

MARCO DE RED DE MONITOREO HIDROLÓGICO DE CABECERAS Y AGUAS SUBTERRÁNEAS, REGIÓN DE COQUIMBO

Guía Técnica

BIP-30404077-0
16 de Febrero 2018



Tabla de Contenido

- 1. Introducción
- 2. Objetivos
- 3. Marco Teórico
- 4. Metodología
- 5. Catálogo de Equipos
- 6. Pozos de monitoreo de agua subterránea
- 7. Análisis de Datos

1. Introducción

El agua proveniente de la fusión de nieve y glaciares recarga los acuíferos, arroyos y ríos que proveen de este vital recurso a ecosistemas, usuarios y regantes río abajo. La transición desde el estado sólido a líquido es particularmente relevante en la Región de Coquimbo, donde cada año precipita cerca de 10 veces más en altitudes superiores a 3500 m s.n.m. comparado con áreas bajas.

En las zonas de mayor altitud, las precipitaciones se acumulan forma de nieve a lo largo del invierno.

Durante el desarrollo de este proyecto, se ha confeccionado un sistema prototipo de monitoreo y modelamiento de las cabeceras de ríos dominadas por deshielo.

El objetivo general del proyecto BIP-30404077-0 es desarrollar un marco de monitoreo hidrológico y modelación para la acumulación y fusión de nieve, aguas subterráneas y escorrentía superficial en las cabeceras de los ríos de la Región de Coquimbo.

2. Objetivos

Esta guía tiene por objetivo principal dar a conocer los componentes del marco de red de monitoreo hidrológico para las cuencas semiáridas de la región de Coquimbo. Se describen los equipamientos instalados, y los parámetros naturales de interés científico, junto con ejemplos de análisis de los datos recopilados.

El grupo de investigación en Hidrología tiene por objetos de interés el estudio de:

1. Aguas Subterráneas

Niveles de la napa freática

1. Parámetros fisicoquímicos del agua superficial y subterránea

- Conductividad
- Temperatura
- pH

2. Isotopía del agua superficial y subterránea

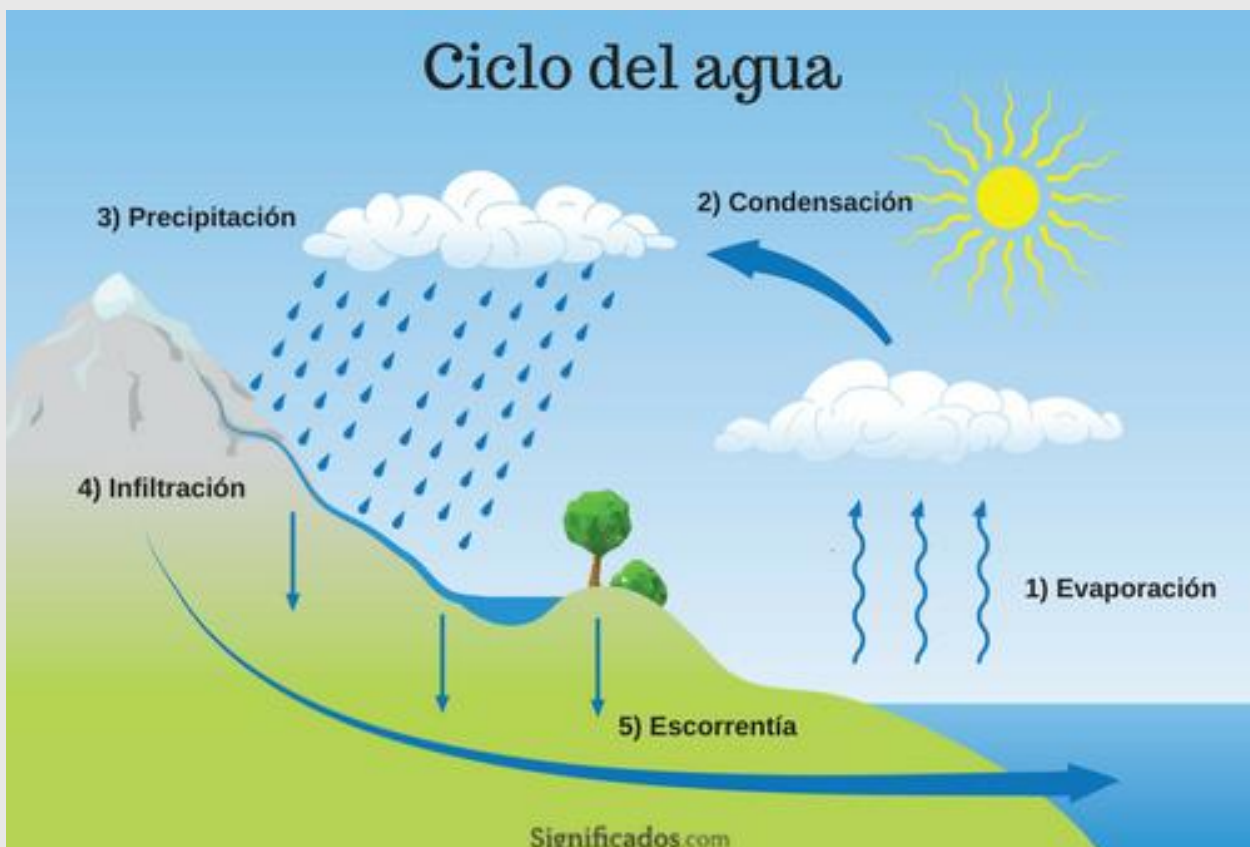
3. Cuantificación de agua de nieve

- Equivalencia de agua de nieve
- Agua de fusión de nieve

3. Marco Teórico

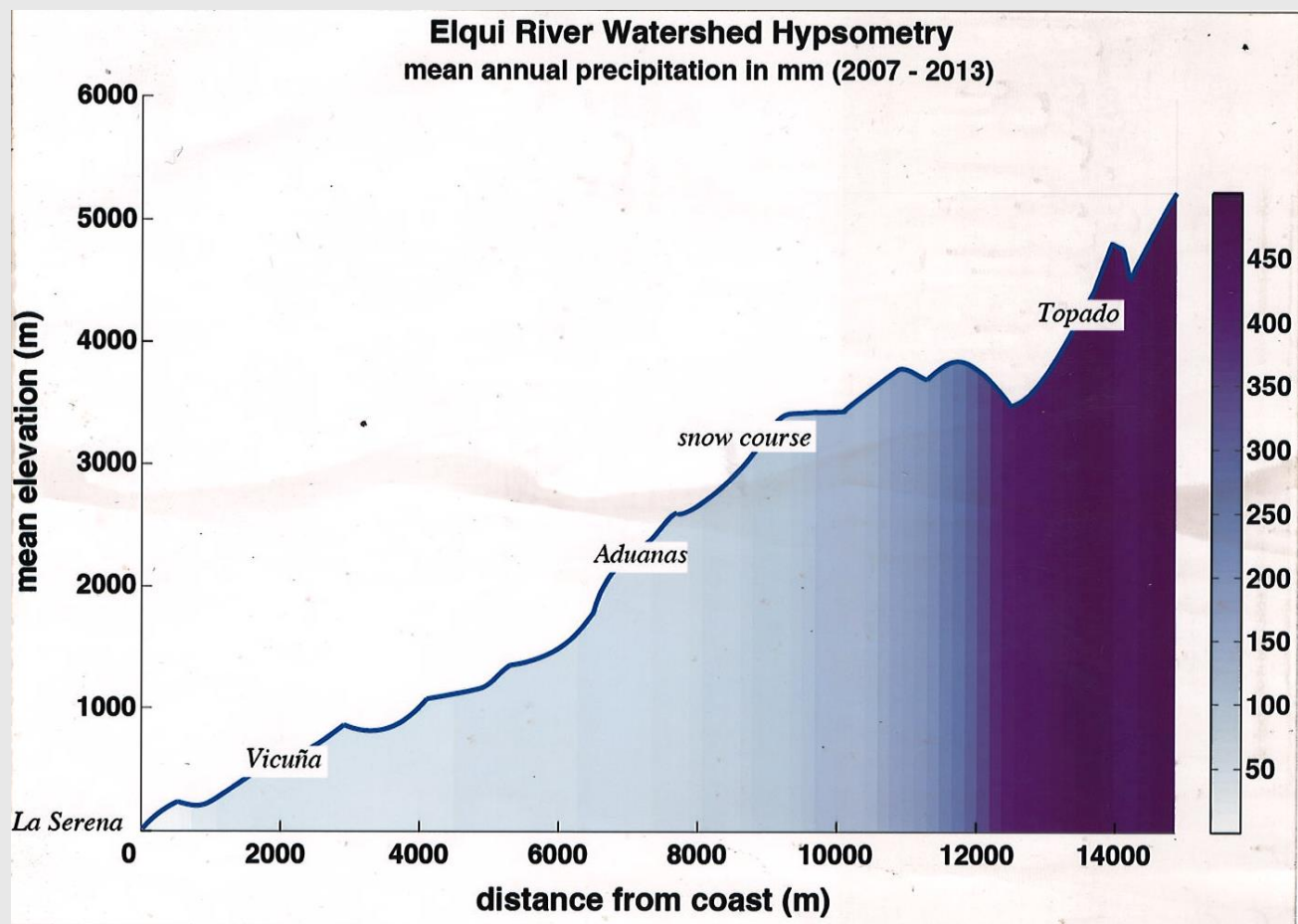
3.1 El ciclo del agua

El agua se encuentra en constante movimiento en nuestro planeta, pasando desde la superficie a la atmósfera por evaporación (1), desde la atmósfera de regreso a la superficie por precipitación (3), pasando por ríos, océanos y aguas subterráneas (4, 5). Además de desplazarse, el agua cambia de estado, congelándose ante condiciones frías, y fundiéndose nuevamente ante aumento de temperaturas. Puede evaporarse y viajar en forma de gas (1), para nuevamente condensar formando nubes (2) y gotas de lluvia que vuelven a la superficie (3). Este movimiento perpetuo se conoce como el **ciclo del agua**. El ciclo del agua o ciclo hidrológico modela el paisaje y da vida a los ecosistemas. La recarga de agua proveniente de las precipitaciones resulta de particular importancia para las actividades humanas en nuestra región. Estas pueden ocurrir en forma de lluvia, o nieve.



3.2 Precipitaciones en la Cuenca del Elqui

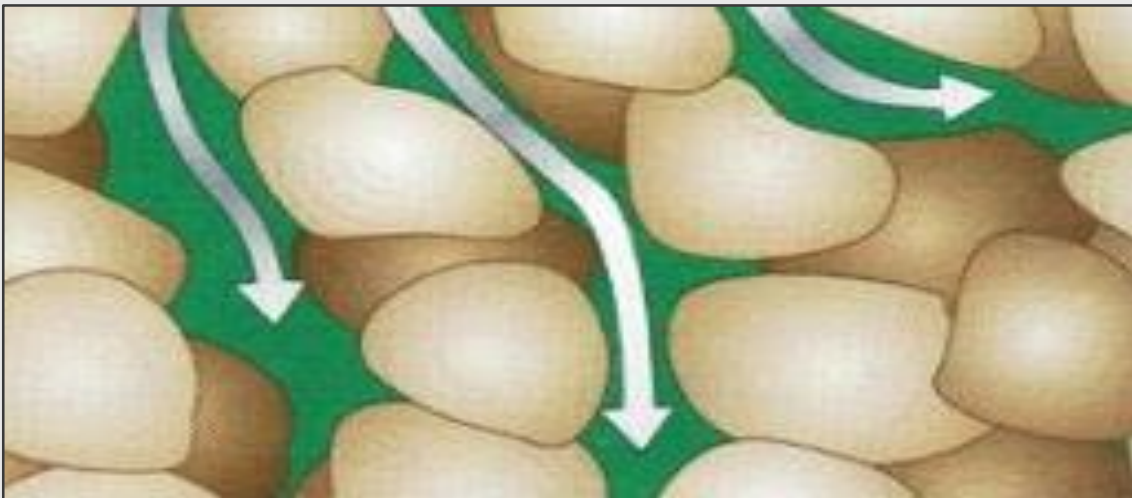
El siguiente gráfico muestra la distribución de las precipitaciones en la cuenca del Río Elqui. En el eje horizontal se muestra la distancia desde la línea de costa y en el eje vertical se muestra la altitud geográfica. El color más intenso indica mayor cantidad de precipitaciones. Se observa en el lado derecho del gráfico, que las precipitaciones se concentran en la parte alta de la región, por sobre los 3000 m s.n.m.



3.3 El estudio de las aguas subterráneas

Desde su entrada al sistema en forma de lluvia o nieve en las zonas de mayor altitud, el agua toma distintos caminos, ya sea sobre la superficie formando ríos y lagos o **bajo la superficie**, viajando a través de los espacios y poros que existen entre las partículas sólidas de la tierra o a través del sustrato rocoso, y acumulándose en ciertos lugares. La disponibilidad de agua fresca es de vital importancia, por lo que será crucial comprender cómo y dónde se encuentra este recurso en la naturaleza.

El estudio de la dinámica **hidrológica** e **hidrogeológica** busca comprender la interacción del agua con las capas sólidas de la Tierra, estableciendo clasificaciones según sea su comportamiento.



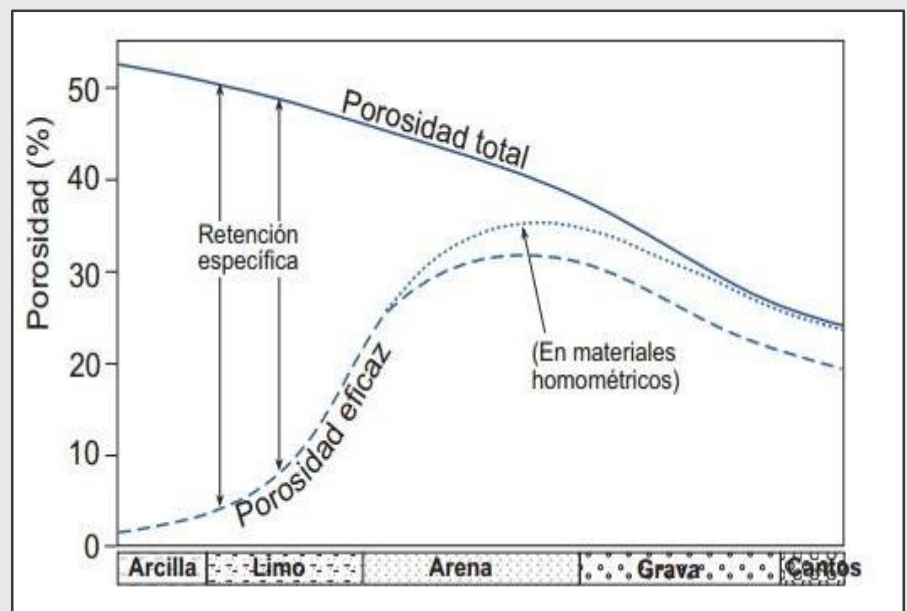
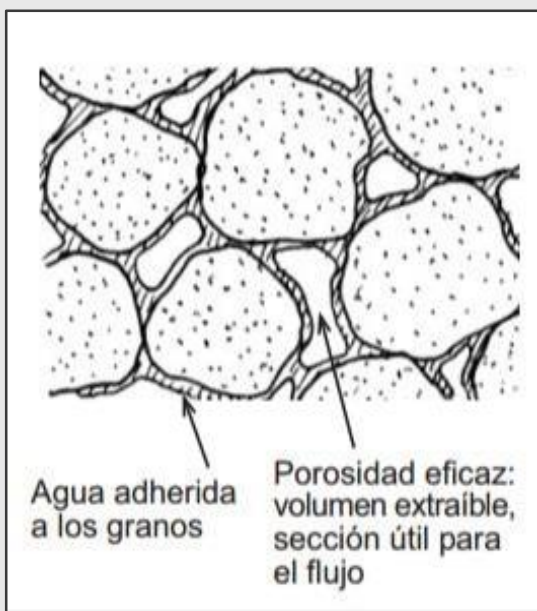
Flujo de agua entre los poros del sedimento

La **porosidad** total de un depósito o roca es el volumen de poros dividido por el volumen total de la roca.

No todo el volumen de poros es capaz de transmitir un fluido, por lo que hay que entender el concepto de porosidad eficaz: porosidad que es capaz de dejar pasar los fluidos móviles.

La porosidad eficaz depende de:

- La heterometría de la formación geológica: los sedimentos finos ocupan los poros que dejan los gruesos disminuyendo la porosidad.
- Forma y disposición de los granos.
- La compactación, cementación y recristalización.



Clasificación de las formaciones geológicas según su comportamiento hidrogeológico:

- **Acuífero:** formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que permite que circule a través de ella con facilidad. Existen dos variantes:

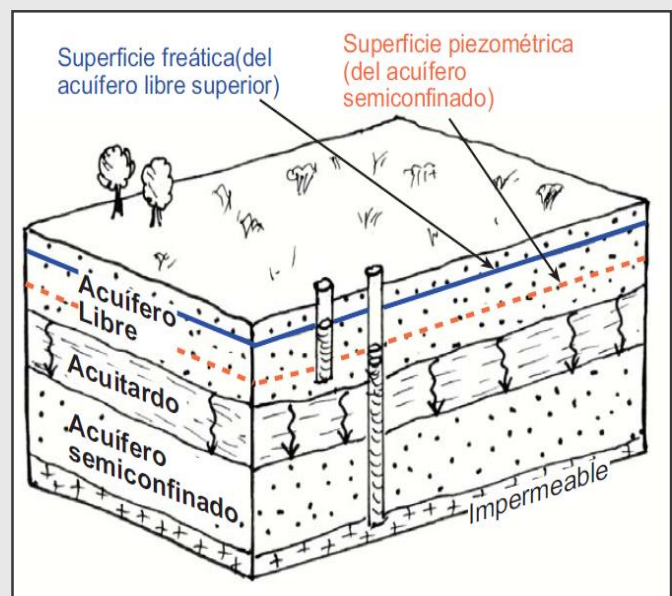
1. **Acuíferos libres:** la superficie freática está a presión atmosférica. Al extraer agua la superficie freática descenderá como en una piscina.

