

# Los dilemas del Agua

Por su estructura de propiedad, la inequidad en su consumo, su creciente contaminación y su valor como fuente energética e insumo industrial, la gestión del agua ha presentado por años múltiples complejidades. Por eso, ante la pregunta sobre cómo lograr administrarla mejor, las respuestas se multiplican y no siempre apuntan a la solución del problema. Sin embargo, desde la ingeniería están surgiendo algunas propuestas de valor.

**En Chile ya es usual que, cada cierto tiempo, el agua, en cualquiera de sus manifestaciones, acapare grandes espacios en la prensa.** Sin embargo, no siempre lo hace con buenas noticias. La última de ellas, un aluvión ocurrido en septiembre en la quebrada de Ñilhue que arrasó con casas y terminó con dos víctimas fatales en el camino a Farellones, da cuenta de un país que, pese a su incipiente desarrollo económico, aún tiene mucho por resolver en todos los ámbitos de gestión de sus recursos hídricos. Temas como la estructura de propiedad del agua, la necesidad de usarla en forma eficiente y el excesivo consumo de este bien en su condición de fuente energética, insumo industrial y agrícola, forman parte de las numerosas aristas en torno a un elemento considerado como cada vez más valioso.

"El agua es un bien económico sumamente importante porque es un factor de producción de una serie de elementos fundamentales", dice Ernesto Brown, Profesor Titular de la División Recursos Hídricos y Medio Ambiente del Departamento de Ingeniería Civil de la FCFM. Autor de una serie de publicaciones sobre el tema y con más de 40 años de experiencia en el campo de la Ingeniería Hidráulica, Brown ha sido testigo de cómo la visión de los recursos hídricos ha cambiado a través de los años. "El último gran cambio fue en 1981, cuando se dictó el actual Código de Aguas de Chile durante el gobierno militar. Es a partir de esa normativa que están dadas las condiciones en que se gestiona el agua en nuestro país", explica el ex presidente y actual Director Honorario de la Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica (Sochid).





Este marco regulatorio, complementado por la Ley de Bases del Medio Ambiente en 2004 y que actualmente es objeto de una reforma constitucional en el Congreso, separa la propiedad del agua del dominio de la tierra, establece que los derechos de agua son gratuitos y a perpetuidad y, además, da la posibilidad de acceder y distribuir el recurso a través de un mercado de aguas. Una condición que, según explica Brown, "permite que los recursos hídricos sean vendidos, arrendados o hipotecados como cualquier otro bien". De acuerdo con datos del Programa Chile Sustentable, la propiedad de derechos de agua en Chile pertenece en un 83% a privados –entre los que se cuentan generadoras hidroeléctricas y empresas sanitarias– y en un 17% a instituciones fiscales. Además, la demanda por recursos hídricos es liderada

por la actividad agrícola con más de un 89%, seguida por el uso doméstico, con un 5,5%, y minero-industrial, con un 5,3%.

En este contexto, muchos critican que el actual esquema de derechos de agua ha traído consecuencias negativas como acceso desigual, problemas de contaminación y altos precios por su consumo. Problemas a los que apunta la discusión por el tema de los llamados derechos de aprovechamiento consuntivo y no consuntivo de los recursos hídricos. Mientras en el primer caso el titular usa el agua y no la devuelve –tal como ocurre en actividades como el riego–, en el segundo caso, los derechos no consuntivos permiten al propietario usar el agua y restituirla a su fuente. Precisamente este último es el caso de las empresas de generación hidroeléctrica,

que además de registrar una alta concentración de propiedad de derechos de agua, son también protagonistas de polémicas medioambientales que, según Ernesto Brown, podrían ser zanjadas de manera más racional. "Hoy pueden pedirse derechos de agua para desarrollar un proyecto incluso en un santuario natural", advierte el ingeniero hidráulico aludiendo al Código de Aguas de 1981. "Sin embargo, antes de tomar una decisión de este tipo, ¿no sería más razonable que se legislara si determinado territorio debiera ser declarado como Parque Nacional para así proteger su ecosistema para futuras generaciones?". Con este planteamiento, Ernesto Brown alude a la ley de Preservación Histórica Nacional estadounidense, que fue promulgada en 1966 con el fin de proteger una serie de parques nacionales y otros lugares



históricos del país "ante la construcción de nuevos centros urbanos, carreteras y el desarrollo de proyectos inmobiliarios, comerciales e industriales", afirma.

