomin (Servicio Nacional de Geología y Minería), usamos una que engloba varias características. Las remociones en masa son movimientos descendentes de material, ya sea roca, suelo, material vegetal como árboles, o una combinación de todos ellos.

Y, ¿qué genera estos movimientos? ¿Por qué se desencadenan y de forma tan recurrente en el sur de Chile?

Son muchos los factores que los propician. En el caso del sur, es de imaginarse que el agua de las lluvias y tormentas tiene un papel bien protagónico. Pero no solo el exceso de agua en el suelo genera estos fenómenos, también los terremotos y la intervención antrópica.

Mencionaste la intervención antrópica, o sea, que, ¿las personas somos uno de los factores que las provocan?

Sí, exactamente, aunque no de forma intencional. Para ser franca, creo que es el desconocimiento de las personas respecto de las características del terreno lo que podría generar estos eventos. Por ejemplo, si para construir un camino, casa o alguna edificación, se corta la ladera o pared de la colina, es muy posible que en algunos casos esta colapse, si no se corta en el ángulo adecuado o si no se contiene el material con obras. La tierra en Chiloé es muy buena para la siembra de papas y hortalizas, pero lo que está debajo, es decir, los depósitos glaciales, son inestables en planos inclinados, por lo que debemos intentar no superar los cuarenta grados de pendiente en las laderas o taludes, para evitar los posibles daños a las personas o desastres.

¿Cómo sabremos si la remoción en masa se produjo por efecto antrópico o por razones naturales?

El trabajo de la geología parte siempre por la observación. Debemos anotar todo lo que se observa, esquematizar las características más importantes a resaltar, describir los depósitos, el material que los conforma, el tamaño que tienen, su alcance o cuán lejos llegó; preguntar a los vecinos cómo fue el evento, si es que fue rápido o lento y gradual. Todos esos detalles nos ayudarán a entender el proceso, y a asociarlo a algún tipo y mecanismo. Vayan, observen y registren lo que más puedan. Les dejaré un material para que clasifiquen sus observaciones en tres tipos de remociones, y aunque existen más de veinte formas hacerlo, esta es más general y les ayudará a comprenderlo de mejor manera.



La conversación con la geóloga Violchen nos dejó muy tranquilos como equipo y nos motivó a descubrir los lugares donde ha ocurrido una remoción. Visitaremos esos lugares, observaremos y tomaremos notas. Al final de la expedición utilizaremos nuestros registros y con ayuda de la información que nos dejó, podremos clasificar los tipos de remociones en masa que encontremos.



1era Parada: Remoción en masa en el sector de Mocopulli

Nos dirigimos al primer punto del día, cercano a la ruta principal de Mocopulli que une la ciudad de Ancud con Castro. El punto GPS nos arrojaba una dirección de un terreno privado, lo que nos puso en alerta, pues en algunos casos tenemos imprevistos con la visita a este tipo de sitios. Si bien solo vamos a buscar información para reconstruir una parte de la historia geológica, algunas personas se sienten temerosas de la presencia de científicos con martillos, lupas y cascacos. Afortunadamente, este no fue el caso. Nos recibió un caballero muy amable quien nos encaminó hacia el lugar del evento. Confesó que sentía mucha curiosidad por nuestro trabajo, así que nos acompañó y en el camino nos contó su versión de la causa de la remoción en masa.



Para él todo este movimiento de tierra era responsabilidad del Camahueto, un ser mitológico de la cultura chilota. El Camahueto es parecido a un ternero, pero con un solo cuerno en medio de la frente. Según la leyenda este animal inicia su vida, en sectores muy barrocos en lo alto de los cerros de Chiloé. Cuando llega a la edad adulta entra en cólera y desesperado sale en busca de su madre, la vaca marina. En el camino arrasa con todo, árboles, suelo, roca. Nada se interpone en su reencuentro familiar. En este avance encolerizado va dejando surcos con su cuerno en la tierra y estas serían las remociones en masa.

Con esta historia nos dimos cuenta de que la cultura chilota es muy geológica, en el sentido de que si bien se utilizan leyendas para explicar los fenómenos naturales, estas aciertan cien por ciento en las observaciones, que como ya bien sabemos es lo primero y más importante en nuestro trabajo.

Al llegar al punto GPS lanzamos el dron para tener una buena vista en perspectiva del evento. Era la única opción de obtener información, ya que era bastante peligroso acercarse a los límites de esta remoción. Estas son algunas fotos que registramos desde el frente y desde arriba.



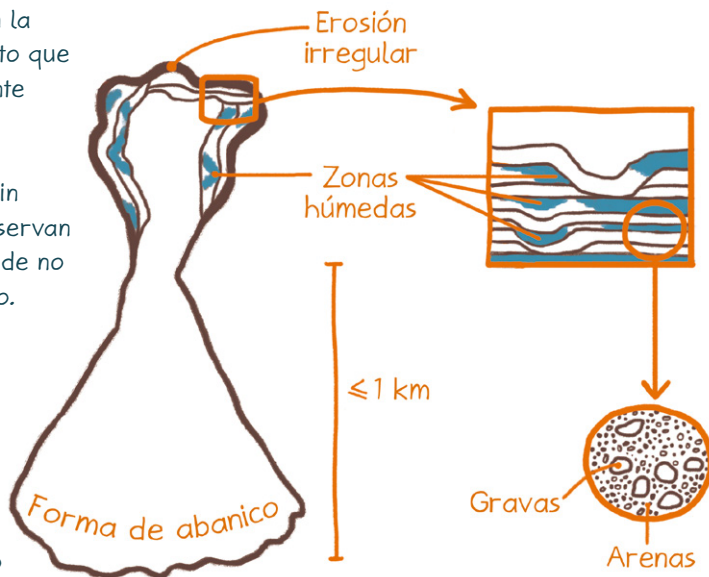
¡Guau! La tierra se desmorona.

¿Qué características observamos?

Para poder evidenciarlas, decidimos hacer una lista.

1. El depósito, es decir, todo el material que quedó como resultado del evento, no tenía tan largo alcance, medía un poco menos de un kilómetro de largo.

2. Dado que se observa una erosión irregular en la corona, fue un evento que se produjo velozmente (cuestión que fue confirmada por la gente de la zona). Sin embargo, aún se observan algunos lugares donde no colapsa por completo.



3. El depósito está compuesto por clastos o pequeñas rocas redondeadas de tamaño grava y arena, es decir, de más de un milímetro de diámetro.

4. Se observan algunas zonas oscuras y otras más claras. Lo oscuro pareciera estar asociado a zonas de humedad.

5. La forma de erosión que tiene la zona desde la que se movilizó el material es irregular.

6. El depósito tiene forma de abanico y llega al río.

Si bien teníamos todas nuestras observaciones listas, aún no podíamos clasificar la remoción. Decidimos dejar esa tarea para el final del día, cuando nos sentemos a interpretar la información recolectada. Ahora, iremos camino a la segunda parada.



