



Comunidad
Atacameña
de Peine



ASPECTOS ESENCIALES DE LA HIDROLOGÍA Y GESTIÓN DEL AGUA

Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas – Ceaza

Comunidad Atacameña de Peine

“Capacitación e implementación de monitores ambientales Comunidad de Peine”







Autores:

Claudio Vásquez Pinto
Shelley MacDonell
Remi Valois
Jaime Cuevas
Cristián Orrego
Eduardo Yañez

Diseño y diagramación:

Janina Guerrero

Edición de textos:

Claudio Vásquez

Revisión científica:

Shelley MacDonell
Remi Valois
Jaime Cuevas

Fotografías:

Pilar Molina
Carlos Olavarría
Claudio Vásquez

Institución ejecutora:

Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA).

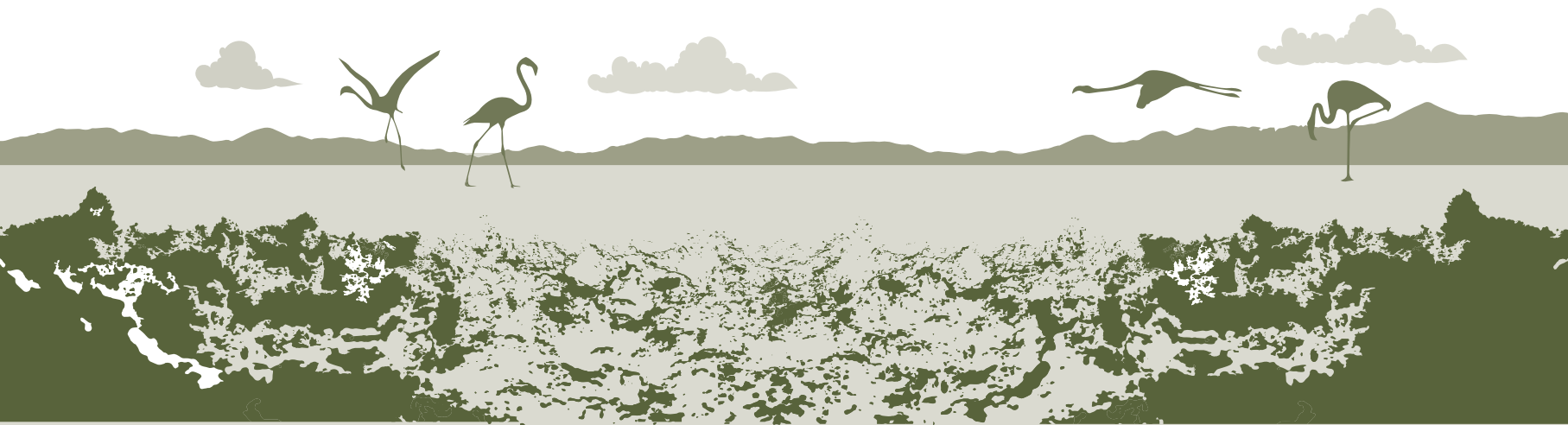
Financia:

Proyecto “Capacitación e implementación de monitores ambientales Comunidad de Peine” ejecutado por la Comunidad Atacameña de Peine, y financiado por CODELCO.

Contacto:

Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas
Raúl Bitrán #1305, La Serena, Chile. 56 51 2204378

Primera Edición



ÍNDICE

1.	PRESENTACIÓN DEL CEAZA	06
2.	OBSERVACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN LA COMUNIDAD DE PEINE	08
3.	HIDROLOGÍA BÁSICA	10
3.1.	Definición y tipos de cuencas hidrográficas	10
3.2.	Que es el ciclo hidrológico?	12
3.3.	Componentes del ciclo hidrológico	14
3.3.1.	Precipitación	16
3.3.2.	Evapotranspiración.....	18
3.3.3.	Escorrentías.....	20
3.3.4.	Ríos.....	22
3.3.5.	Aguas Subterráneas.....	24
3.4.	Formación de Humedales	26
4.	OBSERVACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS	28
4.1.	Que se mide?	28
4.2.	Con que se mide?	30
4.3.	Transmisión y sistemas de soporte	36
4.4.	Herramientas para la toma de decisiones	38
5.	GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO - GIRH	40
	Referencias	43

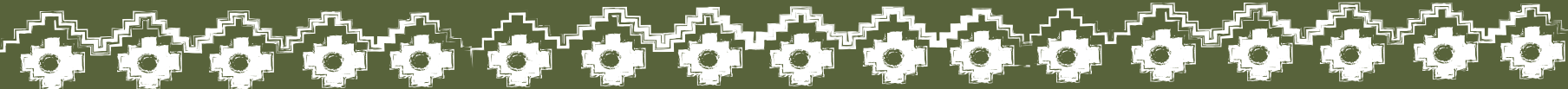
CEAZA es una corporación privada sin fines de lucro, orientada a la investigación científica y tecnológica, de la Región de Coquimbo. Se funda el 2003, gracias al proyecto conjunto de la Universidad de La Serena (ULS), la Universidad Católica del Norte (UCN) y el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA-Intihuasi); junto con el financiamiento de CONICYT y el Gobierno Regional de Coquimbo (GORE Coquimbo).

Las áreas de trabajo de CEAZA, definidas por sus cuatro instituciones socias fundadoras, están relacionadas con las siguientes áreas de impacto: i) Producción científica, ii) Apoyo a la formación de capital humano, iii) Vinculación con el entorno, iv) Transferencia del Conocimiento. El CEAZA cuenta con más de 100 profesionales dedicados a la investigación científica y gestión del conocimiento, teniendo 3 grupos de investigación: Grupo Mar, dedicados a comprender las dinámicas de las corrientes oceanográficas, su impacto en las zonas costeras y clima local, además de aspectos relacionados a la ecología y biogeografía de ambientes marinos; de Grupo Tierra, dedicados a comprender las variables que intervienen en el ciclo hidrológico de las cuencas de la zona centro norte de Chile, y como están condicionan el clima y los ecosistemas locales; Grupo Biotec, el cual orienta su trabajo en identificar y desarrollar tecnologías que permitan una mejor adaptación productiva a procesos de desertificación e impactos ante escenarios de cambio climático.

CEAZA cuenta además, con un área de Transferencia del Conocimiento, la que tiene como objetivo difundir el quehacer científico y el traspaso de sus resultados a la comunidad, buscando hacer ciencia con impacto en los territorios donde focaliza sus intervenciones. De esta manera, promueve la conservación de los ecosistemas locales y patrimonio natural, tanto en



Zorro Culpeo



términos ecológicos como culturales, a través de acciones de valoración y apropiación del conocimiento.

El trabajo desarrollado por CEAZA tiene dos públicos objetivos. Por una parte, está la comunidad científica nacional e internacional, que valida la I+D realizada, aceptando la publicación de sus resultados en revistas especializadas de corriente principal. Esta actividad es fomentada por CONICYT y se evalúa a través de indicadores tales como el nivel de impacto de las revistas (estándares ISI) y también por el índice de citas de la publicación. El segundo público objetivo del CEAZA son los territorios, sus personas y ecosistemas, con lo cual, a través de la gestión y transferencia del conocimiento generado por el Centro, podrán beneficiarse en ámbitos productivos, ambientales y sociales.

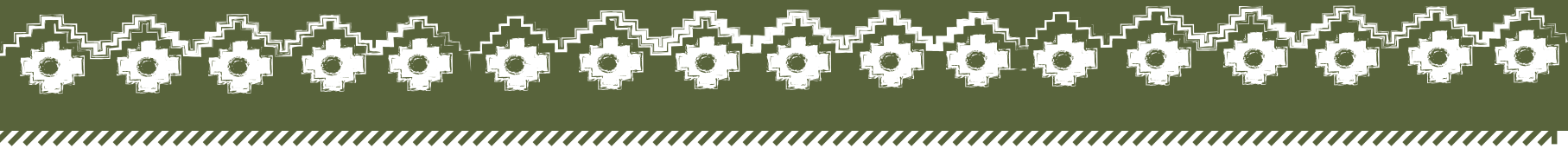
Visión

El CEAZA busca ser un centro de Investigación interdisciplinario en zonas áridas, confiable y transparente, posicionado como un referente a nivel internacional mediante la generación de conocimiento científico para la construcción de políticas públicas focalizadas en el desarrollo del país.

Misión

Su Misión es promover el desarrollo científico y tecnológico, a través de la realización de ciencia avanzada a nivel interdisciplinario en zonas áridas, ciencias biológicas y ciencias de la tierra, desde la Región de Coquimbo con un alto impacto en el territorio y orientado a mejorar la calidad de vida de las personas, promoviendo la participación ciudadana en la ciencia a través de actividades de generación y transferencia del conocimiento.



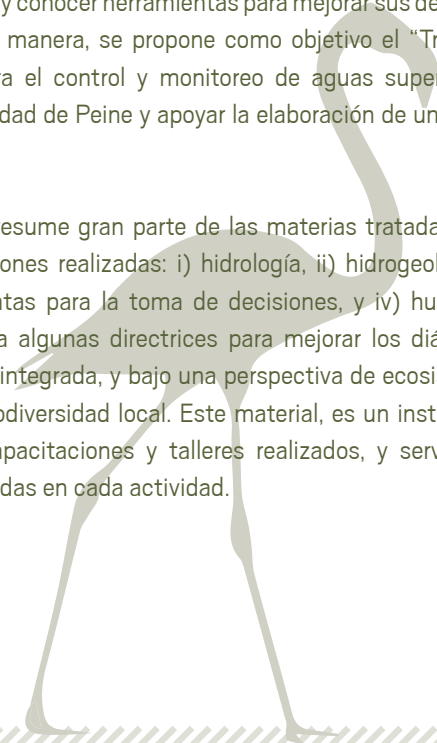


En los últimos 40 años, la Comunidad Atacameña de Peine ha visto como múltiples empresas transnacionales han llegado a su territorio con importantes inversiones para el desarrollo de la actividad minera, generando diversas oportunidades de trabajo, y dividendos para la región de Antofagasta y para el país. En contraste a este escenario, también ha visto como el uso del agua se ha incrementado para usos productivos (minería y turismo), en desmedro de la disponibilidad para el uso de las personas, para la mantención de la escasa agricultura existente, y afectando la biodiversidad de este territorio. Producto de estas problemáticas, nos encontramos con conflictos socioambientales cada vez más comunes, los cuales se han ido acentuando debido a la carencia de diálogo, escasa información disponible, y falta de consenso entre actores del territorio.