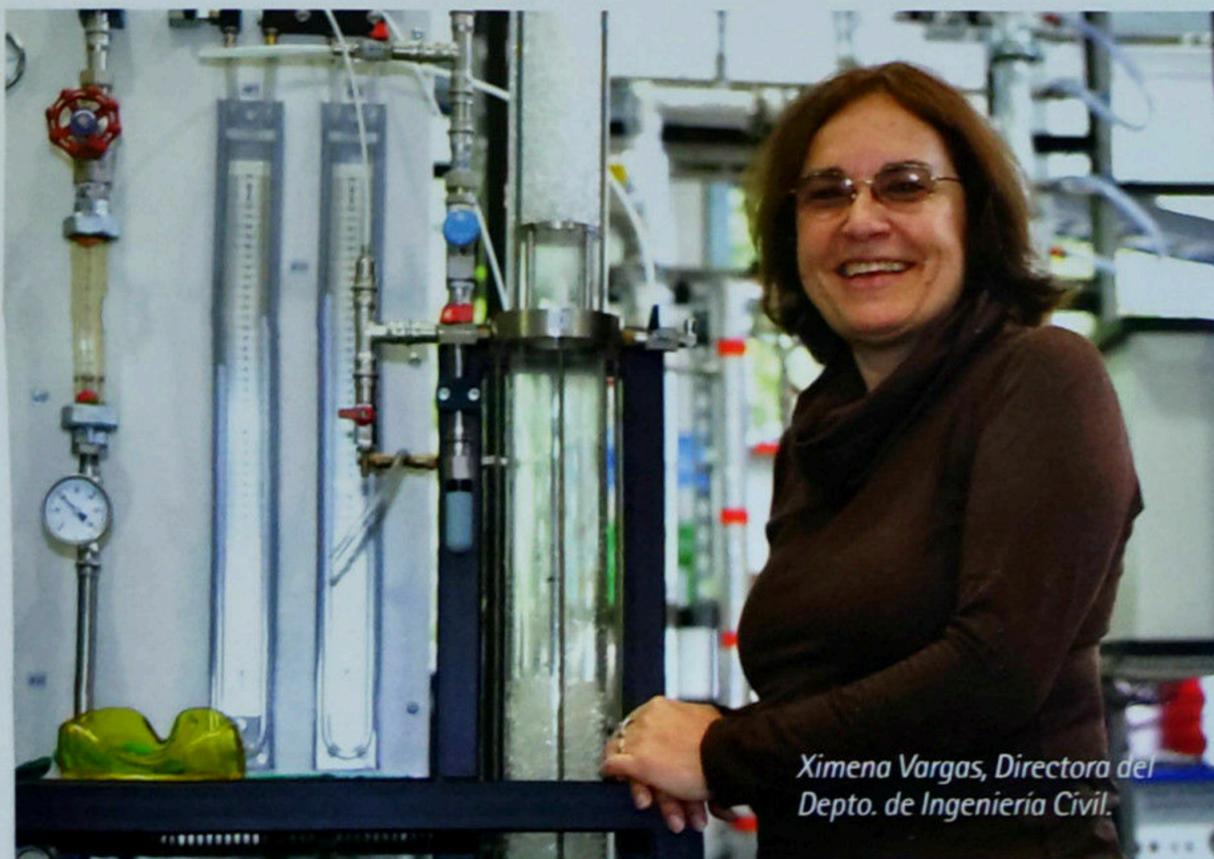
Desde la FCFM, las respuestas apuntan, en primer lugar, a la eficiencia. "Nosotros, como Facultad, no estamos por la nacionalización del agua sino que más bien por entregar al Estado mayores atribuciones para gestionarla mejor", dice la Directora del Departamento de Ingeniería Civil, Ximena Vargas. Según la académica, aunque la privatización del agua tiene beneficios, también tiene desventajas en

cuanto a que "algunos usos del recurso que no están siendo adecuadamente velados", explica. Pero más allá de este alcance que, según la académica es materia que compete a los abogados, desde su propio ámbito de acción se atreve a asumir responsabilidades.