2a Parada: Remoción en Detif, Puqueldón

Para llegar a la próxima parada, realizamos una gran travesía. Llegamos alrededor de las 10 de la mañana al lugar donde se debe tomar el transbordador para cruzar a Puqueldón, la isla donde se encontraba nuestro segundo objetivo del día. La barcaza que cruzaba desde Castro hacia Puqueldón era pequeña y nos encontramos con una gran fila. Por ello, debimos esperar. ¡No sabíamos que había que llegar muy temprano! Dicen que el lugar donde vamos tiene hermosos paisajes y una increíble gastronomía. Una vez dentro del transbordador, el viaje fue rápido y hermoso. Nos acompañaba un sol radiante. Cruzamos toda la isla para llegar a la última puntilla, el sector de Detif, donde se encontraban dos campings. El GPS marcaba que debíamos entrar, así que nos aventuramos, con el debido permiso de la dueña, quien nos indicó cómo bajar a la playa. Antes de hacerlo, nos dimos unos minutos para observar desde el acantilado los dos imponentes y gigantes volcanes que se veían al frente a través del mar: el Michimahuida y el Corcovado.



Volcán Corcovado



Volcán Michimahuida

Luego de esa maravillosa visión, retomamos el rumbo hacia la remoción de masa. Para llegar, cruzamos un mágico bosque de arrayanes costeros. El sendero era exigente: tuvimos que descender con cuerdas, tomarnos de las barandillas para no caer, y todo ¡cargando nuestro equipo fotográfico y herramientas de trabajo! Fue una verdadera aventura. Al llegar abajo, al sector de la playa, varios cerditos silvestres nos dieron la bienvenida, aunque al vernos, arrancaron corriendo hacia su madre que merodeaba por ahí cerca. Desde la playa la remoción ya se nos presentaba a la vista, así que continuamos caminando hacia ella.

¿Qué observamos?

Al llegar al punto de observación nos dimos cuenta de que no se veía para nada similar a la anterior, por el contrario, era muy diferente. Seguimos el consejo de Violchen, y antes de intentar interpretar cualquier cosa, nos dimos a la tarea de registrar nuevamente nuestras observaciones.

1. Los bloques del depósito de esta remoción en masa son de diferentes tamaños, algunas de más de un metro de largo. Parecen haber caído de la pared del acantilado, pues sus formas se condicen con los espacios huecos de la pared.
2. Los bloques no parecen haberse desplazado mucho, pues tienen los cantos angulosos, parecen haber rodado un par de metros nada más.
3. La pared está compuesta de clastos de tamaño arena y grava. ¿Igual que la anterior remoción? ¿Tendrá alguna relación el tamaño de las rocas con la probabilidad de generarse una remoción?
4. Se ven ramas y pequeños árboles dentro del depósito. ¿Fueron movilizados en la remoción?
5. Las capas de la pared que aún no se derrumba tienen diferentes colores, algunas zonas se perciben más claras y otras más oscuras, pareciera estar asociado a la humedad del depósito. Las zonas oscuras tienen presencia de agua.



¡Cuidado! Los bloques se caen



Las características de esta remoción eran muy diferentes a la anterior. Ya teníamos nuestras observaciones, aunque no podíamos clasificar aún los tipos de remociones encontrados, pues necesitábamos revisar la información que nos había proporcionado Violchen. Pero eso, era tarea para el final del día, una vez que llegáramos a nuestro campo base.

Trabajo de gabinete



Al llegar, comenzamos el análisis. Nos preguntamos:

¿Qué tipo de remociones existen?

¿Cómo se clasifican las que observamos?

¿Hay más tipos?

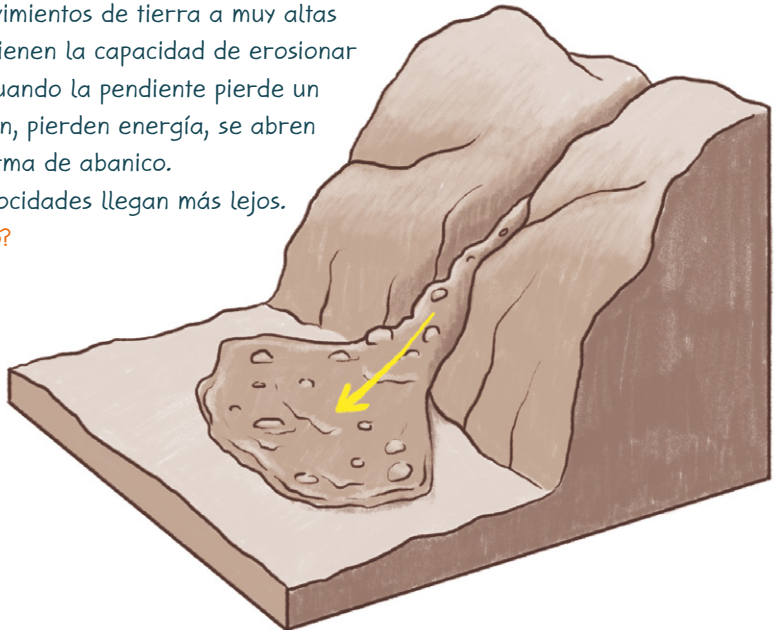
Para responder estas preguntas, utilizamos la información de Violchen y nuestras observaciones y llegamos a lo siguiente:

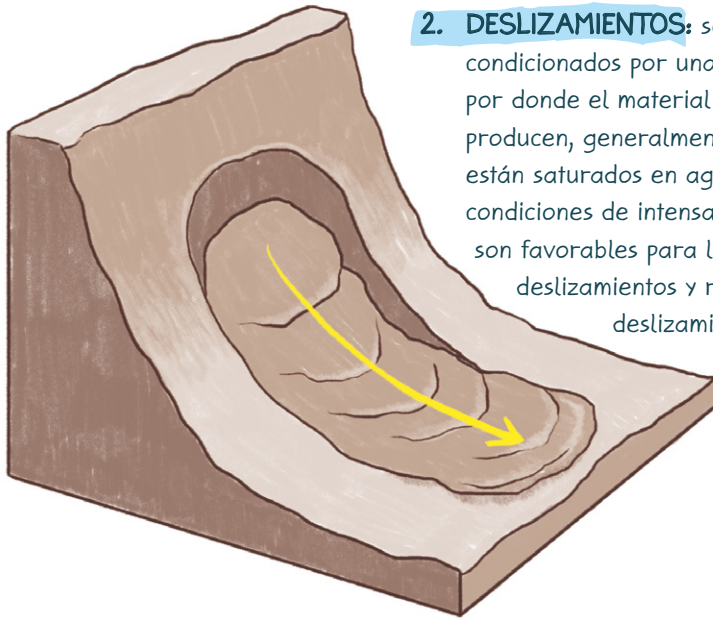
Todas las remociones en masa ocurren por gravedad, pero se pueden clasificar en tres tipos según el material y tipo de movimiento: flujos, deslizamientos y caídas.

1. FLUJOS: son movimientos de tierra a muy altas velocidades que tienen la capacidad de erosionar todo a su paso. Cuando la pendiente pierde un poco de inclinación, pierden energía, se abren y depositan en forma de abanico.

Al tener altas velocidades llegan más lejos.

