



Universidad de Concepción

Serie Comunicacional CRHIAM

PATRIMONIO HÍDRICO DE LA REGIÓN DEL BIOBÍO



CRHIAM

CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA LA AGRICULTURA Y LA MINERÍA

ANID/FONDAP/15130015

ANID/FONDAP/1523A0001

Serie Comunicacional CRHIAM
PATRIMONIO HÍDRICO DE LA REGIÓN
DEL BIOBÍO

ISSN:

Versión impresa ISSN 0718-6460

Versión en línea ISSN 0719-3009

Autor:

Andrés Esparza Vidal

Editores:

Gladys Vidal, Ricardo Barra, Amaya Álvez,
Ricardo Figueroa, Roberto Ponce,
Sujey Hormazábal, Belén Bascur y
Robinson Torres

Diseño editorial:

Okey Comunicaciones

Impresión:

Trama Impresores S.A.

Agradecimientos:

Centro de Recursos Hídricos
para la Agricultura y la Minería
(CRHIAM)

ANID/FONDAP/15130015

ANID/FONDAP/1523A0001

Victoria 1295, Barrio Universitario,
Concepción, Chile

Teléfono +56-41-2661570

www.crhiam.cl





Universidad de Concepción

Serie Comunicacional CRHIAM

PATRIMONIO HÍDRICO DE LA REGIÓN DEL BIOBÍO



CRHIAM

CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA LA AGRICULTURA Y LA MINERÍA

ANID/FONDAP/15130015
ANID/FONDAP/1523A0001

ÍNDICE

RESUMEN	3
INTRODUCCIÓN	4
CAPÍTULO 1: AGUA COMO PATRIMONIO DE LA NATURALEZA	6
Agua: fuente de vida	7
Geografía del agua	9
Ciclo del agua	10
Cambio climático y su efecto en el ciclo del agua	13
CAPÍTULO 2: AGUA COMO PATRIMONIO CULTURAL	15
Agua como agente evolutivo de la humanidad	16
El agua y la evolución humana	16
El agua en la historia	18
Culturas prehispánicas	24
Pueblos originarios: los primeros usuarios del agua en Chile	27
CAPÍTULO 3: HIDROGRAFÍA DE LA REGIÓN DEL BIOBÍO	32
Cuenca del río Biobío	34
Cuencas costeras de la Región del Biobío	35
Cuenca del río Carampangue	37
Cuenca del río Lebu	37
Cuenca del río Paicaví	37
Cuenca del río Tirúa	38
Efectos del cambio climático sobre las principales cuencas de Chile	38
Impactos del cambio climático sobre la hidrología de la Región del Biobío	40
Proyecciones sobre el futuro hídrico de la Región del Biobío	42
CAPÍTULO 4: EVOLUCIÓN DEL USO DE LAS AGUAS EN LA REGIÓN DEL BIOBÍO	44
Antecedentes históricos	45
Influencia del desarrollo económico regional en el uso del agua	45
Las aguas en territorio mapuche	46
¿Cómo se utiliza el agua y de qué infraestructura se dispone en la región actualmente?	47
Agua potable y sistemas de saneamiento ¿cómo avanza la reducción de la brecha regional?	49
Cambio climático y seguridad hídrica: abordando el desafío en el Biobío	51
Estrategia hídrica regional	51
CAPÍTULO 5: COMENTARIOS FINALES	57
CAPÍTULO 6: REFERENCIAS	59

RESUMEN

El agua ha determinado la evolución de la vida en nuestro planeta, donde el ser humano no ha estado exento de este proceso. En este viaje, la humanidad pasó de ser un ente que deambulaba por el territorio en busca de condiciones ambientales favorables, a establecerse en comunidades, modificándolo para su confort. Pese a la diversidad de territorios y climas, siempre hubo un factor común para el asentamiento y la presencia de fuentes de agua. Aquí surge el concepto de patrimonio hídrico, refiriéndose a los recursos hídricos de un determinado territorio y a las obras para utilizarlos en el tiempo. En el caso de la Región del Biobío, este patrimonio está marcado por la cuenca que le da su nombre y que abarca el 73% de su superficie, el río Biobío. En esta cuenca, se asentó la mayor parte de las personas, los que conforme evolucionó la sociedad generaron obras, principalmente, para fomentar el riego a gran escala y para la generación hidroeléctrica. Debido al contexto de cambio climático en que se encuentra el planeta, las precipitaciones en la región se han visto reducidas, poniendo urgencia a la necesidad de hacer una gestión más eficiente de su patrimonio hídrico.



INTRODUCCIÓN

El patrimonio, en su sentido amplio, es un conjunto determinado de bienes tangibles, intangibles y naturales que forman parte de prácticas sociales, a los que se les atribuyen valores para ser transmitidos, de una época a otra, o de una generación a las siguientes. Entonces, el concepto de “patrimonio hídrico”, podemos utilizarlo para referirnos a los recursos hídricos existentes en un determinado territorio, ya sean de naturaleza superficial o subterránea, y además, a las obras construidas para su aprovechamiento. Otorgando un contexto para el desarrollo social y cultural de los diversos asentamientos humanos, que se han establecido y evolucionado, por generaciones, en dicho entorno.

En el caso de Chile, su patrimonio hídrico natural consta de 101 cuencas hidrográficas cuyas aguas superficiales y subterráneas están distribuidas en 756.102 km² de extensión. Éstas, permitieron el asentamiento de pueblos originarios a lo largo del territorio continental e insular y que conforme la sociedad fue evolucionando, determinaron la división político – administrativa que conocemos actualmente, que divide al país en 16 regiones, 56 provincias y 346 comunas.

Este patrimonio, se ha visto severamente afectado durante la última década debido a una drástica disminución en las precipitaciones. Este déficit de recursos hídricos, afecta a la población, los ecosistemas y el desarrollo socioeconómico del país.

La Región del Biobío, posee una de las cuencas más extensas del país, cuyo río le da el nombre a este territorio, con 24.029 km² de superficie y una longitud de 380 km. Este curso de agua, atraviesa la región de este a oeste, desde sus orígenes en la cordillera de los Andes, en Región de La Araucanía, para desembocar en el océano Pacífico, en la provincia de Concepción.

Lamentablemente, esta región no ha estado exenta de la realidad hídrica que está atravesando el país, de hecho, las precipitaciones se redujeron en torno al 50% en la última década (DGA Biobío, 2022), provocando

una fuerte disminución del agua disponible en las fuentes naturales, lo que se ha traducido en problemas de abastecimiento, principalmente en sectores rurales, afectando tanto el acceso para el consumo humano como para las actividades agrícolas.

Ante tan compleja situación, investigadores especializados en diversas materias relacionadas con el agua y su gestión, forman el Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM), cuyo equipo es liderado, desde la Región del Biobío, por la Universidad de Concepción en asociación con la Universidad de La Frontera y la Universidad del Desarrollo. Actualmente, CRHIAM está enfocando sus esfuerzos en la “Seguridad Hídrica”, entendida como la “capacidad de una población para resguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable para el sustento, bienestar y desarrollo socioeconómico sostenibles; para asegurar la protección contra la contaminación transmitida por el agua y los desastres relacionados con ella, y para preservar los ecosistemas, en un clima de paz y estabilidad política” (ONU-Agua, 2013).

Dentro de los objetivos de CRHIAM está: desarrollar investigación científica de clase mundial en el ámbito de los recursos hídricos, formar capital humano especializado en esta materia, crear redes con el sector público y privado, a nivel nacional e internacional; y contribuir a una mejor gestión del agua mediante comunicación y difusión de evidencia científica que aporte a las políticas públicas y al conocimiento de la sociedad.

Con este espíritu, ponemos a disposición de la comunidad esta edición especial, para resaltar algunos aspectos relevantes del patrimonio hídrico de la Región del Biobío, de cómo éste se ha visto afectado por el contexto climático existente y algunas aproximaciones e ideas para afrontar el futuro para propender a la seguridad hídrica en este escenario de cambio climático.





AGUA

como patrimonio de la naturaleza

Siempre se ha destacado al agua como un recurso fundamental para el desarrollo humano, el medio ambiente y para la vida en general, pero ¿qué la hace tan indispensable? En este capítulo se abordarán algunos de esos aspectos, como su impacto en los seres vivos, como agente modelador del territorio, los efectos que provoca el cambio climático sobre el ciclo hidrológico y cómo esto último afecta al país y en particular a la Región del Biobío.