"Tal vez como país no le estamos dando tanta relevancia al agua", reconoce. Y en este sentido, destaca el hecho de que en Chile no se esté haciendo algo concreto para disminuir las eventuales consecuencias del cambio climático sobre el recurso hídrico. "Le echamos la culpa al calentamiento global, en circunstancias que

estamos fallando en la implementación de un adecuado control y seguimiento. Hoy no es mucho lo que podemos hacer con nuestros pronósticos a futuro si no mantenemos mediciones constantes en el tiempo", aclara.

Una fuerte autocrítica que también revela el compromiso de Beauchef con el desarrollo del agua como tema país y que se remonta a los primeros proyectos de centrales hidroeléctricas en los que la entonces estatal Endesa y el Ministerio de Obras Públicas (MOP) pedían la asesoría del Departamento de Ingeniería Civil de la FCFM. Hoy, aunque en circunstancias diferentes, el trabajo de la Facultad continúa a través de dos líneas de acción. La primera, representada por un creciente trabajo interdisciplinario al interior de la propia FCFM y, la segunda, desarrollada a través de iniciativas de investigación entre las que destacan tres



Ximena Vargas, Directora del Depto. de Ingeniería Civil.

"Nosotros, como Facultad, no estamos por la nacionalización del agua sino que más bien por entregar al Estado mayores atribuciones para gestionarla mejor".

proyectos Fondecyt, uno de la serie Anillos de Ciencia y Tecnología (ACT) financiado por el Programa Bicentenario de Ciencia y Tecnología de Conicyt, asesorías para el área pública y estudios para empresas privadas.

En lo que se refiere a la primera línea, destaca el protagonismo de los departamentos de Geología, Geofísica, Ingeniería Civil, Ingeniería Química y Biotecnología, que recientemente se adjudicaron una propuesta presentada al concurso Construyendo Puentes Interdisciplinarios (CPI) para desarrollar el proyecto "Hidrología, Hidrogeología e Hidrogeoquímica y sus aplicaciones", también conocido como "Hidro +3". Como parte de este proyecto la FCFM financiará la contratación de tres académicos que potenciarán el estudio de las tres fases no biológicas del ciclo hidrológico. "Esta iniciativa es relevante porque agua y medio ambiente se relacionan con otras áreas, aparte de la biología, y que incluyen a la ecología, la física, la química, la ingeniería y las ciencias de la tierra", dice el académico de la División Recursos Hídricos y Medio Ambiente, Marcelo Olivares, quien también destaca los trabajos de colaboración de su área con los recientemente inaugurados centros de Tecnología para la Minería y de Energía, al interior de la FCFM. Iniciativas que, según explica el investigador, buscan respuestas en torno al uso sustentable del agua en la industria minera y a la forma en que las energías renovables no convencionales se relacionan con los sistemas de recursos hídricos.