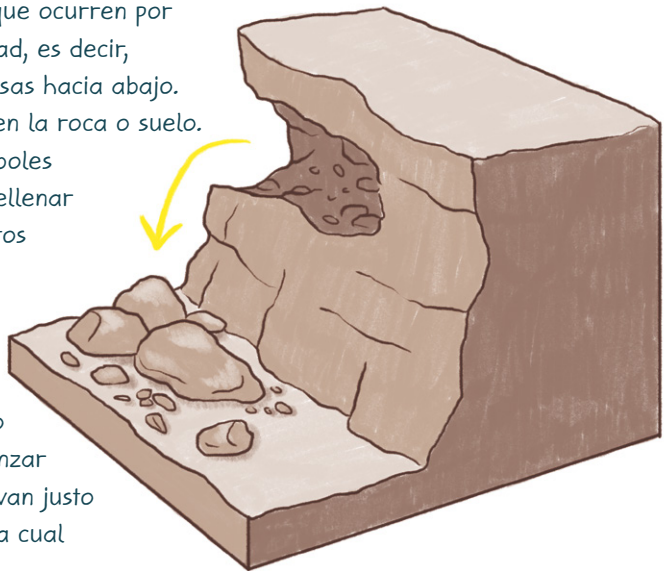
¿Dónde vimos eso?





2. DESLIZAMIENTOS: son movimientos de tierra condicionados por una superficie inestable, por donde el material se desliza. Cuando se producen, generalmente en esta región, están saturados en agua. De hecho, condiciones de intensas precipitaciones son favorables para la generación de deslizamientos y reactivar antiguos deslizamientos.

3. CAÍDAS: son movimientos que ocurren por acción directa de la gravedad, es decir, la fuerza que empuja las cosas hacia abajo. Se producen por fracturas en la roca o suelo. En algunos casos son los árboles quienes cumplen el rol de rellenar fracturas en rocas o depósitos y de abrir otras nuevas. Con precipitaciones abundantes el agua ingresa por estas grietas y genera el desprendimiento de material. No suelen alcanzar mucha distancia, y se observan justo por debajo de la pared de la cual se desprendieron.



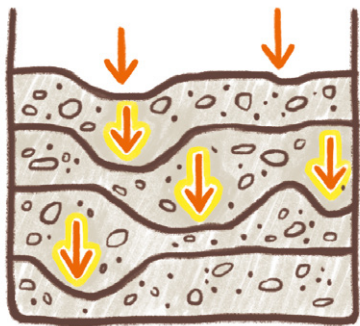
CON ESTAS DEFINICIONES, ¿QUÉ FUE LO QUE VIMOS EN TERRENO Y CÓMO SE PRODUJO EL EVENTO?

La 1^{ra} Parada correspondiente a la remoción en masa de Mocopulli pareciera tener las características y se ve similar al esquema que explica los flujos. Pero correspondería a un flujo de corto alcance, de hecho podíamos ver donde estaba el depósito.

Nuestra explicación fue la siguiente:



Hay un río que corta el depósito, entonces, es probable que el agua se lleve el material que podría haber sido depositado más lejos. Por otro lado, recordamos que en la pared se podían ver zonas húmedas intercaladas con zonas más claras. Es probable que cuando ocurren precipitaciones intensas, el agua infiltre y se acumule en las zonas que se observaban húmedas.



Esta agua probablemente aumenta la presión sobre los clastos, inestabilizando la zona, y generando pequeñas remociones, que van dejando espacio en las capas, y con el paso del tiempo y otras precipitaciones, se produce el colpaso del material que se encontraba sobre estas capas. Si esto lo vemos a escala, en una superficie muy grande, podemos ver que el colpaso finalmente llevó a que toda esa masa de grava y arena se movilizara ladera abajo

¿De qué otra manera se podría haber generado sino?

En nuestra 2^{da} parada el panorama fue diferente. Los bloques que observábamos al pie de la pared parecían haberse desprendido de la misma. Las características apuntaban a que se trataba de una caída.

Pero, ¿qué otras observaciones nos permitieron saber que la remoción en Detif, Puqueldón corresponde a una caída?

1. La pared tenía el molde de la roca que está en el suelo.
2. El material con el que estaban hechos los bloques era el mismo que el de la pared.



Si bien logramos encontrar dos de los tres tipos de remociones que existen, quedamos con ansias de seguir descubriendo más sitios, sobre todo aquellos que se produjeron por acción humana. Por ello, nos planteamos la idea de dejar una guía de campo preparada para usar en terreno cuando podamos seguir con esta expedición. En ella incorporamos todos los puntos a observar para que al clasificarla, no nos falte información.



Guía de campo		
Punto GPS (Apuntar en mapa) _____		
Observaciones		
Material del depósito	Tamaño del material	Forma y alcance del depósito
Esquema	Esquema	Esquema
Apuntes	Apuntes	Apuntes
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
Otras observaciones	Conclusión	
_____	☐ Deslizamiento	
_____	☐ Flujo	
_____	☐ Caída	

EL ARCHIPIÉLAGO SE MUEVE

Misión: comprender cómo se produce un terremoto y cuáles son las evidencias de terreno que nos ayudan a interpretar su magnitud y peligrosidad.

Entrevista

A LIZETTE BERTIN

El día de hoy hemos decidido realizar un trabajo de investigación que nos permita comprender cómo los terremotos han modelado el territorio de Chiloé. Para ello, nos adentraremos en la historia sísmica de la zona sur de Chile. Hemos contactado a la geóloga achaína Lizette Bertin, para que nos ayude a entender los procesos que dan lugar a un terremoto.



GEÓLOGA ESPECIALISTA
EN VOLCANOLOGÍA DE
SERNAGEOMIN



Lizette, ¿qué es un terremoto y cómo se produce?

Un terremoto es una vibración de la Tierra producto de una rápida liberación de energía. Son eventos que ocurren de forma relativamente rápida y a veces son seguidos de un tsunami, que son olas de tamaño mayor a lo normal que rompen las costas.

Para comprender cómo se produce un terremoto es importante tener claro el concepto de subducción, proceso por el cual una placa se desplaza por debajo de otra. En el contexto chileno, la placa de Nazca se desplaza por debajo de la placa Sudamericana. En general el desplazamiento de estas placas genera energía que si no se libera inmediatamente se acumula y luego se libera de forma súbita generando terremotos de diferentes magnitudes.

Y, ¿cada cuánto tiempo ocurren los terremotos o es un proceso aleatorio?

Según estudios que han recopilado la información de los terremotos del pasado se piensa que terremotos grandes, es decir, de magnitudes superiores a 9, pueden ocurrir cada 280 años y los de intensidades iguales o mayor a 7 pueden ocurrir cada 130 o 140 años. Durante esos tiempos se acumula la energía que luego se libera en minutos e incluso segundos.

Eso quiere decir que Chiloé ha sido escenario de muchos terremotos a lo largo de su historia.