AGUA: fuente de vida

Desde que surgió la vida en nuestro planeta hace 4.000 millones de años, aproximadamente, el agua, ha jugado un rol fundamental para su desarrollo y evolución. Hasta ahora, se conoce que fue en los océanos donde todo comenzó, siendo el medio que proporcionó un entorno cuyas condiciones físicas, como la temperatura, y químicas, como la presencia de oxígeno y nutrientes, facilitaron la formación de las primeras estructuras metabólicas, las que tienen la capacidad de transformar materia y energía del ambiente en energía aprovechable, utilizando procesos químicos, como por ejemplo: la fotosíntesis, en las plantas, las algas y algunas bacterias; la respiración celular, y la digestión de los alimentos en los animales y el ser humano. Cabe señalar, que el metabolismo, el intercambio con el medioambiente y la reproducción son las cualidades que definen a un ser vivo (Delgado & Hernández, 2015).

Pese a los grandes progresos realizados, por todas las ciencias involucradas en investigar el origen de la vida, existen todavía muchas incógnitas que se deben resolver. Por ello, disciplinas como la astrobiología, se dedican a descubrir cómo se produjo esta génesis, buscando indicios en el universo conocido; ya sea, para determinar si existió vida en un determinado planeta, o para evaluar si tiene el potencial de albergar vida en el futuro; utilizando como primer indicador, la posibilidad de hallar reservas de agua, con potencial de encontrarse en estado líquido, para que pudiese funcionar como medio de cultivo, tal como sucedió en la tierra (Briones, 2020).

Otro aspecto que muestra la importancia del agua para la vida, es la proporción de agua que hay en la composición de cada ser viviente. Al medirla a nivel celular, se observa que entre el 60% y el 90% del peso del material celular corresponde a agua, que varía dependiendo del tipo de célula (Fernández, 2012). Para tener una percepción más gráfica sobre la composición de agua de distintos seres vivos, la Figura 1 muestra que no importa cuál sea la especie, todos los seres vivos somos mayoritariamente agua.

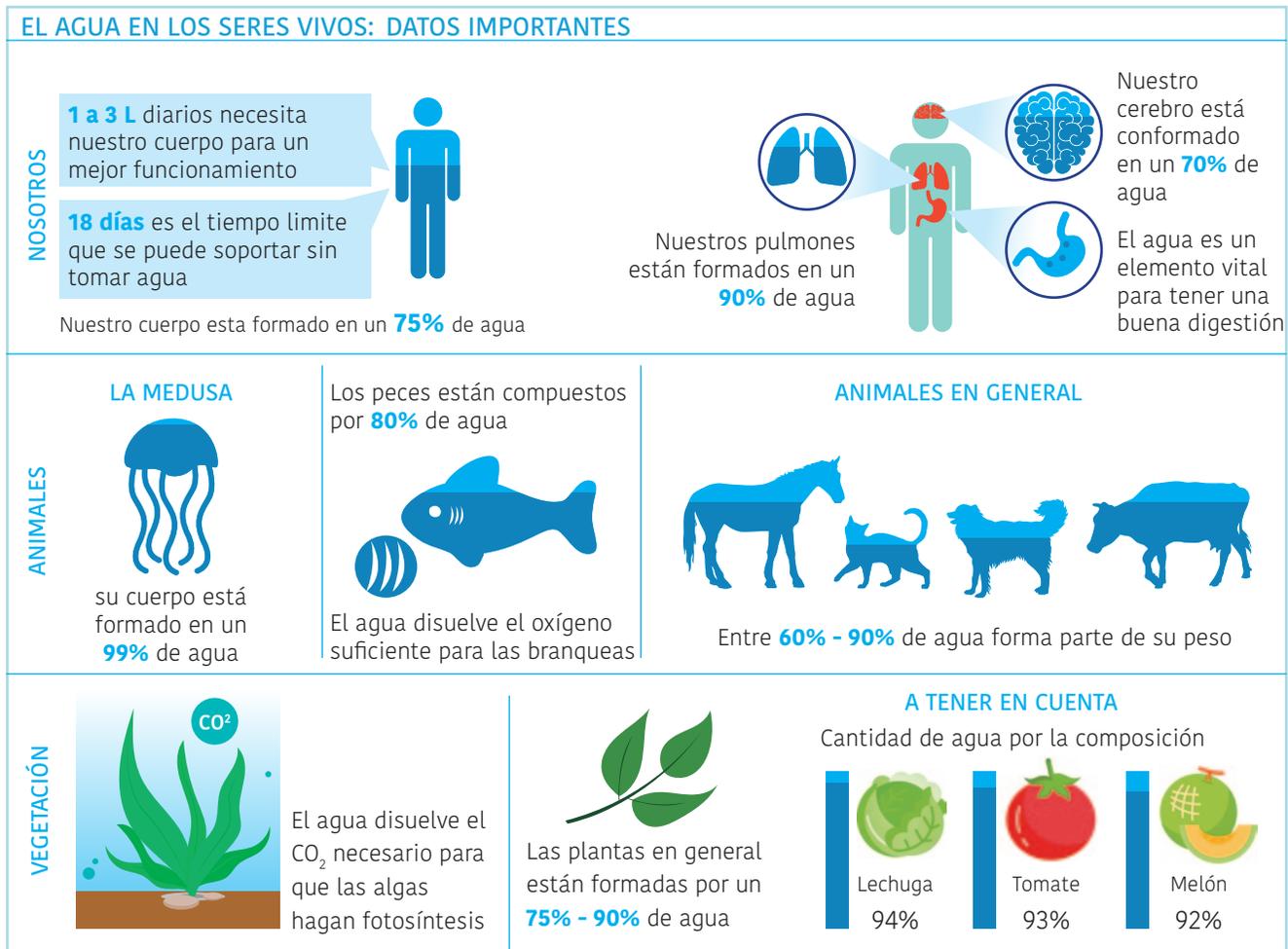


Figura 1. El agua en los seres vivos. (de agua.org.mx). Fuente: Elaboración propia en base a de agua.org.mx

Por esta razón, todos los seres vivos necesitan mantenerse hidratados para que su organismo funcione de manera óptima, reponiendo el agua que se pierde, producto de los mismos procesos metabólicos que los mantienen con vida.

Como se ha expuesto hasta el momento, es claro que el agua es indispensable para la vida, ya sea como entorno que la alberga, o como componente principal de los seres vivos. Pero estos no son los únicos atributos que posee este recurso, ya que además, juega un rol clave como agente modelador del territorio. Esto, gracias a que el flujo del agua erosiona el suelo, generando surcos a su paso. Estas formaciones se conocen como cauces, los que se van uniendo en una red de drenaje, a medida que el agua se desplaza por el territorio, conformando lo que se conoce como cuenca hidrográfica.

Geografía del agua

Una cuenca hidrográfica, corresponde al territorio por donde fluye un río y sus afluentes, delimitado por una línea de cimas, que se conoce como divisora de aguas y que marca la división entre dos cuencas. Una cuenca, drena sus aguas al mar u otro cuerpo de agua, a través de diferentes cauces que convergen en un cauce principal, el cual le da nombre a esta hoya hidrográfica.

Las cuencas están conformadas por los cuerpos de agua, como glaciares, ríos, lagos, esteros y humedales; por los suelos, cuyas coberturas pueden ser variadas, tales como cultivos, bosques y ciudades; y por las aguas subterráneas, también conocidas como acuíferos.

Toda la superficie terrestre se divide geográficamente en cuencas, lo que significa, que todos vivimos en una. En el caso de Chile, el territorio nacional se divide en 101 cuencas, 467 subcuencas y 1.496 subsubcuencas, cuyas aguas están distribuidas en 756.102 km² de superficie, donde podemos encontrar 1.251 ríos y 12.784 cuerpos de agua, entre lagos y lagunas (DGA, 2014).