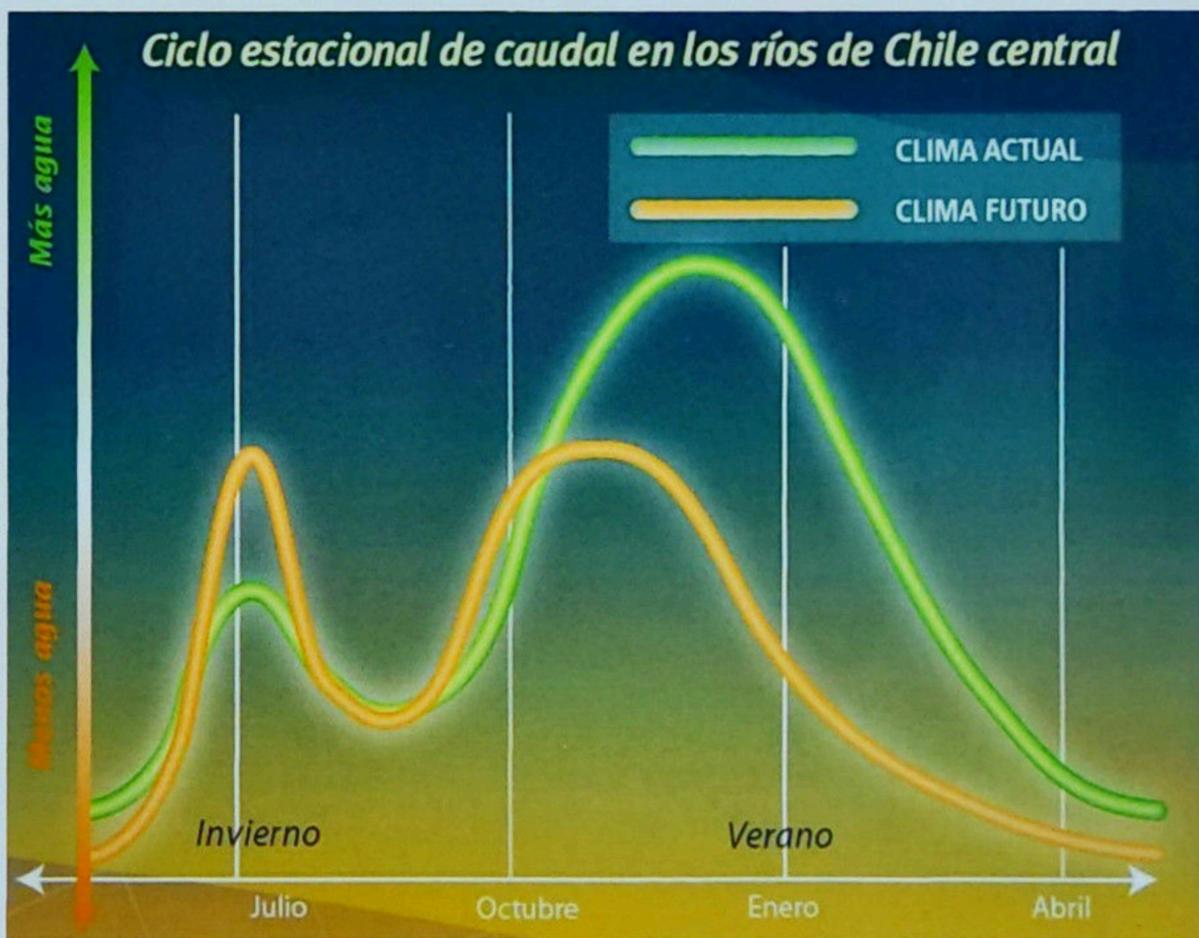
### MIRANDO HACIA EL FUTURO

Pero el trabajo interdisciplinario también rinde sus frutos más allá de Beauchef. Así lo demuestra una serie de proyectos de investigación emprendidos en la FCFM entre los que destacan el proyecto Fondecyt realizado en conjunto con la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Austral y que es descrito por el académico de la División Recursos Hídricos y Medio Ambiente, James McPhee, como el que "ha generado resultados más definitivos en su área".

Según McPhee, los positivos resultados de esta investigación obedecen a que se ha logrado demostrar que, en términos de producción de agua, existen diferencias importantes entre lo que ocurre en cuencas cubiertas con bosque nativo y en cuencas cubiertas con plantaciones forestales exóticas. El académico de la FCFM precisa que "incluso se sugiere que la explotación comercial racional del bosque nativo puede ser



El equipo de James McPhee midiendo el manto de nieve sobre el glaciar Juncal Norte en octubre de 2008.



El cambio climático no sólo traerá menos lluvia sino que también acelerará los deshielos, con ríos más caudalosos en invierno que en verano.

compatible con el manejo hidrológico de las cuencas". Sin embargo, McPhee advierte que "el reemplazo de bosque nativo con plantaciones forestales exóticas podría tener efectos negativos, tales como la disecación de pequeños cauces en época estival.

Otro proyecto destacado por el académico es la investigación sobre recarga artificial del acuífero Maipo-Mapocho que la División Recursos Hídricos y Medio Ambiente está desarrollando para la Sociedad del Canal de Maipo. Un proyecto de un año de duración en el que se busca



Profesores James McPhee, Marcelo Olivares y Yarko Niño.

proponer y evaluar tanto alternativas técnicas como normativas para aprovechar las aguas del río Maipo durante períodos de superávit inyectándolas en el subsuelo para después poder utilizarlas en períodos de escasez. "Este proyecto es de gran relevancia para aumentar la sustentabilidad del uso del agua en la cuenca de Santiago", dice James McPhee.