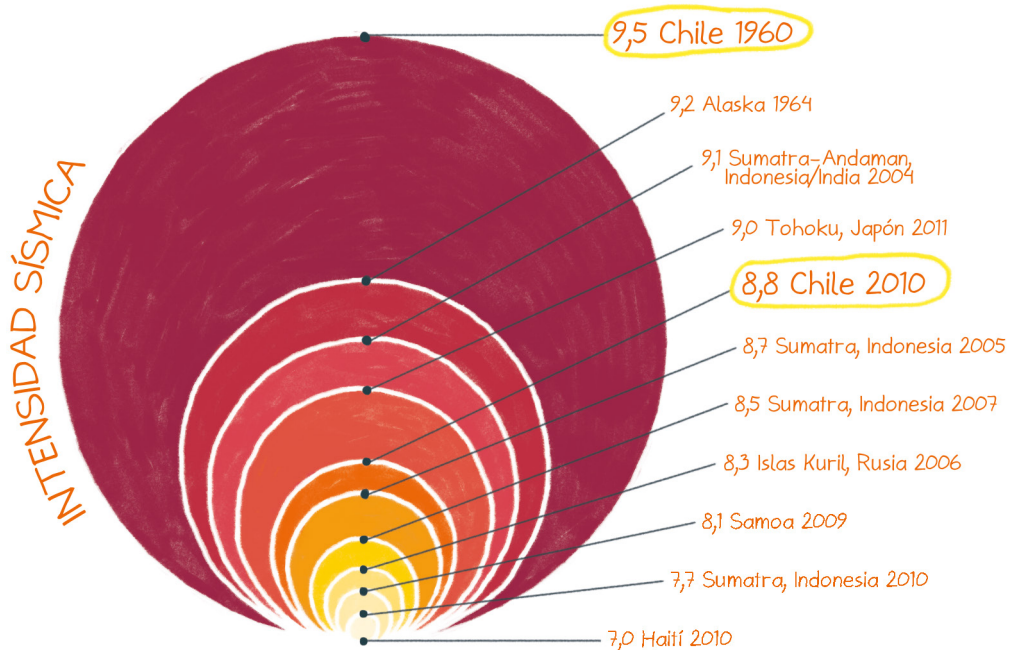
Trabajo de gabinete

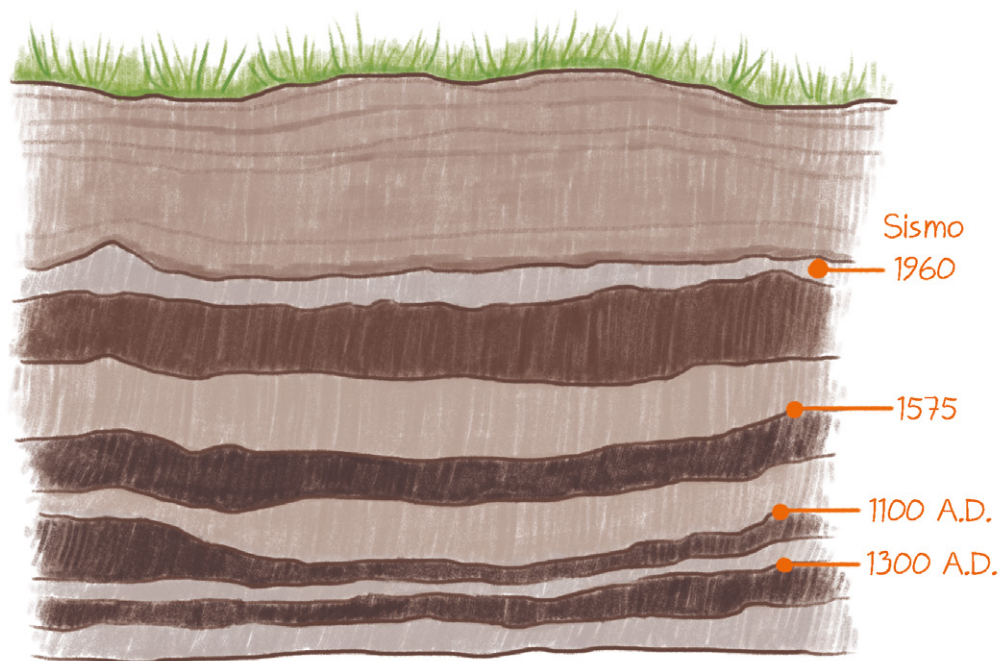


Luego de la conversación con Lizette decidimos investigar cuáles habían sido los terremotos más grandes ocurridos en Chiloé, ya que eso nos daría información sobre el modelamiento del paisaje geológico del archipiélago.

En nuestra búsqueda nos encontramos con la historia del terremoto más grande registrado por la historia de la humanidad: el terremoto de Valdivia en el año 1960. Si bien el movimiento telúrico tuvo su origen cerca de esta ciudad y esta fue número uno en devastación, Ancud, fue el segundo lugar más afectado. Toda la provincia de Chiloé sufrió este evento sísmico que cambió la forma en que se perciben los terremotos en el territorio chileno y el mundo. El terremoto de 1960 tuvo una magnitud de 9.5.

Si pudiéramos hacer una comparación de los eventos sísmicos más grandes vividos por la humanidad se vería algo como esto:





En la imagen se pueden observar las capas que han dejado los tsunamis ocurridos en la zona costera de Chiloé, en el sector de Quetalmahue, específicamente en Chucalén. Aquí se muestran los depósitos que han dejado los tsunamis de Chile durante los últimos milenios. Incluso se observan los depósitos arenosos de dos megaterremotos, el de 1575 y el ya conocido de 1960.



La Navidad del 2016 fue escenario del terremoto 7.6 que experimentó Chiloé, con epicentro en Quellón. No hubo víctimas, solo una pequeña leñera que fue destruida por una remoción en masa generada por el movimiento. Este terremoto descargó aproximadamente mil veces menos energía que el de Valdivia.

Trabajo de gabinete



Si bien el terremoto de 1960 fue extremadamente gigante y peligroso, descubrimos en nuestra investigación que hubo lugares vecinos a las zonas de destrucción que no se vieron tan afectados por el movimiento sísmico. **¿Cuál habrá sido la causa de eso?**

La respuesta la encontramos en el sustrato, que es el suelo sobre el que se construyen las casas. Cuando el sustrato es rocoso, es decir, hecho de roca dura, como la zona de la cordillera de la Costa de Chiloé, las ondas no destruyen tanto como cuando se desplazan sobre un suelo de relleno, como en pendientes o arena. A propósito de esto recordamos lo que dice la parábola bíblica: "construye sobre rocas y tu casa se mantendrá en pie ante la adversidad".

Luego, nos preguntamos, **¿cuáles fueron los efectos sobre el territorio en términos geológicos?**

Después de mucho investigar encontramos algunos datos bastante interesantes. Al parecer en muchos lugares el terreno se hundió varios metros, lo que queda en evidencia si nos fijamos en antiguas construcciones costeras. Antes del sismo estas quedaban expuestas en superficie, pero después del terremoto de 1960, cuando hay marea alta quedan sumergidas bajo el mar. Y no son solo las rampas, también las casas. Esto se debe a que el mar entró al territorio y no volvió a retroceder. En varios poblados del archipiélago, se perdieron cuerdas, que una vez devastadas por el terremoto fueron transportadas al mar con el gran tsunami.