2. **Acuíferos confinados:** su límite superior se encuentra a mayor presión que la atmosférica, es una capa impermeable. Al extraer agua no se vacía ningún poro, el agua que se obtiene es por descompresión.

- **Acuicludo:** formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que no permite que circule a través de ella con facilidad.

- **Acuitardo:** formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable pero que el agua circula a través de ella con dificultad.

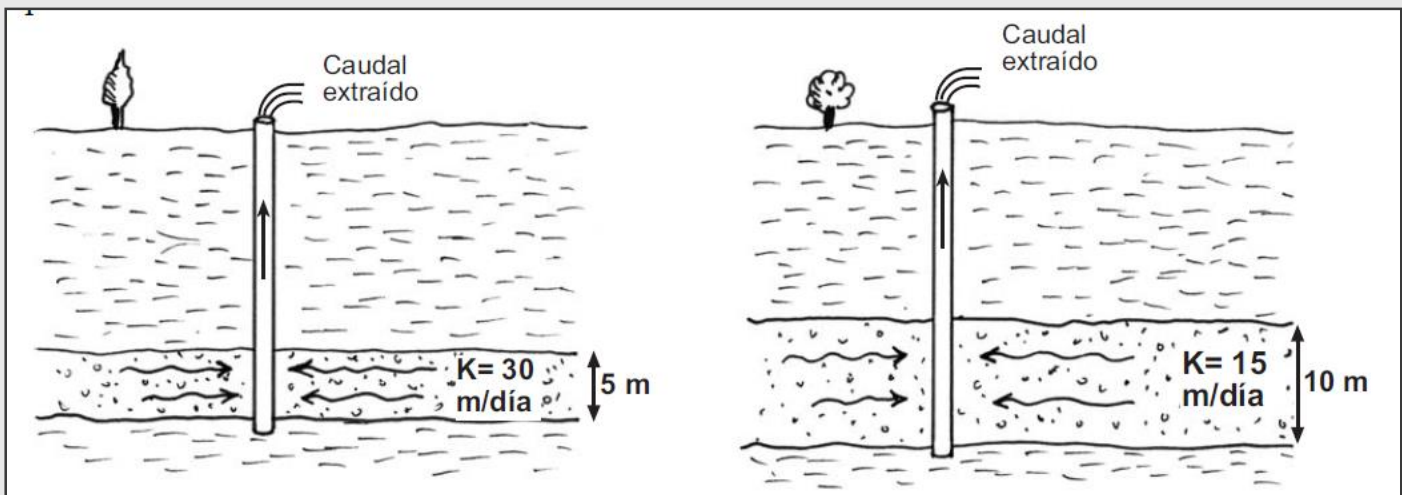
- **Acuífugo:** formación geológica que no contiene agua porque no permite que circule a través de ella con facilidad.



Las características del sustrato sólido determinan el comportamiento del agua subterránea. Parámetros como tamaño de grano, distribución, compactación, porosidad y fracturamiento son las principales variables a tener en cuenta. Para describir el comportamiento del agua en un medio sólido se definen las siguientes variables:

- **Permeabilidad o conductividad hidráulica (K):** facilidad de una formación rocosa a ser atravesado por un fluido (m/día).
- **Transmisividad (T):** medida representativa de la capacidad que tiene el acuífero para ceder agua;

$$T = K \times b \text{ (m}^2\text{/día). } K = \text{permeabilidad}$$
$$b = \text{espesor del acuífero}$$



Para calcular los parámetros hidráulicos de un acuífero (transmisividad, porosidad eficaz y permeabilidad) se realizan **ensayos de bombeo**, los cuales consisten en extraer agua desde un pozo y analizar los tiempos de recuperación del nivel natural.

3.4 Parámetros físicos-químicos del agua: Conductividad y Temperatura

La conductividad eléctrica de un cuerpo o sustancia se define por su capacidad de transmitir una corriente eléctrica. En el caso del agua, su conductividad depende de la cantidad de iones en disolución capaces de transportar energía eléctrica si se somete el líquido a un campo eléctrico. En otras palabras, la conductividad eléctrica del agua es consecuencia de los **solutos** o **minerales** que lleva el agua en disolución.

Las variaciones en la conductividad reflejan cambios en la edad relativa del agua o un aporte de agua de distinta fuente. El agua que procede de la fusión de nieve tiene baja conductividad debido a su baja carga en solutos, mientras que el agua que ha estado por más tiempo en contacto con las capas sólidas de la tierra, contiene mayor cantidad de solutos y en consecuencia mayor conductividad.

La conductividad puede ser medida directamente en terreno con un dispositivo portátil como el que se muestra en la imagen o con sensores automáticos que pueden permanecer instalados en terreno. La medición periódica de la conductividad permite obtener las variaciones horarias, diarias o estacionales de un punto de la cuenca para observar los ciclos de conductividad de un río o estero.

El monitoreo de la conductividad eléctrica y temperatura de las aguas subterráneas y superficiales, permite adquirir conocimiento sobre los procesos de fusión de la capa de nieve, tiempo de respuesta en la infiltración del agua en el terreno, aportes de agua de diferente fuente y cambios en la edad relativa del agua.



3.5 El estudio de Isótopos Estables

Se habla de Isótopos al referirse a átomos que pertenecen a un cierto elemento químico, teniendo en su núcleo una cantidad de neutrones diferente de la mayoría de átomos de ese elemento. Como consecuencia difieren en su **masa atómica, pero mantienen su número atómico**. Es decir, sigue siendo un átomo de ese elemento, pero con un peso atómico distinto. Así, el agua “pura” no es solamente H_2O , debido a la presencia de isótopos de hidrógeno y oxígeno. La combinación de los 5 isótopos diferentes da lugar a la formación de especies moleculares de agua con distinto peso molecular.

Isótopos del agua	
Hidrógeno	Abundancia
Protio ^1H (Estable)	99.985%
Deuterio ^2H (Estable)	0.015%
Tritio ^3H (Radioactivo)	5- $10^{-6}\%$
Oxígeno	Abundancia
^{16}O (Estable)	99.76%
^{17}O (Estable)	0.04%
^{18}O (Estable)	0.20%

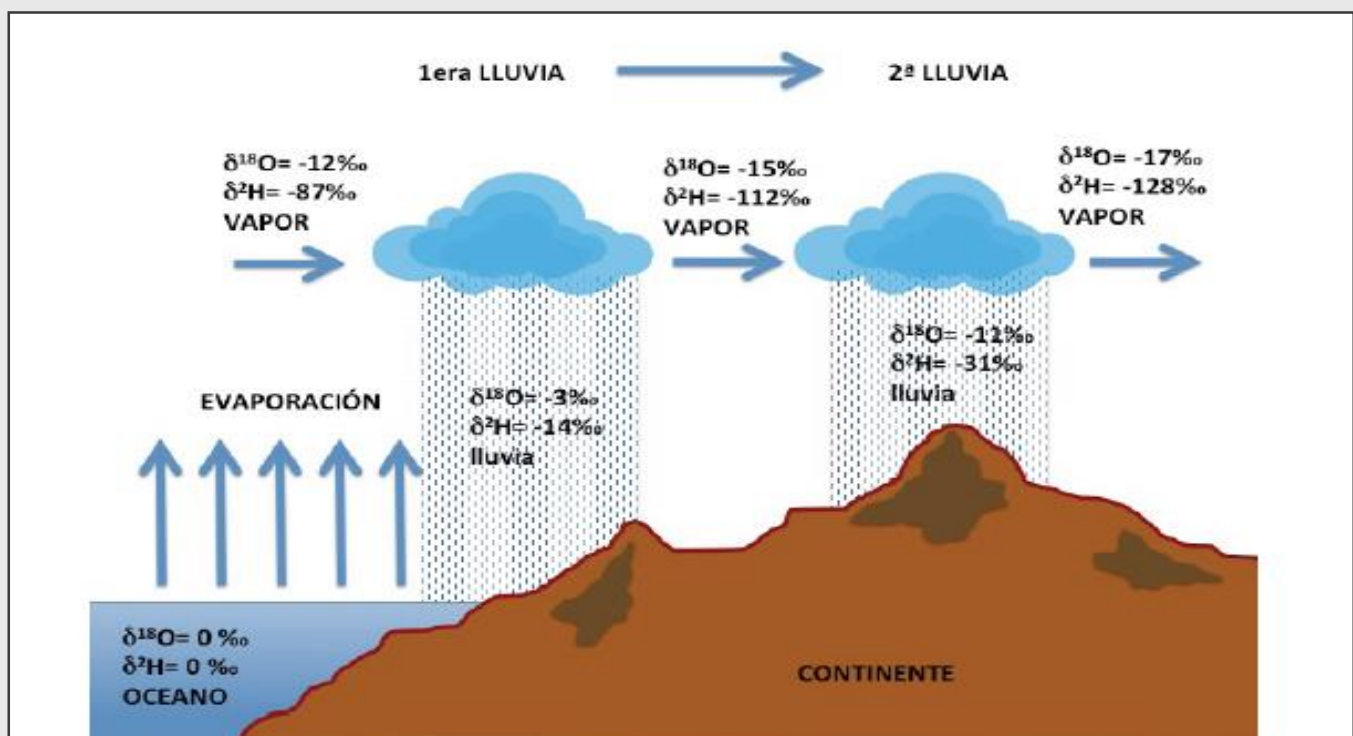
Mientras más masa atómica tiene una molécula de agua, más pesada se considera. En este caso, la combinación de ^1H y ^{16}O corresponde a la especie más liviana, en cambio ^2H y ^{18}O a la más pesada. La diferencia de peso resulta en diferentes comportamiento frente a los procesos de evaporación y condensación en las distintas fases del ciclo hidrológico.

Durante los cambios de fase (cambio de estado), las moléculas más pesadas tienden a quedarse o concentrarse en las fases líquidas, y por el contrario, las moléculas más livianas en las fases de vapor. Como consecuencia, el agua que se evapora desde el océano es más ligera que el agua que permanece en ellos, y el agua de lluvia es más pesada que el vapor que permanece en las nubes.

Existen pequeñas diferencias en el comportamiento, tanto químicos como físicos de las moléculas isotópicas en el ciclo hidrológico. Este cambio responde a un fenómeno denominado **Fraccionamiento Isotópico**, a través del cual la composición isotópica en el agua cambia al ocurrir un cambio de fase.

Por ejemplo:

- Durante la evaporación, las moléculas ligeras escapan preferentemente a la atmósfera cuando el agua experimenta evaporación y el agua residual que no sufre evaporación queda enriquecida en isótopos pesados.
- Efecto altitud: por efecto de la temperatura atmosférica, las precipitaciones que ocurren a cotas mayores presentan menores concentraciones en isótopos pesados.
- El agua de mar es más pesada o enriquecida en $^1\text{H}^16\text{O}$ y $^1\text{H}^{18}\text{O}$ que el agua dulce.
- El vapor de agua es más ligero o enriquecido en $^1\text{H}_2^{16}\text{O}$ que el agua de mar del que se originó.
- El vapor de agua de lago o embalse es más pesado o enriquecido en $^1\text{H}^{16}\text{O}$ y $^1\text{H}^{18}\text{O}$ que el agua de la que procede.



La porción de componentes isotópicos de una determinada cantidad se expresa mediante la tasa de abundancia. Esta **relación isotópica** del agua viene dada por la siguiente expresión:

$$R = \frac{\text{Abundancia de isótopo raro}}{\text{Abundancia de isótopo abundante}}$$

La relación isotópica del agua varía por los diferentes procesos que tienen lugar dentro del ciclo hidrológico. Para cuantificar la reducción isotópica que ha experimentado la muestra, se comparan sus tasas de abundancia isotópica con la de un **estándar**. Esta diferencia relativa de la tasa de abundancia se expresa en **partes por mil** con el símbolo “‰”, (por ejemplo 5‰). Los valores relativos dentro de la relación isotópica de los diferentes tipos de agua se expresan en forma de desviaciones isotópicas (**δ**) y se comparan con un patrón original o **estándar**, en este caso se usa el **SMOW** (Standard Mean Ocean Water). En la actualidad el SMOW se ha sustituido por V-SMOW (Viena Standard Ocean Water).

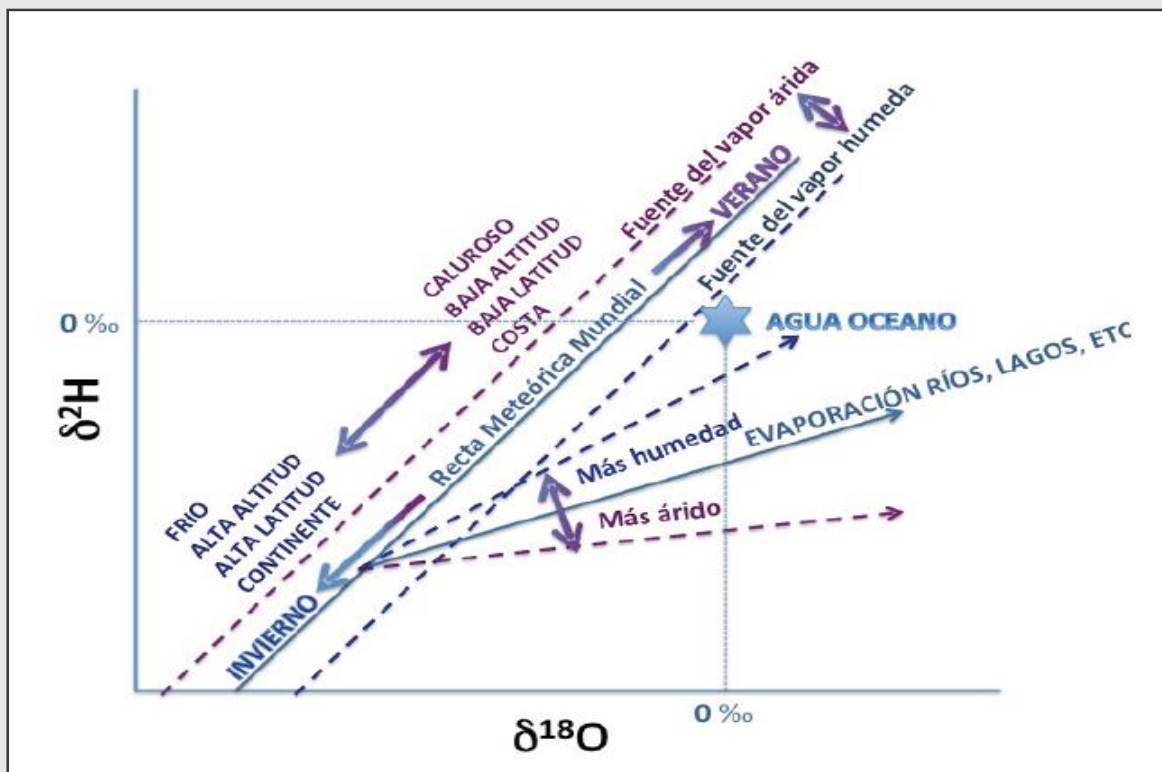
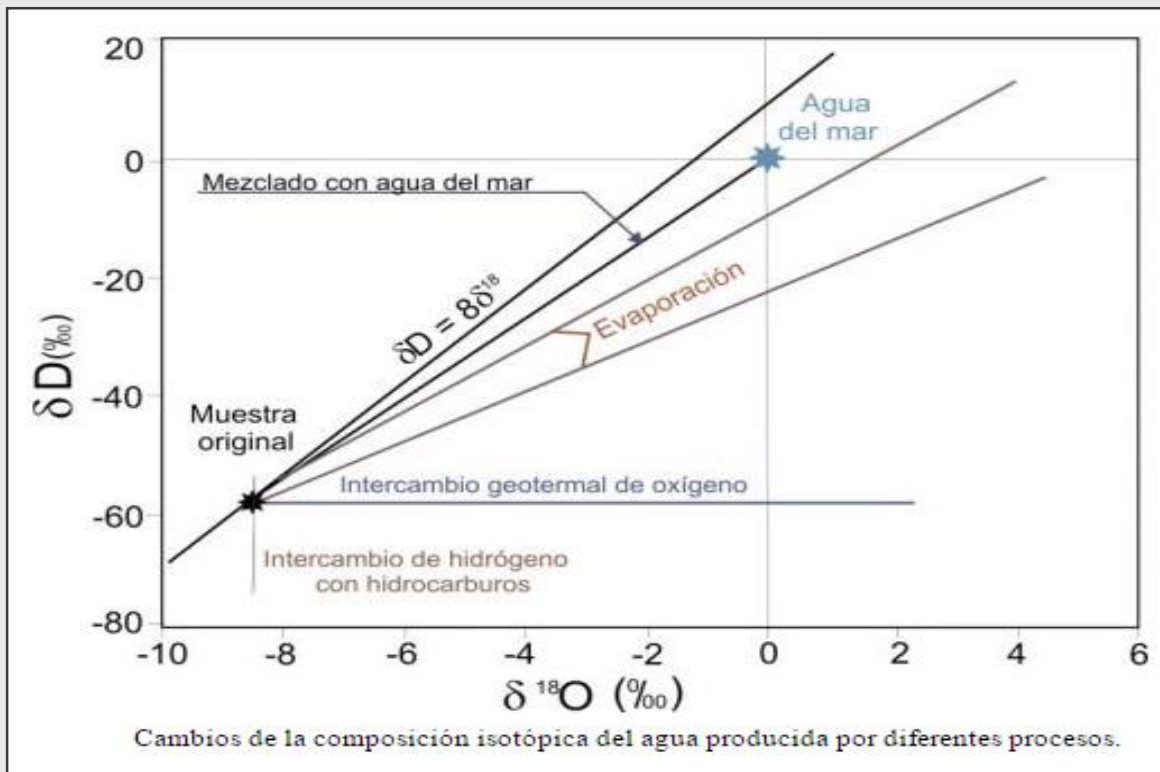
$$\delta \text{ en } \text{‰} = \frac{R(\text{muestra}) - R(\text{V-SMOW})}{R(\text{V-SMOW})} \times 1000$$

$\delta > \text{SMOW (+)}$ mayor concentración isótopo pesado (D ó ^{18}O) que en el SMOW

$\delta < \text{SMOW (-)}$ menor concentración isótopo pesado (D ó ^{18}O) que en el SMOW

Representando gráficamente δD y $\delta^{18}\text{O}$, se obtiene una serie de puntos o en este caso, un punto de muestra observada en la grafica siguiente a la que se le ajusta una recta de la ecuación $\delta\text{D} = 8 \delta^{18}\text{O} - 10$, la que se denomina línea meteórica global o Global Meteoric Water Line (GMWL).