Bajo este escenario, es que la Comunidad de Peine considera fundamental realizar una observación permanente y sistemática del comportamiento de los flujos de agua que recargan el Salar, que tenga carácter independiente, comunitario y autogestionado, que, además, promueva el diálogo y fiscalice el cumplimiento de los compromisos ambientales y sociales de las diversas organizaciones que intervienen el área. En este contexto, se solicita al Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas – CEAZA, que conduzca una primera

etapa, donde se pretende capacitar a miembros de la Comunidad de Peine en aspectos básicos de la hidrología, y de esta manera, generar una primera base teórica-práctica de las competencias necesarias para realizar un monitoreo hidrometeorológico, mejorar la gestión y toma de decisiones sobre su propio territorio. Junto a esto, se le solicita al CEAZA, apoyar en la elaboración de un Plan de Monitoreo Hídrico y conocer herramientas para mejorar sus decisiones en esta materia. De esta manera, se propone como objetivo el “Transmitir conocimientos bases para el control y monitoreo de aguas superficiales y subterráneas a la Comunidad de Peine y apoyar la elaboración de un Plan de Monitoreo Hídrico”.

El presente documento, resume gran parte de las materias tratadas en los 4 módulos de capacitaciones realizadas: i) hidrología, ii) hidrogeología, iii) meteorología y herramientas para la toma de decisiones, y iv) humedales y biodiversidad; y entrega algunas directrices para mejorar los diálogos, y gestionar de una manera integrada, y bajo una perspectiva de ecosistémica, los recursos hídricos y biodiversidad local. Este material, es un instrumento complementario a las capacitaciones y talleres realizados, y servirá para reforzar las materias tratadas en cada actividad.



3. Hidrología Básica

3.1 Cuencas Hidrográficas

Cuencas endorreicas: es el termino utilizado para hacer referencia a todas aquellas cuencas que no presentan una conexión hidrológica con el ambiente marino (Dorsaz et al., 2013). Estas son comunes en zonas áridas con precipitaciones del orden de los 54 mma^{-1} (Meybeck et al., 2001). Por lo general el sistema de drenajes de este tipo de cuencas converge en: (a) lagos; (b) salares y (c) llanuras aluviales. Ejemplo de este tipo de cuencas es el Salar de Atacama (Figura 1) y Salar de Punta Negra.

Cuencas exorreicas: corresponden a todas aquellas cuencas que si presentan conexión hidrológica con el ambiente marino y se desarro-

llan bajo un régimen de precipitación del orden de 322 mma^{-1} mm/año (Dorsaz et al., 2013; Meybeck et al., 2001). El sistema de drenes de este tipo de cuencas, el cual está conformado principalmente por ríos, converge en el mar. Ejemplo de este tipo de cuencas es el Río Elqui (Figura 1).

Cuencas arreicas (inactivas): corresponden a todas aquellas cuencas que no presentan ningún grado de conexión hidrológica con el mar ni lagos. Esto último se debe a que el agua presente en este tipo de cuencas no se conserva debido a la infiltración y evaporación. Ejemplo de este tipo de cuencas son la Cuencas de El Carmen y todas aquellas ubicadas a lo largo de la Cordillera de la Costa.



Salar de Atacama



Figura 1.

LUGARES:

- | | |
|----------------------------|--------------------------|
| 1. Cordillera de Los Andes | 5. Cordillera de Domeyko |
| 2. San Pedro de Atacama | 6. Mejillones |
| 3. Salar de Atacama | 7. Antofagasta |
| 4. Peine | |

LUGAR:

1. Río Elqui

3.2 Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico, es básicamente es un modelo conceptual que representa el movimiento continuo del agua en diferentes estados de la materia (líquido, sólido, gas) (Davie, 2002). Dentro de este ciclo, el agua se mueve tanto a nivel superficial como subsuperficial dentro del sistema tierra – atmósfera.

El ciclo del agua (Figura 2), comienza con la evaporación del agua desde los océanos y en un porcentaje menor desde la superficie

continental. Posteriormente el viento transporta este aire húmedo hacia zonas donde las condiciones climáticas provocan que esta humedad se condense en nubes y luego se transforme en precipitación líquida (lluvia) o sólida (granizo y nieve). Finalmente, esta precipitación es transportada nuevamente al océano por medio de escorrentía superficial (ríos) y por infiltración (aguas subterráneas) (Fetter, 2001; Davie, 2002; Tarbuck y Lutgens, 2005).

Laguna Chaxa

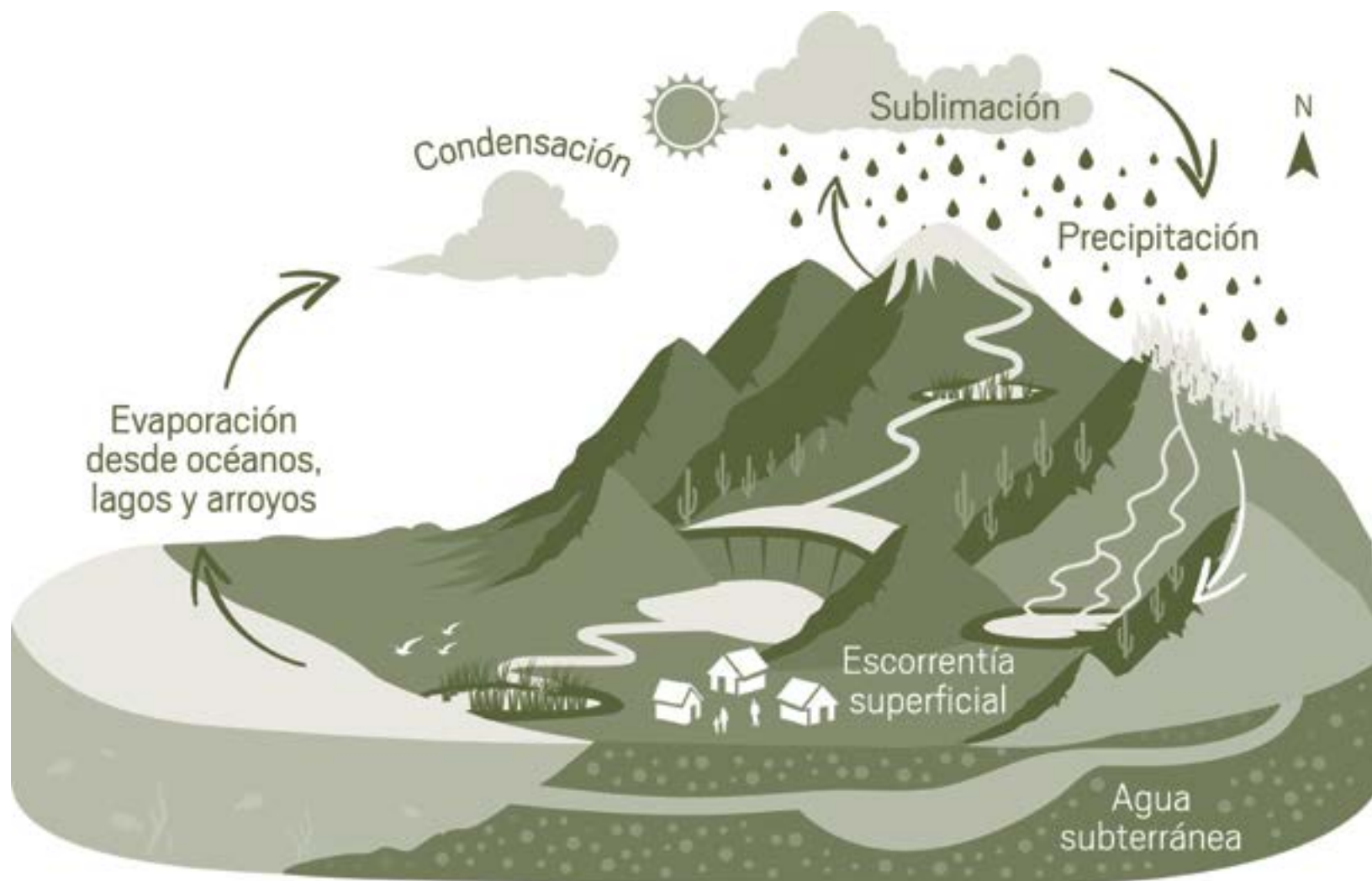


Figura 2. Imagen que ilustra los principales elementos que configuran el ciclo hidrológico.

3.3 Elementos del ciclo hidrológico

En el caso de cuenca endorreicas, como es el caso del Salar de Atacama (Figura 1 y 3), la dinámica del ciclo descrito en líneas anteriores cambia y hay elementos del ciclo hidrológico que no se consideran. Esto último se debe a que aproximadamente el 98% de la evaporación tiene su origen en el núcleo

del salar (Del Solar, 2005) y a que los elementos que configuran tanto la escorrentía superficial (ríos) como subsuperficial (aguas subterráneas) no tienen salida al océano.