ANTES



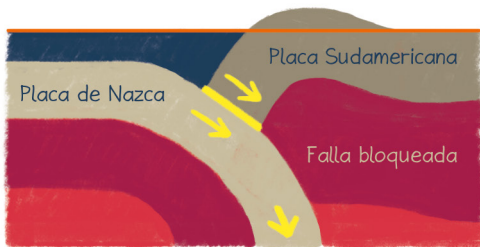
DESPUÉS



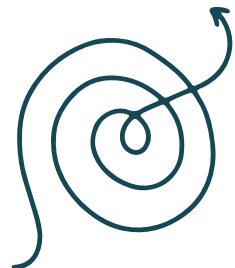
Lo curioso es que no todo se hundió. Al parecer existió un levantamiento del terreno. ¿Dónde? En isla Guafo. Esta isla se alzó entre 3 y 4 metros sobre el nivel del mar. ¿Cómo se sabe esto? Porque el desembarcadero quedó inoperativo: las rocas que antes se encontraban bajo el mar afloraron a la superficie impidiendo que los barcos se acerquen. ¡Y no solo eso! Al parecer el pequeño islote llamado Guafito, que antes estaba separado de la isla, quedó unido por un camino de piedras que ni siquiera en las altas mareas se sumerge.

Y entonces nos preguntamos, ¿por qué en algunas zonas el territorio se hunde y en otras se alza durante un terremoto?

La respuesta la encontramos en esta imagen:



Durante el período previo a la ocurrencia de un sismo, ambas placas, la de Nazca y la Sudamericana se desplazan en una misma dirección. Este movimiento previo a la generación de un terremoto produce un hundimiento en la zona donde las placas se unen, sin embargo, más al interior de la placa continental Sudamericana, el terreno se levanta. Cuando ocurre un terremoto el cuento es otro: la flexión que se genera en la placa Sudamericana por acumulación de energía se libera súbitamente. Esto provoca que la zona que antes del sismo estaba hundiéndose, se alce, como sucedió en isla Guafo y la zona donde antes se alzaba el terreno, se hunda, como sucedió en el resto del archipiélago de Chiloé.

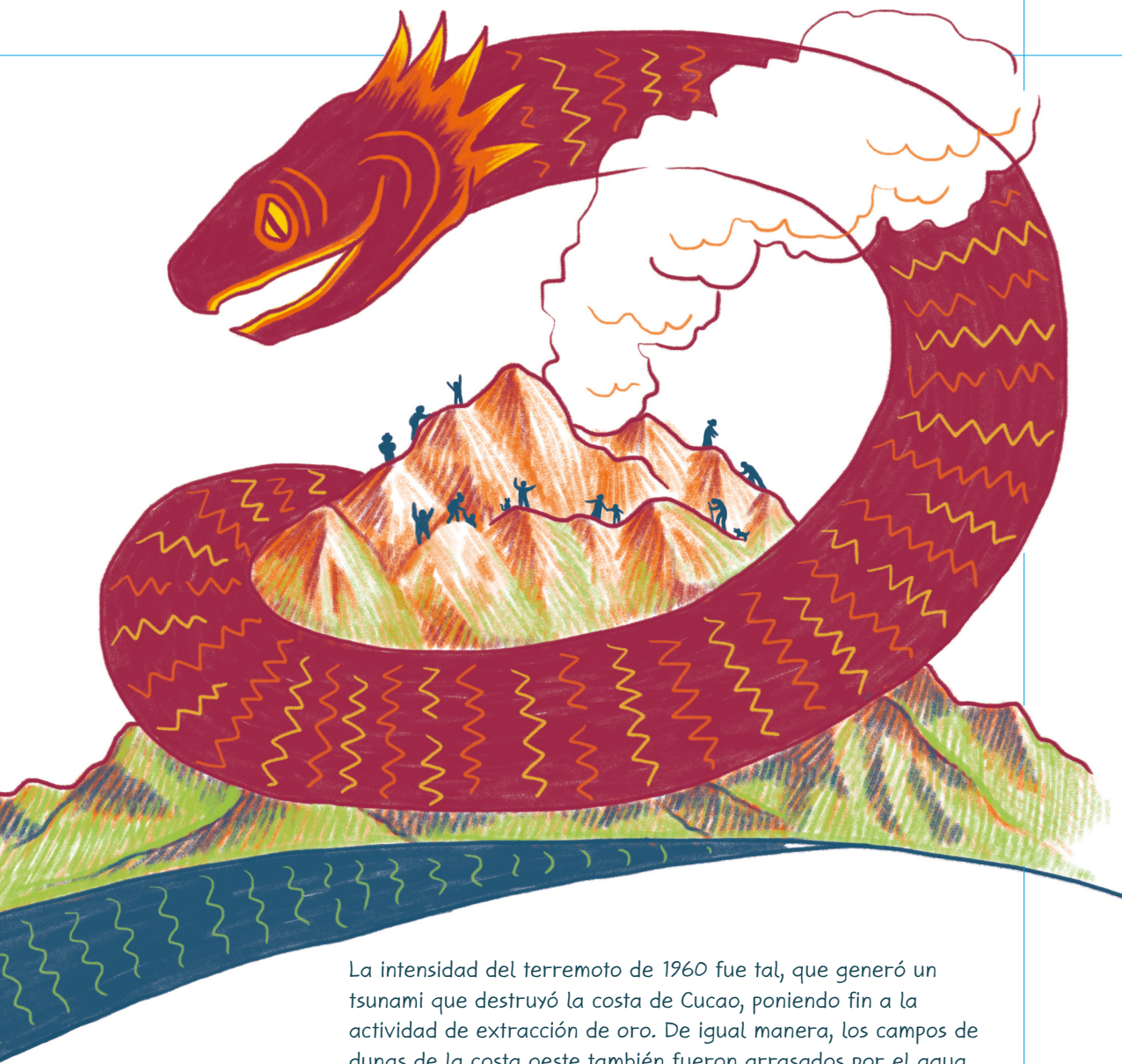


A pesar de que la ciencia, gracias al desarrollo del conocimiento y las herramientas disponibles, ha entregado muchas respuestas para explicar por qué suceden los terremotos, estos fenómenos ya eran percibidos por las culturas ancestrales. La cultura mapuche huilliche que es la que habitaba la zona de Chiloé comprendió desde su cosmovisión estos fenómenos sísmicos y los plasmó en la leyenda de Cai Cai y Ten Ten Vilú, la serpiente marina y la serpiente de la tierra.

La leyenda cuenta que durante un terremoto Cai Cai Vilú, la serpiente del mar, entra al territorio formando grandes olas que rompen las costas y aprovecha el terreno hundido para sumergirlo en las aguas de este mar insaciable. Ante la desgracia y

devastación Ten Ten Vilú, la serpiente protectora de la tierra, alza el terreno para salvaguardar la vida de sus habitantes. En esta lucha no hay ganadores ni perdedores, solo una manifestación de las fuerzas naturales que nos acompañan de por vida en este ciclo dinámico de modelación del paisaje terrestre.