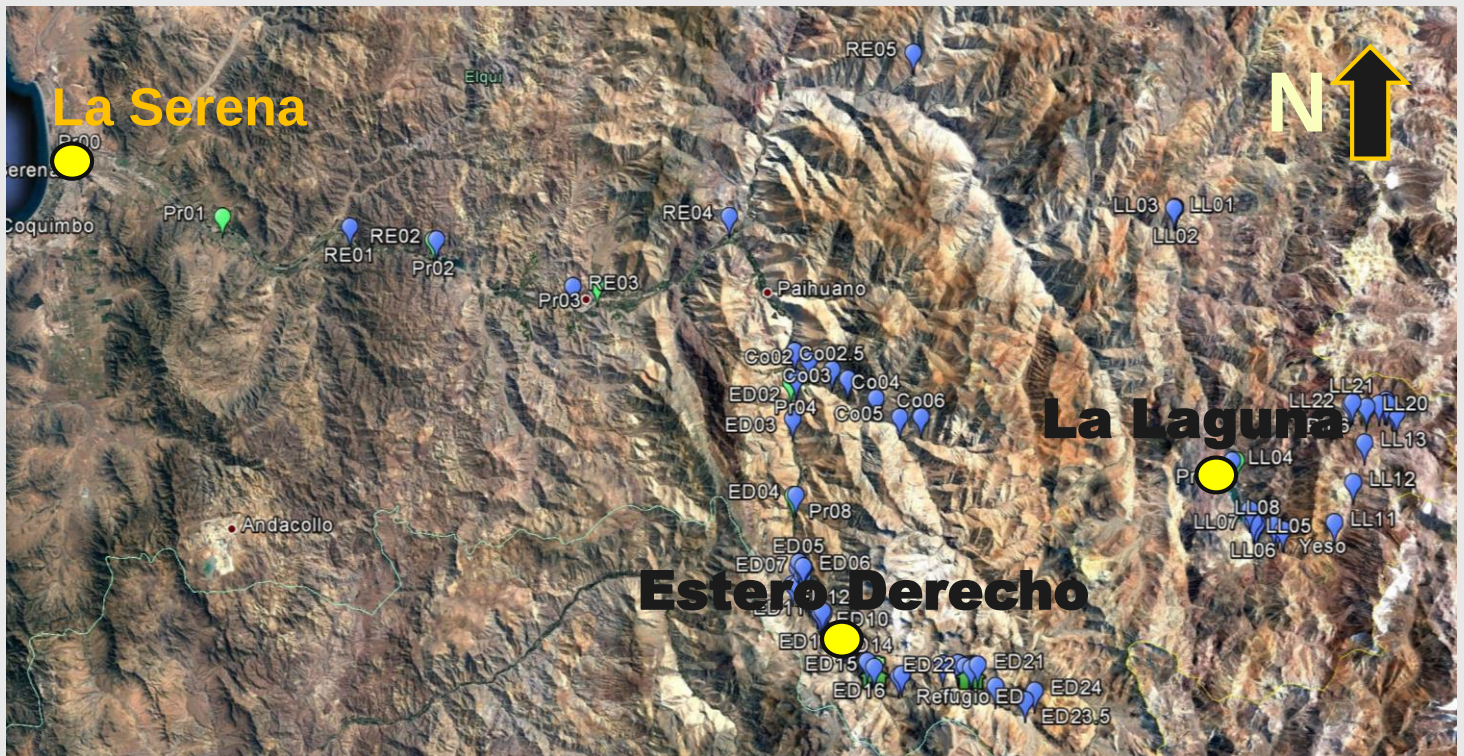
Estos gráficos muestran los cambios de la composición isotópica del agua producidos por diferentes procesos del ciclo hidrológico



4. Metodología

El primer paso para realizar un monitoreo de los parámetros fisicoquímicos y/o de análisis isotópico del agua en una cuenca hidrográfica es crear una **red de muestreo**. En cada punto se realiza **muestreos** periódicos de agua además de tomar **medidas** manuales de conductividad, temperatura y pH. Adicionalmente, en puntos específicos, existen equipos de monitoreo automáticos que se describen en la sección siguiente.

Las muestras de agua son posteriormente enviadas a análisis de laboratorio. Con los resultados obtenidos se puede abordar preguntas como ¿De dónde viene el agua? ¿Dónde se almacena? ¿Qué porcentaje de nieve va a acuíferos y ríos? y ¿Cuánto demora la transición?



Red de puntos de muestreo de agua en la **Cuenca Hidrográfica del Río Elqui**. En el mapa se muestra la localización de las cuencas del Estero Derecho y La Laguna. Estos son los lugares donde se concentran los puntos de monitoreo.

4.1 Protocolo de Toma de Muestras para Análisis Isotópico

La colección de muestras se realiza periódicamente dependiendo de la accesibilidad de los caminos a las partes altas de las cuencas, concentrándose mayormente en época de verano. La prioridad en la toma de muestras comienza en las partes altas de la cuenca ya que las señales isotópicas tienden a ser más nítidas.

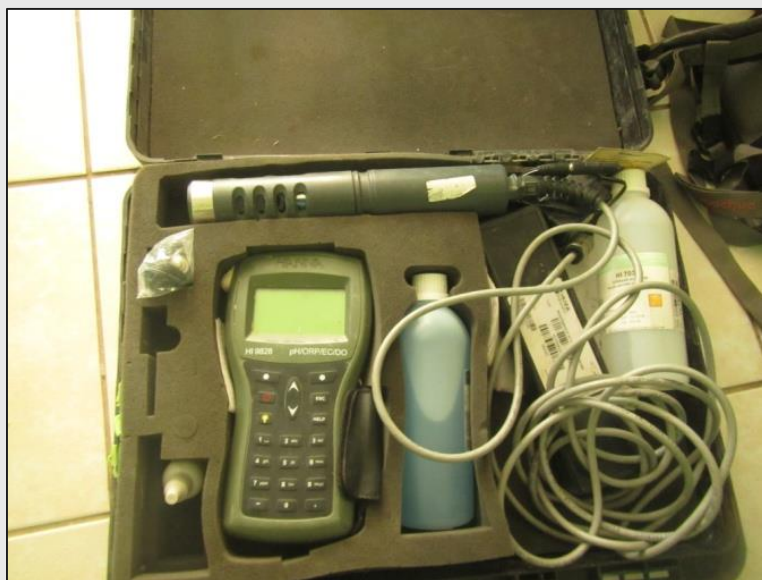
Las etiquetas se definen por cuenca con dos letras y dos números, representando el nombre del río y el número del punto de muestreo. El número es creciente hacia la parte alta de la cuenca. Por lo tanto se tendrá las muestras del Estero Derecho etiquetadas como ED01 hasta ED24; del río La Laguna como LL01 hasta LL22; del Río Elqui RE01 a RE04; del Río Cochiguaz Co01 a Co06 y Río Claro RC01 (punto único). De ser necesario agregar puntos intermedios de muestreo entre dos puntos anteriormente existentes, se puede agregar un punto etiquetado con número decimal. Por ejemplo entre el punto ED24 y el ED23 se agregó el punto ED 23.5. Esto permite agregar puntos sin cambiar la etiqueta global del resto de puntos.

En la serie de muestras del Estero Derecho hay tres puntos con nombres EDF, EDF1 y EDF2, los cuales corresponden a agua de vertiente. Deben considerarse como puntos extra de muestreo de la misma serie.

Los puntos donde se ha colectado agua de precipitaciones se etiquetan como PR00 hasta PR06. Sin embargo estos últimos han sido muestreos puntuales y se debe hacer mantención a los colectores de muestras y de ser necesario se deben reemplazar los colectores.

Las muestras se toman en frascos de 6 ml y se etiquetan con un plumón permanente anotando código y fecha (ejemplo: ED04 12/09/2016). Debe tomarse la muestra abriendo el frasco y sumergiéndolo completamente bajo el agua y entonces cerrarlo estando bajo el agua, de modo de evitar la presencia de burbujas en el frasco. Se debe refrigerar la muestra en un cooler o nevera con un pack de frío o hielo durante el trayecto. Las muestras deben quedar juntas en un sobre o caja indicando la fecha de colección. Deben guardarse en el refrigerador localizado en el **cuarto frío** de CEAZA.

Cada punto muestreado debe llevar asociada la toma de medida de Conductividad, Temperatura y pH. Esto se hace utilizando el equipo de medición multiparámetros HANNA INSTRUMENTS HI9828. El sensor se debe sumergir en el punto de muestreo y se debe esperar a que se estabilicen los datos para luego ser anotados con fecha y hora.



1. Equipo de medición multiparámetros

Esta información debe ser anotada en libreta en terreno y luego traspasada al archivo “Muestras Isotopía” en la carpeta de Google Drive más un respaldo en el archivo Excel del mismo nombre.

El archivo **Muestras Isotopía.xlsx** contiene la información de cada muestra colectada para análisis isotópico, incluyendo parámetros de agua superficial medidos en terreno correspondientes a: temperatura, conductividad y pH. Se anota la fecha y hora de muestreo y el correspondiente código de la muestra. El código de la muestra es fijo para cada punto de muestreo y está desplegado en la carpeta “Sitios muestreo” localizada en el **archivo KMZ HIDROLOGÍA.KMZ** (Carpeta “Hidrología/KMZ”). A continuación se muestra una serie de datos como ejemplo.

Código	Fecha (dd/mm/yyyy)	Conductividad (mS/cm)	PH	T (°C)	Notas
LL01	16-1-2017	376	6.89	17.99	18:09
LL02	16-1-2017	1523	4.76	19.38	18:06
LL03	16-1-2017	383	8.81	18.02	18:04
LL04	16-1-2017	323	8.74	11.36	16:50
LL05	16-1-2017	270	8.83	15.49	16:33
LL08	16-1-2017	292	09.03	13.91	
LL10	16-1-2017	211	8.86	7.56	16:22
LL11	16-1-2017	252	9.48	14.15	16:10
LL12	16-1-2017	183	8.56	12.47	16:03
LL15	16-1-2017	156	95	7.94	15:48
LL20	16-1-2017	105	10.05	1.31	15:48

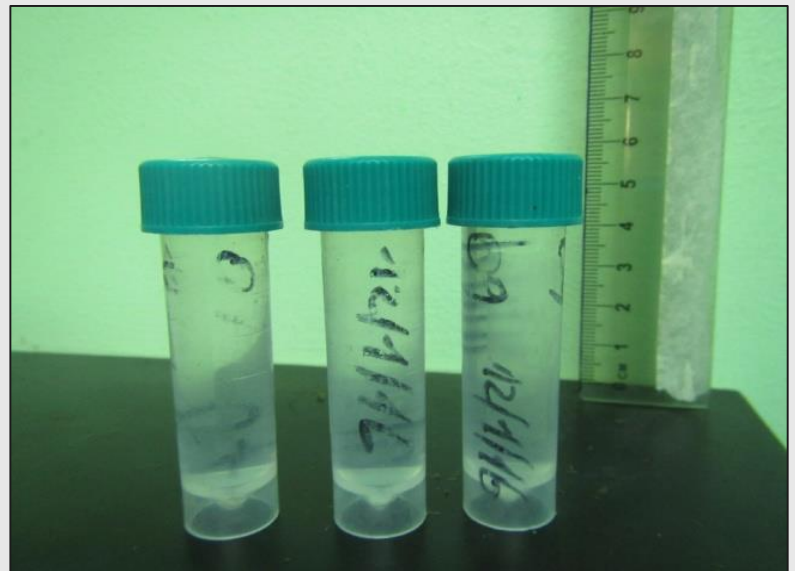
Se debe aclarar que la toma de muestras no necesariamente debe abarcar la totalidad de puntos de muestreo. Esto dependerá de la accesibilidad y del tiempo disponible así como también de las prioridades establecidas por el criterio del investigador. Además, la red de puntos puede modificarse a criterio del usuario.

Para la toma de muestras se utilizan frascos de 6ml. Estos se deben mantener cerrados herméticamente y refrigerados (~ 2 a 8°C). Se debe cuidar de no dejar aire dentro del frasco durante el muestreo. Se debe etiquetar código de sitio y fecha en cada muestra. En cada punto de muestreo superficial se debe medir conductividad, temperatura y pH del agua muestreada.

Una vez en laboratorio cada muestra es separada en 2 frascos de 2 ml para disponerse en cajas rotuladas de 100 unidades: una para envío a análisis etiquetada con número romano (I, II, III etc.) y una de respaldo con la etiqueta con el correspondiente número romano mas una R (IR, IIR, IIIR, etc). Al traspasar las muestras para envío se debe actualizar la lista de muestras con su respectivo código, fecha y los parámetros medidos (conductividad, temperatura y pH de cada punto), la cual se encuentra compartida como una tabla de datos en Google Drive.



Frascos para envío de muestras a análisis



Frascos para muestreo en terreno

4.2 Equivalencia de agua de nieve (SWE)

La nieve que se acumula durante el invierno contiene cantidades de agua variables, dependiendo del grado de compactación y densidad de las partículas sólidas. La nieve presenta una densidad menor que el agua líquida, y para estimar la cantidad de agua contenida en un volumen de nieve se define la **Equivalencia de agua de nieve** (“**Snow Water Equivalent**”: **SWE**) como la altura que se obtiene si se derrite la capa de nieve por completo sobre una superficie horizontal.



SWE= (altura de nieve) x (% densidad nieve);

Ejemplo: SWE= 10cm x 0.2 = 2cm

El agua equivalente en la capa de nieve es variable dependiendo de la profundidad, densidad, tipo de nieve, cambios en el empaquetamiento de la capa de nieve, ciclos de deshielo-congelación, eventos de lluvia reciente, etc.

Existen varios métodos para medir el **SWE** en terreno. El laboratorio de Hidrología de CEAZA cuenta con dos tipos, que se describen a continuación.

Métodos de medida de Equivalencia de Agua de Nieve

En puntos particulares de la cuenca se instalaron sensores para medir la cantidad de agua contenida en un volumen de nieve.

Sensor de Rayos Gamma:

Para medir la **Equivalencia agua-nieve (SWE)** en el sector El Tapado, se instaló el sensor **CS725 SWE Campbell**: Esta tecnología utiliza el fundamento de que el suelo o sustrato sólido contiene elementos radiactivos naturales, en particular Potasio (^{40}K) y Talio (^{208}Tl), que emiten radiación gamma débil. Cuando hay agua/nieve sobre el sustrato, la radiación emitida sufre una reducción o atenuación, siendo mayor cuanto mayor es la cantidad de agua/nieve.

El sensor CS725 SWE Campbell detecta esta atenuación, permitiendo medir la cantidad de agua contenida en la capa de nieve. El sensor está conectado a un datalogger Campbell CR1000. El datalogger se encarga de almacenar los datos recopilados por el sensor. Al estar conectado a un transmisor satelital TX320 los datos son enviados vía satélite en tiempo real e incorporados a la red informática de CEAZA-Met.



Web oficial CS725:

<https://www.campbellsci.ca/snow-water-equivalent>

Manual:

https://s.campbellsci.com/documents/ca/manuals/cs725_man.pdf

Sensor Gamma Ray (CS725)
instalado en la estación
meteorológica El Tapado

Snow Scale SSG 1000 Dilus:

El principio del SSG se basa en medición de las células de carga (balanzas). El sensor consta de siete paneles perforados de un tamaño de 80 x 120 cm cada uno. La medición se realiza en la placa central, mientras que las placas circundantes sirven de zona estabilizadora para compensar la tensión en la capa de nieve así como para contrarrestar el problema de los puentes de hielo a través de la gran superficie de medición. Con este sistema de balanzas se puede conocer el peso y densidad de la capa de nieve. Conociendo la altura de nieve se puede calcular el equivalente de agua de nieve (SWE).



Sensor Snow Scale

$$SWE = (\text{altura de nieve}) \times (\% \text{ densidad nieve})$$

Web oficial Snow Scale SSG 1000 Dilus:

<http://dilus.es/es/product/snow-scales-ssg/>

Manual:

http://www.hydrologicalusa.com/images/uploads/Manual_SSG_V1.4_EN-2_.pdf

4.3 Agua de fusión: *Lisímetro SnowmetricsTipping Bucket*

Snowmetrics_Tipping Bucket: El método del sensor Tipping Bucket para realizar mediciones de agua de deshielo, está basado en la basculación de un recipiente situado debajo de un colector. A medida que el agua proveniente de la fusión de la capa de nieve llena el recipiente, éste se balancea vaciándose mientras que otro recipiente gira para ser rellenado. La acción de cada evento activa un pequeño conmutador que activa el circuito electrónico para transmitir el conteo. Cada conteo representa un volumen de agua de deshielo de 400 ml.

Tres Lisímetros fueron instalados en el marco del proyecto BIP-30404077-0 para monitoreo de agua de deshielo:

- Estación meteorológica EL Tapado
- Estación meteorológica Guandacol
- Estación meteorológica Tascadero

En las tres estaciones meteorológicas los sensores están conectados a un datalogger Campbell CR1000. Los dataloggers de las tres estaciones meteorológicas están conectados a un transmisor TX320 Campbell de manera que los datos son enviados vía satélite en tiempo real e incorporados a la red de CEAZA-Met.

Web oficial sensor

<http://snowmetrics.com/shop/tipping-bucket/>.

Manual:

http://snowmetrics.com/wp-content/uploads/2015/11/lysimeter_ISSW2014.pdf



Colector de agua



Tipping Bucket

5. Catálogo de Equipos

EQUIPO INSTALADO EN LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS Y MONITOREO DE AGUA ASOCIADAS AL PROYECTO BIP-30404077-0.