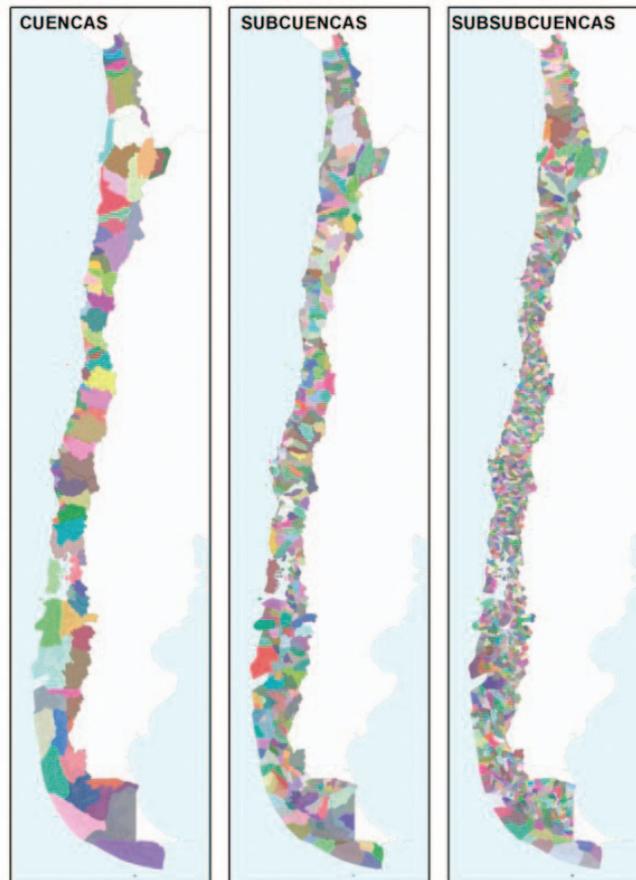


Figura 2. División del territorio nacional en cuencas, subcuencas y subsubcuencas. **Fuente:** DGA, (2014).

Ciclo del agua

El ciclo del agua se basa en la permanente circulación o transferencia de las masas de agua, desde un punto del planeta a otro. Consiste en la transición de fases que atraviesa el agua al pasar de la Tierra a la atmósfera y volver a la Tierra. Desde allí el agua se evapora desde la superficie del suelo, del mar o de las aguas continentales, para formar nubes por condensación, las que llegando a cierto punto de acumulación precipitan en forma de lluvia o nieve, que vuelve al suelo para ser acumulada, hasta que vuelva a ser evaporada.

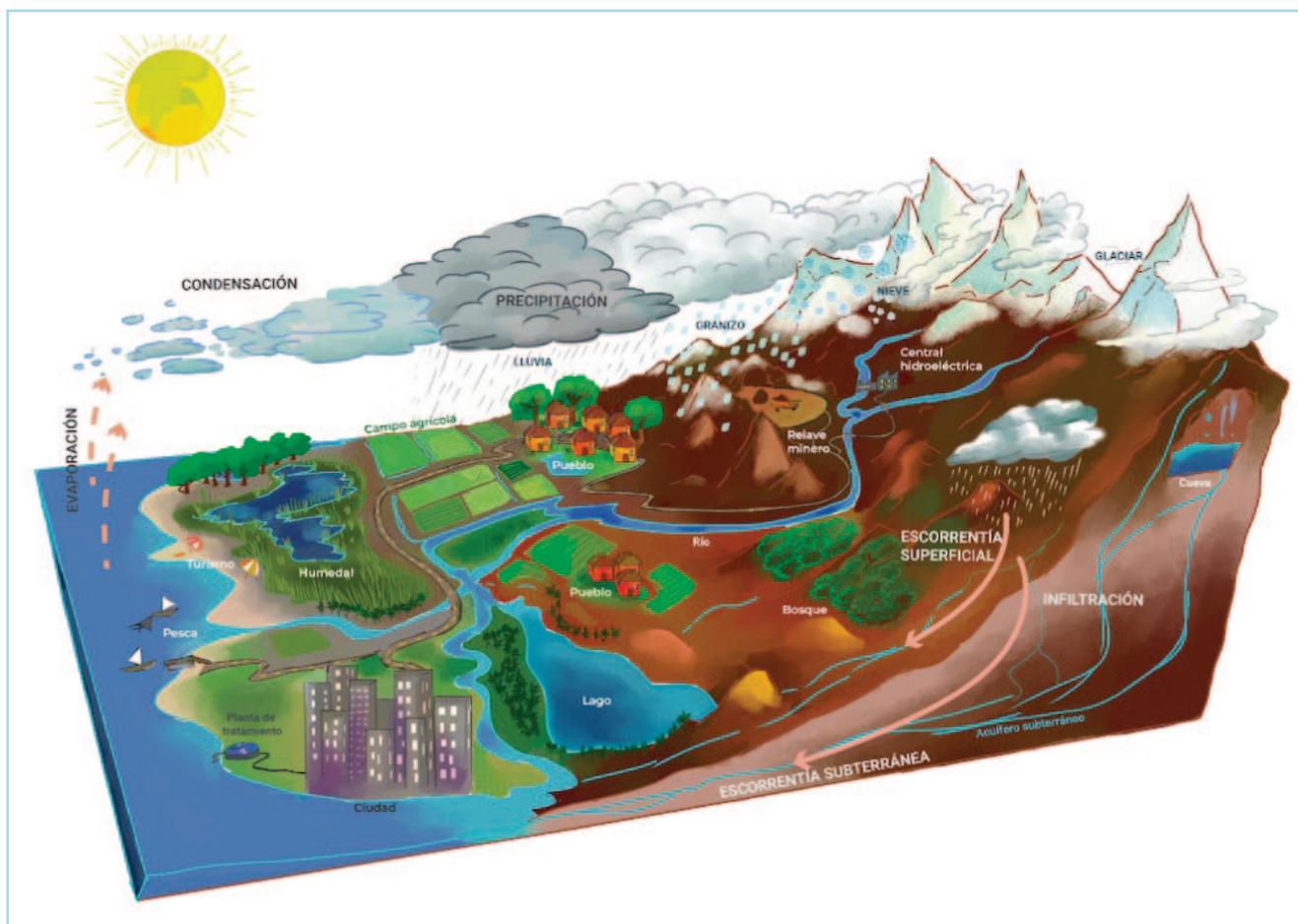


Figura 3. Ciclo del agua. Fuente: Elaboración CRHIAM.

Este movimiento es impulsado por la energía solar y la gravedad, en el que el sol calienta la superficie del océano y otras aguas superficiales, produciendo la evaporación del agua líquida y la sublimación del hielo, convirtiéndolo directamente de agua sólida a vapor de agua, para luego trasportarla hacia la atmósfera. Luego, dicho vapor se traslada a zonas de menor temperatura atmosférica, acumulándose y condensándose en gotas de agua líquida, o sublimándose en copos de nieve o granizos, cuando la temperatura baja de los 0° C; los que luego caen como precipitación producto de la atracción de la fuerza de gravedad.

Los océanos, suministran la mayor parte del agua como producto de la evaporación. De esta agua evaporada, sólo el 91% es devuelto a las cuencas oceánicas por medio de la precipitación. El 9% restante se transporta a las zonas continentales donde los factores climatológicos inducen la formación de la precipitación. El desequilibrio resultante entre la tasa de evaporación y precipitación, sobre la tierra y el océano, se corrige por la escorrentía y el flujo de agua hacia los océanos.

El suministro de agua del planeta está dominado por los océanos. Al considerar, todo el volumen de agua existente en el planeta, obtendríamos una cantidad aproximada de 1.386 millones de km³ de agua. Sin embargo, su distribución es muy desigual, ya que por un lado el 97,25% del volumen total corresponde a agua salada, sólo el 2,75% es agua dulce (Ordoñez, 2011). A continuación en la Tabla 1, se detalla la distribución del agua en el planeta.

Tabla 1. Contenido de agua en la superficie del planeta. **Fuente:** Pidwimi, (2006).

Reservorios	Volumen Millones de km ³	Porcentaje %
Océanos	1.370	97,25
Glaciares	29	2,05
Agua subterránea	6,5	0,68
Lagos	0,125	0,01
Suelos anegados	0,065	0,005
Atmósfera	0,013	0,001
Ríos	0,0017	0,0001
Biósfera	0,0006	0,00004

Como ya se mencionó, el ciclo hidrológico es el constante movimiento del agua entre sus diferentes depósitos terrestres y atmosféricos. El que se produce, a través de los procesos de evaporación, condensación, precipitación, sedimentación, escorrentía superficial, infiltración de aguas subterráneas, sublimación, transpiración y fusión. En estos depósitos, el agua reside por un determinado tiempo, el que varía dependiendo de la naturaleza de la acumulación. Por ejemplo, el agua se renueva en los ríos una vez cada 16 días, en promedio. El agua en la atmósfera es completamente sustituida, una vez cada 8 días. Algunos de estos recursos, sobre todo las aguas subterráneas, están siendo utilizados por los seres humanos a tasas que exceden los tiempos de renovación.