La intensidad del terremoto de 1960 fue tal, que generó un tsunami que destruyó la costa de Cucao, poniendo fin a la actividad de extracción de oro. De igual manera, los campos de dunas de la costa oeste también fueron arrasados por el agua. En términos culturales esto fue leído como la acción de Cai Cai y Ten Ten Vilú quienes habrían tenido parte en el terremoto más intenso registrado en la historia de la humanidad.

mm

ACTIVIDAD

Cuando estábamos por terminar nuestra investigación, nos surgió una última pregunta. Sabemos que los terremotos que ocurren en zonas urbanas son peligrosos. También sabemos que vivir en Chile, uno de los lugares más sísmicos del planeta, conlleva una gran probabilidad de experimentar al menos un terremoto en la vida.

Entonces, ¿la altura de los edificios influye en el impacto de un sismo sobre su estructura?

Para responder a la pregunta, decidimos llevar a la práctica nuestro cuestionamiento. Como no podemos construir edificios con diferentes características, decidimos hacer una maqueta para poder responder nuestras dudas.

Materiales

- Una plancha de plumavit de al menos 4 cm de espesor.
- Dos varillas de madera de diferente longitud.
- Dos reglas de metal de diferente longitud.
- Tres palitos de brochetas de diferente longitud.
- Plastilina.



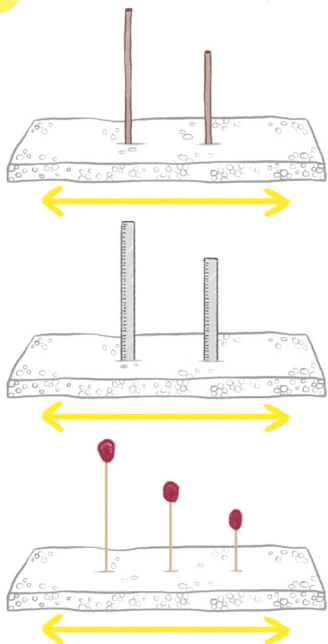
Procedimiento

1. Nos dimos unos minutos para reflexionar sobre las propiedades que deben tener las construcciones como edificios, por ejemplo, para resistir un movimiento telúrico y anotamos en nuestra libreta la que nos pareció común a todos.

Hipótesis:
Pensamos que los edificios de poca altura deberían resistir mejor.



2. Construimos nuestros prototipos de edificios con los materiales para resolver la hipótesis.



- En la plancha de plumavit insertamos firmemente las dos varillas de madera de diferente longitud.
- Comenzamos a mover la base de la plancha de plumavit de forma horizontal para ver las oscilaciones. Las varillas no deben ser ni muy rígidas, ni muy flexibles, unas varillas de maqueta nos resultaron de maravilla.
- Anotamos nuestras observaciones.
- Repetimos el ejercicio con las reglas metálicas y los tres palitos de brochetas, a estos últimos le agregamos un poco de peso en las puntas, con una bolita de tamaño medio de plastilina, para poder observar más claramente las oscilaciones.
- Anotamos nuestras observaciones.

Resultado

- La velocidad a la que movemos la plancha de plumavit genera variaciones en los diferentes materiales. Si hacemos un movimiento muy lento, se observa que las varillas más altas son las que más oscilan. Por el contrario, si movemos a una mayor velocidad la plancha de forma horizontal, son las varillas más cortas las que oscilan más.

Conclusión

- Los edificios de baja altura no son necesariamente más resistentes que los de mayor altura. Depende de la velocidad de la vibración que tenga el sismo. Como los sismos producen diferentes vibraciones, algunas rápidas y otras más lentas, descartamos la idea de que construir edificios de poca altura sean en sí mismos construcciones más seguras que edificios elevados.

Luego de dos días de trabajo de gabinete teníamos resuelta nuestra investigación. Comprendimos que los terremotos son fenómenos naturales necesarios para la liberación de energía de la Tierra. También logramos encontrar algunas de las evidencias que nos permitieron estudiar los terremotos y tsunamis del pasado.

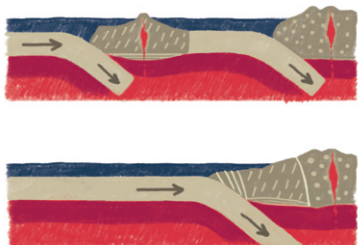
CERRANDO NUESTRO VIAJE

Hemos llegado al fin de esta increíble aventura en busca del origen del archipiélago de Chiloé. Viajamos en el tiempo observando la geología de la zona y descubrimos muchas cosas interesantes.

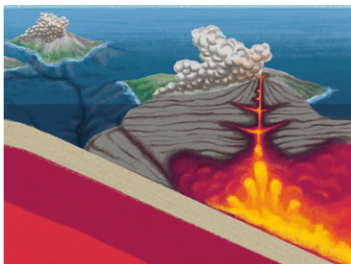
Descubrimos que un antiguo continente chocó con el margen occidental de Gondwana hace alrededor de 385 millones de años y que las rocas más antiguas de Chiloé están en la cordillera de la Costa y se formaron hace aproximadamente 240 millones de años.

Comprendimos el origen de los basaltos de Polocué. Observamos fósiles en rocas que en algún momento estuvieron sumergidas bajo el agua y que el paisaje de Chiloé se debe en gran parte a la acción de antiguos glaciares que cubrieron el archipiélago.

Choque del minicontinente



Formación de las lavas de Ancud

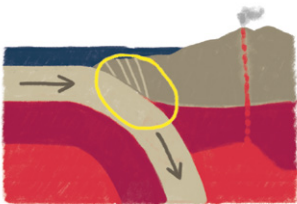


385-220 millones de años

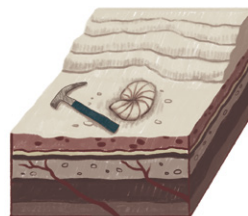
28 millones de años

20 millones de años

Formación de las rocas más antiguas de Chiloé



Formación de fósiles chilotes



Entendimos que mientras el viento soplaba, las dunas del borde costero se formaban. Comprendimos cómo el agua subterránea fluye en el subsuelo y cómo se formó el oro que se explotaba en las costas de Cucao en el siglo veinte.

También observamos remociones en masa de Chiloé y comprendimos la historia sísmica del archipiélago. En este viaje también entrelazamos la mitología chilota con la historia geológica. Es así como establecimos una relación entre el Camahueto y las remociones en masa y también entre la leyenda de Cai Cai y Ten Ten Vilú y los grandes terremotos y tsunamis.

Esperamos tener pronto una nueva aventura.

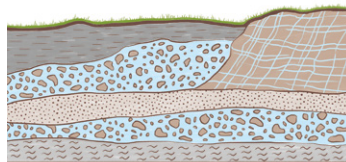
Esta vez explorando otro lugar de nuestro país.