1. Estación Meteorológica El Tapado.
2. Estación de Monitoreo Los Corrales.
3. Estación de Monitoreo Llano de las Liebres.
4. Estación Meteorológica Guandacol.
5. Estación de Monitoreo APR Carén.
6. Estación Meteorológica Tascadero.



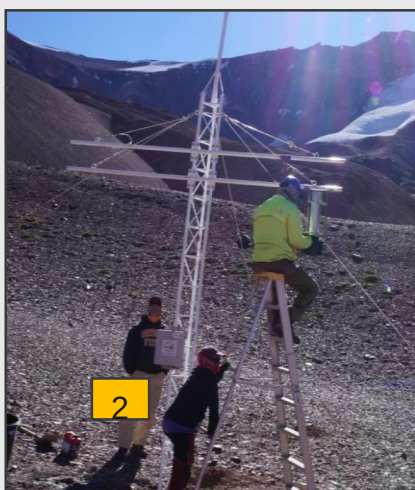
Estación de Monitoreo



Estación Meteorológica

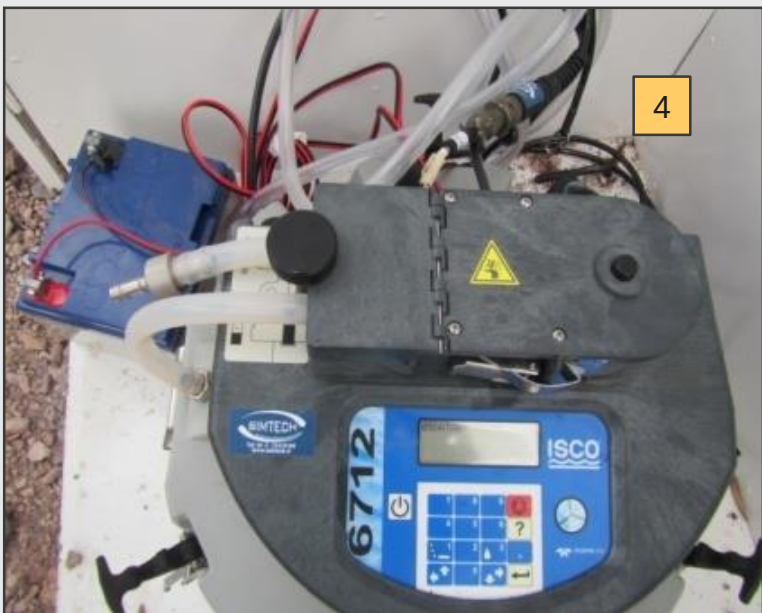
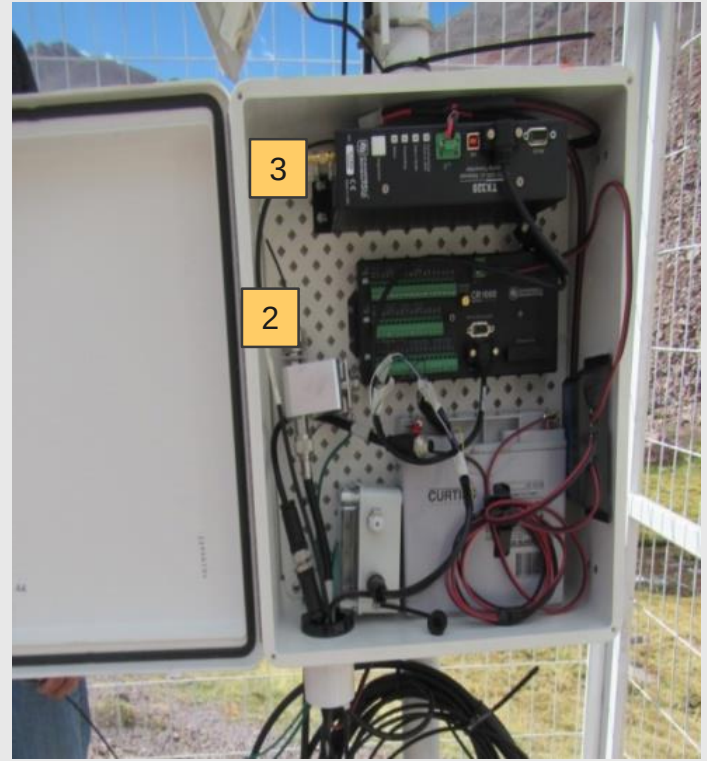
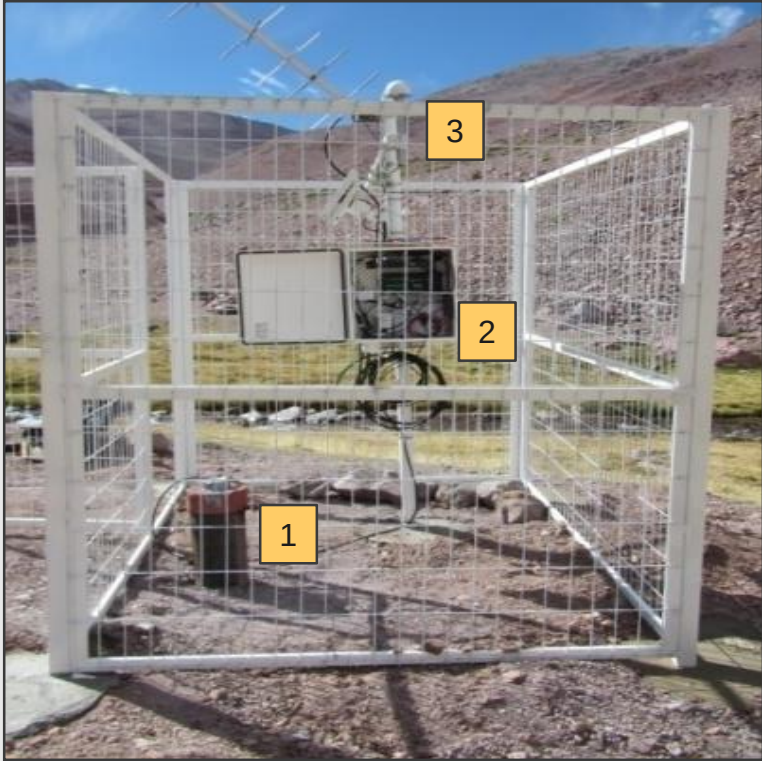
5.1 El Tapado

Nombre Sitio	El Tapado	Marca/Modelo
Equipos Instalados	Snow Water Equivalent sensor (1)	CS725 SWE Campbell
	Data Logger (2)	Campbell/CR1000
	Lisímetro (3)	Snowmetrics Tipping Bucket
	Colector precipitaciones (4)	
Coordenadas	412.558,36 ; 6.663.476,79	UTM_WGS84_19S
Altitud	4.309 msnm	



5.2 Los Corrales

Nombre Sitio	Los Corrales	Marca/Modelo
Equipos Instalados	Pozo de monitoreo de agua subterránea (1)	
	Sensor presión de agua, conductividad y temperatura	INW/CT2X
	Data Logger (2)	Campbell/CR1000
	Transmisor GOES (3)	Campbell/TX320
	Autosampler (4)	ISCO/6712
	Caudalímetro	ISCO 720 submerged probe flow module
	Multisensor conductividad, temperatura y pH	YSI 600R Multi-Parameter Water Quality Sonde
Coordenadas	415.629,50 ; 6.663.015,04	UTM_WGS84_19S
Altitud	3.983 msnm.	



1. Pozo de monitoreo de agua subterránea
2. Data Logger
3. Transmisor satelital GOES
4. Autosampler

Campbell/CR1000: El datalogger o "Registrador de Datos" Campbell CR1000 es un equipo de adquisición y almacenaje de datos electrónicos que permite la conexión de diversos sensores y dispositivos.

Web oficial: <https://www.campbellsci.es/cr1000>

Manual Campbell CR1000:

<https://s.campbellsci.com/documents/br/manuals/cr1000.pdf>

Campbell/TX320: El TX320 es un transmisor de datos de alta velocidad que admite comunicación unidireccional vía satélite desde un datalogger Campbell

Web oficial: <https://www.campbellsci.es/tx320>

Manual Campbell TX320: <https://s.campbellsci.com/documents/br/manuals/tx320.pdf>



Campbell/CR1000



Campbell/TX320

Autosampler ISCO/6712

Su principal función es la toma de muestras de agua en intervalos programados según las preferencias del usuario y además su tecnología permite la conexión de distintos módulos o sensores con el fin de monitorear distintos parámetros físicos del agua.

Este sensor fue instalado en la estación de monitoreo Los Corrales con la finalidad de obtener muestras de agua superficial durante el invierno ya que el sitio de Los Corrales es inaccesible durante este periodo. Además dos módulos o sensores (**ISCO 720 ISCO 720 Submerged Probe Flow Module** y **YSI 600R Multi-Parameter Water Quality Sonde**) fueron instalados para monitorear las propiedades físicas del agua superficial.



Autosampler ISCO/6712

Web oficial autosampler ISCO/6712:

<http://www.teledyneisco.com/waterandwastewater/Pages/Portable-Samplers.aspx>

Manual autosampler ISCO/6712 :

https://www.uvm.edu/bwrl/lab_docs/manuals/ISCO_6712_autosampler.pdf

ISCO 720 Submerged Probe Flow Module: Este sensor añadido al Autosampler ISCO/6712 en la estación de monitoreo de Los Corrales proporcionando al Autosampler la capacidad de medir el nivel, caudal y flujo del agua superficial. Los datos son registrados por el autosampler para su posterior análisis.

YSI 600R Multi-Parameter Water Quality Sonde: Sistema de medición multiparámetros y recopilación de datos. Los parámetros medidos en la estación de monitoreo de los Corrales mediante esta sonda son: **temperatura, pH y conductividad** de las aguas superficiales. Los datos son almacenados en el autosampler para su posterior análisis.



ISCO 720 Submerged Probe Flow Module



YSI 600R Multi-Parameter Water Quality Sonde

Ambos sensores fueron programados para realizar mediciones cada 15 minutos.

Web oficial ISCO 720 Submerged Probe Flow Module:

<http://www.teledyneisco.com/water-and-wastewater/720-module>

Manual ISCO 720 Submerged Probe Flow Module:

[manuales sensores\ISCO 720 Submerged Probe Module.pdf](#)

Web oficial YSI 600R Multi-Parameter Water Quality Sonde:

<https://www.ysi.com/600r>

Manual YSI 600R Multi-Parameter Water Quality Sonde:

[manuales sensores\YSI 600R Multi-Parameter Water Quality Sonde.pdf](#)

5.3 Llano Las Liebres

Nombre Sitio	Llano de la Liebres	Marca/Modelo
Equipos Instalados	Pozo de monitoreo de agua subterránea	
	Sensor presión de agua, conductividad y temperatura	INW CT2X
Coordenadas	409.865,86 ; 6.652.371,80	UTM_WGS84_19S
Altitud	3.562 msnm.	



INW CT2X

El sensor INW CT2X es un sensor de conductividad/temperatura sumergible basado en un microprocesador con registro de datos incorporado. Este dispositivo almacena miles de datos de registros de conductividad, temperatura, salinidad y total de sólidos disueltos (TDS). Además tiene la opción de obtener datos de profundidad de agua. En el marco del proyecto BIP-30404077-0 tres sensores INW CT2X han sido instalados para el monitoreo de aguas subterráneas:

- Estación de monitoreo de Los Corrales
- Estación de monitoreo de Llano de las Liebres
- Estación de monitoreo APR Carén



En la estación de monitoreo de Los Corrales el sensor CT2X está conectado a un datalogger Campbell CR1000. El datalogger está conectado a un transmisor satelital TX320 Campbell de manera que los datos son enviados vía satélite en tiempo real e incorporados a la red de CEAZA-Met.

En las estaciones de Llano de las Liebres y APR Carén, la toma de datos se realiza de manera manual mediante el software Aqua4Plus. Posteriormente los datos son incorporados a la red informática de CEAZA-Met

Web oficial INW CT2X:

<http://inwusa.com/products/smart-sensors/conductivity/ct2x/>

Manual INW CT2X:

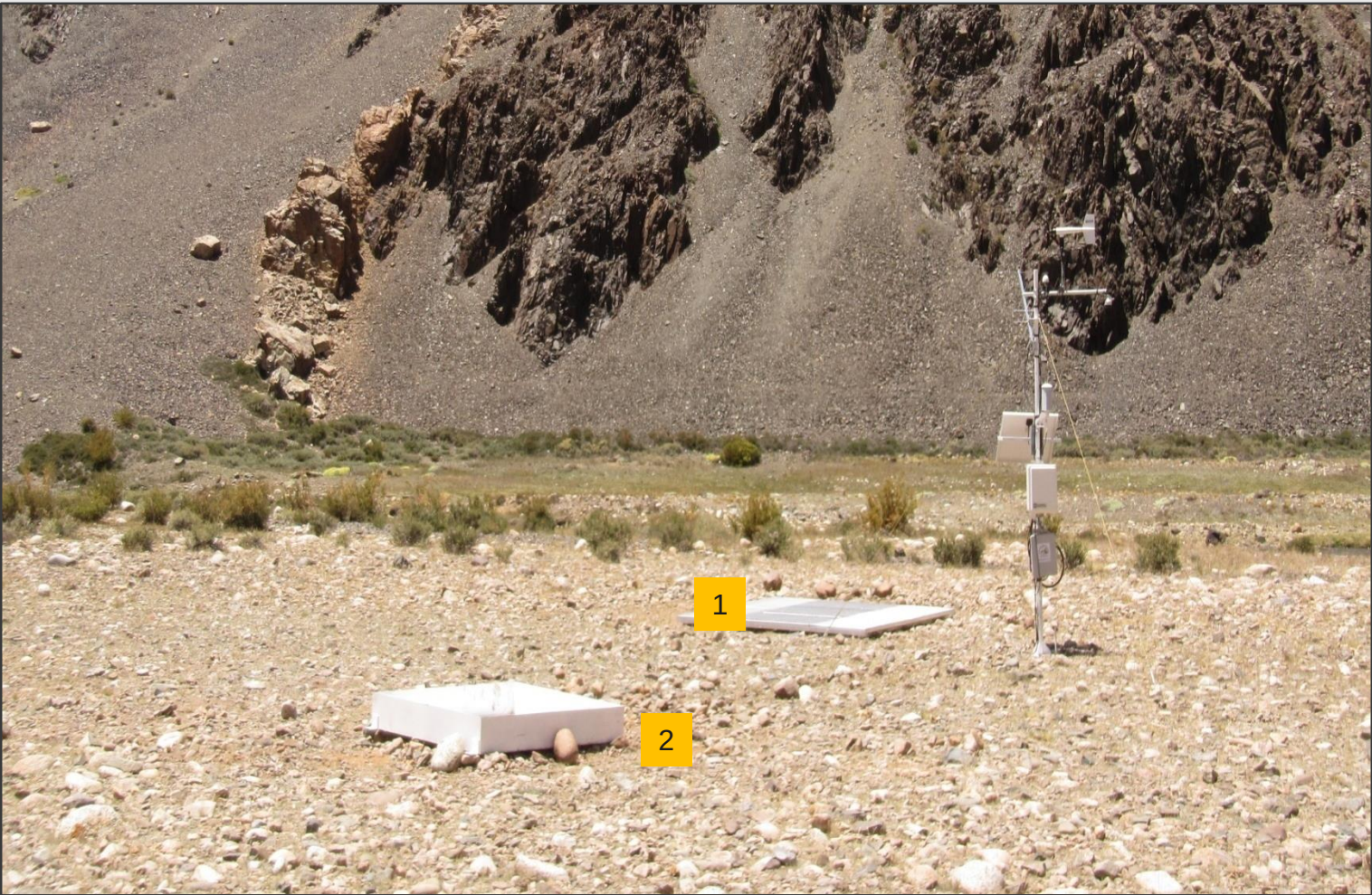
http://inwusa.com/wordpress/wp-content/uploads/ct2x_manual.pdf

Manual Aqua4Plus:

<http://inwusa.com/wordpress/wp-content/uploads/Aqua4PlusUG.pdf>

5.4 Guandacol

Nombre Sitio	Guandacol	Marca/Modelo
Equipos Instalados	Snow Water Equivalent Sensor (1)	Snow Scale SSG 1000 Dilus
	Lisímetro (2)	Snowmetrics_Tipping bucket
Coordenadas	371.881,93 ; 6.620.462,88	UTM_WGS84_19S
Altitud	2.975 msnm.	



5.5 APR Carén

Nombre Sitio	APR Carén	Marca/Modelo
Equipos Instalados	Sensor presión de agua, conductividad y temperatura	INW CT2X
Coordenadas	330.457 ; 6.585.235,00	UTM_WGS84_19S
Altitud	719 msnm.	



5.6 Tascadero

Nombre Sitio	Tascadero	Marca/Modelo
Equipos Instalados	Lisímetro (1)	Snowmetrics_Tipping bucket
Coordenadas	353.370,61 ; 6.540.229;02	UTM_WGS84_19S
Altitud	3.427 mnsn	



6. Pozos de monitoreo de agua subterránea

Los pozos de monitoreo de agua subterránea de las estaciones de **Los Corrales** y **Llanos de las Liebres**, fueron perforados en el marco del proyecto BIP-30404077-0.

Para la perforación de ambos pozos se contrató los servicios de la **empresa Hidro-Drilling**. Se perforó mediante sistema de rotopercusión directa con aire y entubación simultánea de 6". El detrito obtenido por la perforación sale por el espacio anular comprendido entre la pared de la perforación y el varillaje. De esta manera se obtuvieron muestras del terreno cada metro para su posterior análisis sedimentológico.

El pozo de Carén corresponde a la APR de Carén (Agua Potable Rural), por lo que no se tienen muestras para realizar el estudio sedimentológico de este punto de monitoreo.