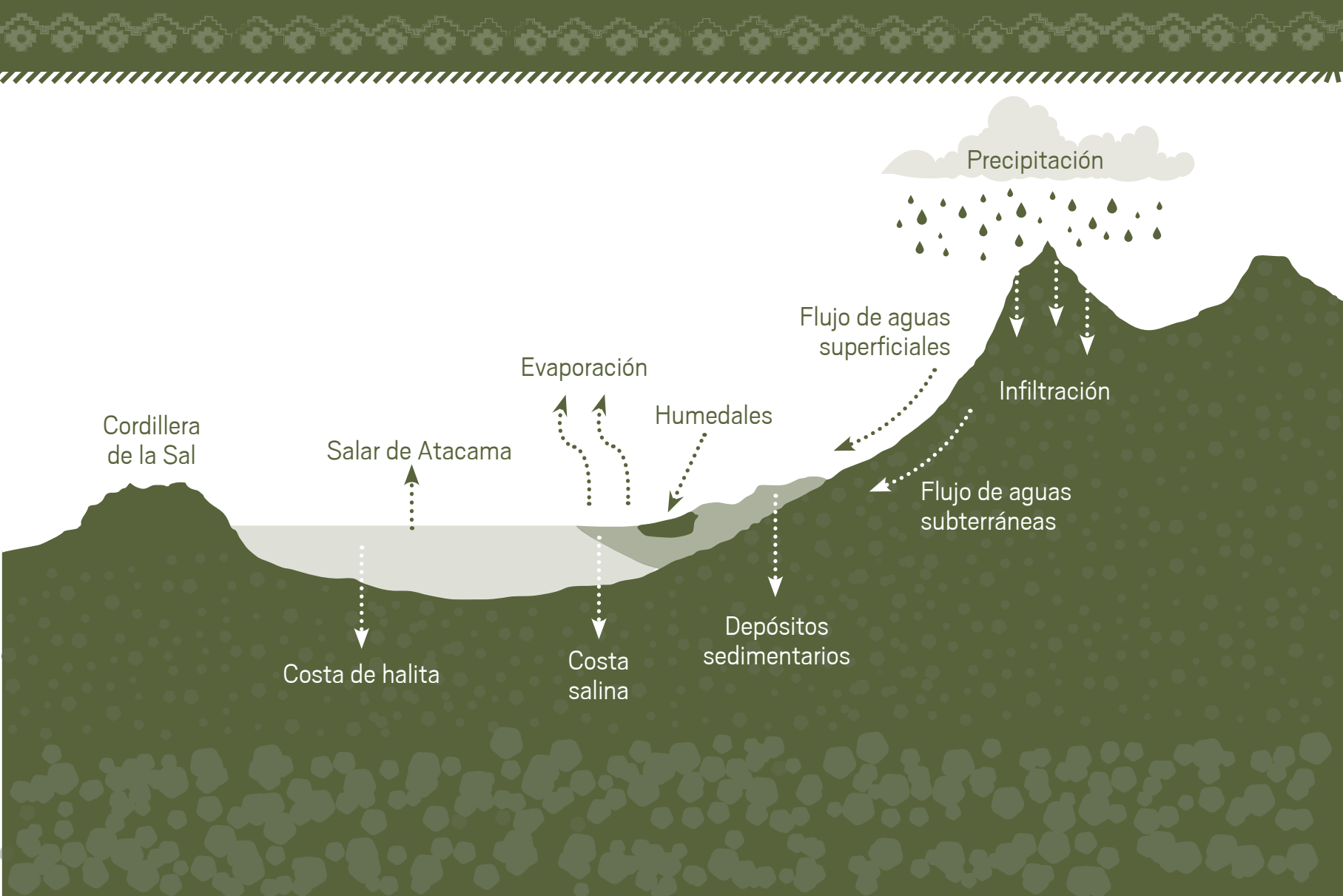
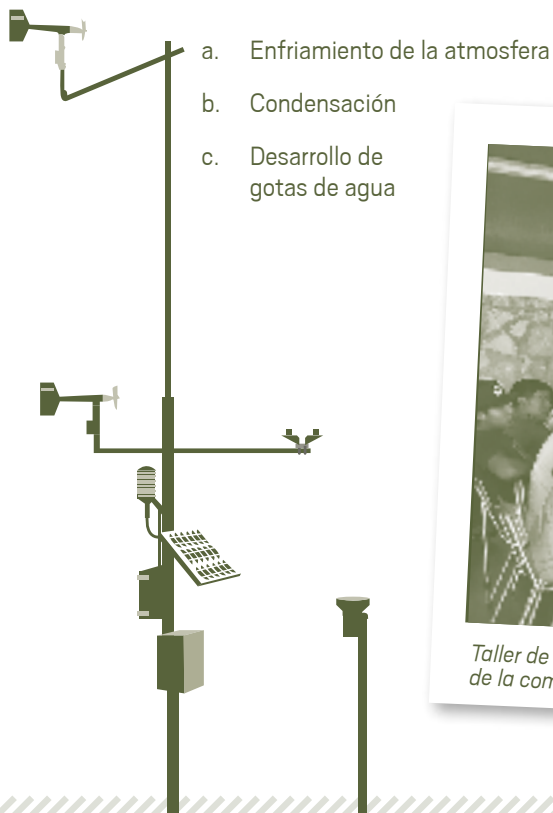


Figura 3 Modelo conceptual, a escala local, del ciclo hidrológico del Salar de Atacama. Figura elaborada en base al trabajo de Kampf y Tyler (2006)

3.3.1. Precipitación

El término precipitación hace referencia al agua liberada desde la atmosfera producto de la condensación y que alcanza la superficie de la tierra (Davie, 2002). El concepto precipitación incluye tanto las formas de precipitación sólida como líquida, las que comúnmente corresponden a: (a) nieve; (b) granizo; (c) lluvia y (d) agua lluvia.

Según lo señalado por Fetter (2001) y Davie (2002), las condiciones mínimas necesarias para que se desarrolle la precipitación corresponden a:



En lo que respecta a las formas de medición, la precipitación en su forma líquida se realiza a través de pluviómetros. Estos instrumentos miden el volumen de agua que cae sobre la superficie, el cual es transformado en profundidad a través de la división de este por la superficie del pluviómetro. Mientras que, la precipitación sólida se mide por medio de pluviómetros modificados para nieve (incorporación de dispositivo que proporciona calor con la finalidad de derretir la nieve), sensores que miden altura de nieve y snow pillow¹. Cabe destacar que la precipitación líquida, se mide en términos de profundidad empleando unidades de mm o pulgadas. En este mismo sentido, la precipitación sólida igualmente se mide en función de la profundidad, sin embargo, en algunos casos se mide la cantidad de agua equivalente².



Taller de co creación del Plan de Observación y Gestión del Agua, con miembros de la comunidad de Peine y CEAZA.

Para el caso de la cuenca del Salar de Atacama, el nivel de precipitaciones es $< 20 \text{ mma}^{-1}$, siendo el principal elemento de entrada al sistema las aguas superficiales (Kampf y Tyler, 2006). Sin embargo, a medida que aumenta la elevación los niveles de precipitación fluctúan entre 50 a 100 mma^{-1} . En las estaciones pluviométricas Camar, Socaire y Peine los registros indican precipitaciones medias anuales del orden de 38, 37 y 21 mma^{-1} , respectivamente (Figura 4, Fuente DGA).

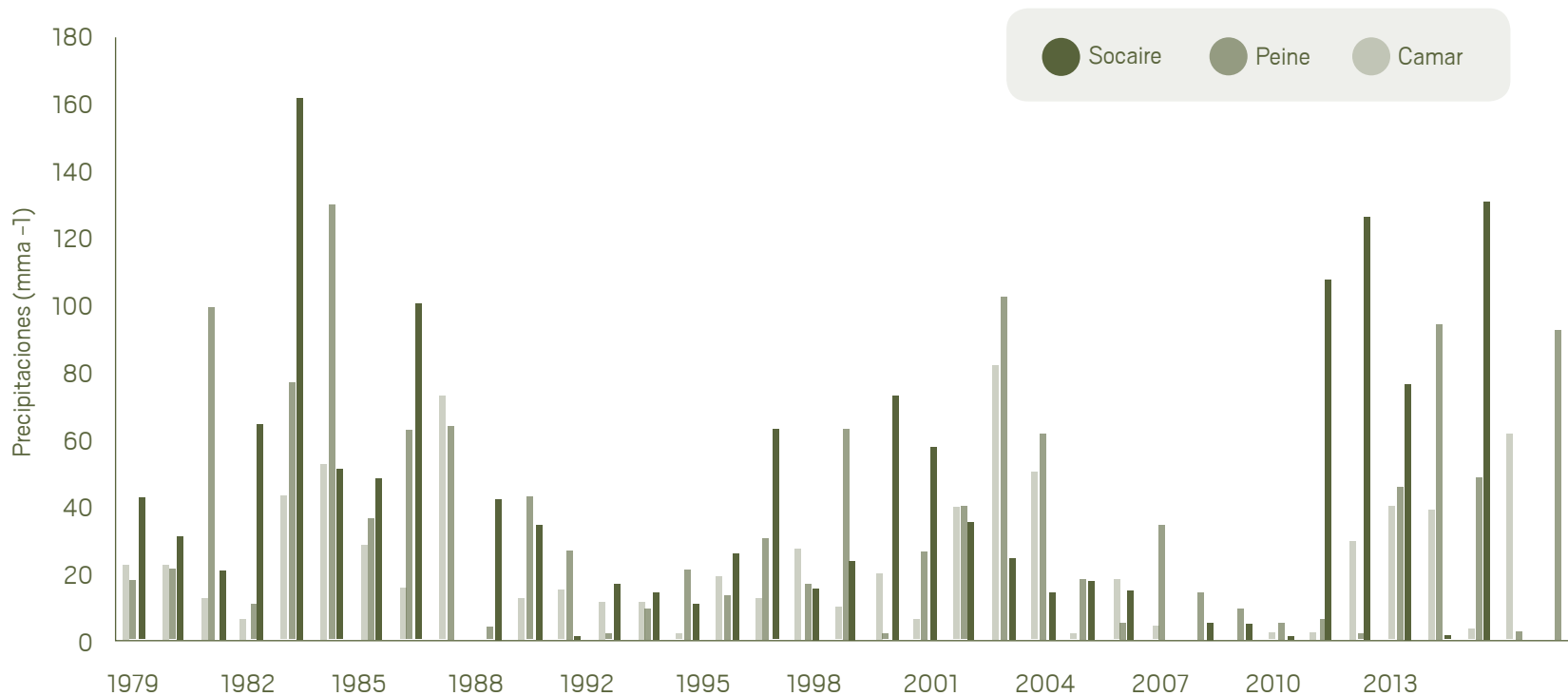


Figura 4. Datos de precipitaciones medias anuales de las estaciones meteorológicas ubicadas en el salar de Atacama (Fuente, DGA)

1. Instrumento que mide el equivalente de agua de un paquete de nieve en función de la presión hidrostática creada por la nieve acumulada.
2. Término que describe la profundidad de agua que podría aportar una porción de nieve si esta se derritiera.