Sobre esta iniciativa, Marcelo Olivares destaca que además de las ventajas de almacenar agua en un acuífero para períodos de escasez de recursos superficiales, el valor de este proyecto radica en que permite explicitar una posible forma de acción conjunta entre agua superficial y agua subterránea. "Se suele hacer gestión de ambas en forma separada en circunstancias que, físicamente, existe interacción entre aguas superficiales y subterráneas en una cuenca", explica Olivares.

## EL VALOR DE RÍOS Y LAGOS

Sobre contaminación de aguas en Chile, uno de los académicos de la FCFM que tiene mucho que decir es Yarko Niño. El profesor de la División Recursos Hídricos y Medio Ambiente y especialista en mecánica de fluidos ambiental y sus implicancias en el medio ambiente subraya que en Chile hay ríos que ya están demasiado contaminados, por lo que ahora la normativa

es mucho más estricta que hace décadas atrás. "Por ley, cada ciudad de Chile tiene una planta de tratamiento de aguas servidas, por lo tanto, la situación ha ido mejorando paulatinamente", explica. Sin embargo, aún quedan aspectos que son difíciles de regular en contaminación de aguas, por lo que su conocimiento es requerido continuamente por parte de instituciones privadas y públicas.

Un ejemplo de ello es la investigación que hace algunos meses Niño realizó para la Dirección General de Aguas (DGA), con el fin de determinar en qué condiciones se pueden realizar descargas en las desembocaduras de los ríos para incluirla en la Norma de Descargas a Aguas Marinas y Continentales Superficiales (decreto supremo 90, ley de medio ambiente). "Cuando hay marea alta el agua de mar tiende a entrar en el río y lo contrario ocurre cuando hay marea baja. Además, como el agua salada es relativamente más pesada que el agua dulce, ésta se localiza por encima, situación que puede darse a lo largo de varios kilómetros de extensión", explica el académico. Conclusiones como ésta, avaladas por observaciones en terreno junto a sus estudiantes, fueron precisamente las que permitieron a la DGA dictar ciertas normas que, en el mediano plazo, constituirán una ley que va a regular todas las descargas de residuos en estuarios.

"Actualmente se habla mucho de los glaciares como el recurso del futuro, pero nos estamos quedando atrás en el conocimiento sobre la nieve, en circunstancias que es un elemento que ya estamos consumiendo hoy, como producto de los deshielos".

Para el Profesor Yarko Niño este tipo de aportes de la FCFM a las políticas públicas no sería posible si no hubiera un esfuerzo por analizar el agua y su entorno más allá del punto de vista biológico. "En el caso de los lagos, cuando éstos reciben descargas hídricas con un alto contenido de materias orgánicas surgen preguntas respecto de cómo esa agua se mezclará con el resto del lago", precisa. "Para conocer eso, el punto de partida es saber cómo se mueve el agua en la naturaleza", dice el académico, quien recuerda que cuando recién se iniciaba en este tema, hace algunos años, en Chile aún no había investigadores dedicados a buscar respuestas sobre el comportamiento de lagos, a través de la hidrodinámica, la física y la mecánica de fluidos.

Las mismas circunstancias rodean hoy al estudio de la nieve y los glaciares, dice la directora del Departamento de Ingeniería Civil. "Actualmente se habla mucho de los glaciares como el recurso del futuro, pero nos estamos quedando atrás en el conocimiento sobre la nieve, en circunstancias que es un elemento que ya estamos consumiendo hoy, como producto de los deshielos", dice Ximena Vargas. La académica advierte sobre la gravedad de que en Chile no sepamos con exactitud cuál es la cantidad de nieve que tenemos acumulada en la cordillera año a año (ver recuadro). "Sólo tenemos estimaciones y suponemos que en las partes más altas las variaciones de precipitación son similares a las de las partes más bajas, en circunstancias que eso puede ser falso", agrega.