Perforación Pozo Los Corrales



Perforación Pozo Llano de las Liebres

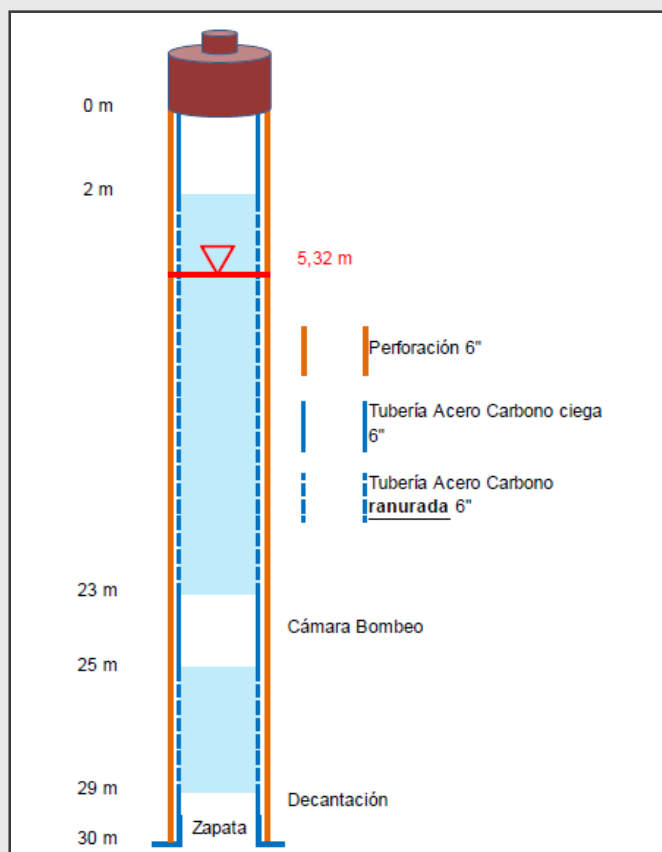
6.1 Pozo Los Corrales



En el sector de Los Corrales se perforó hasta una profundidad de 30 m sin llegar a cortar la roca sobre la que se encuentra el depósito sedimentario. Debido a esto no se conoce la profundidad del acuífero que representa este depósito.

El nivel de agua subterránea o nivel freático se midió a los 5.32 m. A los 2.69 m existe una caída de agua constante proveniente del sistema de humedales.

El sensor INW CT2X se ubicó a una profundidad de 25m para monitorear las propiedades físicas del agua subterránea y las variaciones que sufren debido a los procesos hidrológicos.



Enlaces CEAZA-Met Los Corrales:

Temperatura:

http://www.ceazamet.cl/index.php?pag=mod_sensor&e_cod=CORR&s_cod=CORRTAG

Conductividad:

http://www.ceazamet.cl/index.php?pag=mod_sensor&e_cod=CORR&s_cod=CORRCOND

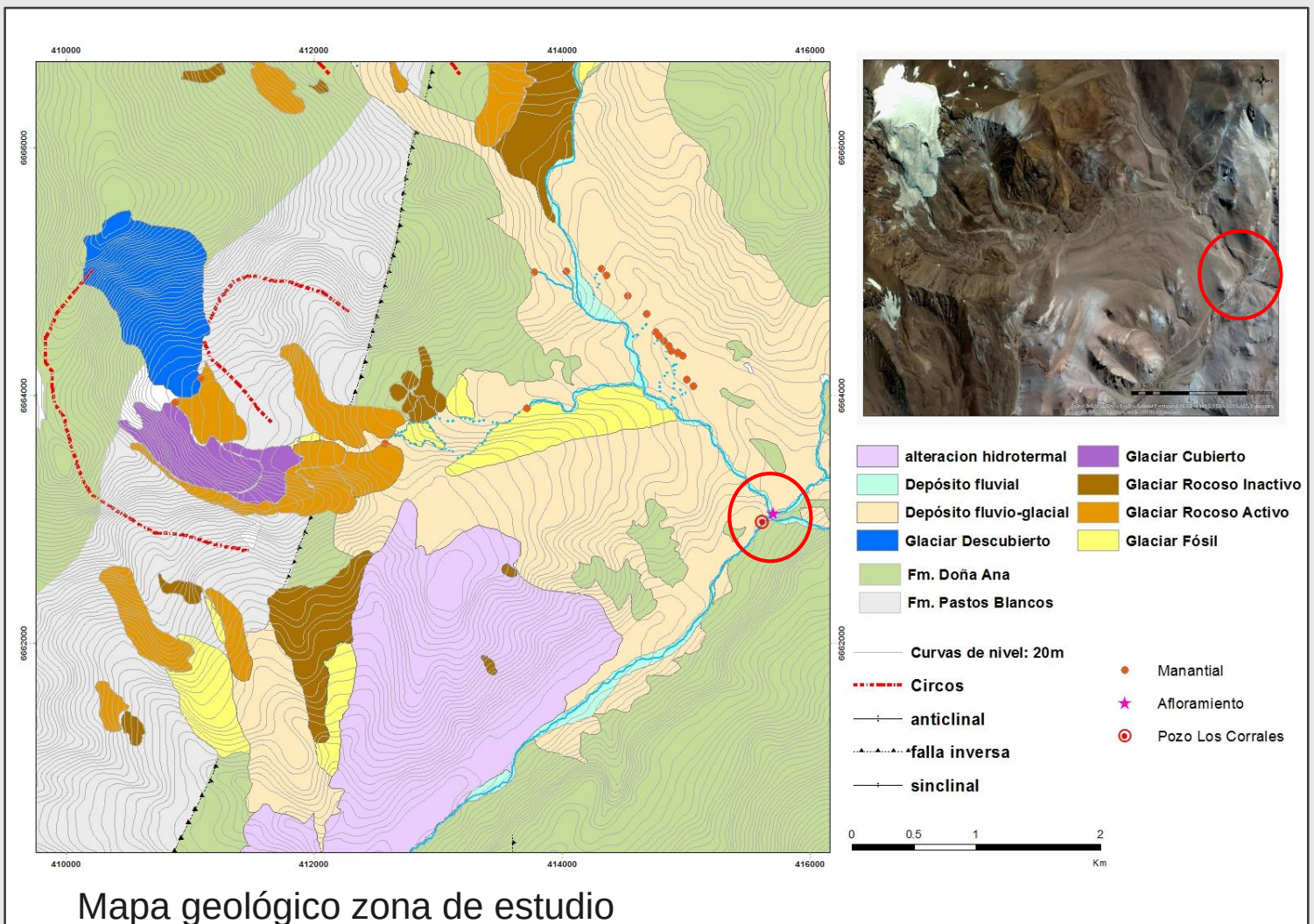
Profundidad de agua en el pozo:

http://www.ceazamet.cl/index.php?pag=mod_sensor&e_cod=CORR&s_cod=CORRAA

Datos Sedimentológicos del pozo Los Corrales

El pozo de Los Corrales fue perforado en sedimentos de origen glacial no consolidados tipo tillitas y fluvio-glaciares como gravas y gravillas, originados como consecuencia de la retirada de los glaciares y fusión de hielo glacial. Este depósito presenta una superficie irregular y una pendiente relativamente suave. Está en continuidad con los glaciares que se encuentran en las cotas más elevadas. A lo largo del depósito existen manantiales naturales que aportan agua subterránea al sistema de agua superficial de manera que este tipo de depósitos actúan como reservorios intermedios de agua subterránea.

Las formaciones rocosas sobre las que se apoya este depósito son rocas ígneas fracturadas correspondientes a la Formación Doña Ana (Oligoceno Superior-Mioceno inferior) y Formación Pastos Blancos (Paleoceno inferior) las cuales están en contacto en el área por una falla inversa de carácter regional.

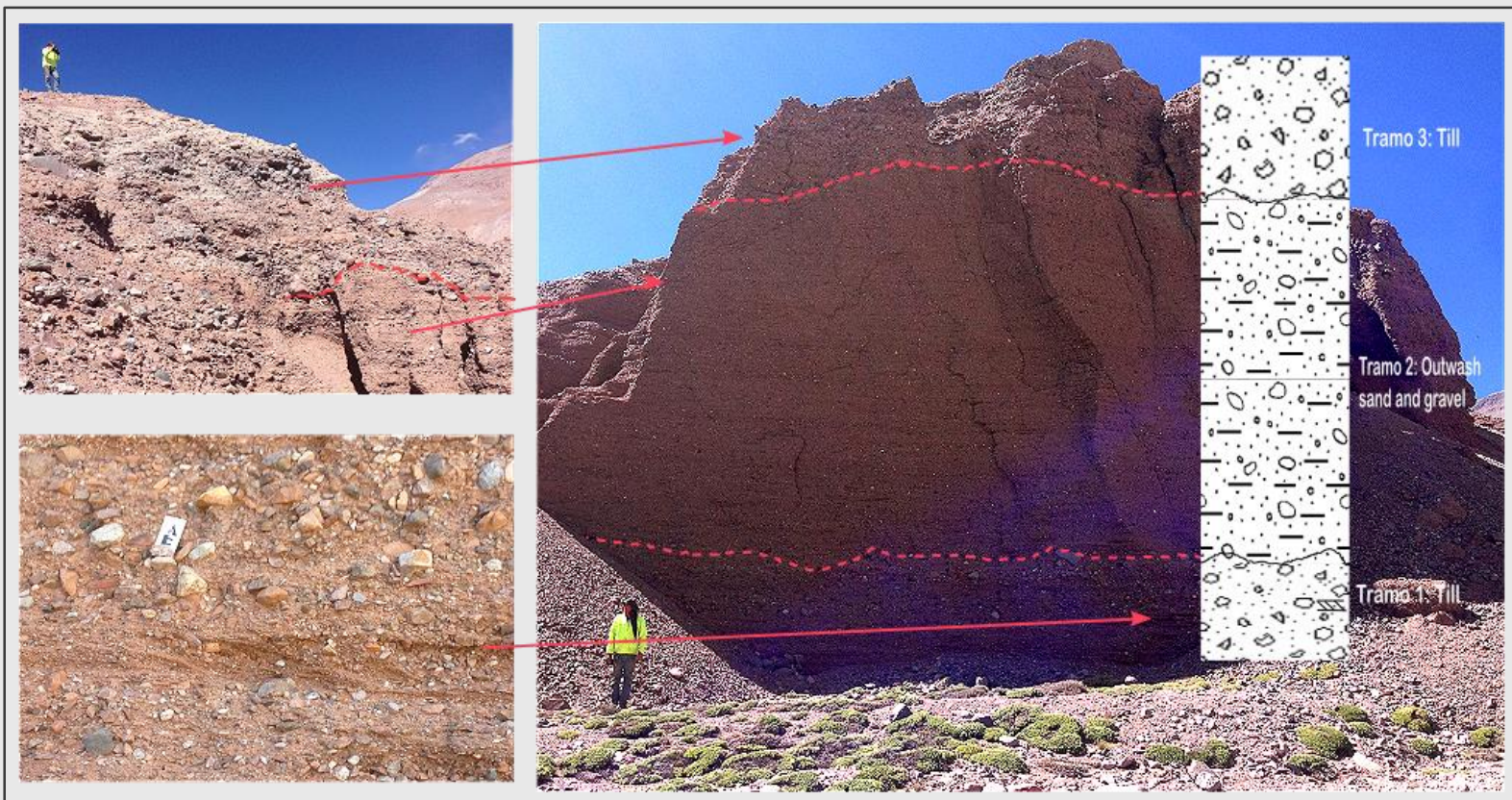


Datos Sedimentológicos del pozo Los Corrales

A unos 100 metros al NE del punto de perforación, existe un excelente corte estratigráfico en el que se puede observar la estructura interna que presenta el depósito. Este depósito puede dividirse en tres tramos con distinta organización interna.

Los tramos 1 y 3 son depósitos till o tillitas glaciares. Este tipo de depósitos se depositan directamente por la acción del glaciar sin que haya un posterior retrabajo por parte del agua de deshielo. Presenta mala selección, no están estratificados y generalmente son depósitos no consolidados. Su contenido en partículas tamaño limo-arcillas les hace tener un permeabilidad media.

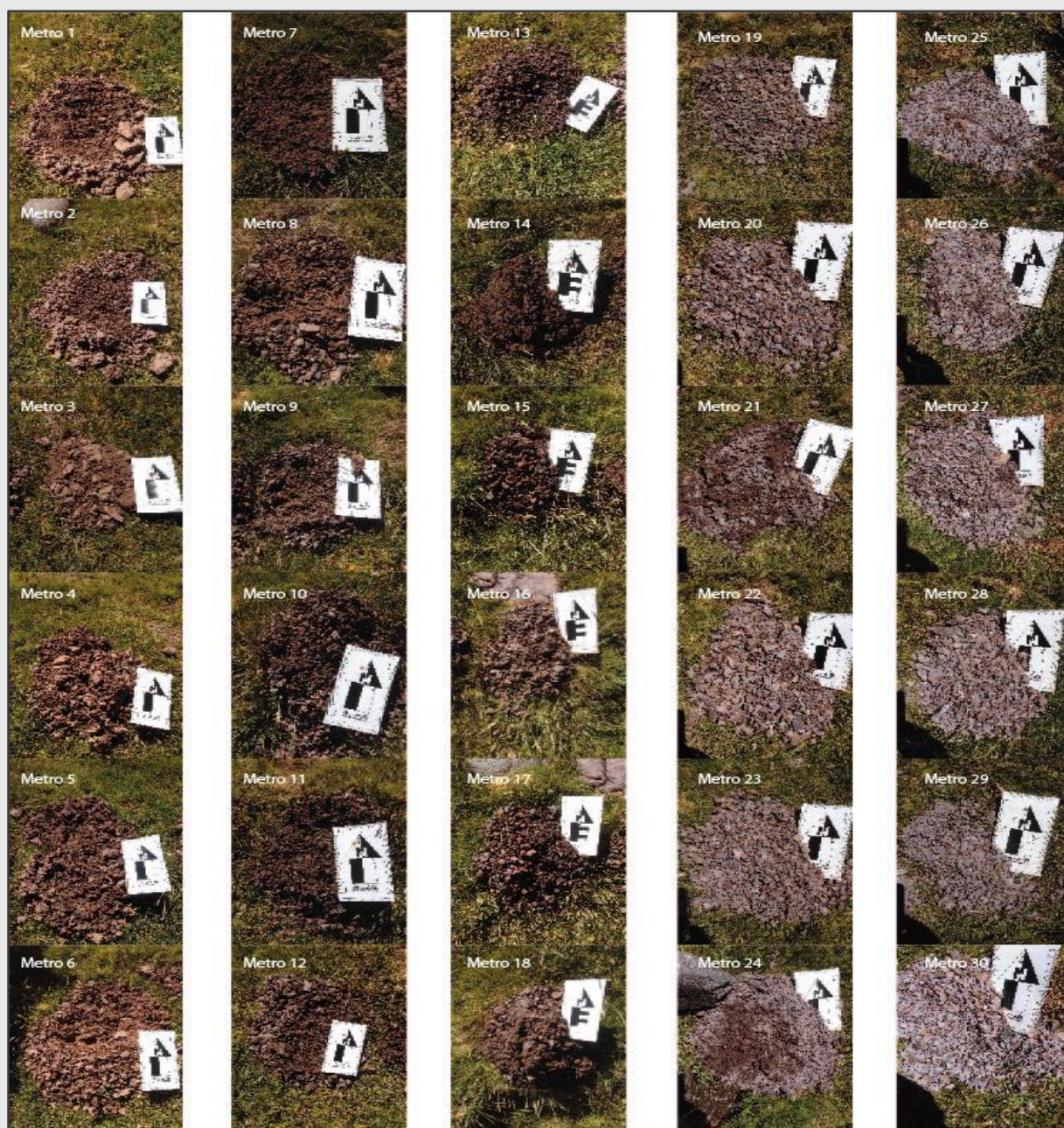
El tramo 2 corresponde a un depósito tipo fluvio-glacial depositado por corrientes de agua sub-glacial o supra-glacial producto del deshielo y retirada de los glaciares. Este tramo está estratificado como producto de una alternancia de gravas y arenas “outwash sand and gravel”. Su bajo contenido en material tamaño limo-arcillas le hace tener alta permeabilidad.



Litología en el pozo Los Corrales

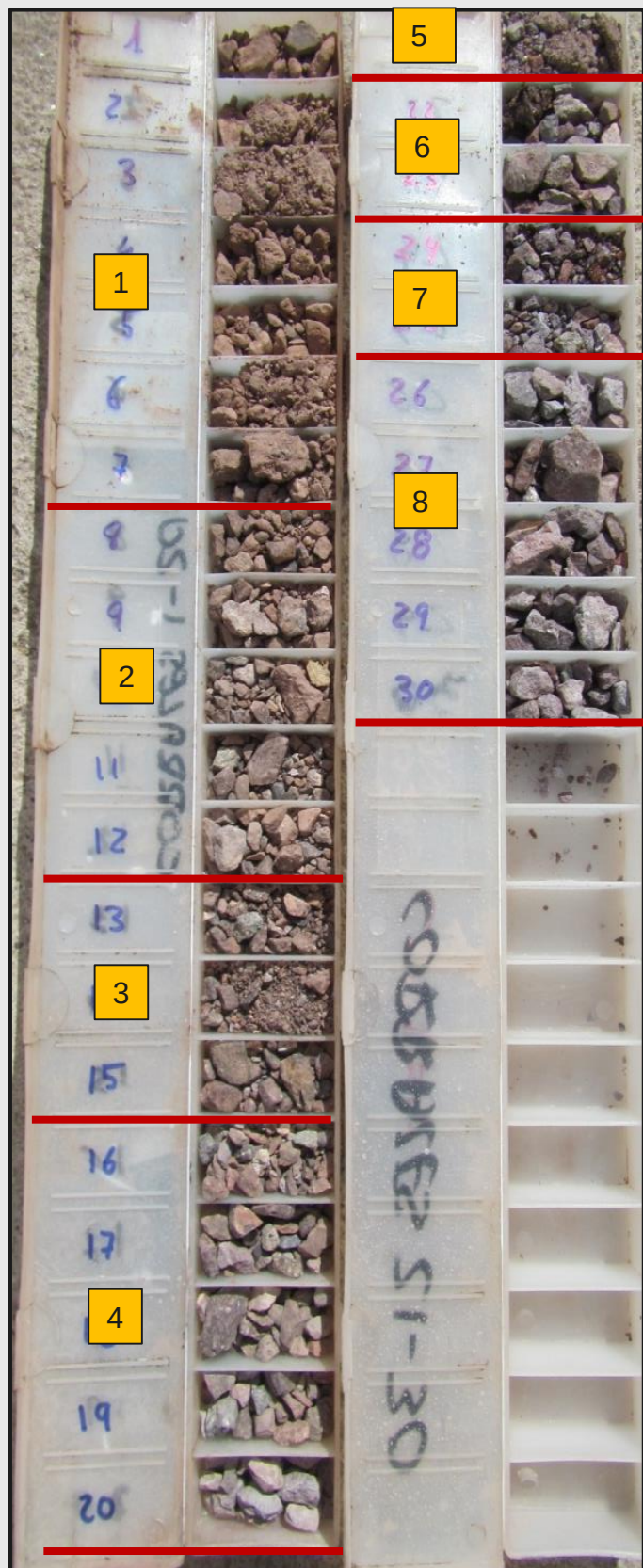
En continuación estratigráfica con el afloramiento descrito anteriormente se perforó el pozo de monitoreo de Los Corrales

En términos generales se observó que la granulometría varía desde el techo del depósito a la base desde gravas arenosas en un matriz limo-arcillosa a gravas con menor contenido en arenas. Aumentando la selección hacia la base del depósito. Los tramos con mayor cantidad de material tamaño limo-arcilla presentan menos permeabilidad dificultando la infiltración del agua y favoreciendo la escorrentía superficial.