3.3.2. Evapotranspiración

Según Davie et al. (2001), la evapotranspiración corresponde a la combinación de la evaporación directa desde el suelo/agua y la transpiración¹ presente, producto de la vegetación. Este concepto obedece al hecho que gran parte de la superficie terrestre es una combinación de zonas con desarrollo de vegetación y porciones de terreno donde no se observa una gran cobertura vegetal.

En que respecta a la medición de la evaporación, esta puede realizarse de forma tanto directa como indirecta (Davie, 2002). En las formas indirectas se emplean mediciones micro-meteorológicas, donde las más comunes se asocian a: (a) fluctuaciones "eddy"; (b) perfiles aerodinámicos y (c) el método de razón de Bowen. Por su parte, la recolección de datos de evaporación de forma directa se encuentra asociada al balance de agua. Los métodos más conocidos corresponden a: (a) estanques de evapora-

ción y (b) lisímetros. En el caso del Salar de Atacama, Mardones (1986), determinó la evaporación desde el agua subterránea del salar a través de uso de lisímetros.

Los datos de evaporación, para el caso particular del Salar de Atacama, ha sido registrada en las estaciones meteorológicas de Chaxas, Peine y del salar (CPH consultores, Hidrología e hidrogeología Salar de Atacama). Según los datos de estas estaciones, el promedio de evaporación anual corresponde a $\sim 242 \text{ mma}^{-1}$ (Tabla 1). Por su parte, el comportamiento de la evapotranspiración a lo largo del año se caracteriza por concentrar los valores de máximos de evapotranspiración durante los meses de primavera y verano ($200 - 350 \text{ mma}^{-1}$), mientras que durante el período de invierno los valores disminuyen ($100 - 170 \text{ mma}^{-1}$) (Figura 5).



Laguna Chaxa

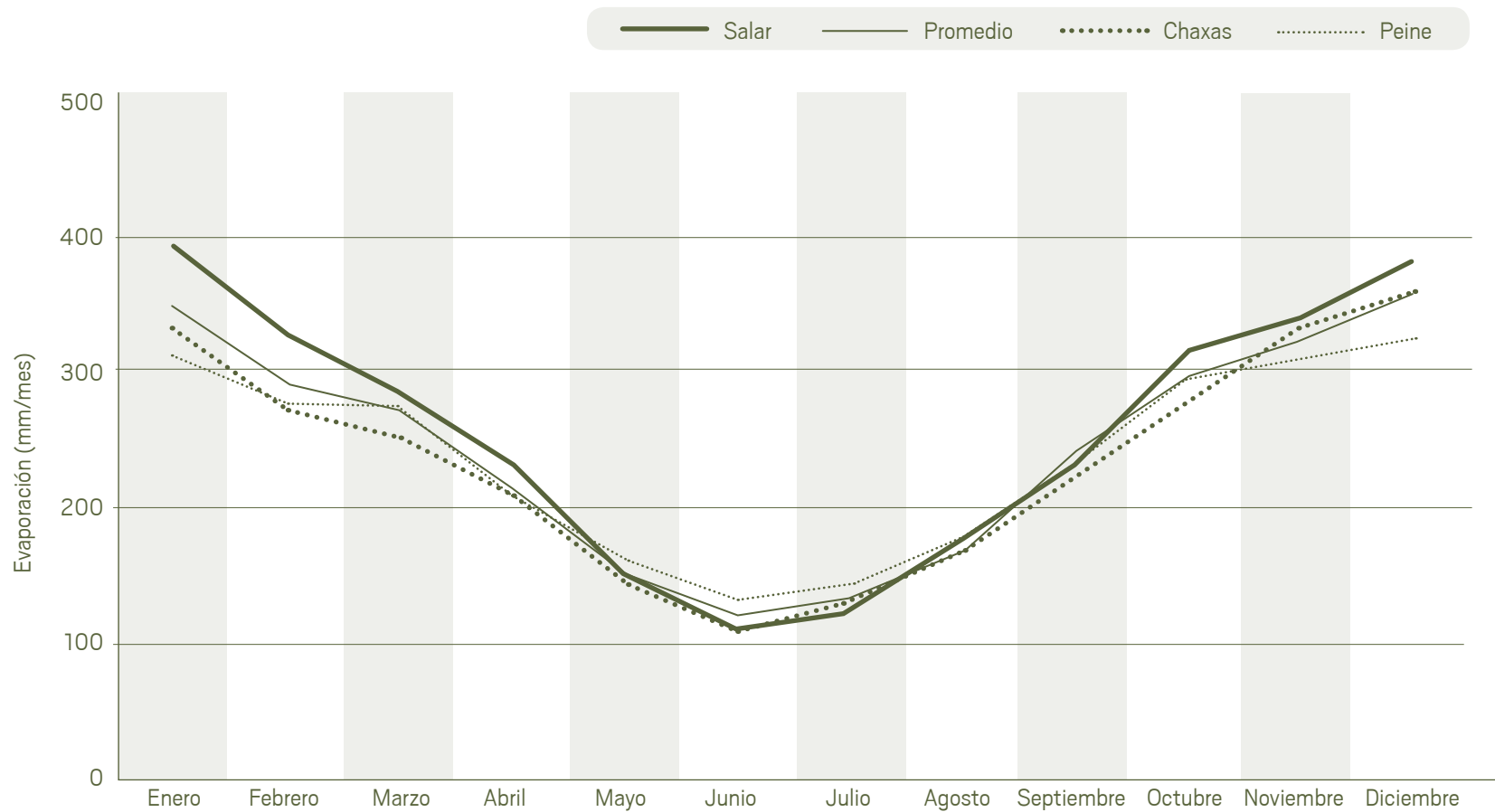


Figura 5. Distribución mensual de la evaporación zonas emplazadas en el interior del salar de Atacama. Imagen extraída y modificada de CPH Consultores Limitada, Hidrología e hidrogeología salar de Atacama.

3. Corresponde al proceso de evaporación del agua a través de las plantas. Este mecanismo es impulsado por la fotosíntesis y respiración de las plantas.

3.3.3. Escorrentías

El término escorrentía se relaciona al movimiento del agua después de que esta toca la superficie en forma de precipitación. Es decir, la escorrentía comprende todos aquellos flujos de agua canalizados, los cuales se pueden desarrollar tanto a nivel superficial como subsuperficial. Una vez que el agua pasa a ser parte de un flujo canalizado, el cual termina en el océano, es necesario utilizar el concepto flujo de corriente o flujo de río. Este flujo se mide en términos de descarga (caudal), es decir se mide la cantidad de agua (volumen) para un periodo de tiempo determinado (m^3s^{-1}).

En el caso del Salar de Atacama, las formas de escorrentía más comunes están asociados a flujos superficiales como los son los ríos San Pedro de Atacama y Vilama, así como también sistemas de drenes secundarios relacionados a quebradas (Figura 7). Por su parte el flujo de aguas subterráneas en Salar de Atacama, provienen del sector norte y este. Los flujos del norte, se asocian a los ríos San Pedro y Vilama, este hecho obedece a que por lo general los flujos subterráneos, siguen la misma ruta que los flujos superficiales. Mientras que, los flujos de agua subterráneas que se originan en el este, se asocian a acuíferos de piedemonte (Figura 8).

Tipos de escorrentías

La figura 6 muestra las diferentes formas de escorrentía que pueden observarse a lo largo de una superficie inclinada. En primer lugar, se muestra el flujo superficial (Q_0), el que corresponde al agua que circula a lo largo de la superficie antes de unirse al flujo canalizado. Bajo la superficie se observa un flujo de agua continuo o flujo lateral (Q_l), que ocurre en profundidades someras (zona no saturada). Por su parte el flujo de agua subterránea (Q_g), se mueve a lo largo de zonas más profundas (zona saturada). Todas estas formas de escorrentías contribuyen al flujo de corriente. No obstante, la importancia relativa de cada uno de estos elementos dependerá del caso de estudio y las características de la lluvia.