Este tipo de uso, está haciendo que esta agua sea efectivamente un recurso no renovable. Como se observa en la Tabla 2, los tiempos de renovación de las aguas son disímiles entre sí.

Tabla 2. Tiempo de residencia del agua. **Fuente:** Pidwimi, (2006).

Reservorios	Tiempo promedio
Glaciares	20 a 100 años
Cubierta de nieve	2 a 6 meses
Humedad del suelo	1 a 2 meses
Agua subterránea superficial	100 a 200 años
Agua subterránea profunda	10.000 años
Lagos	50 a 100 años
Ríos	2 a 6 meses

Debido a las variadas tasas de recarga de las fuentes de las que nos abastecemos de agua, la gestión del recurso hídrico debe ser considerada en todo su ciclo, tanto en sus fuentes como en sus estados. Es decir, incluir la protección, restauración y monitoreo de todos los elementos del ciclo del agua, como los ríos, cauces, suelos, acuíferos, glaciares, bosques, entre otros.

Sumado a estas consideraciones, se debe tener en cuenta que existe otro ciclo del agua que no es natural y que deriva de la actividad humana. Su gestión debe realizarse una vez que el agua es extraída de la fuente. Por ejemplo, el abastecimiento de agua potable en las ciudades o la conducción de agua para procesos productivos, que es captada de las fuentes, tratada, almacenada, distribuida, utilizada, y en algunos casos devuelta o vertida al sistema natural.

Las acciones de gestión del ciclo natural y del ciclo antrópico del agua, deben interactuar a través de la protección, la recuperación de la cantidad y de la calidad de este recurso. Teniendo en cuenta las dimensiones, económicas, sociales, medioambientales y culturales de las intervenciones que el ser humano realiza, cuantificando el impacto que su utilización, pueda generar en las fuentes del agua o los medios acuáticos, como los glaciares, ríos, suelos, acuíferos, entre otros.

Además, se deben considerar los posibles efectos que la actividad antrópica puede tener sobre el ciclo hidrológico, como la combustión de hidrocarburos para fuentes de energía, que ha elevado los niveles de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico, generando un efecto invernadero en el planeta que ha derivado en lo que hoy se conoce como cambio climático global.

Cambio climático y su efecto en el ciclo del agua

Un cambio climático se define como la modificación del equilibrio del régimen climático del planeta, que perdura durante largos periodos de tiempo, hasta alcanzar uno nuevo. Puede afectar las condiciones meteorológicas, afectando sus valores promedio, aumentando su variabilidad y la incidencia de eventos extremos, como situaciones de sequía o lluvias extremas.

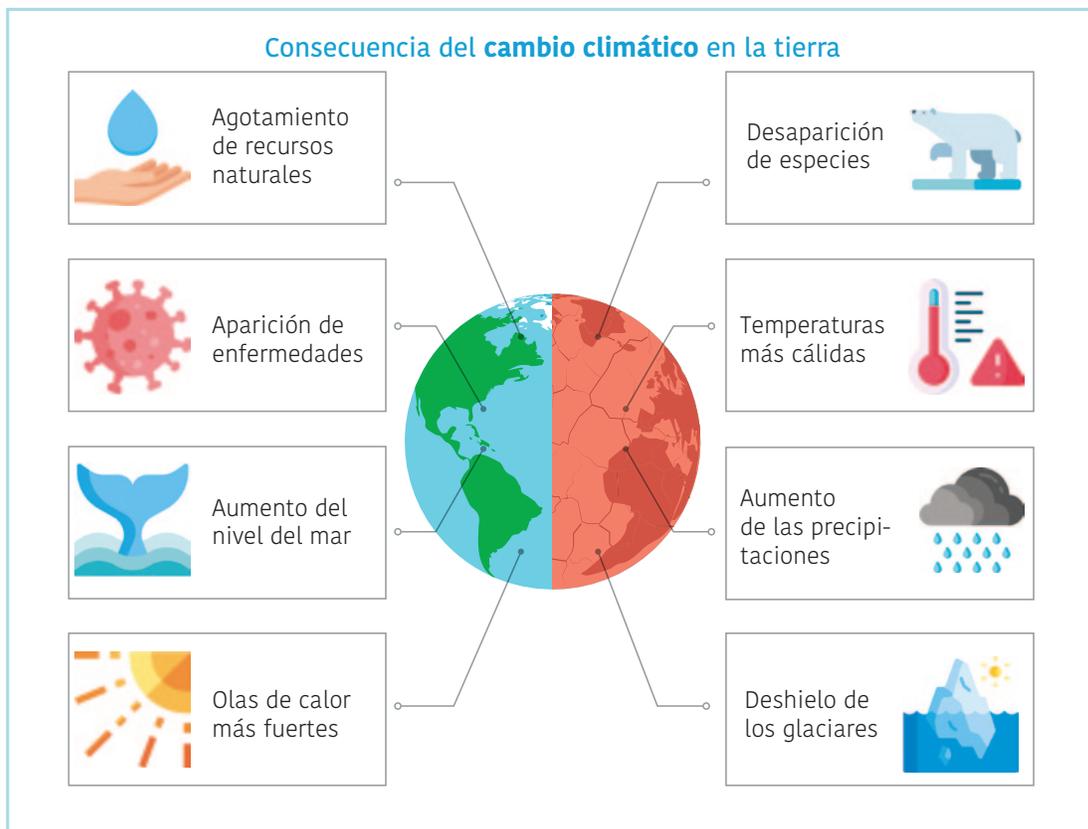


Figura 4. Consecuencias del cambio climático global. **Fuente:** El Ágora (s/f).

Los cambios climáticos han existido desde el inicio de la historia de la Tierra. Han sido graduales o abruptos, y se han debido a causas diversas, como las relacionadas con los cambios en los parámetros orbitales, variaciones de la radiación solar, la deriva continental, periodos de vulcanismo intenso, procesos bióticos o impactos de meteoritos. El cambio climático actual es antropogénico y se relaciona principalmente con la intensificación del efecto invernadero debido a las emisiones industriales procedentes de la quema de combustibles fósiles (Marcos, 2020).

Como ya hemos visto, el agua es un elemento vital para nuestro planeta. Dependemos de ella debido a la gran cantidad de servicios ambientales que nos provee, como bebida, riego para la agricultura y la ganadería, para la sostenibilidad y supervivencia de numerosas especies y ecosistemas. También, porque su presencia en mares y océanos los convierte en grandes sumideros de dióxido de carbono y ayudan a moderar las emisiones hacia la atmósfera. Además, mantienen las temperaturas globales en el equilibrio necesario para hacer posible la vida de todos los seres vivos.

El cambio climático, se manifiesta a través del agua mediante la alteración de su ciclo natural. Cuando el clima varía, las sequías, las inundaciones, el deshielo de los glaciares, el aumento del nivel del mar y las tormentas se intensifican con graves consecuencias.

Dentro de los efectos provocados por esta modificación en los patrones climáticos, se ha observado una serie de fenómenos que ponen en peligro la vida en el planeta. El aumento del nivel del mar y el derretimiento de los glaciares, son posiblemente dos de las consecuencias del calentamiento global que mejor ejemplifican esta relación entre agua y cambio climático. Pero no son las únicas.

Según las previsiones científicas, la emergencia climática provocará una variabilidad o modificación de los recursos hídricos. Esto provocará que los episodios de sequía, en regiones ya áridas, sean más frecuentes y duraderos en el tiempo. El agua potable y un saneamiento adecuado, serán más complicados en muchas zonas en las que ya de por sí experimentan dificultades para acceder a ellos.

Por otro lado, la alteración del ciclo hidrológico modificará las precipitaciones, incrementando la humedad del suelo, saturándolo rápidamente. Esto, producirá una disminución de la infiltración de agua subterránea, aumentando el escurrimiento superficial, la evaporación, el vapor atmosférico y la temperatura del agua que conducirá a condiciones y fenómenos más extremos, lo que se traducirá en un aumento de la humedad pero una disminución del agua disponible.