Fotografías por cada metro de "cuttings" de perforación

Litología en el pozo Los Corrales



✓ 7 metros de gravas arenosas de color pardo-rojizo.	Tramo_1
✓ Composición polimíctica: fragmentos de andesitas, tobas volcánicas y granitoides subangulares con bajo índice de esfericidad.	
✓ 50% gravas, 40% arenas, 4% limo y 1% arcillas.	
✓ 5 metros de gravas de color pardo-rojizo.	Tramo_2
✓ Composición polimíctica: fragmentos de andesitas, tobas volcánicas y granitoides andesitas subangulares con bajo índice de esfericidad.	
✓ 90% gravas, 5% arenas y 5% limo	
✓ 3 metros de gravas de color gris-pardo.	Tramo_3
✓ Composición polimíctica: fragmentos de andesitas, tobas volcánicas y granitoides andesitas subangulares-subredondeados con bajo índice de esfericidad	
✓ 80% gravas, 15% arenas y 5 % limo.	
✓ 5 metros de gravas de color pardo-gris.	Tramo_4
✓ Composición polimíctica: fragmentos de andesitas, tobas volcánicas y granitoides andesitas subangulares con bajo índice de esfericidad	
✓ 90% gravas y 10% arenas	
✓ 1 metro de gravas arenosas de color pardo-violáceo	Tramo_5
✓ Composición: fragmentos de rocas de andesitas, tobas volcánicas y granitoides subredondeados con bajo índice de esfericidad.	
✓ 35% gravas, 60% arenas y 5% limo.	
✓ 2 metros de gravas de color gris-violáceo.	Tramo_6
✓ Composición polimíctica: fragmentos de rocas de andesitas, tobas volcánicas y granitoides subangulares con bajo índice de esfericidad.	
✓ 100% gravas	
✓ 2 metros de gravas de color gris-violáceo	Tramo_7
✓ Composición polimíctica: fragmentos de rocas de andesitas, tobas volcánicas y granitoides subangulares y con bajo índice de esfericidad.	
✓ 100% por gravas.	
✓ 5 metros de gravas de color gris-violáceo	Tramo_8
✓ Composición: fragmentos de roca de andesitas, tobas volcánicas y granitoides subangulares con bajo índice de esfericidad.	
✓ 100% gravas.	

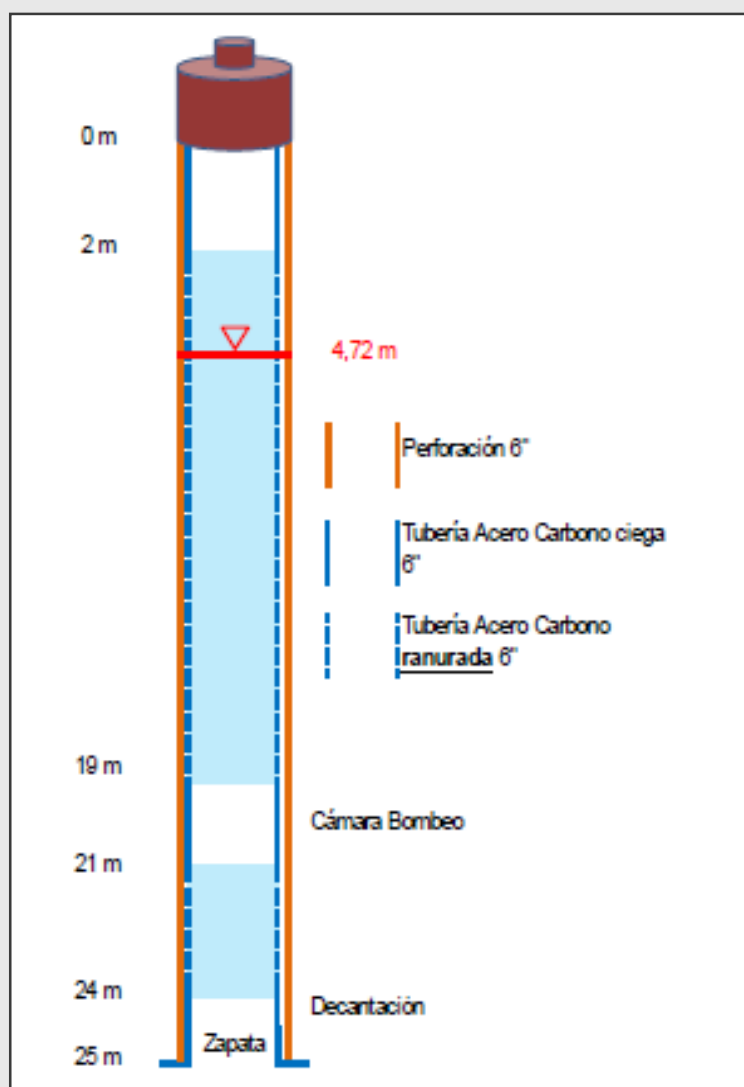
6.2 Pozo Llano de las Liebres



En el sector de Llano de las Liebres se perforó hasta una profundidad de 25m sin llegar a cortar la roca sobre la que se encuentra el depósito sedimentario. Debido a esto no se conoce la profundidad del acuífero que representa este depósito.

El nivel de agua subterránea o nivel freático se midió a los 4.72m.

El sensor INW CT2X se ubicó a una profundidad de 15m para monitorear las propiedades físicas del agua subterránea y las variaciones que sufren debido a los procesos hidrológicos.



Enlaces CEAZA-Met:

Temperatura:

http://www.ceazamet.cl/index.php?pag=mod_senso_r&e_cod=LLL&s_cod=LLLTAG

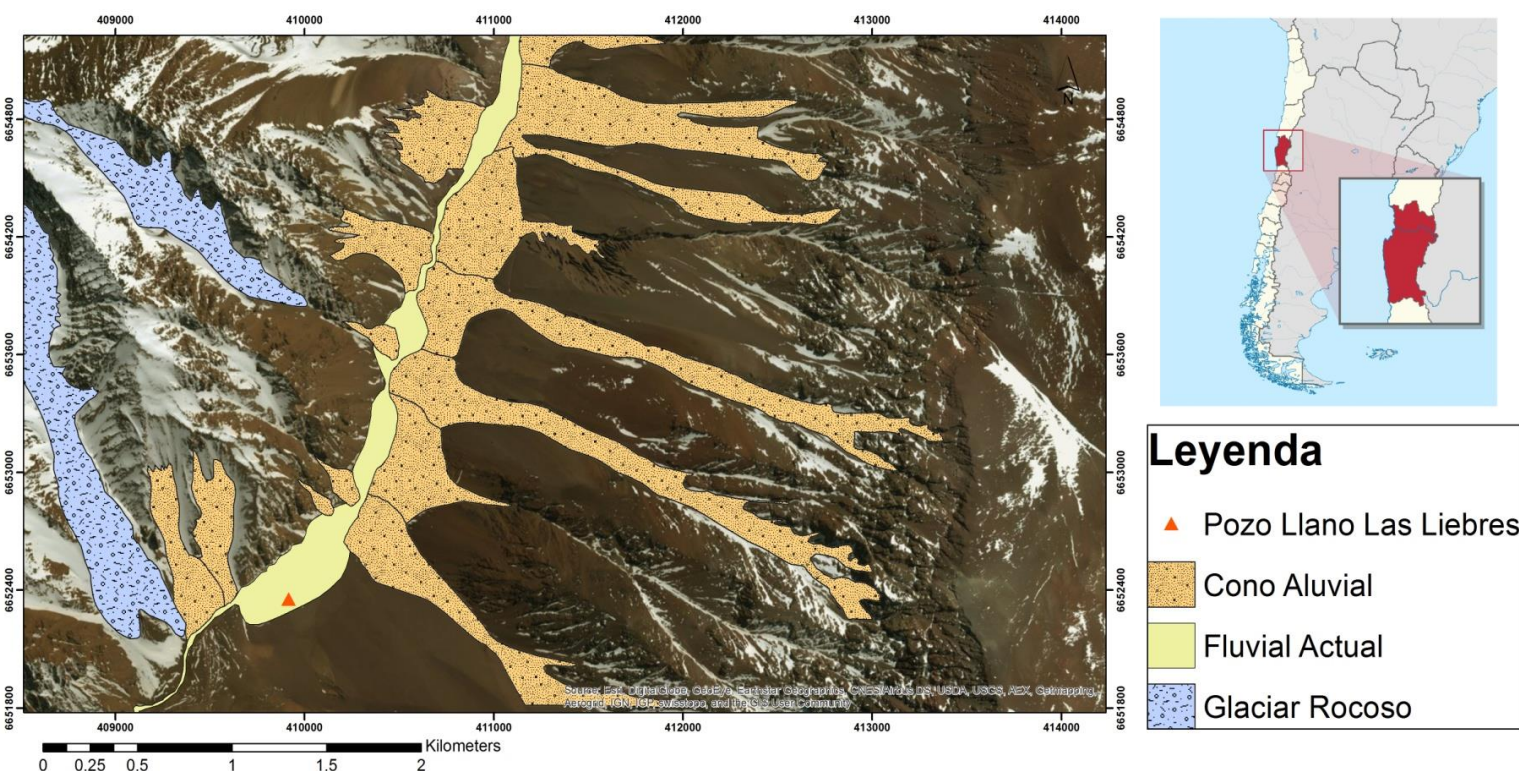
Conductividad:

http://www.ceazamet.cl/index.php?pag=mod_senso_r&e_cod=LLL&s_cod=LLLCND

Profundidad de agua en el pozo:

http://www.ceazamet.cl/index.php?pag=mod_senso_r&e_cod=LLL&s_cod=LLLAP

Datos Sedimentológicos del pozo Llano de las Liebres



El Pozo de Llano Las Liebres fue perforado en el mes de febrero de 2016. Consta de una profundidad de 25 m en sustrato sedimentario fluvial correspondiente a gravas y arenas gruesas depositadas por el sistema de drenaje actual del río La Laguna. La superficie perforada presenta una pendiente subhorizontal. Abanicos aluviales en ambas laderas del río contribuyen aportes importantes al volumen del sedimento que constituye el acuífero. De igual manera existen glaciares rocosos en la ladera E que constituyen agentes erosivos activos.

Litología en el pozo de Llano de las liebres



Fotografías por cada metro de "cuttings" de perforación

Litología en el pozo Llano Las Liebres



• 11 metros de gravas arenosas de color pardo-rojizo. • Composición polimíctica: fragmentos de andesitas, tobas volcánicas y granitoides subangulares con bajo índice de esfericidad. Selección pobre. • Hacia los metros inferiores del tramo aumenta el porcentaje de arena. El sedimento presenta cohesión debido a la presencia de arcillas. 60% Gravas 25% Arena media a gruesa 10% Arena fina y Limo 5% Arcillas	Tramo_1
• 3 metros de arena media de selección moderada a buena. Polimíctica. La cohesión es baja, por lo que se estima que el tramo no contiene arcillas • 95% arena media 5% gravilla	Tramo_2
• 3 metros de arenas finas a medias con grava de carácter polimíctico: fragmentos de andesitas, tobas volcánicas y granitoides subangulares con bajo índice de esfericidad. • Cohesión del sedimento moderada. • 50% arenas finas a medias 40% gravas 5%limo 5% arcillas	Tramo_3
• 3 metros de arenas medias de baja cohesión, con gravilla polimíctica. • 90% arenas medias 10% gravilla	Tramo_4
• 5 metros de arenas medias de baja cohesión, con gravilla polimíctica. Fragmentos de andesitas, tobas volcánicas y granitoides subredondeados. • 80% arenas medias 20% gravilla	Tramo_5

6.3 Pozo APR Carén



Pozo de agua potable rural de 54 m de profundidad revestido con tubo metálico ranurado perforado en el lecho fluvial del río Mostazal, tributario del Limarí, donde se instaló el sensor automático **INW CT2X**. Los datos del sensor deben ser descargados manualmente usando el software Aqua4Plus.

Para acceder se debe contactar a personal de APR Carén:

Juan Carlos Fernandez +56 9 74130462

Daniela Cortés +56 9 99560744

Enlaces CEAZA-Met :

Temperatura:

http://www.ceazamet.cl/index.php?pag=mod_sensor&e_cod=CRN&s_cod=CRNTAG

Conductividad:

http://www.ceazamet.cl/index.php?pag=mod_sensor&e_cod=CRN&s_cod=CRNCND

Profundidad de agua en el pozo:

http://www.ceazamet.cl/index.php?pag=mod_sensor&e_cod=CRN&s_cod=CRNAPZ

7. Análisis de datos

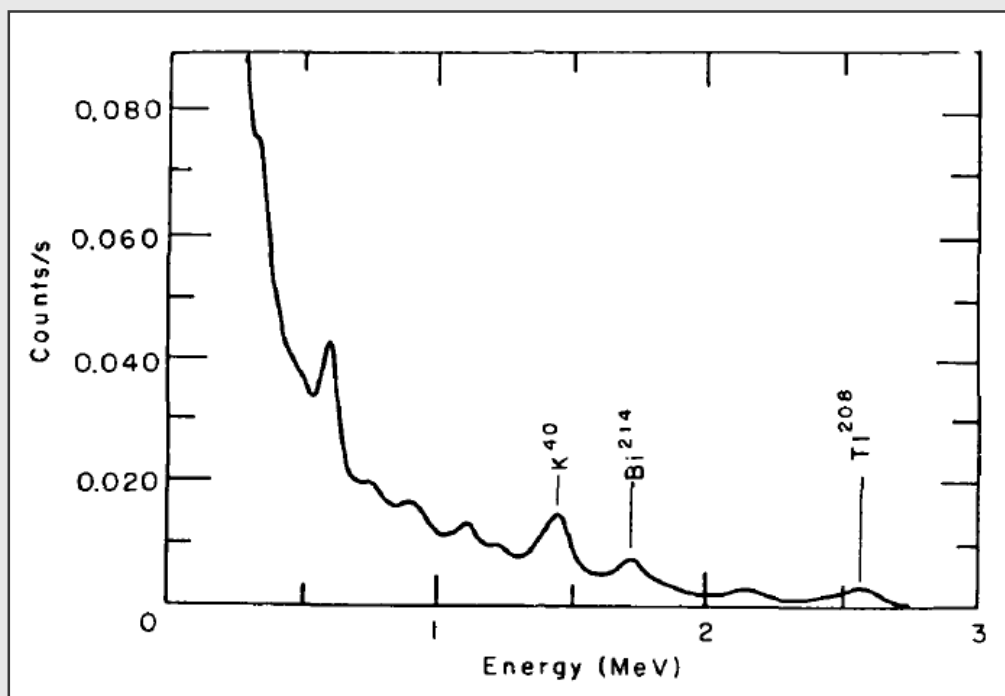
7.1 Ejemplos de análisis de datos de Snow Water Campbell) Equivalent (CS725 SWE



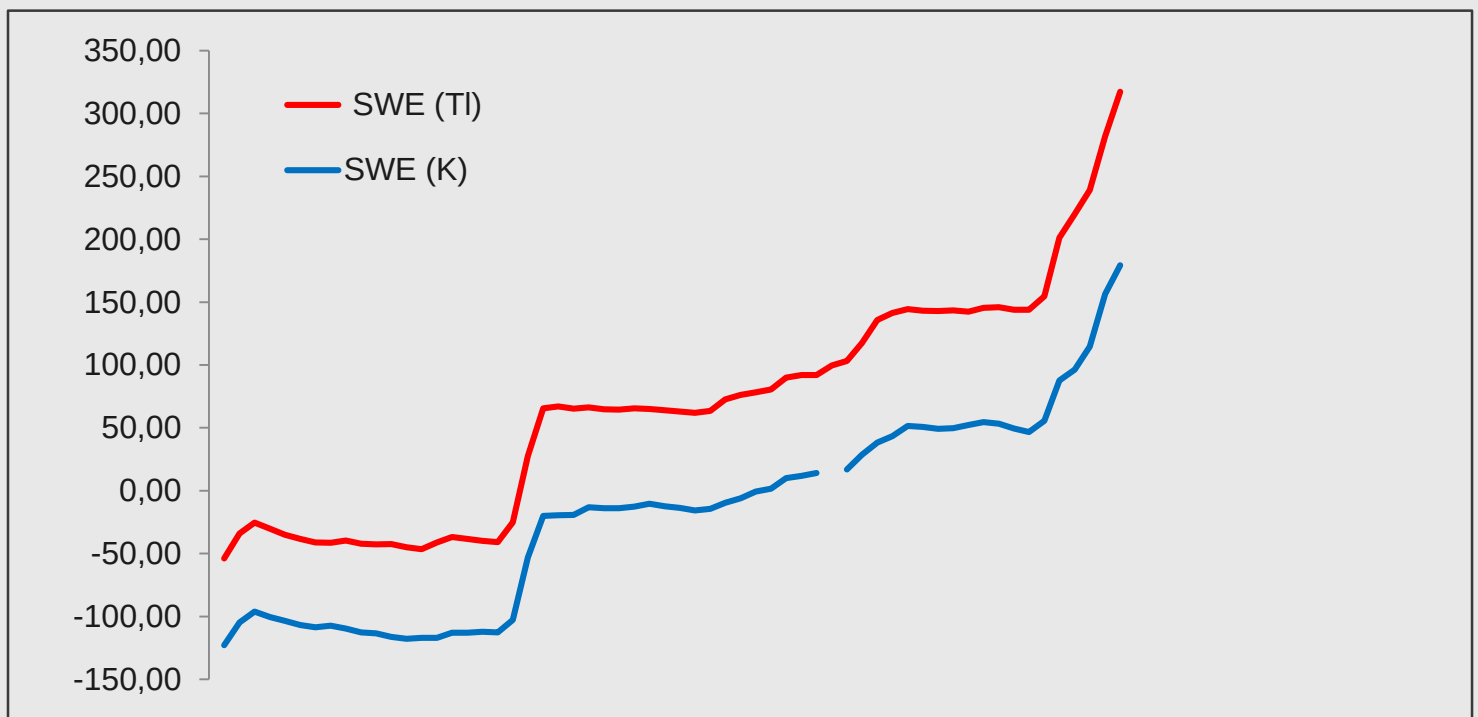
La radiación gamma natural del suelo es producida por los elementos traza radiactivos de larga vida contenidos en el sustrato.