Capacitaciones en terreno, medición de caudal flujos superficiales



Canalización de flujos superficiales

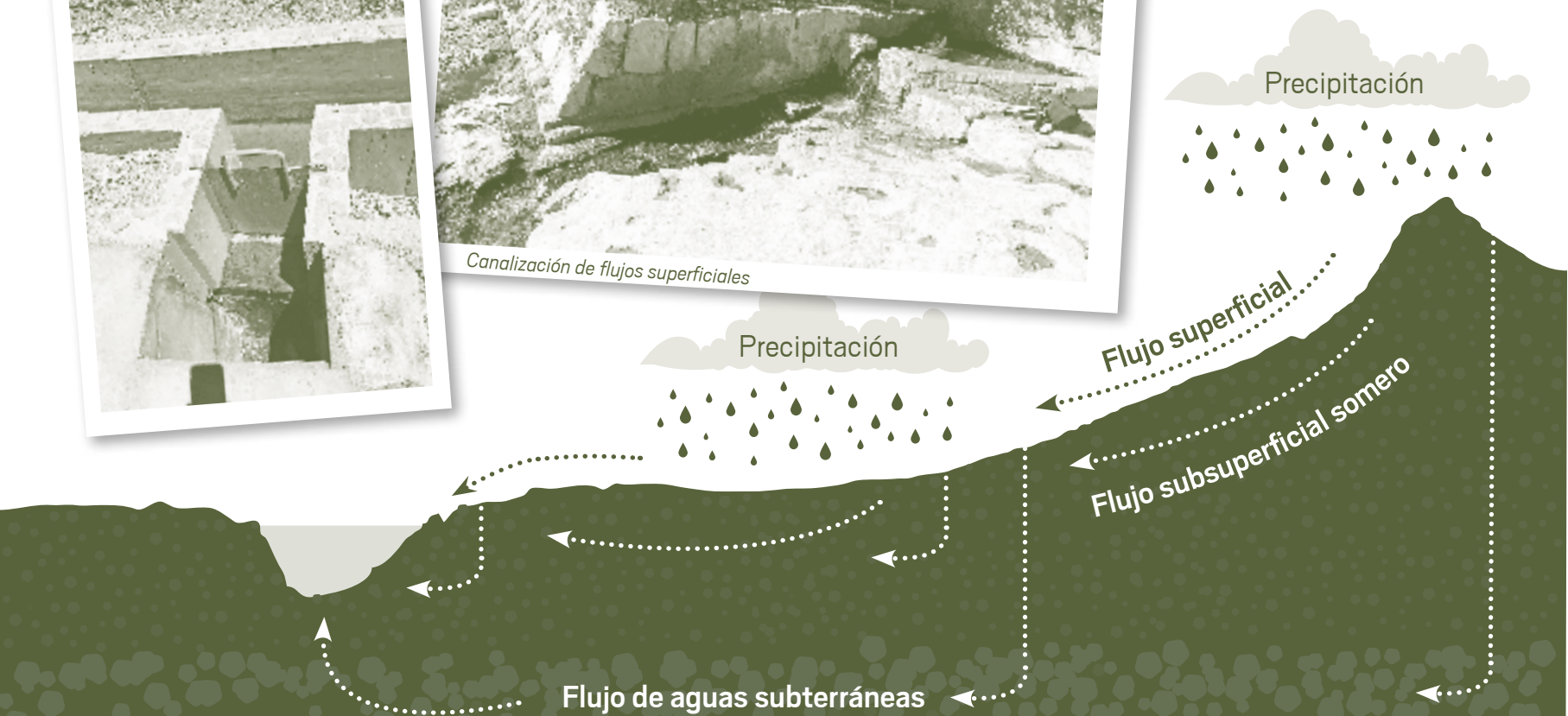


Figura 6. Sección longitudinal de una superficie inclinada donde se muestran las principales formas de escorrentía. Imagen extraída y modificada de Davie (2002).

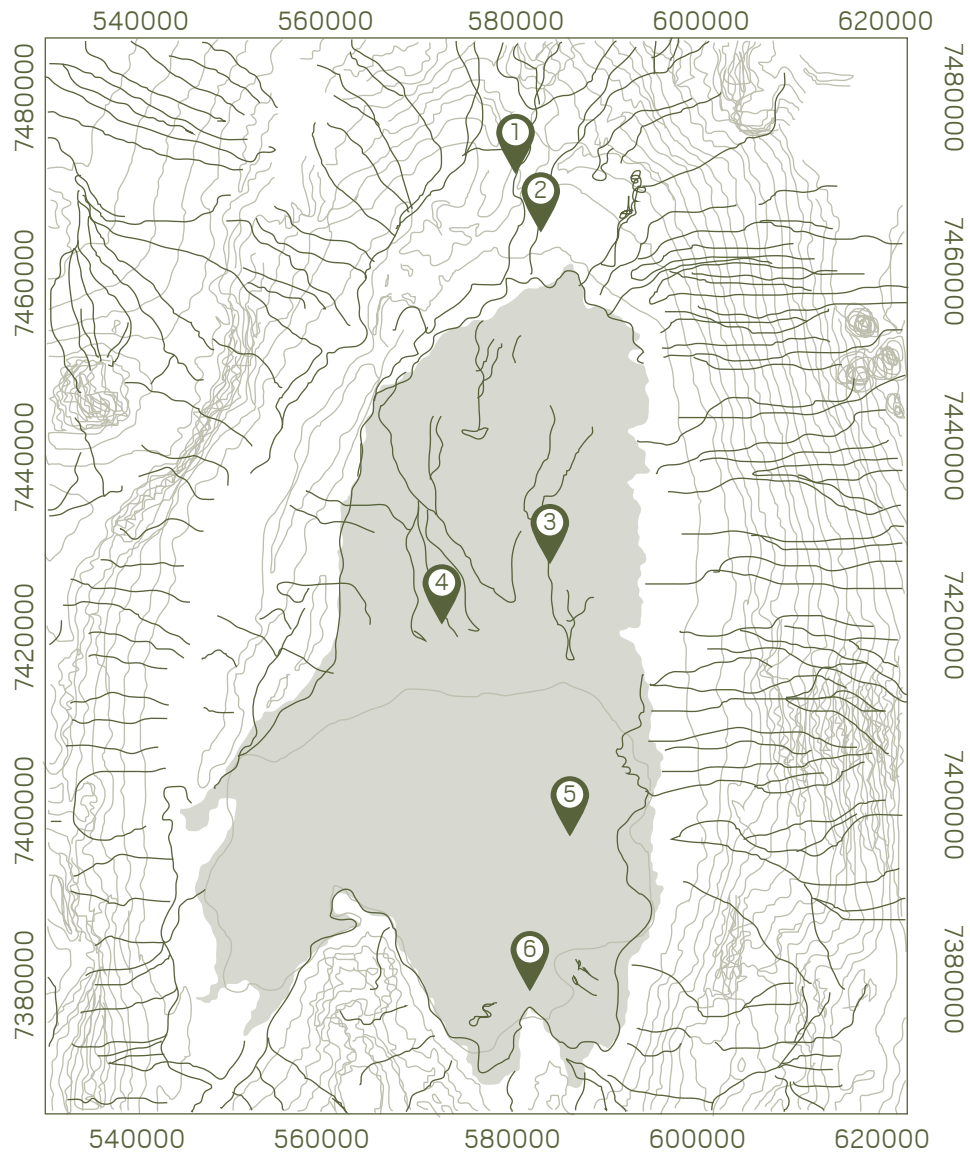
3.3.4. Ríos

Como se mencionó en la sección anterior, los drenes principales presentes en la zona del Salar de Atacama, son el río San Pedro y Vilama (Figura 7). En el caso del primero, este se caracteriza por presentar un caudal promedio de $1\text{m}^3\text{s}^{-1}$. No obstante, durante los meses donde se concentran gran parte de las precipitaciones debido al invierno altiplánico, su caudal puede alcanzar valores cercanos a los $25\text{m}^3\text{s}^{-1}$. Por su parte, el caudal promedio del río Vilama es de $0.2\text{m}^3\text{s}^{-1}$. Ambos ríos

desembocan en el sector norte del Salar de Atacama, sin embargo, el río San Pedro genera un sistema deltaico seco, mientras que el río Vilama debido a una fuerte presión extractiva, se infiltra y desaparece al sur de la localidad de San Pedro de Atacama (Salas et al. 2010). Los datos de descarga máxima se registran entre marzo y abril y presentan una fuerte correlación con la gran cantidad de precipitaciones que se registran durante el mismo periodo.



Laguna Chaxa



LUGARES:

1. Río San Pedro
2. Río Vilama
3. Puente San Luis
4. Sistema Lacustre Soncor
5. Sistema Lacustre Aguas de Quelana
6. Sistema Lacustre Peine

Figura 7. Sistema de drenajes de la cuenca del salar de Atacama. Imagen extraída de CPH Consultores Limitada, Hidrología e hidrogeología salar de Atacama.

3.3.5. Aguas subterráneas

Las aguas subterráneas corresponden a todas aquellas aguas que rellenan los poros y fracturas bajo el suelo (Harter, 2003). El límite superior de las aguas subterráneas se asocia al nivel freático (“wáter table”). Entre esta zona y la superficie del suelo se encuentra la zona no saturada o vadosa, que corresponde a una porción del suelo donde los poros o fracturas no están rellenos con agua. Sin embargo, en esta zona la humedad se mueve hacia el nivel freático para recargar las aguas subterráneas.

Como se mencionó en la sección 3.3.3, los flujos de agua subterránea para el caso del Salar de Atacama, se asocian fundamentalmente a los cursos de los ríos San Pedro y Vilama y a los acuíferos de piedemonte ubicados en los márgenes del salar. La recarga de los acuíferos que alimentan el núcleo del salar, proviene de la precipitación que cae en la Alta Cordillera o el Altiplano Andino. Muñoz et al. (2004) señala que, estos flujos de agua subterránea que alimentan el núcleo del salar, corresponden a aguas salobres (menos densas que la salmuera) que tienen su origen en un acuífero ubicado al norte (asociado a los ríos) y flujos de agua dulce que provienen de los acuíferos localizados al sur y margen oriental del salar (acuíferos de piedemonte) (Figura 8).

La precipitación (nieve y lluvia), se infiltra desde las zonas altas al este del salar y en función de la configuración geológica-tectónica, esta agua se conecta con los acuíferos del margen oriental del salar. Datos estiman que la recarga media anual en términos de aportes de aguas subterráneas es cercana a 2168 ls-1. Por su parte la recarga directa por precipitaciones a nivel anual, se estima en 773 ls-1.



Capacitaciones en terreno, medición de caudal flujos subterráneos.