El Director del Departamento de Geofísica de la FCFM y experto en meteorología, René Garreaud, concuerda con esta opinión. "Lamentablemente,

## Hoja en Blanco

Aunque medir nieve y glaciares no es tarea fácil, un equipo liderado por el profesor James McPhee del Departamento de Ingeniería Civil, ha retomado esta línea de investigación, que fue desarrollada en la Universidad de Chile en la década de los 70 por los profesores Basilio Espildora y Ludwig Stowhas. "Las mediciones de nieve y glaciares constituyen una clave para entender mejor el ciclo hidrológico", dice McPhee, quien agrega que la mayor parte del agua utilizada en la zona Central de Chile, tanto para consumo humano como para riego agrícola y generación hidroeléctrica proviene precisamente del derretimiento del manto de nieve estacional y de glaciares. "Mientras mejor sea nuestro conocimiento de estos procesos, mejor preparados podremos estar para enfrentar periodos de escasez de recursos; debemos retomar el trabajo que se hizo en el pasado en Chile, y que luego por diversas razones se discontinuó. Hoy contamos con nuevas tecnologías y herramientas que nos permitirán mejorar sustancialmente nuestro entendimiento", agrega.

El equipo del investigador, integrado entre otros por el ingeniero civil y Magíster en Recursos Hídricos y Medio Ambiente de la FCFM, Mauricio Cartes, suma dos iniciativas en terreno. La primera, realizada en

2008, consistió en una acción conjunta con la Dirección General de Aguas (DGA), para evaluar la oferta de agua disponible en la zona alta de la cuenca del río Aconcagua. La segunda, que comenzó a desarrollarse a mediados de 2009, es un proyecto Fondecyt que busca medir la condición inicial de derretimiento del manto de nieve en una cuenca pequeña de los Andes Centrales y hacer un seguimiento de la evolución de los caudales en conjunto con la evolución de la cobertura de nieve, explica James McPhee.

En este sentido, Mauricio Cartes advierte que la dificultad más grande para avanzar en la investigación "es que no conocemos en detalle el comportamiento de nuestra cordillera porque si bien podemos identificar cuáles son las variables que afectan el manto de nieve, no sabemos aún cuál de ellas es la principal ni cómo éstas interactúan entre sí". A pesar de esta falencia, el investigador reconoce la importancia de este tipo de campañas para poder evaluar los eventuales impactos del cambio climático, pues el aumento de la temperatura traerá consigo cambios en la distribución anual de los recursos hídricos y, por lo tanto, será necesario poner en marcha acciones de adaptación a este nuevo escenario.

la cobertura de observaciones en la cordillera de los Andes es relativamente pobre", dice el académico. "Sin embargo, a través de investigaciones realizadas en la Sección Meteorología de esta unidad de la Facultad hemos contribuido a mejorar el conocimiento respecto del impacto que tiene la cordillera de la zona central y centro sur del país en la modificación de los sistemas de precipitación", destaca tras citar un proyecto Fondecyt realizado hace algunos años mediante el cual se analizó cómo cambiaba la precipitación a diferentes alturas, a través de modelos numéricos elaborados con el fin de realizar pronósticos y entender procesos.

También destaca los resultados del proyecto ACT-19 financiado por el Programa Bicentenario de Ciencia y Tecnología de Conicyt sobre variabilidad climática en Chile y en el que, después de tres años de estudio, se llegó a conclusiones como que, a largo plazo, el cambio climático no sólo traerá menos lluvia sino que también acelerará los deshielos, con ríos más caudalosos en invierno que en verano. "En el sur de Chile, donde las precipitaciones son altas todo el año, se ve una tendencia mucho más clara a la disminución de las lluvias", dice el experto en meteorología, quien agrega que en el norte algunos modelos indican que las precipitaciones podrían aumentar en el Altiplano y que, "con el aumento de temperatura, el agua que habitualmente cae en forma de nieve caerá como lluvia".

Bajo estas nuevas condiciones surge de nuevo la pregunta sobre si será posible que el país empiece a gestionar mejor sus recursos hídricos. Para el académico Marcelo Olivares "este escenario es posible", aunque aclara que "para gestionar bien un sistema de recursos hídricos tenemos que entender cómo será su comportamiento bajo diversos escenarios de manejo y con qué tipo de información será relevante contar". La buena noticia, quizás, es que por muchas ineficiencias que haya en su uso, el planeta Tierra seguirá contando con la misma cantidad de recursos hídricos porque, tal como aclara Ernesto Brown, "el agua que se desperdicia no desaparece sino que sólo se evapora y viaja a otro lugar como humedad en el aire o como hielo en los polos". Lo importante, entonces, será que siga fluyendo. 

Texto: Daniela Cid M.



James McPhee y Mauricio Cartes, realizando un muestreo del manto de nieve en la cuenca Ojos de Agua.