Los más abundante de esos elementos son el Potasio (^{40}K) y el Talio (^{208}Tl). Estos elementos emiten radiación gamma natural a 1.460 MeV y 2.613 MeV (Megaelectronvoltios) respectivamente. Cuando los rayos gamma naturales pasan por la cobertura de nieve una fracción de los rayos gamma pasa sin interactuar con la nieve mientras que otra fracción se degrada en energía o es totalmente absorbida por la nieve.

La medición precisa de la cantidad de energía absorbida o degradada por la nieve de los rayos gamma es la información básica para para el cálculo del SWE.



La información que se obtiene directamente del sensor CS725 SWE, es la cantidad de agua presente en la capa de nieve, SWE, según los cálculos obtenidos a partir de la degradación de la energía de los rayos gamma emitidos por (^{40}K) y (^{208}Tl). (1kg/m²=1m SWE)



Datos SWE en la estación meteorológica de El Tapado

Enlaces CEAZA-Met (CS725 Campbell/El Tapado):

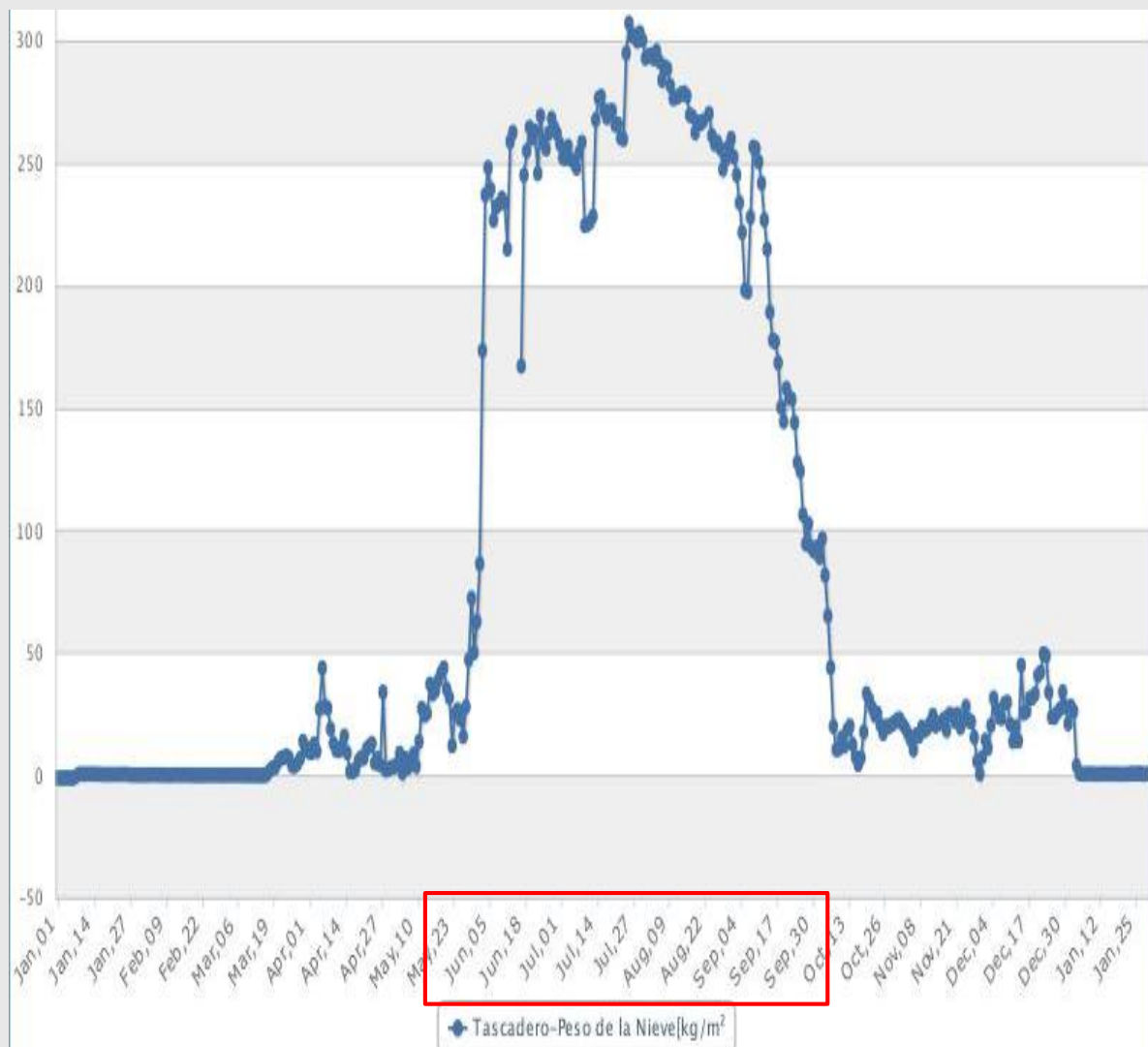
http://www.ceazamet.cl/index.php?pag=mod_sensor&e_cod=TPF&s_cod=TPFSWE_TL

(SWE según contenido en Talio)

http://www.ceazamet.cl/index.php?pag=mod_sensor&e_cod=TPF&s_cod=TPFSWE_K

(SWE según contenido en K)

7.2 Ejemplos de análisis de datos de Snow Scale SSG 1000 Dilus



El gráfico muestra el peso de la nieve por unidad de área a lo largo del tiempo en sector Guandacol el año 2017. Se observa un aumento importante en el mes de mayo y junio, manteniéndose hasta fines de septiembre, coincidente con las fechas de precipitación.

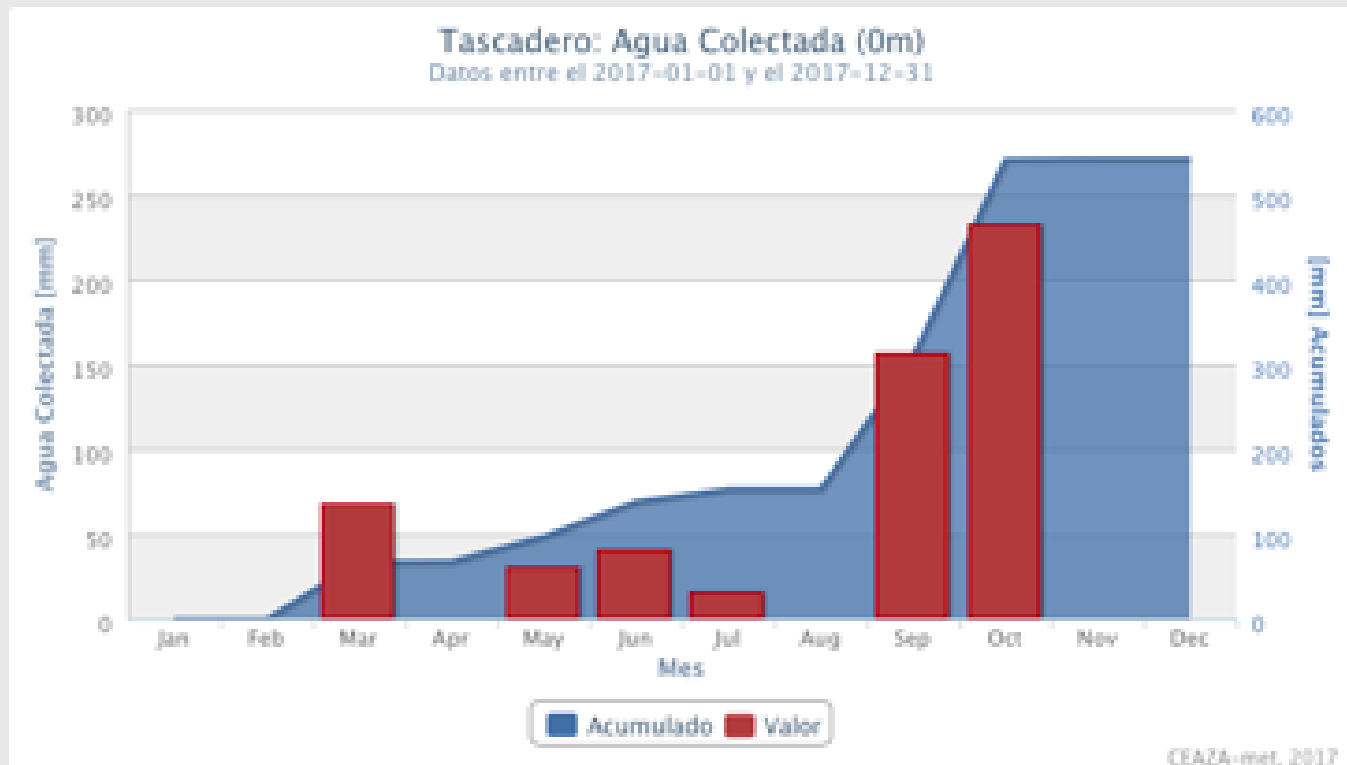
Enlace CEAZA-Met (Snow Scale SSG 1000 Dilus /Guandacol):

http://www.ceazamet.cl/index.php?pag=mod_sensor&e_cod=HDC&s_cod=HDCPN

(*) Datos obtenidos de la estación meteorológica de Tascadero como ejemplo de análisis de datos del sensor Snow Scale SSG 1000 Dilus. En la actualidad (31-01-2016) no existen datos de SWE en la estación de Guandacol debido a que no ha ocurrido ningún evento de nieve desde su instalación.

7.3 Ejemplo análisis de datos de derretimiento obtenidos por Lisímetro Snowmetrics Tipping Bucket

La cantidad de agua colectada por el lisímetro es informada en la figura abajo. Los resultados muestran una fuerte variabilidad en tiempo y espacio. Estos resultados son diferentes dependiendo del sitio. En Tascadero el derretimiento ocurre principalmente al comienzo de la primavera (septiembre/octubre), cuando la temperatura aumenta sobre los 0°C

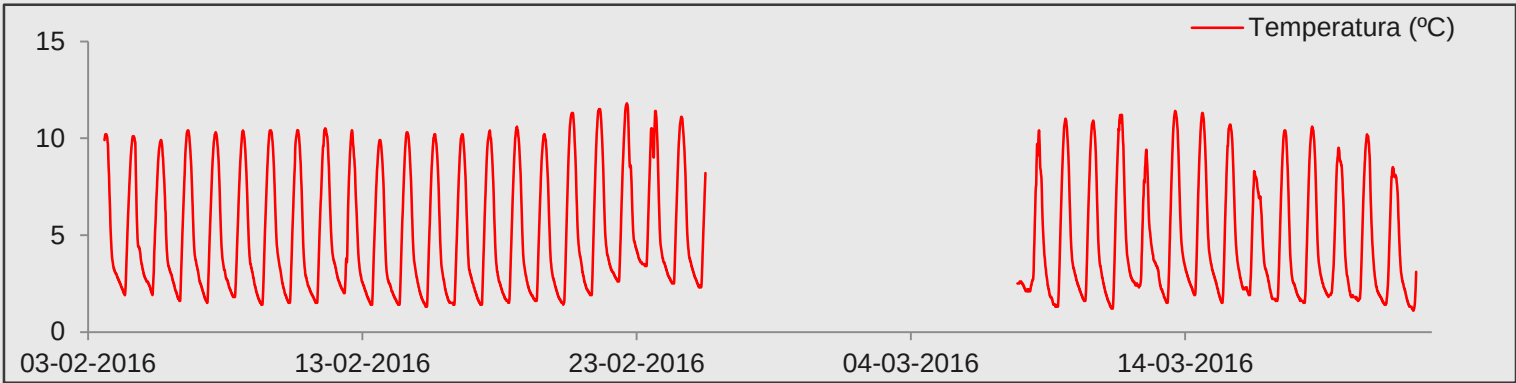


Las barras indican el valor colectado por evento y la línea azul el valor acumulado

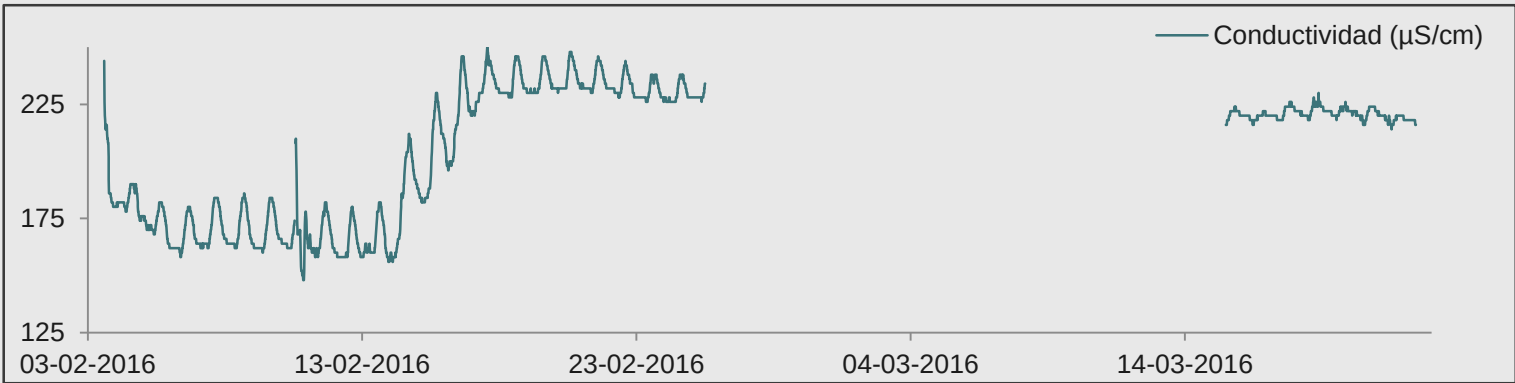
7.4 Ejemplos de análisis de datos del Autosampler ISCO/6712 ISCO_720 Submerged Probe Flow Module_YSI 600R Multi-Parameter Water Quality Sonde



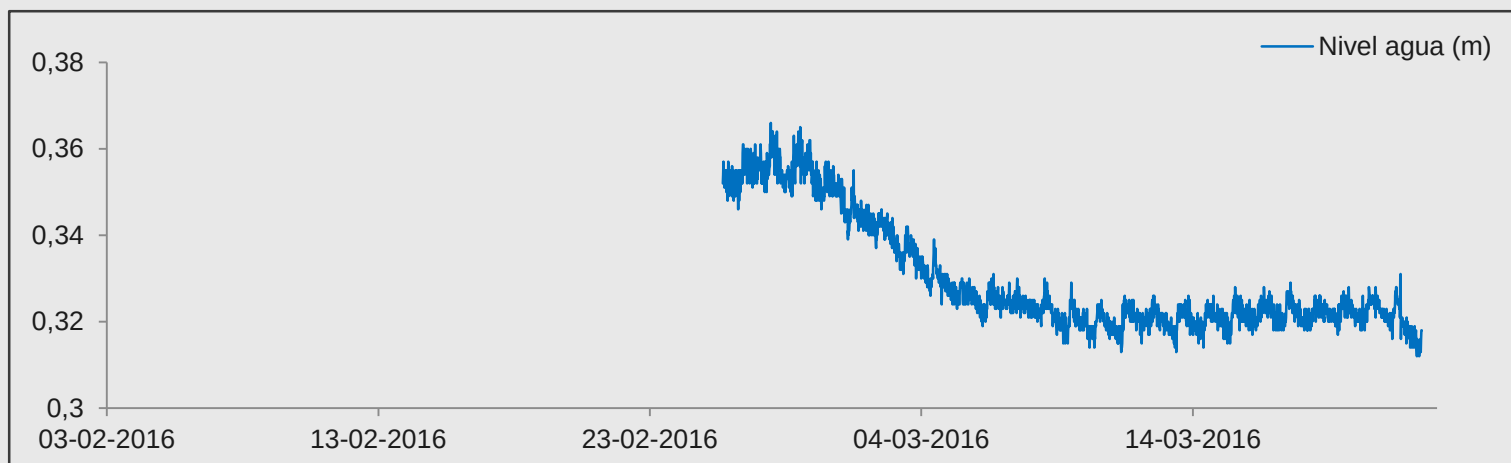
La toma de datos almacenados en el autosampler se hace de manera manual mediante el software Isco Flowlink. Posteriormente los datos son incorporados a la red de CEAZA-Met .



Serie de datos de temperatura obtenidos durante la temporada de verano de 2016. Se observa un ciclo diario de temperatura variando aproximadamente entre los 2 y 11°C. La interrupción en la continuidad de los datos corresponde a un período de reparación del equipo.



Serie de datos de conductividad eléctrica obtenidos durante la temporada de verano de 2016. Se observa un ciclo diario de conductividad y un aumento sostenido desde mediados de febrero, alcanzando un máximo local el 16 de febrero. La interrupción en la continuidad de los datos corresponde a un período de reparación del equipo.