Al hablar de agua y cambio climático, se debe hacer referencia a las consecuencias de una crisis, que profundiza los problemas de abastecimiento de agua, en muchos lugares del planeta, debido a una creciente demanda, que puede seguir aumentando, versus un recurso cada vez más limitado. Estas son algunas maneras que nos muestran cómo afecta el cambio climático al agua.

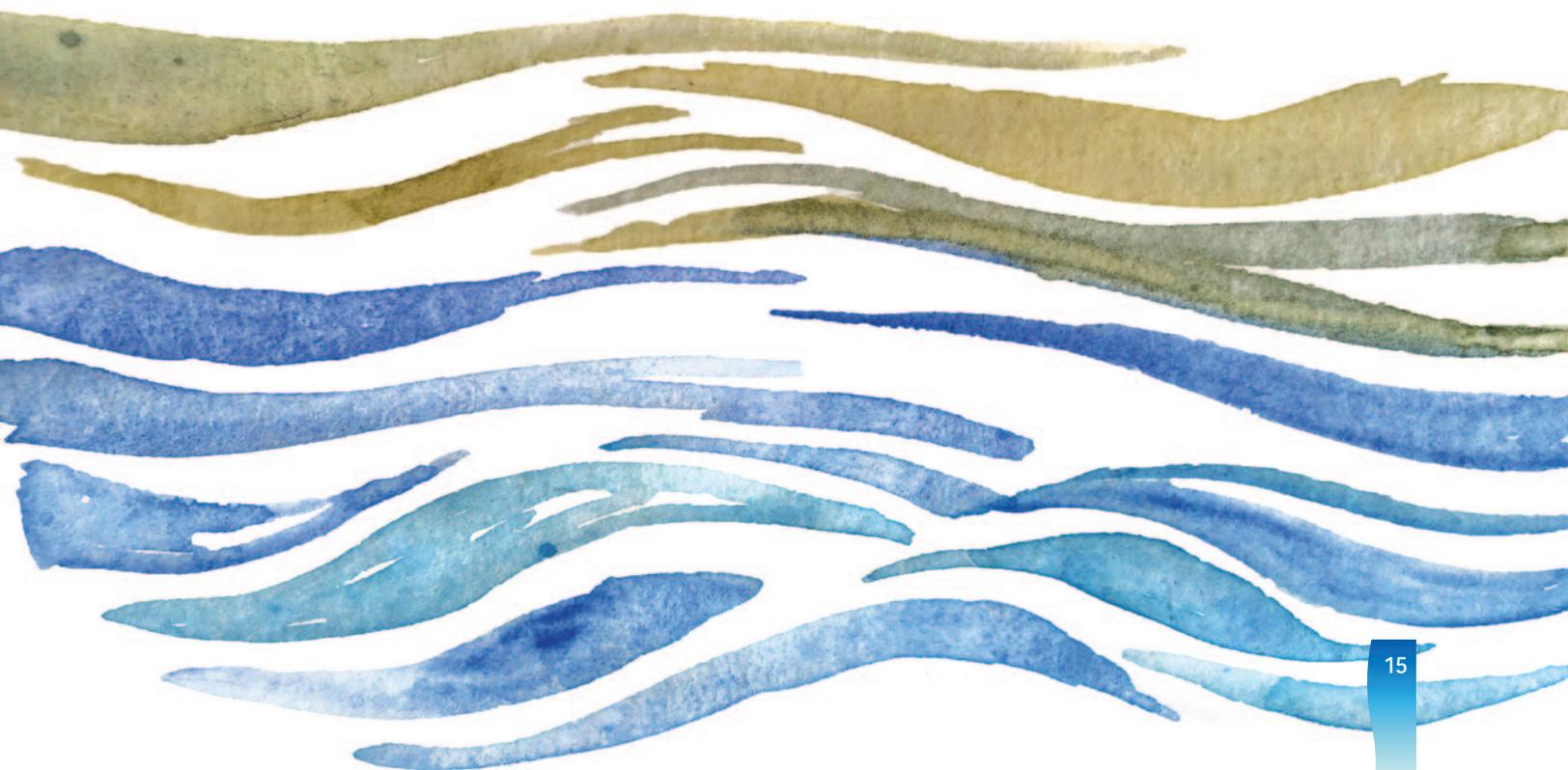
El aire más cálido puede contener más humedad que el aire frío. Como resultado, en un mundo más cálido, el aire absorberá más agua desde todas las fuentes. Las condiciones más secas que deja este aire, podrían reducir significativamente el suministro de agua potable y la agricultura. Cuando todo ese aire extra cálido y húmedo se enfría, cae mayor cantidad de lluvia o nieve al suelo. Por lo tanto, un mundo más cálido significa eventos de precipitaciones más intensos y tormentas de nieve. Las zonas más cálidas del planeta, están experimentando hasta ahora el mayor aumento en la intensidad y frecuencia de los eventos extremos.

CAPÍTULO

2

AGUA

como patrimonio
cultural



AGUA como agente evolutivo de la humanidad

La presencia del agua en la historia de la humanidad es una de las claves para nuestro desarrollo y evolución. Es por ello que todos los asentamientos se ubicaron cercanos a zonas geográficas con abundancia de agua. Los ríos, aportaban agua para el riego, para el consumo y como vía de comunicación.

El agua y la evolución humana

Si nos remontamos a los orígenes de la humanidad, según la teoría más ampliamente aceptada de la biología evolutiva, hace aproximadamente 1,8 millones de años, el ser humano experimentó varios cambios: el tamaño de su cerebro se incrementó, su sistema digestivo se encogió y comenzó a caminar erguido. Ningún simio había experimentado tal fenómeno hasta el momento. Se trataba de un hito notable en la historia de la evolución humana. El ancestro en cuestión, el *homo erectus*, era capaz de cazar y utilizar utensilios sencillos. Su dieta, presentaba un consumo más elevado de carne, que en alimentos de origen vegetal, lo cual implicaba un mayor consumo de calorías. Los humanos, habían dejado de ser simios que trepaban árboles gastando gran cantidad de tiempo en buscar comida, para convertirse en cazadores erguidos que comían principalmente carne, siendo capaces de recorrer largas distancias.

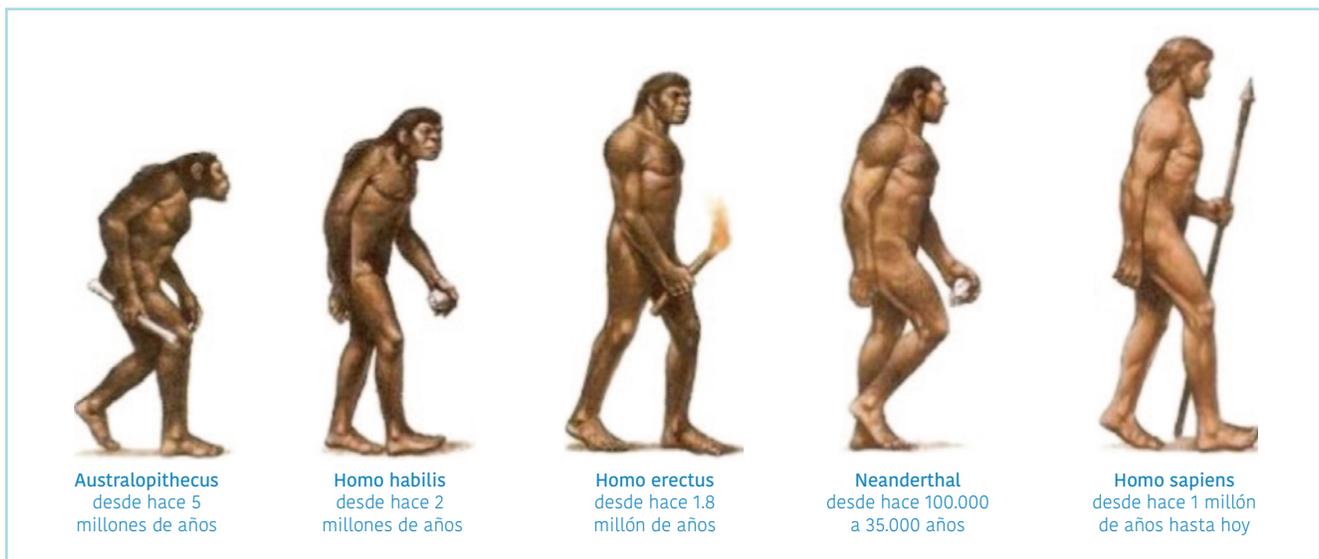


Figura 5. Esquema de la evolución humana. Fuente: Elaboración propia.