Glaciación



50-13 mil años

Formación de las reservas de agua



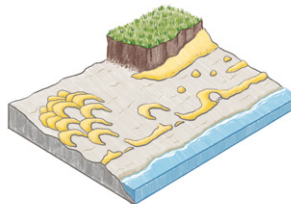
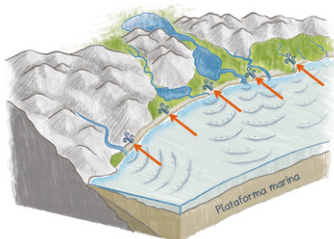
Post glacial

Terremotos

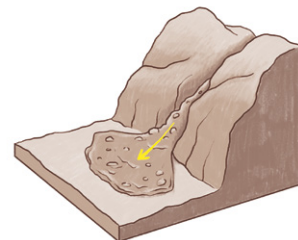


En la actualidad

Formación de los depósitos de oro



Formación de las dunas



Remociones

BIBLIOGRAFÍA



¿Cómo se formó el planeta Tierra?

Tarback, E. J., Lutgens, F. K., & Tasa, D. (1997). *Earth science*. New Jersey: Prentice Hall.

Las rocas más antiguas de Chiloé

Duhart, P., & Adriasola, A. C. (2010). New time-constraints on provenance, metamorphism and exhumation of the Bahía Mansa Metamorphic Complex on the Main Chiloé Island, south-central Chile. *Andean Geology*, 35(1): 79-104.

Fortey, R., Pankhurst, R. J., & Herve, F. (1992). Devonian trilobites at buill, Chile (42 S). *Andean Geology*, 19(2), 133-143. DOI: 10.5027/andgeoV19n2-a01

Hervé, F., Calderon, M., Fanning, C. M., Pankhurst, R. J., Fuentes, F., Rapela, C. W., Correa, J., Quezada, P., Marambio, C. (2016). Devonian magmatism in the accretionary complex of southern Chile. *Journal of the Geological Society*, 173(4), 587-602. DOI:10.1144/jgs2015-163

Hervé, F., Calderón, M., Fanning, M. C., Pankhurst, R. J., Rapela, C. W., & Quezada, P. (2018). The country rocks of Devonian magmatism in the North Patagonian Massif and Chaitenia. *Andean Geology*, 45 (3): 301-317. DOI: 10.5027/andgeoV45n3-3117

El piso es lava

Fennell, L. M., Quinteros, J., Iannelli, S. B., Litvak, V. D., & Folguera, A. (2018). The role of the slab pull force in the late Oligocene to early Miocene extension in the Southern Central Andes (27°-46°S): Insights from numerical modeling. *Journal of South American Earth Sciences*, 87, 174-187. DOI: 10.1016/j.jsames.2017.12.012

Fernández Paz, L., Bechis, F., Litvak, V. D., Echaurren, A., Encinas, A., González, J., Lucassen, F., Oliveros, V., Valencia, V., & Folguera, A. (2019). Constraints on Trenchward Arc Migration and Backarc Magmatism in the North Patagonian Andes in the Context of Nazca Plate Rollback. *Tectonics*, 38(11), 3794-3817. DOI: 10.1029/2019TC005580

Muñoz, J., Troncoso, R., Duhart, P., Crignola, P., Farmer, L., & Stern, C. R. (2000). The relation of the mid-Tertiary coastal magmatic belt in south-central Chile to the late Oligocene increase in plate convergence rate. *Revista geológica de Chile*, 27(2), 177-203. DOI: 10.4067/S0716-02082000000200003

Paz, L. F., Litvak, V. D., Echaurren, A., Iannelli, S. B., Encinas, A., Folguera, A., & Valencia, V. (2018). Late Eocene volcanism in North Patagonia (42° 30'-43° S): Arc resumption after a stage of within-plate magmatism. *Journal of Geodynamics*, 113, 13-31. DOI: 10.1016/j.jog.2017.11.005

Fósiles chilotes

Encinas, A., Pérez, F., Nielsen, S. N., Finger, K. L., Valencia, V., & Duhart, P. (2014). Geochronologic and paleontologic evidence for a Pacific–Atlantic connection during the late Oligocene–early Miocene in the Patagonian Andes (43–44 S). *Journal of South American Earth Sciences*, 55, 1-18. DOI: 10.1016/j.jsames.2014.06.008

Kiel, S., & Nielsen, S. N. (2010). Quaternary origin of the inverse latitudinal diversity gradient among southern Chilean mollusks. *Geology*, 38(10), 955-958. DOI: 10.1130/G31282.1

Nielsen, S. N., & Glodny, J. (2009). Early Miocene subtropical water temperatures in the southeast Pacific. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 280(3-4), 480-488. DOI: 10.1016/j.palaeo.2009.06.035

Watters, W. A., & Fleming, C. A. (1972). Contributions to the geology and palaeontology of Chiloe Island, southern Chile. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 263(853), 369-408. DOI: 10.1098/rstb.1972.0004

Glaciaciones

Abarzúa, A. M., Villagrán, C., & Moreno, P. I. (2004). Deglacial and postglacial climate history in east-central Isla Grande de Chiloé, southern Chile (43 S). *Quaternary Research*, 62(1), 49-59. DOI: 10.1016/j.yqres.2004.04.005

Caldenius, C. C. Z. (1932). Las Glaciaciones Cuaternarias en la Patagonia y Tierra del Fuego: Una investigación regional, estratigráfica y geocronológica. Una comparación con la escala geocronológica sueca. *Geografiska Annaler*, 14(1-2), 1-164. DOI: 10.1080/20014422.1932.11880545

García, J. L. (2012). Late Pleistocene ice fluctuations and glacial geomorphology of the Archipiélago de Chiloé, southern Chile. *Geografiska Annaler: series a, physical geography*, 94(4), 459-479. DOI: 10.1111/j.1468-0459.2012.00471.x

Villagrán, C., León, A., & Roig, F. A. (2004). Paleodistribución del alerce y ciprés de las Guaitecas durante períodos interestadiales de la Glaciación Llanquihue: provincias de Llanquihue y Chiloé, Región de Los Lagos, Chile. *Revista geológica de Chile*, 31(1), 133-151. DOI: 10.4067/S0716-02082004000100008

El camino del oro chilote

Canal César Velásquez. (6 junio 2008). BUSCADORES DE ORO part 1 [Archivo de Video]. <https://www.youtube.com/watch?v=HJuLCedd5Ck>

Gajardo, P., Mondaca, E. & Santibáñez, P. (2017). La minería industrial como una nueva amenaza al espacio marinocostero de Chiloé: Bahía de Cucao como caso de estudio. *Revista Iberoamericana de Viticultura, Agroindustria y Ruralidad*, 3(10), 110-138. ISSN: Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=469549496007>

Maldonado, R. (1897). Estudios geográficos e hidrográficos sobre Chiloé. Oficina hidrográfica de Chile. Disponible en: <http://www.bibliotecanacionaldigital.gob.cl/visor/BND:618380>

Pérez Hidalgo, M. (2020). Composición de sedimentos del fondo marino del área entre la isla de Chiloé y la península de Taitao, y su relación con potenciales recursos minerales. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/174094>

Mientras el viento sopla, una duna se forma

Araya Cornejo, C. (2010). Morfogénesis evolutiva y sedimentología del sistema de dunas costeras de la Trinchera, región del Maule. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/100229>

Reserva de agua dulce en Chiloé

Alarcón, P., Vásquez, M., Páez, D., Jiménez, Jorge. (2015). Exploración Hidrogeológica-Geofísica mediante CSAMT (Audio Magneto Telúrica con fuente controlada) del acuífero confinado de Dalcahue, Chiloé.