Los niveles de agua medidos muestran variaciones diarias de algunos milímetros y una disminución sostenida del nivel desde fines de febrero lo cual se correlaciona con un aumento en conductividad . El descenso luego se estabiliza durante los primeros días de marzo.

Manual Isco Flowlink:

https://www.johnmorrisgroup.com/Content/Attachments/10358/226476_manual_instr-John-Morris.pdf.

Enlaces CEAZA-Met (monitoreo agua superficial) :

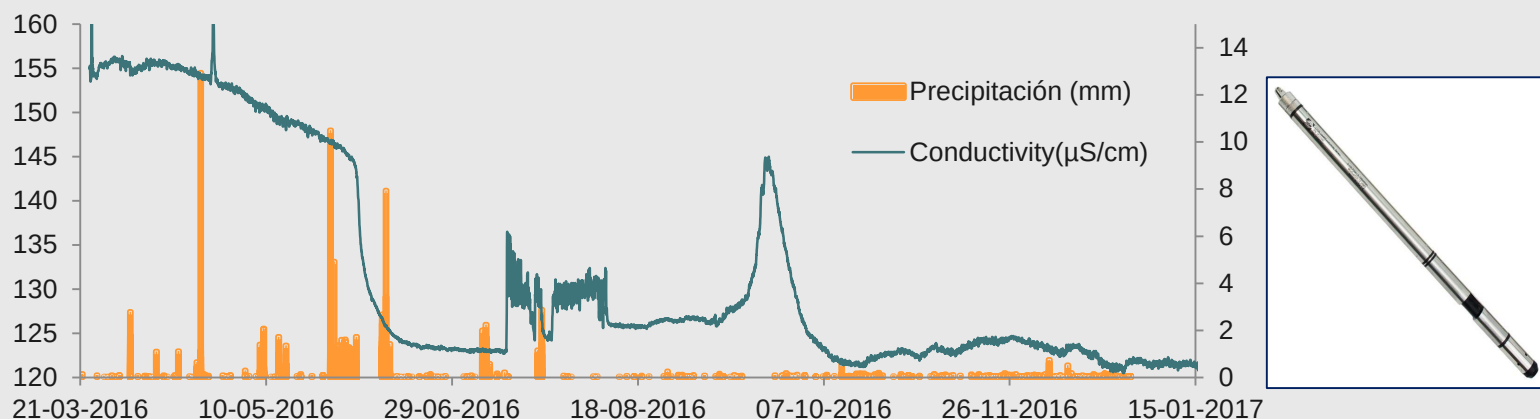
Temperatura: http://www.ceazamet.cl/index.php?pag=mod_sensor&e_cod=CORR&s_cod=CORRTAGR

pH: http://www.ceazamet.cl/index.php?pag=mod_sensor&e_cod=CORR&s_cod=CORRPHR

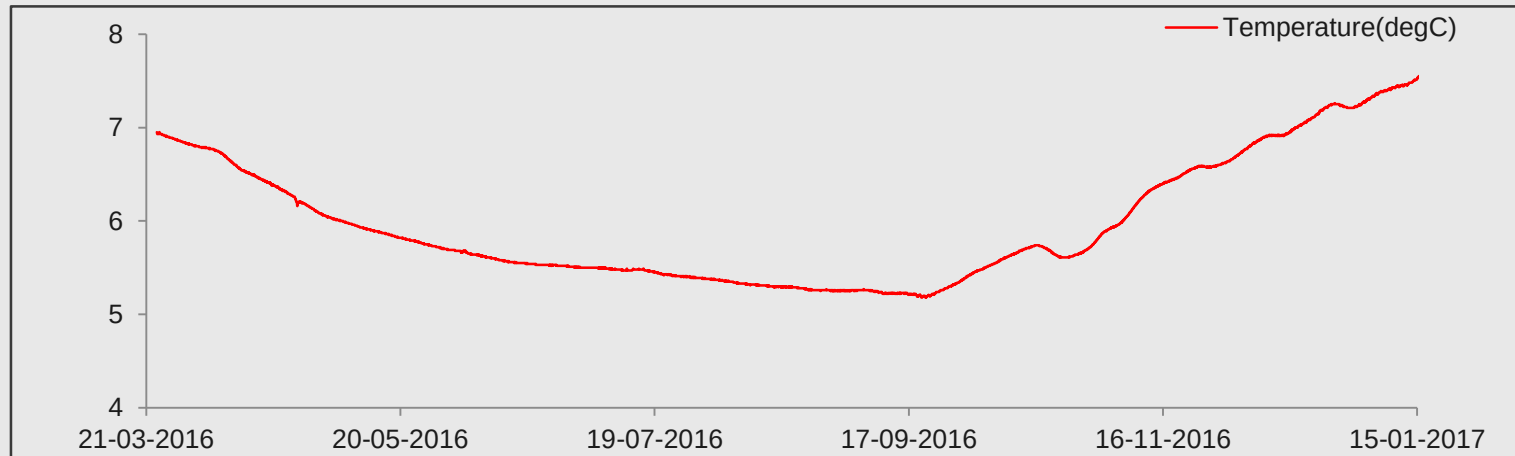
Conductividad: http://www.ceazamet.cl/index.php?pag=mod_sensor&e_cod=CORR&s_cod=CORRCNDR

Nivel: http://www.ceazamet.cl/index.php?pag=mod_sensor&e_cod=CORR&s_cod=CORRNVLRL

7.5 Ejemplo de análisis de datos del INW CT2X en el Pozo Los Corrales

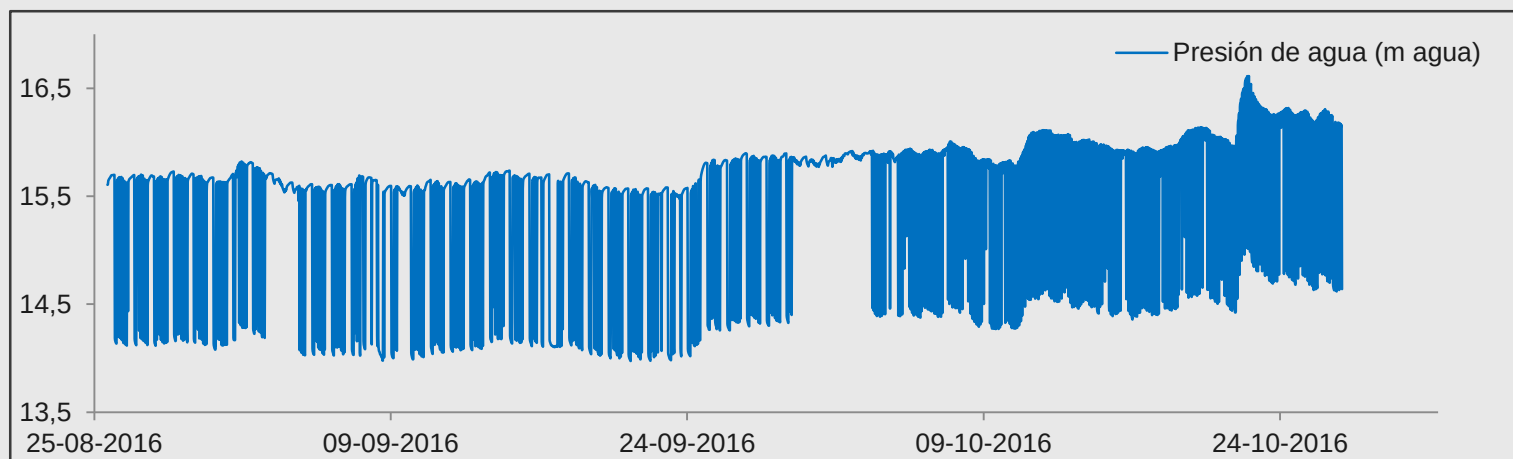


En el gráfico se muestran las variaciones en conductividad y la precipitación en mm desde marzo de 2016 a enero de 2017. Los descensos de conductividad se pueden asociar a la infiltración del agua proveniente de las precipitaciones

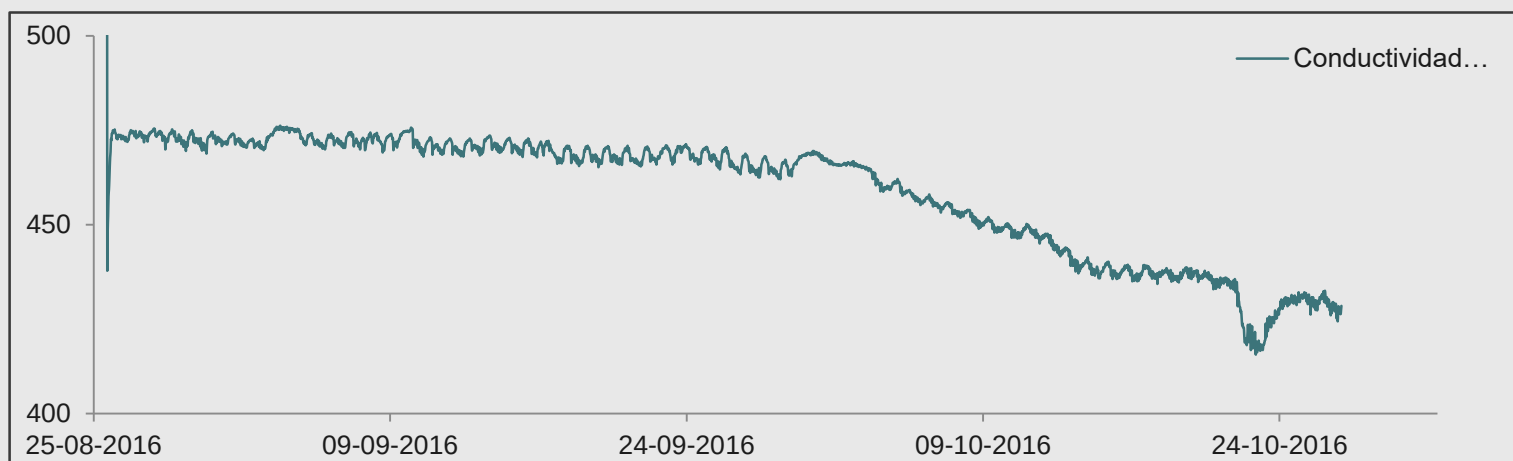


La temperatura sigue el ciclo anual de descenso paulatino en los meses de otoño e invierno y luego ascenso aproximadamente desde septiembre

7.6 Ejemplo de análisis de datos del INW CT2X en el pozo del APR de Carén



En este gráfico se observan las variaciones de nivel de agua asociadas al bombeo automático para abastecimiento del agua potable de la localidad de Carén, comuna de Montepatria. Además de las variaciones por bombeo, se puede observar variaciones decimétricas en los máximos y mínimos con una tendencia creciente hacia fines de octubre.



El registro de conductividad muestra un descenso sostenido desde agosto a octubre lo cual se correlaciona con un aumento del nivel de agua. Esto se puede asociar a los flujos anuales de agua subterránea provenientes de deshielo.

7.7 Ejemplo de Caracterización de Acuífero

Cálculo de Permeabilidad (K) y Transmisividad (T) para el acuífero en Los Corrales.

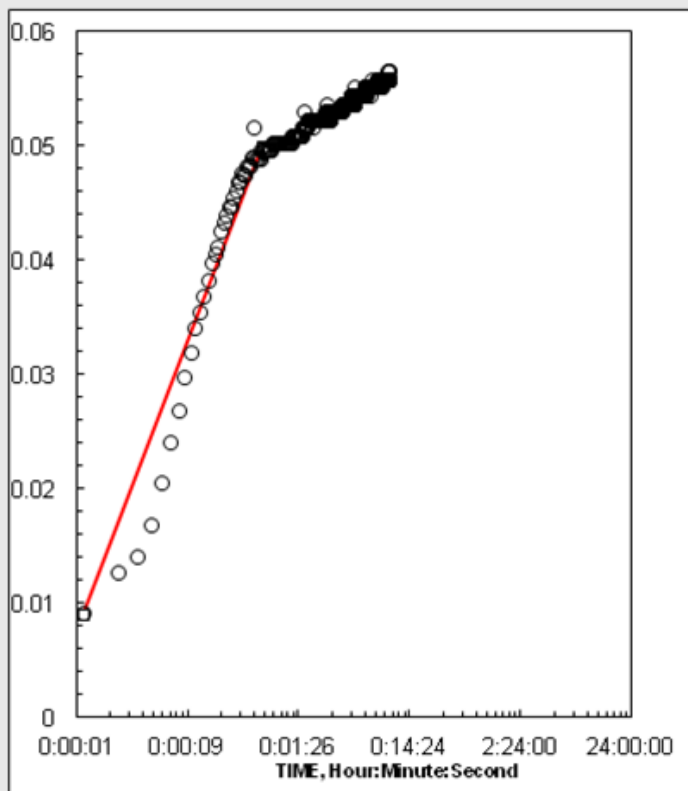
Analizando los datos de tiempo de recuperación del nivel freático, se calculan los parámetros K y T

PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS EN LOS CORRALES

$$T = 2.3Q / 4\pi \Delta s$$

$$K = 6.3 \text{ Meter/Day}$$

$$T = 580 \text{ Meter}^2/\text{Day}$$



Entry	Time, Date Hr:Min:Sec	WaterLevel Meter	Entry	Time, Date Hr:Min:Sec	WaterLevel Meter
1	1-0-00 10:00:26	0.49	51	1-0-00 10:04:36	0.55
2	1-0-00 10:00:31	0.51	52	1-0-00 10:04:41	0.55
3	1-0-00 10:00:36	0.53	53	1-0-00 10:04:46	0.55
4	1-0-00 10:00:41	0.53	54	1-0-00 10:04:51	0.55
5	1-0-00 10:00:46	0.54	55	1-0-00 10:04:56	0.55
6	1-0-00 10:00:51	0.54	56	1-0-00 10:05:01	0.55
7	1-0-00 10:00:56	0.54	57	1-0-00 10:05:06	0.55
8	1-0-00 10:01:01	0.54	58	1-0-00 10:05:11	0.55
9	1-0-00 10:01:06	0.54	59	1-0-00 10:05:16	0.55
10	1-0-00 10:01:11	0.54	60	1-0-00 10:05:21	0.55
11	1-0-00 10:01:16	0.54	61	1-0-00 10:05:26	0.55
12	1-0-00 10:01:21	0.54	62	1-0-00 10:05:31	0.55
13	1-0-00 10:01:26	0.54	63	1-0-00 10:05:36	0.55
14	1-0-00 10:01:31	0.54	64	1-0-00 10:05:41	0.55
15	1-0-00 10:01:36	0.54	65	1-0-00 10:05:46	0.55
16	1-0-00 10:01:41	0.54	66	1-0-00 10:05:51	0.55
17	1-0-00 10:01:46	0.54	67	1-0-00 10:05:56	0.55
18	1-0-00 10:01:51	0.54	68	1-0-00 10:06:01	0.55
19	1-0-00 10:01:56	0.54	69	1-0-00 10:06:06	0.55
20	1-0-00 10:02:01	0.55	70	1-0-00 10:06:11	0.55
21	1-0-00 10:02:06	0.55	71	1-0-00 10:06:16	0.55
22	1-0-00 10:02:11	0.55	72	1-0-00 10:06:21	0.55
23	1-0-00 10:02:16	0.55	73	1-0-00 10:06:26	0.55
24	1-0-00 10:02:21	0.55	74	1-0-00 10:06:31	0.55
25	1-0-00 10:02:26	0.55	75	1-0-00 10:06:36	0.55
26	1-0-00 10:02:31	0.55	76	1-0-00 10:06:41	0.55
27	1-0-00 10:02:36	0.55	77	1-0-00 10:06:46	0.55
28	1-0-00 10:02:41	0.55	78	1-0-00 10:06:51	0.55
29	1-0-00 10:02:46	0.55	79	1-0-00 10:06:56	0.55
30	1-0-00 10:02:51	0.55	80	1-0-00 10:07:01	0.55
31	1-0-00 10:02:56	0.55	81	1-0-00 10:07:06	0.55
32	1-0-00 10:03:01	0.55	82	1-0-00 10:07:11	0.55
33	1-0-00 10:03:06	0.55	83	1-0-00 10:07:16	0.55
34	1-0-00 10:03:11	0.55	84	1-0-00 10:07:21	0.55
35	1-0-00 10:03:16	0.55	85	1-0-00 10:07:26	0.55
36	1-0-00 10:03:21	0.55	86	1-0-00 10:07:31	0.55
37	1-0-00 10:03:26	0.55	87	1-0-00 10:07:36	0.55
38	1-0-00 10:03:31	0.55	88	1-0-00 10:07:41	0.55
39	1-0-00 10:03:36	0.55	89	1-0-00 10:07:46	0.55
40	1-0-00 10:03:41	0.55	90	1-0-00 10:07:51	0.55
41	1-0-00 10:03:46	0.55	91	1-0-00 10:07:56	0.55
42	1-0-00 10:03:51	0.55	92	1-0-00 10:08:01	0.55
43	1-0-00 10:03:56	0.55	93	1-0-00 10:08:06	0.55
44	1-0-00 10:04:01	0.55	94	1-0-00 10:08:11	0.55
45	1-0-00 10:04:06	0.55	95	1-0-00 10:08:16	0.55
46	1-0-00 10:04:11	0.55	96	1-0-00 10:08:21	0.55
47	1-0-00 10:04:16	0.55	97	1-0-00 10:08:26	0.55
48	1-0-00 10:04:21	0.55	98	1-0-00 10:08:31	0.55
49	1-0-00 10:04:26	0.55	99	1-0-00 10:08:36	0.55
50	1-0-00 10:04:31	0.55	100	#N/A	#N/A

Gráficos de cálculo de las características hidrogeológicas de los pozos medidos. Para más detalles, descripciones, y los datos por favor dirigirse

a los archivos Excel. ^[1]Halford, K. J., & Kuniansky, E. L. (2002). *Documentation of spreadsheets for the analysis of aquifer-test and slug-test data* (No. 2002-197).