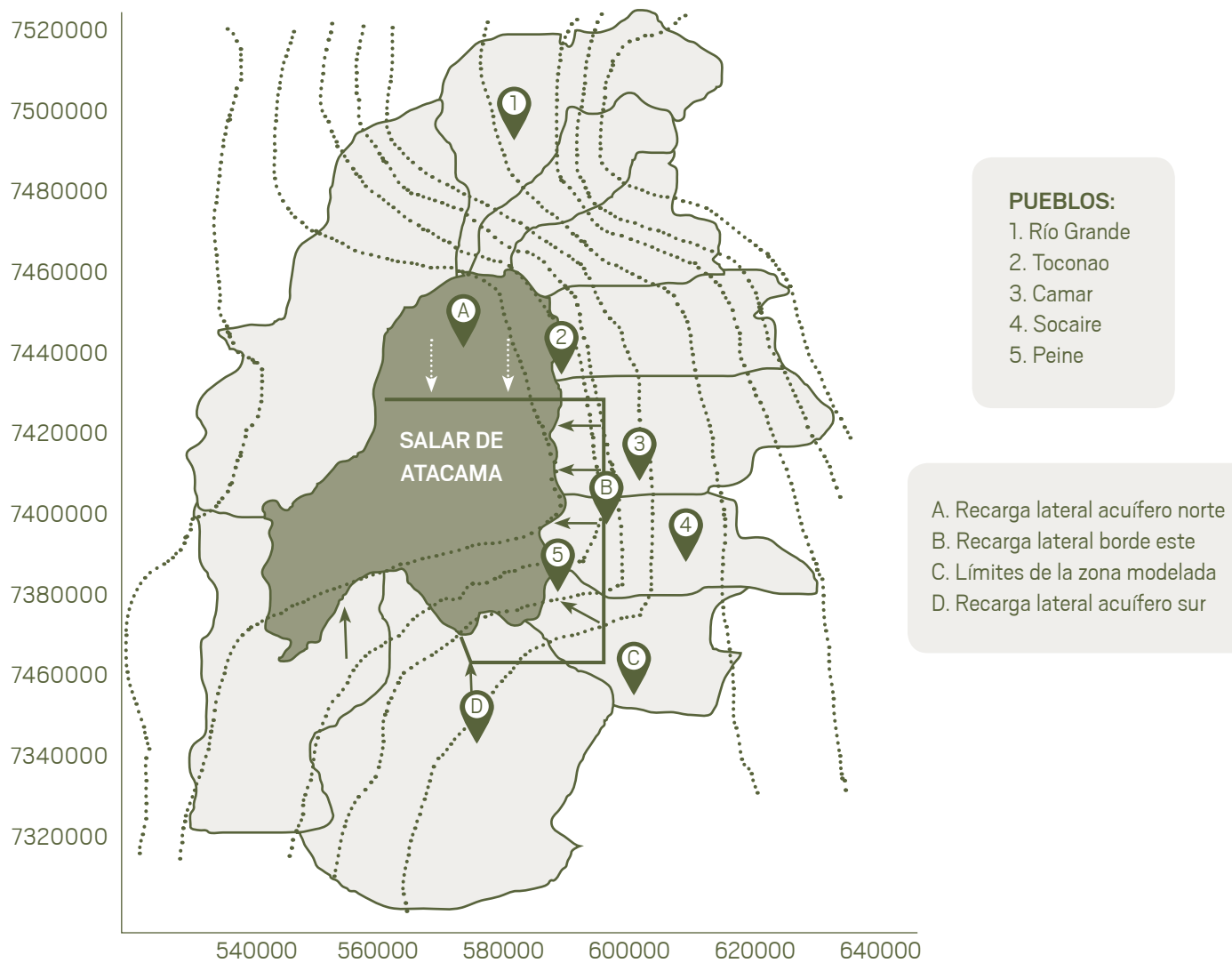


Figura 8. Modelo hidrogeológico del salar de Atacama, donde se muestran el funcionamiento de las aguas subterráneas. Imagen extraída de Muñoz et al. (2004)

3.4 Formación de humedales

La formación de humedales en cuencas asociadas a depresiones, como es el caso de las cuencas endorreicas (e.g. salares), se asocia directamente con la interacción con un nivel freáticos somero y flujos superficiales (Alegría et al., 2002). Esta interacción por lo general se produce en las zonas de descarga o márgenes de la cuenca cerrada. El acuífero que alimenta directamente a los humedales, dentro del contexto de los salares, se caracteriza por ser somero y por una recarga que deriva directamente de las precipitaciones. Según Alegría et al. (2000) este se denomina

“acuífero superior de salares” y corresponde a unidades granulares y extensas, con un espesor entre 10 y 40 m.

En el salar de Atacama, se han reconocido humedales en su margen oriental (Figura 9), principalmente en tres sectores: (a) Soncor; (b) Aguas de Quelena y (c) Peine. Estas lagunas son alimentadas principalmente por la escorrentía superficial que llega a través de pequeños drenes y en menor medida por afloramientos de agua subterránea.



Capacitaciones en terreno, visita sector Tilopozo

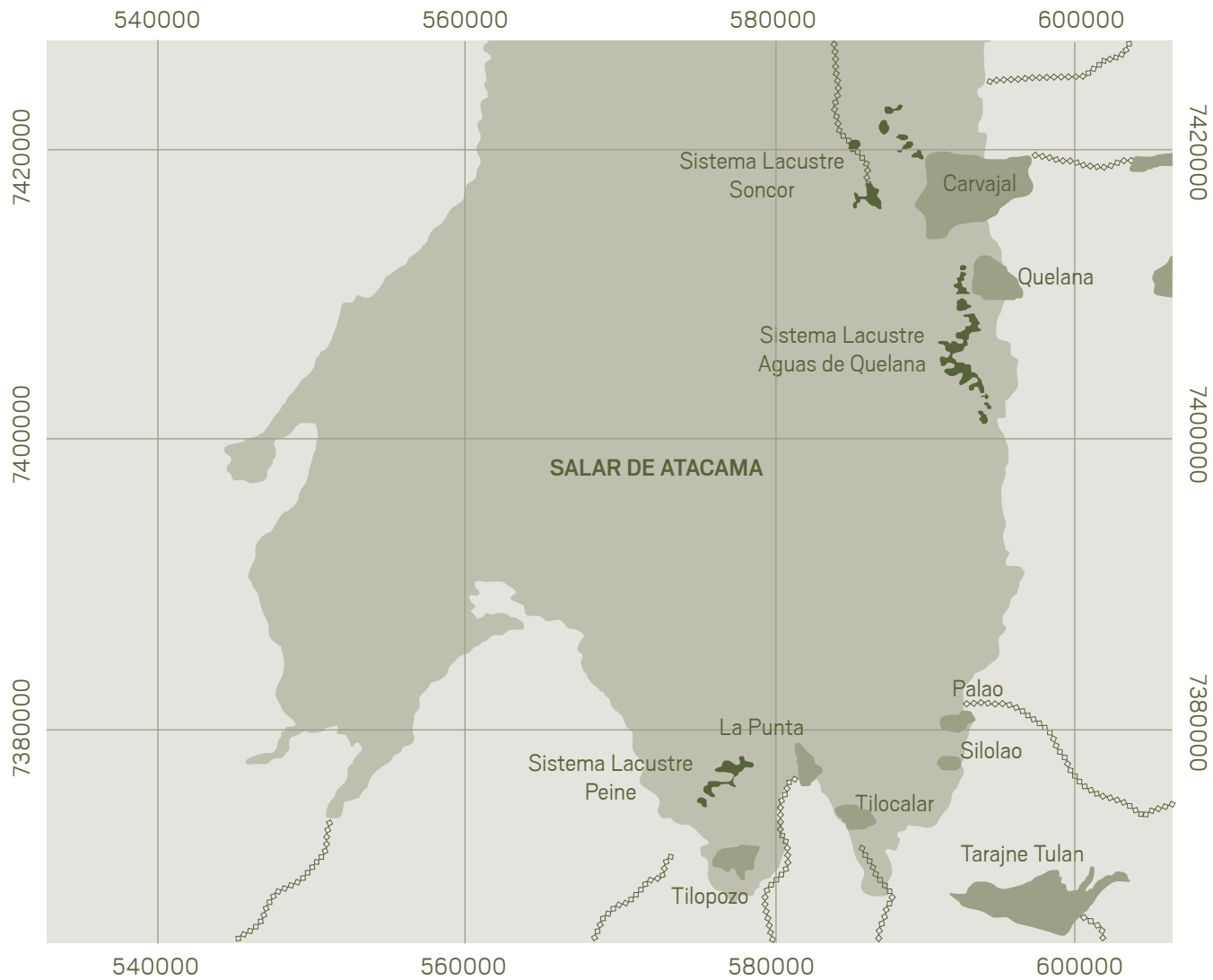


Figura 9. Sistema de humedales (lagunares) ubicados en el salar de Atacama. Imagen extraída de CPH Consultores Limitada, Hidrología e hidrogeología salar de Atacama.

4. Observación de los recursos hídricos

La observación y medición de los recursos hídricos es fundamental para cualquier mecanismo de gestión sustentable del recurso agua. Es decir, para llevar a cabo planes de manejo de recursos hídricos, tanto a nivel privado como público, es necesario saber la ubicación, cantidad, calidad y estudiar la evolución del recurso agua con respecto al cambio climático (Stewart, 2015).

4.1 ¿Qué se mide?

Según Davie (2002), para llevar a cabo un balance hidrológico¹ es necesario emplear la siguiente ecuación:

$$P + E + \Delta S + Q = 0$$

P = Precipitación (mm)

E = Evaporación (mm)

∇S = Almacenamiento

Q = Caudal ($m^3 s^{-1}$)

¹ El balance hidrológico es la representación matemática del ciclo hidrológico. En otras palabras, corresponde a la descripción cuantitativa, de los procesos hidrológicos que operan dentro de un margen de tiempo en el cual no hay pérdida de energía ni de masa (agua).



En función del diagrama anterior para llevar a cabo estudios relacionados a recursos hídricos es necesario efectuar mediciones de:

- a) Precipitaciones (lluvia y nieve)
- b) Evaporación (Evapotranspiración)
- c) Calcular almacenamiento
- d) Caudales.

Por su parte para analizar la calidad o dureza del agua es necesario llevar a cabo análisis de conductividad eléctrica.



Vista NorEste de salar de Atacama.

4.2 ¿Con qué se miden estas variables?

Los elementos que generalmente se emplean para registrar los datos hidrológicos están asociados a la instalación de estaciones meteorológicas. Este sistema de monitoreo permite registrar datos de precipitación (nieve y lluvia) y evaporación. Por su parte, la instalación de caudalímetros y construcciones de cementos en ríos, más el uso de trazadores químicos (para afloros), permiten obtener los datos de caudal de los sistemas de drenajes

principales. Mientras que, para llevar a cabo el monitoreo de los acuíferos es necesario elaborar un plan de ensayos de bombeo. Este último, se realiza a través de la perforación del subsuelo con la finalidad de construir un pozo. A partir de este, se pueden obtener datos de zonas de recarga, caudal, transmisividad, almacenamiento y grado de interconexión entre las capas de rocas.