Desde un punto de vista evolutivo, era tal la importancia de esta transformación que, en su momento, los descendientes del *homo erectus*, el *homo sapiens* actual, colonizaron con facilidad hasta el rincón más lejano del planeta.

Hace unos años, se cuestionó la concepción más aceptada, argumentando que aprender a cocinar fue lo que había convertido a los simios en humanos (Wrangham *et al.*, 1999). Según esta investigación, el ser humano tiene dificultades para digerir la carne cruda y al cocinarla incrementa su valor nutricional. Además, demostró que el *homo erectus* aprendió a cocinar con fuego hace 1,8 millones de años. Un avance, que confirió una ventaja evolutiva que, hoy en día, se tradujo en la actual hegemonía del *homo sapiens*.

Por su parte, una nueva teoría ofrece otra perspectiva de los siete millones de años de evolución humana (Finlayson, 2014). Ésta, gira en torno al agua, en lugar de la comida y afirma que la expansión del *homo sapiens* fue motivada fundamentalmente por cambios climáticos y por el acceso a agua fresca. Los primeros ancestros del ser humano se trasladaron de la selva tropical a espacios abiertos, en un principio, tímidamente, aunque cada vez con más decisión. Estos seres, permanecían cerca de los bosques, donde podían volver en busca de refugio bajo los árboles, mientras vivían en las orillas de lagos y ríos. Sin embargo, fueron ampliando su hábitat de forma gradual, refugiándose en cuevas cuando no encontraban árboles.

En tanto, el clima de la Tierra fue cambiando. El Pleistoceno Medio, que comenzó hace cerca de 800.000 años, se caracterizaba por ciclos recurrentes cálidos y fríos que provocaron duras sequías y glaciaciones. Las exuberantes selvas dieron paso a las estepas y las sabanas, e incluso, en ocasiones, a desiertos. Las épocas áridas, empujaron a los ancestros del ser humano a otros lugares en busca de recursos hídricos. Durante estas épocas de presión evolutiva, los seres humanos desarrollaron extremidades más largas, perdieron peso y ganaron agilidad, permitiéndoles cubrir más terreno para encontrar comida y agua con más facilidad. Es decir, el *homo sapiens* fue una respuesta evolutiva a la dispersión de los recursos hídricos, tanto en el espacio como en el tiempo.

La mejora de la movilidad terrestre fue, ante todo, una respuesta a la necesidad de encontrar fuentes hídricas de forma rápida en un planeta que adolecía de sequía. Se cree que los seres humanos migraron a lo largo de las zonas costeras para expandirse por el planeta, y que “perseguían la lluvia” en dirección al hemisferio norte cuando aumentó la temperatura, para luego moverse por las zonas más templadas. Cuando las temperaturas bajaban, migraban hacia el Ecuador.

Esta teoría es ejemplificada con el pueblo Mardu, que se adaptaron al Gran Desierto de Victoria, en Australia. El agua era un valor de gran importancia para esta tribu, por lo que se movían para encontrar lluvia, valiéndose de indicios visuales para detectarla en grandes distancias. Cuando llovía, lo primero que hacían era recoger el agua de la lluvia de las charcas de arcilla en el desierto y únicamente se trasladaban en busca de recursos hídricos cuando estas charcas efímeras se evaporaban, gestionando las aguas de la forma más eficiente posible.

Los párrafos anteriores, ofrecen una teoría sobre la influencia del agua en la evolución humana, mostrando que pudo haber sido el factor más determinante de los cambios que ha experimentado nuestra especie, desde sus orígenes.

Si bien, no existe certeza exacta de cuál fue el factor más incisivo sobre la evolución humana, es claro que, los diversos cambios ambientales ocurridos a lo largo del tiempo, modificaron factores climáticos y, por consiguiente, la disponibilidad de recursos, lo que provocó cambios de conducta en los primeros homínidos, derivando en su evolución.

Lamentablemente, al no existir algún tipo de registro escrito que dé cuenta de cómo se fueron dando los cambios en nuestra especie, se deberá seguir teorizando al respecto, con estudios basados en hallazgos paleontológicos y paleoclimáticos. De lo que sí hay certeza, es cómo este recurso ha influido en el ser humano a través de la historia.

El agua en la historia

SUMERIOS: la evolución del uso del agua, de subsistencia al desarrollo socioeconómico

Remontándonos a estos comienzos históricos, evidentemente se debe hablar de “la cuna de las civilizaciones”, nos referimos al territorio de Mesopotamia, cuyo término en griego significa entre dos ríos, refiriéndose al Tigris y el Éufrates. La historia de estos ríos, es más antigua que la humanidad, pues en sus proximidades, se establecieron y se extinguieron asentamientos, desde antes que hubiesen registros históricos. Aquí fue donde surgió la civilización considerada la más influyente para la humanidad, que aceleró toda la historia a través de los descubrimientos, ya que es donde se comenzó dejar registros escritos tallados en piedra, conocidos como escritura cuneiforme, dando origen así a la historia. Nos referimos a los sumerios, quienes fueron un pueblo del sur de Mesopotamia, cuya civilización floreció entre el 4100 y el 1750 a.C.

Este pueblo utilizó el agua dándole un papel determinante para su evolución socioeconómica. Los sumerios, utilizaron sistemas de irrigación, llevaron agua hasta todos los puntos donde vivieron, a través de canales; impidieron inundaciones con barreras; y acumularon agua construyendo presas. Todos estos esfuerzos, les permitieron tener un sistema de gestión de agua, lo que derivó en un gran éxito para el desarrollo de esta sociedad. La riqueza basada en la agricultura, abrió el frente del desarrollo de las ciudades y el comercio. Los sumerios, se componían de 35 ciudades y pueblos entre ellos 18 metrópolis, lo que se considera una concentración de población enorme, para dicho periodo, generando recursos que les permitió a sus habitantes expandirse por Asia, África y Europa (Rubio, 2012).

EGIPTO: sistemas de monitoreo de los recursos hídricos

En el Antiguo Egipto, la vida se desarrollaba a lo largo del río Nilo, como elemento unificador de todo el territorio. A finales del Período Predinástico (2920 a.C.), Namer, rey del Alto Egipto y último de este período, conquista el Bajo Egipto, Delta del río, y unifica el país. Así se inician las dinastías que a lo largo de los siglos se sucederían en este territorio. Las estaciones del año y la distribución de trabajos se basaban en el ritmo de las inundaciones que el Nilo sufría cada año. La primera estación comenzaba a mediados de julio, cuando el dios Cnum, de cabeza de carnero, abría las puertas de una inmensa catarata y se iniciaba la *akhet*, la inundación. En septiembre las aguas se retiraban y empezaba la estación *peret*, tiempo de siembra y germinación. Finalmente se cerraba el ciclo de abril a junio, con la estación *shemu*, de maduración y recolección.

Para poder desarrollar la agricultura en este clima desértico, desde los tiempos más primitivos Egipto contaba con un “departamento de riego” muy bien organizado, equivalente a un ministerio, cuyos jefes eran los más famosos arquitectos. Estar a cargo de dicho departamento era una función muy importante para la sociedad egipcia, de hecho, dentro de los títulos de los más altos dignatarios, se encuentra el de “el jefe de riego”.

Una de las principales funciones de este Departamento, era el de vigilar la crecida y el descenso del nivel de las aguas del Nilo. Para ello, en el territorio de Alto Egipto, se excavaban pozos que comunicaban con el río y en los cuales se colocaba una escala que indicaba el nivel más alto del agua en cada año, lo que permitía proyectar la cantidad de agua, la superficie de territorio cultivable y si la extensión de la inundación, formada por la crecida del río, constituiría algún riesgo para las personas que habitaban en la zona del delta del río.

Esta información se daba a conocer mediante mensajeros a todas las ciudades para evitar la incertidumbre y ansiedad que las inundaciones producían en el pueblo. Así fue como se desarrollaron las bases conceptuales de lo que hoy conocemos como sistemas de monitoreo de cauce, sistemas de modelos predictivos y sistemas de alerta temprana preventiva de crecidas (Marsot, 2008).