Barra Rivera, S., & Manushevich Bezares, M. C. (2017). Crisis hídrica en Chiloé: extractivismo y políticas públicas como detonante (Doctoral dissertation, Universidad Academia de Humanismo Cristiano). Disponible en <http://bibliotecadigital.academia.cl/handle/123456789/4347>

Gerding, V. (2010). Suelos de humedales y trumao húmedos del sur de Chile. *Academia Accelerating the world's research*.

Troncoso, R., Pérez, Y., Feuker, P., Páez, P., & Muñoz, J. (2008). Levantamiento hidrogeológico y potencial de agua subterránea de la Depresión Central de las regiones de Los Ríos y Los Lagos. *Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Registrado IR-08-34, 8*. Disponible en https://biblioteca.sernageomin.cl/opac/datafiles/14127_pp_789_791.pdf

Zegers, G., Larraín, J., Díaz, M. F., & Armesto, J. (2006). Impacto ecológico y social de la explotación de pomponales y turberas de Sphagnum en la Isla Grande de Chiloé. *Revista ambiente y desarrollo de CIPMA*.

Remociones en masa, el Chiloé escurridizo

Hungr, O., Leroueil, S., & Picarelli, L. (2014). The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, 11(2), 167-194. DOI:10.1007/s10346-013-0436-y

El archipiélago se mueve

Duhart, P., Muñoz, J., & Stern, C. (2000). Geología de la Isla Grande de Chiloé, X Región de Los Lagos, Chile. In *Congreso Geológico Chileno* (No. 9, pp. 461-465).

Páez, D., Quiroz, D., Feuker, P., Derch, P., & Duhart, P. (2015). Geología para el ordenamiento territorial: Área de Castro, Región de Los Lagos. *Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental*, 21, 91p.

Valderrama Bravo, J. (2010). Situación de las figuras de administración pesquera sobre los territorios costeros en Chile — Sustentabilidad y dinámicas socioculturales en 3 caletas de la Comuna de Ancud, X región. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/100199>

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer al Dr. Carlos Oyarzún ex director del Instituto Ciencias de la Tierra de la Universidad Austral de Chile, por ser la primera persona en confiar en esta iniciativa, haciendo posible el primer terreno que realizamos en el archipiélago. Al Dr. Alexandre Corgne, quien fue nuestro director de contenidos y uno de los primeros en apoyarnos fielmente, por su profesionalismo y apoyo en la postulación del proyecto.

En segundo lugar, al equipo que fue la columna vertebral del proyecto: el geólogo Álvaro Tapia, quien participó activamente durante todo el proceso, tanto como asesor científico, como en el resto de las actividades. La periodista Carla Mancilla que, con su dulzura y simpatía, nos permitió llegar a la gente y crear una hermosa comunidad. Pamela Ojeda, nuestra Ingeniera Comercial, por su trabajo en administración y confianza plena. Isabel Guerrero por su hermoso y dedicado trabajo en ilustración; Sebastián Alvear, por el excelente y pulcro trabajo en diseño y diagramación; Lucía Alba, nuestra editora, por el cariño y la serenidad entregada al momento de la adaptación de los contenidos, sin duda alguna, nuestro cable a tierra. A nuestro querido biólogo marino, fotógrafo, y chofer a todo terreno, Humberto Bertin, por la curiosidad que manifestó por una ciencia nueva, por querer saberlo todo, por enseñarnos que todo es fuente de saber y que las ciencias conviven en todo momento y lugar. A los geólogos Cristóbal Giacamán y Fernando Gómez por participar en las etapas tempranas del proyecto.

A nuestro equipo asesor en materia científica: Dr. Gaelle Plissart, Dr. Alexandre Corgne, Dr. Viktoria Georgieva, Dr. Paul Duhart, Dr. Rodrigo Vega, Dr. Rodrigo Soteres, Dr. Sven Nielsen, Ms. Lizette Bertin, Ms. Violchen Sepúlveda y Ms. Rosa Troncoso por su profesionalismo y excelente disposición al momento de contactarnos cada vez que teníamos alguna duda científica. A nuestro equipo docente, quienes nos corroboraron que la ciencia puede explicarse en palabras simples, Claudia Oyarzún, Manuel Vargas, Karol Marchant, Manuel Gómez y Delia Sánchez.

A la hermana Miriam Muñoz de nuestro Liceo Ramón Freire, agradecer la confianza de esta institución que nos vio crecer y nos permitió despertar la curiosidad en el ámbito científico. Al exedil Washington Ulloa y al actual alcalde René Garcés de la Ilustre Municipalidad de Quinchao, por abrir espacios de cultura para toda la juventud con ganas de aprender. A Paul Duhart y David Quiroz de la Oficina técnica de SERNAGEOMIN Puerto Varas, por ser los pilares fundamentales en la creación del contenido al brindar apoyo técnico. Dr. Álvaro Puig de la Sociedad Geológica de Chile por creer en nosotros y respaldar nuestro trabajo. A la red de bibliotecas públicas de la región de Los Lagos, por ayudarnos en la distribución de los ejemplares.

Por último, queremos agradecer el apoyo brindado por nuestra familia: a nuestra madre, Rosa Subiabre, por el esfuerzo y amor entregado para que cada uno de sus hijos estudiara y se desarrollara en lo que más le gustara, por las oportunidades brindadas, por preocuparse de formar un hogar hermoso. A nuestras hermanas, Ekatherina, Karen y Paola, a nuestra sobrina y testeadora del libro, María Ignacia, a Emilio y nuestro futuro sobrino. A toda nuestra familia por responder siempre unida ante cualquier adversidad.

Finalmente, a nuestro Chiloé, su gente, cultura, tradiciones, paisajes, mitos y leyendas. Nuestro lugar de origen, inspiración y fuente de vida. Para que este libro permita crear semillas de curiosidad para la protección de nuestra hermosa identidad.



¿Te imaginas Chiloé cubierto de hielo?

¿Y si te dijéramos que el suelo de gran parte de la zona norte del archipiélago es lava? Seguro tampoco nos creerías que hay oro y fósiles misteriosos ocultos en las rocas.

Sí ya no te aguantas la curiosidad y las ganas de saber las respuestas a estas preguntas te invitamos a acompañarnos en esta aventura geológica insular.

Somos Guido y Melissa, hermanos geólogos de Achao que, por amor a las Ciencias de la Tierra y motivados por la idea de compartirla con todas y todos, hemos decidido crear este libro en base a nuestras bitácoras de trabajo en terreno. Te invitamos a viajar con nosotros y conocer nuestros dibujos, anotaciones, entrevistas y actividades para descubrir: ¿Cómo se formó el archipiélago de Chiloé?



ISBN: 978-956-404-727-0



9 789564 047270