PLUVIÓMETROS



PLUVIÓGRAFOS



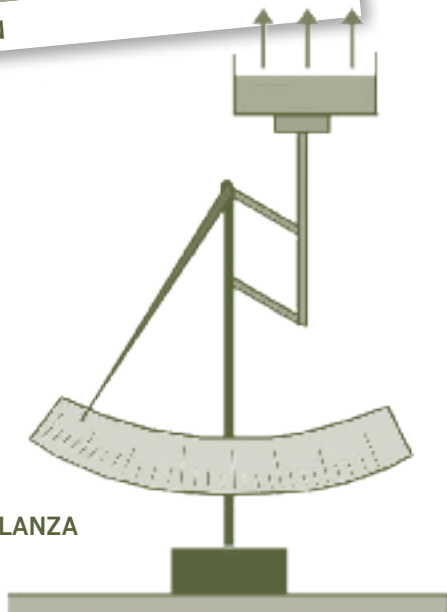
SNOW PILLOW



PLUVIÓMETRO ADAPTADOS PARA NIEVE



ESTANQUES DE EVAPORACIÓN



EVAPORIMETROS DE BALANZA

LISÍMETROS





POZO DONDE SE LLEVA A CABO EL ENSAYO DE BOMBEO



SONDAJE PARA LA CONSTRUCCIÓN DE POZO PARA LLEVAR A CABO EL BOMBEO

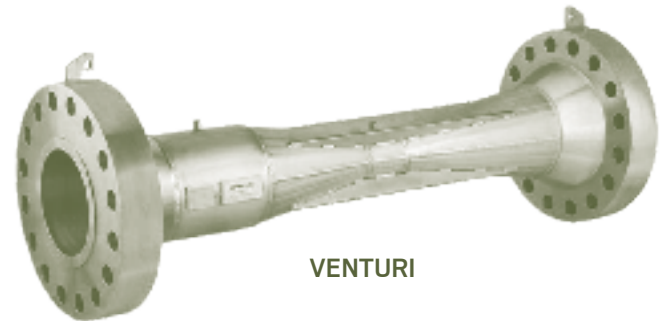
MOLINETE, PARA MEDIR CAUDALES EN CAUCES ABIERTOS



PERFILADOR ACÚSTICO DOPPLER



CAUDALÍMETRO



VENTURI



SENSOR DE CONDUCTIVIDAD
Y TEMPERATURA



MULTIPARÁMETRO

POZÓMETRO



4.3 Transmisión y sistemas de soporte

La base de datos meteorológica e hidrogeológica que podría ser recolectada, para el caso específico de la cuenca del salar de Atacama, podría ser transmitida a través de algún mecanismo de comunicación de telemetría hacia un servidor web encargado de almacenar, procesar y disponibilizar los datos.

En general el método de transmisión está relacionado primero que nada con la viabilidad técnica, y luego de los costos; de los equipos (inversión) y de las mensualidades (costos de operación).

Entre las opciones de extracción de datos de una estación meteorológica están:

a) Cables seriales (comunicación manual): este no es un medio de comunicaciones sino que la forma más básica de obtener los datos capturados por la estación y consiste en la visita física al lugar y extracción de datos mediante cable directo.

b) Módem GPRS/3G (comunicación a través del celular): En este caso se conecta un modem celular (2.5/3g) al datalogger de la estación meteorológica lo que permite que el dato lo envíe el modem directamente al servidor web vía internet. Esto significa que la latencia entre que los datos se producen hasta que están disponibles en la web es de menos de 5 minutos. Para implementarse necesita señal 3G celular de alguna compañía. Además el plan de datos es de aprox. 5000-8000CLP/mes. Si existe la factibilidad técnica este es el modo preferido de comunicaciones debido a que es relativamente barato y además el número de componentes involucrados es más bajo que las otras alternativas.

c) Modem GOES (Comunicación vía satelital): Cuando no existe factibilidad vía celular normalmente esta es una opción ya que desde cualquier parte de Chile continental se pueden enviar datos por este medio. Entre sus ventajas esta que la transmisión de datos en este caso es gratuita (para el CEAZA u otro centro científico que tenga convenio con ellos). Entre sus desventajas es que solo el modem cuesta entre 3-4MM\$CLP por lo tanto requiere una inversión alta, además solo se pueden enviar datos cada 1 hora y a veces existe intermitencia en el servicio.



Capacitaciones en terreno, instalación de una estación meteorológica

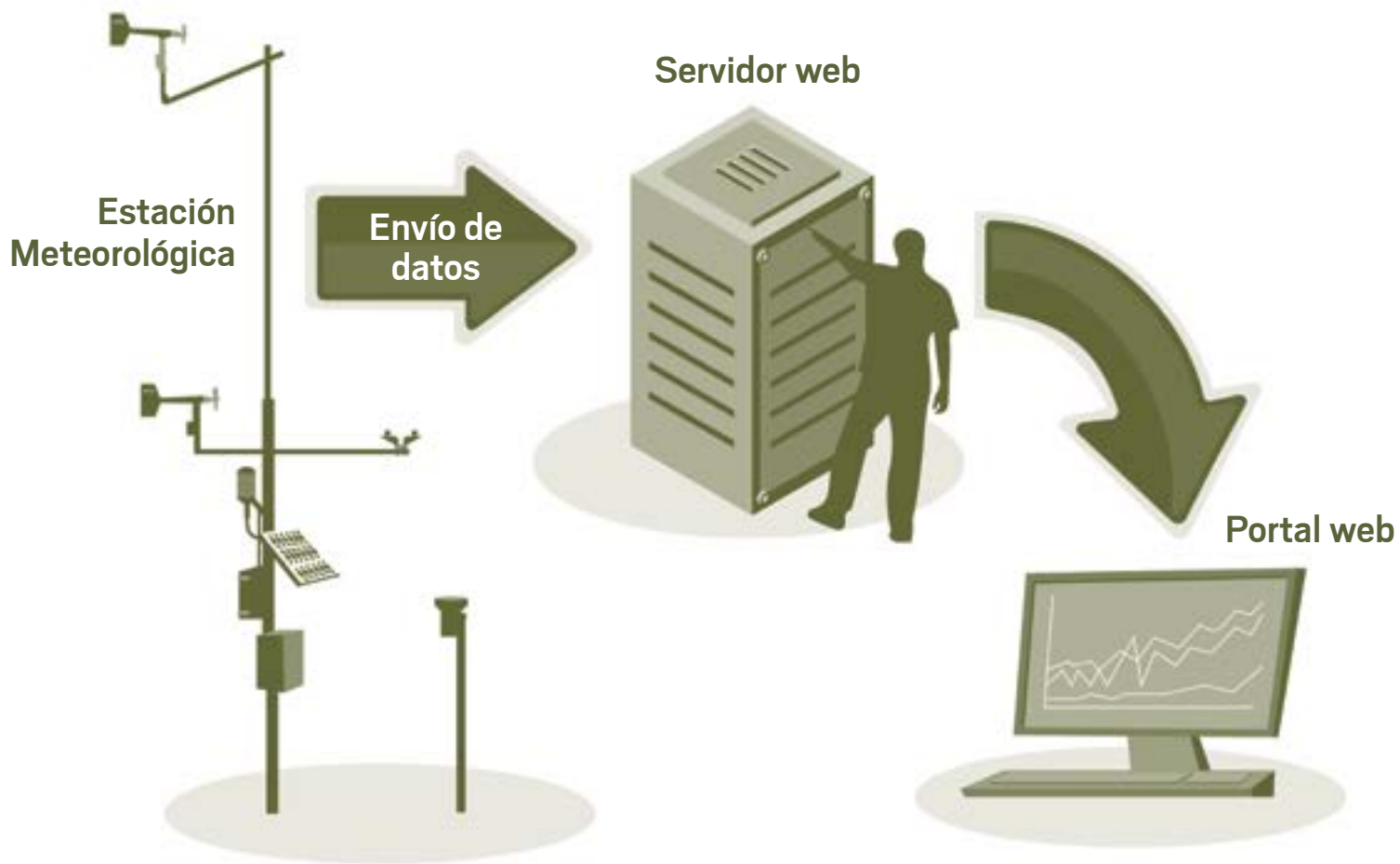


Figura 10: Problemática de la generación de datos en la estación meteorológica y envío de datos desde su datalogger hacia el servidor web para disponibilizar los datos en el portal web (CEAZAmet).

4.4 Herramienta para la toma de decisiones

En general dependiendo de la región del país existirán más o menos instituciones levantando datos y generando información o reportes con ellos. Para lograr un impacto con el uso de esta información, es necesario que se recopilen los datos desde plataformas de acceso disponibles y que se procesen y analicen por expertos de diferentes disciplinas que ayuden a la toma de decisiones.

Existen una multitud de datos satelitales gratuitos que permiten por ejemplo procesarlos para obtener curvas de área cubierta por nieve, esto además puede permitir analizar los flujos de los caudales futuros en el caso de las cuencas que almacenan nieve en invierno y entregan los máximos de caudales en verano.

Entre las plataformas de acceso a datos están:

Red CEAZAmet: Que es un sistema de administración de datos de monitoreo del CEAZA, cuando las estaciones meteorológicas envían los datos a su servidor quedan disponibles para todos los que accedan al sistema vía web. Cada uno de los sensores de cada estación se muestra en el sistema y permite la visualización en línea y en tiempo real de condiciones atmosféricas de un determinado lugar.

Datos DGA y DMC: La Dirección General de Aguas y la Dirección Meteorológica de Chile proveen los datos más antiguos de los ríos (caudales) y precipitación lo que permite obtener climatologías y hacer análisis de cambio climático por ejemplo.

Datos satelitales NOAA: Esta institución provee datos gratuitos de satélites como el MODIS, que brinda por ejemplo datos de nubosidad y nieve, lo que permite analizar los datos diarios de cobertura de nieve.

Entre los productos que ayudan a la toma de decisiones están:

Pronostico experto CEAZA: En este sistema además se proveen pronósticos personalizados a 5 días para la mayoría de las comunas de la Región de Coquimbo.

Boletín climático CEAZA: Aquí se analizan los pronósticos estacionales de precipitación y temperatura, el pronóstico del ENOS (El niño Oscilación Sur), así como el estado actual de los caudales y embalses y variabilidad climática.