CHINA: el sistema de riego más antiguo del mundo

Se sabe que una de las culturas más antiguas que actualmente existe es la China, quienes han tenido una gran influencia para la humanidad en diversos ámbitos, como la medicina, las matemáticas e incluso con descubrimientos como la pólvora (Spence, 2013). Dentro de los legados de esta cultura milenaria, en el Monte Qingcheng, ubicado en la ciudad de Dujiangyan, conocida por ser la cuna del Taoísmo, se encuentra el sistema de riego más antiguo del mundo aun en funcionamiento, con 2.000 años de antigüedad, que actualmente riega 5.300 km² de terreno, convirtiendo a la región en una de las más fértiles de China. Estos hitos, le valieron a la ciudad de Dujiangyan, ser declarada como patrimonio de la humanidad por la UNESCO el año 2000 (Zhang & Changshu, 2006).

El Sistema de Dujiangyan, fue construido en el año 256 a.C. aproximadamente, por el gobernador Li Bing y su hijo Er Lang, con el fin de abordar dos propósitos, evitar las inundaciones provocadas por el río Min y regar el valle de Chengdu, debido a que las personas que residían en las riberas del río, se veían afectadas con las inundaciones producto de fuertes tormentas en invierno y los deshielos en primavera. Esto provocaba que el agua que venía con mucha fuerza desde las montañas, se encontraba con una planicie abierta, bajando abruptamente la velocidad del caudal, lo que ocasionaba una gran acumulación de sedimentos. Para solucionar este problema, no era posible construir una presa debido a que el río debía ser navegable, por lo que Li Bing optó por construir un dique artificial, dividiendo las aguas en dos canales (Wintle, 2002).

Cuando el agua llega a la cuña, es dirigida hacia el canal interior, que es más profundo y estrecho que el canal exterior, alimentando el sistema de riego y logrando portear hasta el 60% del caudal máximo del río, dando así origen al riego para la agricultura a gran escala (Zhongguo, 2004).

Otra de las innovaciones de la construcción de esta obra, fue el mismo mecanismo para fabricar los diques, utilizando los Zhulong, que consistían en canastos hechos de bambú y rellenos con piedras. Lo que podría ser considerado, como el origen de los gaviones, que se usan actualmente en las obras de mampostería y defensas fluviales (Zhang & Changshu, 2006).

GRECIA: la hidráulica como herramienta para la gestión del agua

La cultura griega, cuyos orígenes se remontan a la civilización cretense, es uno de los pilares de la civilización occidental. Aquí surge por primera vez la democracia, aparece la filosofía, el ser humano empieza a cuestionarse su existencia, y se postulan los cánones de belleza. Los helenos, han dado a la historia de la humanidad un

gran número de filósofos, historiadores, escritores, artistas, inventores y pensadores, y su relación con el agua es incuestionable.

Desde el punto de vista cosmológico, se creyó que el agua era el origen del universo; desde el técnico, se inventaron grandes artificios hasta hoy utilizados; en ingeniería, realizaron proyectos y obras espectaculares; mitológicamente, dioses y divinidades acuáticas inundaron su forma de vivir y crear; y geográfica, el mar ha sido el gran acompañante de esta civilización.

Existen bastos registros y vestigios que dan cuenta de cómo los griegos gestionaban sus recursos hídricos, como los regadíos de Cnossos y Zakro, en donde existían manantiales combinados con acueductos, cisternas y pozos, o la recolección de agua de lluvia del palacio de Festos y sus cisternas. Este tipo de obras de conducción y acumulación, fueron diseñadas para la provisión de agua en los pueblos, debido al régimen irregular de lluvias, lo que hacía necesaria la previsión y la recogida de agua en épocas de abundancia para utilizarla en momentos de escasez. Por lo general, el agua era transportada desde manantiales por medio de tuberías de terracota, para abastecer la demanda de consumo, riego y sistemas de saneamiento. Esto último, hace referencia a la existencia de las letrinas minoicas y al primer lugar dedicado a la higiene personal, que se conocen en occidente, que son los restos encontrados de un baño público en Creta; introduciendo el concepto de saneamiento público, como otro uso dado al agua.

A principio del siglo XX, el escritor y científico italiano Angelo Mosso, visitó la villa de Hagia Triada, durante una fuerte tormenta, y se percató de que todas las alcantarillas del palacio funcionaban perfectamente, quedando impresionado al ver el agua de la tormenta salir sin problemas por el sistema de colección y conducción de aguas lluvias. Mosso, concluyó que en toda la historia de la humanidad no existía ningún otro sistema de alcantarillado que continuase en funcionamiento luego de más de 4.000 años desde su construcción original.

También debe destacarse la presa de Tirinto, la principal construcción conocida para la protección de inundaciones de la ciudad de Tirinto, en el Peloponeso. Durante una inundación (hacia 1250-1200 a.C.), un arroyo al sur de Tirinto desbordó su cauce y se dirigió hacia la ciudad. Para proteger las partes bajas de la población de futuras inundaciones, los habitantes de Tirinto instalaron un sistema de redirección artificial que consistía en una presa de 10 metros de alto, 300 metros de largo y un canal de 1,5 kilómetros de longitud. La presa, es una gran acumulación lateral de tierra, obra ciclópea de albañilería junto al antiguo canal de agua oeste.

Como pudimos observar, el aporte de la civilización griega en la ingeniería hidráulica es notable. Estos avances, se deben a la necesidad de satisfacer los requerimientos de agua, para una gran cantidad de población. Por ejemplo, Atenas fue la más importante ciudad de la antigüedad con una población de más de 200.000 personas durante su época de apogeo. Además esta demanda, se veía presionada por las condiciones climáticas cuya falta de precipitaciones, en el territorio, agudizaban la problemática del abastecimiento, situación similar a la que ocurre en nuestros días en diversas partes del mundo (Vázquez, 2006).

ROMANOS: los grandes ingenieros hidráulicos de la historia

La civilización romana, es clave para entender la historia de la gestión del agua moderna, ya que desarrolló técnicas que hasta el día de hoy son aplicadas en nuestras ciudades, sentando las bases de la ingeniería hidráulica actual. Como toda civilización insipiente, los romanos utilizaron sistemas de regadío para sus huertas y campos de cultivo. Para ello usaban las aguas superficiales de ríos y lagos, consideradas de calidad

pero no aptas para el consumo, y las distribuían por los cultivos mediante canales, practicando lo que se conoce como riego tendido. Para captar esa agua, construían pequeñas presas, de esta manera elevaban el nivel del caudal, para desviar una parte del río a un canal lateral. Estos pequeños muros, permitían que el río siguiera fluyendo por rebalse, de forma que el agua nunca se detenía (Redman, 1990). En caso de que fuese necesario elevar el agua, se utilizaban norias. Pese a que este sistema fue utilizado por los egipcios o los griegos, fueron los romanos quienes expandieron su uso por todo el Imperio, e incluso perfeccionaron la técnica y la adaptaron para otros trabajos como la minería (Mangas, 1999).

Los romanos no sólo utilizaban el agua para el riego, sino también para otras tareas derivadas de los trabajos agrícolas, por ejemplo, para moler el trigo y otros cereales, introduciendo el concepto de herramientas hidráulicas. Un ejemplo de ello, son los molinos que construyeron en Barbegal (Francia), en el siglo IV d.C., con 16 ruedas consecutivas de casi 3 m de diámetro que se movían con el paso del agua y hacían girar las grandes piedras con las que podían moler hasta 3 toneladas de trigo por hora (Palomo & Fernandez, 2006).

Un extenso imperio como el romano y una esplendorosa ciudad como la de Roma no podrían haberse desarrollado de la manera que lo hicieron sin un sistema eficaz de abastecimiento y distribución del agua. En el siglo III a.C., en tiempos del emperador Apio Claudio, los ingenieros romanos fueron capaces de localizar fuentes de agua, transportarla y distribuirla a ciudades conservando su calidad y pureza. Desarrollaron un sistema de abastecimiento tan eficiente que hasta el día de hoy se sigue aplicando (Aranda, 2006).