Simulaciones meteorológicas CEAZA: El CEAZA diariamente corre el modelo WRF para la Región de Coquimbo lo que permite obtener pronósticos de eventos de precipitación horario hasta con 5 días de anticipación.

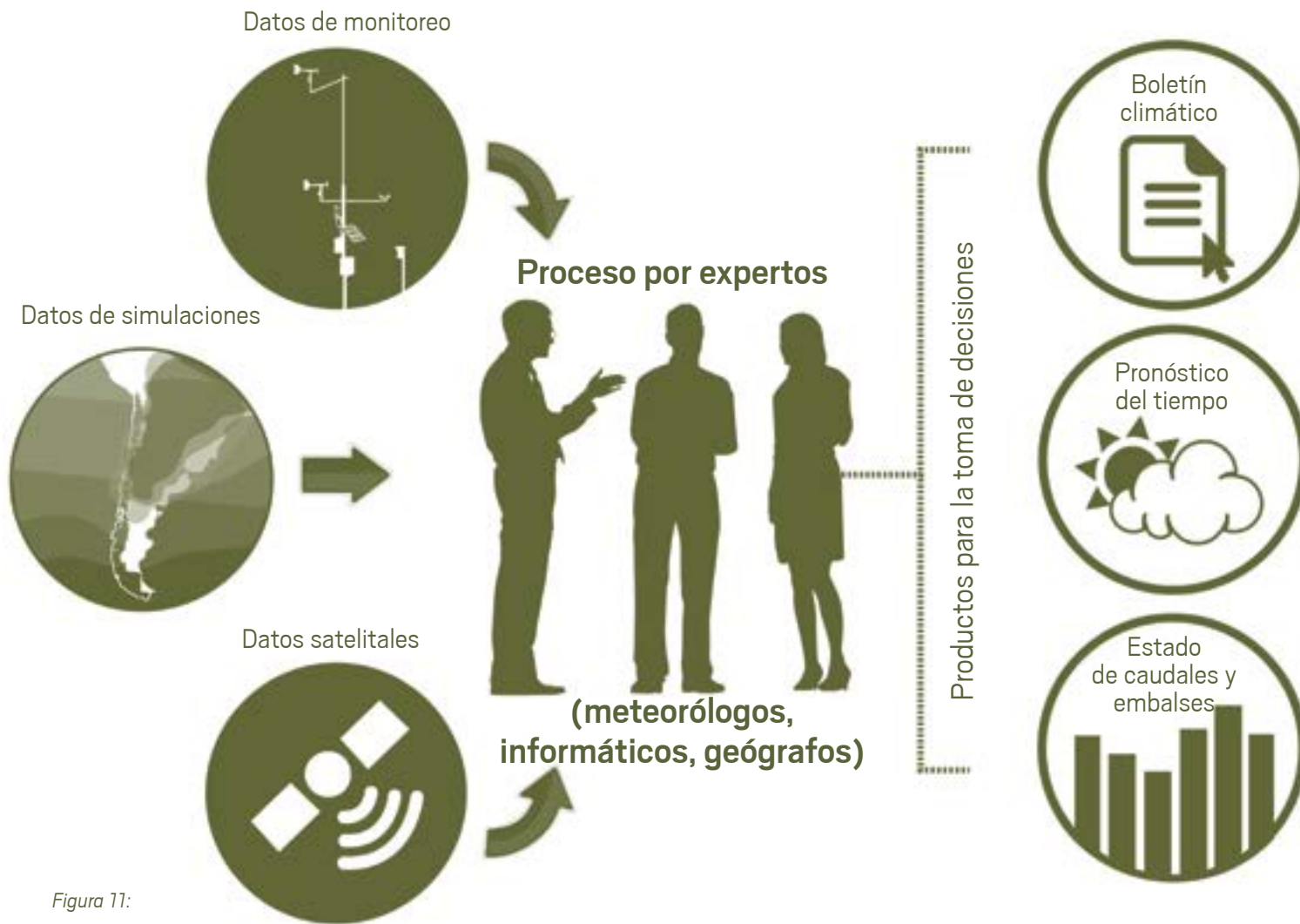


Figura 11:

Sabemos que las actividades humanas son el principal factor de distorsión del ciclo hidrológico, y, junto con las intervenciones antrópicas en los ecosistemas fluviales, son las principales responsables de la degradación del ecosistema. Si bien existen razones ambientales y climáticas para la escases o reducción del agua disponible en el mundo debido al denominado calentamiento global, una de las preocupaciones principales se centra en la forma en como los países planifican su desarrollo.

En vista que el deterioro del agua va en avance en las diferentes realidades del planeta, y que la vida misma depende de este elemento, existe consenso en dar un cambio en su administración para integrar la gestión del agua como un mecanismo fundamental para mantener los ecosistemas, y como eje de desarrollo sostenible de los territorios.

La Organización de Naciones Unidas, en este marco propone que “la erradicación de la pobreza en todas sus dimensiones es un requisito indispensable del desarrollo sostenible. Con tal fin, se debe promover un crecimiento económico sostenible, inclusivo y equitativo, que cree mayores oportunidades para todos, reduzca las desigualdades, eleve los niveles básicos de vida, propicie el desarrollo social equitativo y la inclusión, y promueva la gestión integrada y sostenible de los recursos y ecosistemas naturales.”

Es en esta dirección donde la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) toma especial relevancia considerando que la Global Water Partnership (GWP) la define como “un proceso que promueve el manejo y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales.”

En otras palabras, la GIRH significa que todos los usos del agua deben ser considerados de forma integrada para su administración, aprovechamiento y conservación, siendo la unidad lógica de gestión la cuenca hidrográfica. Lo anterior implica que la distribución del agua y las decisiones de gestión deben considerar los efectos de cada uno de los usos, sin desmedro entre ellos, buscando un equilibrio entre la extracción del agua del sistema hídrico, la alteración de la calidad del agua del sistema por descargas puntuales o difusas de aguas residuales y la búsqueda de soluciones conjuntas.

En Chile, existen escasos ejemplos de gestión integrada de recursos hídricos, y considerando las características y conflictos socioambientales de la cuenca del Salar de Atacama, resulta fundamental ‘gestionar’ este territorio a partir de lo que propone este instrumento de gestión territorial.

RESUMEN DE ELEMENTOS ESENCIALES PARA LA GESTIÓN DEL AGUA

MONITOREOS

1. Meteorológico
2. Hidrológico
3. Hidrogeológico
4. Hidroquímico



CARTOGRAFÍA TERRITORIO

1. Geológica
2. Geográfica: Vegetación, pendientes, demografía, usos del suelo y riesgos.

⋮

⋮

Base de datos integrada, post-proceso



MODELO CONCEPTUAL DE FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO

1. Identificación de procesos
2. Parametrización de leyes



MODELO NUMÉRICO



Necesidades usuarios y ecosistemas naturales



Balance y gestión del recurso
PREDICCIÓN

Después de de variadas instancias de trabajo y diálogo con la Comunidad de Peine, y otros actores del territorio, creemos que la generación de un Plan de Observación y Gestión Integrada del Agua a nivel comunitario es fundamental para la sostenibilidad del recurso hídrico y la biodiversidad a nivel local.

Es preciso que en conjunto, diferentes actores e instituciones público y privadas que tienen un grado de intervención y/o interés en el área del Salar de Atacama, generen consensos de manera inclusiva y construyan visiones de futuro en coherencia con los intereses de las comunidades locales.



Referencias

- Alegría Calvo, M. A., Torres, P., Liliana, V., Rojas García, M. F., & Lillo Zenteno, A. (2000). Protección de humedales (vegas y bofedales) en el norte de Chile.
- Astorga Espeleta, Yamileth et al (2013), Guía para la aplicación de la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH) a nivel municipal, Global Water Partnership, Centro América.
- CPH Consultores. Hidrología e hidrogeología salar de Atacama. (Informe no publicado). 252 p
- Davie, T. (2002). Fundamentals of Hydrology: Routledge Fundamental of Physical Geography.
- Del Solar, D., 2005. Modelación de la interacción entre el agua subterránea y lagunas en acuíferos con densidad variable. Magister en Ciencias de la Ingeniería Thesis, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- Dorsaz, J. M., Gironás, J., Escauriaza, C., & Rinaldo, A. (2013). The geomorphometry of endorheic drainage basins: implications for interpreting and modelling their evolution. *Earth Surface Processes and Landforms*, 38(15), 1881-1896.
- Fetter, C. W. (2001). *Applied Hydrogeology* (4 th). Supplemental website <http://www.appliedhydrogeology.info>. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 598.
- Harter, T. (2003). Basic concepts of groundwater hydrology. UCANR Publications.
- Kampf, S. K., & Tyler, S. W. (2006). Spatial characterization of land surface energy fluxes and uncertainty estimation at the Salar de Atacama, Northern Chile. *Advances in water resources*, 29(2), 336-354.
- Mardones L. 1986. Características geológicas e hidrogeológicas del Salar de Atacama. El litio, un nuevo recurso para Chile. Editorial Universitaria, Santiago de Chile.
- Meybeck, M., Green, P., & Vörösmarty, C. (2001). A new typology for mountains and other relief classes: an application to global continental water resources and population distribution. *Mountain Research and Development*, 21(1), 34-45.
- Muñoz-Pardo, J.F. Mardones-Perez, L, y Vidts-Sabelle, P. 2004. Funcionamiento hidrogeológico del acuífero del núcleo del salar de Atacama, Chile. *Ingeniería Hidráulica en México*, XIX (3), 69-81.
- Salas, J., Guimerà, J., Cornellà, O., Aravena, R., Guzmán, E., Tore, C., & Moreno, R. (2010). Hidrogeología del sistema lagunar del margen este del Salar de Atacama (Chile). *Boletín Geológico y Minero*, 121, 357-372.
- Tarback, E. J., Lutgens, F. K., Tasa, D., & Cientficias, A. T. (2005). *Ciencias de la Tierra*. Madrid: Pearson Educación.







 pdesarrollo.peine@gmail.com

 +56 9 76092452

 www.ceaza.cl

 [centrocientifico CEAZA](#)

 [@cienciaceaza](#)