Como cualquier otro pueblo, los romanos utilizaban las fuentes de agua naturales de la zona para abastecerse, ya fueran superficiales o subterráneas. Utilizando como criterio de selección, las fuentes que presentasen un caudal continuo y estable en el año, para asegurar el abastecimiento. Además, ya en esa época, los romanos tenían conciencia de la relevancia de contar con un agua de buena calidad (Aranda, 2006). Por ello, si el agua era para consumo humano evitaban las de los lagos y los ríos, ya que en ellos se vertían desechos, considerándose contaminados, por lo que destinaban estas aguas a la agricultura (Redman, 1990). Por ello, se elegía el agua de los manantiales de montañas, idealmente con orientación norte o noroeste, para aprovechar los deshielos de verano, sin importar que tan lejos se encontraran estas fuentes, ya que eran más caudalosas y con aguas de más calidad (Alba & Feijoo, 2010).

Para garantizar que el agua de los manantiales llegara a la ciudad en las mismas condiciones que presentaba en su origen, los ingenieros romanos seguían estrictamente los siguientes criterios (Segura y Carrasco, 2015):

- ▶ El agua siempre debía fluir, nunca estancarse.
- ▶ La velocidad debía ser suave y continua para no arrastrar sedimentos y otras partículas en su recorrido.
- ▶ Siempre debía estar protegida de la luz para evitar el crecimiento de algas y bacterias, y tapada, para evitar la contaminación por polvo, heces de animales, entre otros.
- ▶ Siempre que fuera posible, los canales debían ser subterráneos para mantener el agua fría, ya que así se conservaba mejor su calidad. Estos aspectos condicionarían todas las obras de ingeniería necesarias para su canalización y para la elección del mejor itinerario posible desde la fuente de agua hasta la ciudad.

El *aquae ductus* o acueducto era el sistema diseñado para transportar el agua hasta las ciudades, el cual seguía las consideraciones que los ingenieros romanos tenían para su construcción. Se priorizaba, la canalización subterránea, con el fin de evitar la contaminación del recurso y proteger su transporte, ya sea de enemigos o de la extracción ilegal de éste (Alba and Feijoo, 2010). Estos canales, fueron la base del sistema de abastecimiento y transporte del agua a lo largo y ancho del Imperio romano. Transportaban el agua por gravedad, evitando así el costoso sistema de bombeo, pero a menudo era necesario salvar los obstáculos que

presentaba el terreno, como colinas o fuertes pendientes. En caso de que se necesitase elevar el agua por una pendiente pronunciada, diseñaron los sifones. Este sistema estaba basado en el siguiente principio: el agua encerrada dentro de un canal o tubería siempre vuelve hasta su altura de origen, para ello se construyeron canales en forma de U, aplicando lo que hoy se conoce como principio de Bernoulli (De la Peña, 2010).

Adicionalmente a las obras construidas para el transporte de agua, los ingenieros romanos añadieron durante el recorrido, una serie de elementos que garantizaban su buen funcionamiento, manteniendo una calidad del agua adecuada (Segura and Carrasco, 2015):

- ▶ Resaltos, cascadas y escaleras para regular el caudal y oxigenar el agua.
- ▶ Pozos de inspección y registro, para los tramos enterrados.
- ▶ Aliviaderos y desviadores por seguridad.
- ▶ Decantadores para que las partículas de arena más pesadas y la materia que pudiera estar suspendida en el agua cayeran por su propio peso, almacenándose en los depósitos. De esta manera aseguraban su calidad y transparencia. Normalmente estaban situados antes del comienzo de la canalización y en las ciudades.

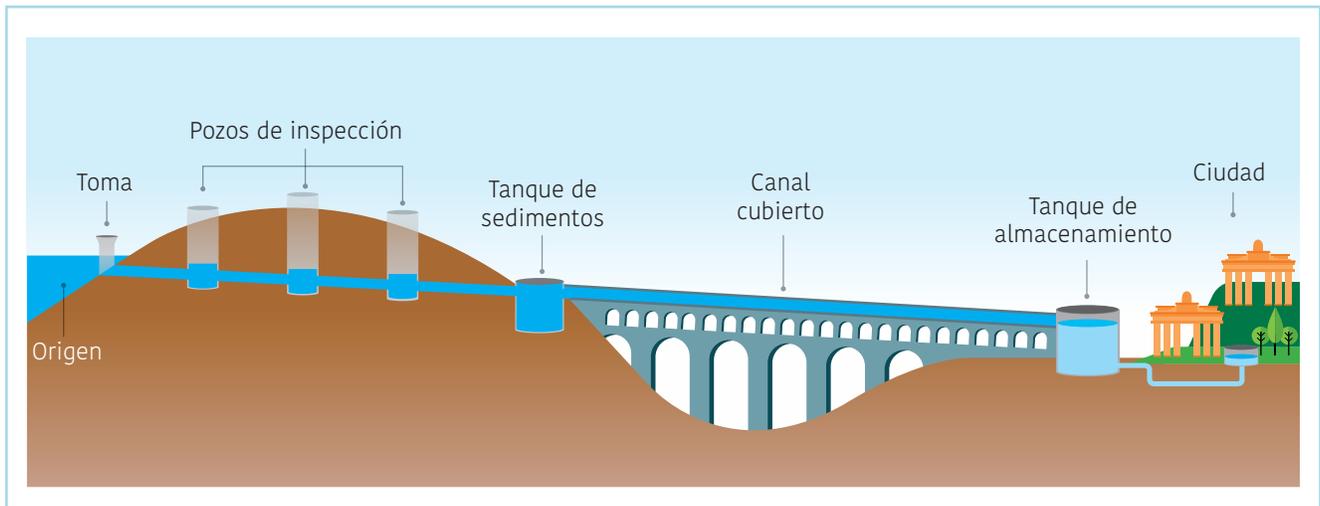


Figura 6. Esquema de sistema de transporte de agua romano **Fuente:** Elaboración propia.

En el siglo III a.C., los romanos lograron vencer un reto impensado para la época, garantizar el abastecimiento de agua a una población numerosa, ya que Roma alcanzó a tener un millón de habitantes. Cabe señalar que en los posteriores 1.800 años, ninguna otra ciudad logró tal crecimiento (Codoñer y Fernandez, 2001). Por eso el abastecimiento de agua de las ciudades romanas, y en concreto de Roma, es considerado como el proyecto de ingeniería hidráulica más grande del mundo (Farman, 1999). Y por si eso fuera poco, construyeron además un sistema de alcantarillado capaz de evacuar toda esa agua de la ciudad.

En la ciudad, el agua circulaba por canales y tuberías con sistemas de desvíos, para que fluyera permanentemente. Si alguien cerraba un grifo, el agua se desviaba por otra tubería y volvía a salir por otro canal (Hopkins, 2007). Para garantizar el suministro continuo, los romanos idearon unos depósitos llamados *castellum aquae*, que estaban ubicados en la entrada de la ciudad, junto a la muralla. Desde aquí, el agua se transportaba a la ciudad por tuberías de barro cocido o de plomo, estas últimas mucho más largas y grandes (Mommsen, 2006). El agua era distribuida por la ciudad, exclusivamente a fuentes públicas, edificios públicos, viviendas particulares de altos cargos o personas importantes que se la podían costear y, en caso necesario, a depósitos secundarios (Hernández, 2001). Entre el 312 a.C. y el 537 d.C., periodo en que el imperio alcanzó su esplendor (Codoñer and Fernandez, 2001), Roma, pasó de surtirse de agua extraída de pozos y sistemas de acumulación de aguas lluvias, a poseer una red de abastecimiento de agua de 99 km de extensión, sumando todos sus ramales, llegando a transportar 140.000 m³ de agua al día, que llegaba la ciudad, a través de la red de acueductos que alcanzaba una longitud de 507 km (Hernández, 2001).

MEDIO ORIENTE: la cultura musulmana en la gestión del agua

Una de las culturas más dominantes del medio oriente es la musulmana, que mayoritariamente profesan el Islam, religión que declara que el agua es el bien natural máspreciado para estos pueblos. En diversos versículos del Corán, se destaca su origen divino, como fuente de vida para el ser humano y la naturaleza, que pese a ser un bien escaso, es de patrimonio común para todas las personas y formas de vida (Corán XI, 7; XXI, 30; XXV, 48-49; XLVII, 15; LV, 68) (Chaaban, 2014).

En cuanto a la técnica para el manejo del agua, los musulmanes tuvieron una fuerte influencia romana. Las comunidades musulmanas, se vieron obligadas a ser eficaces y eficientes en la utilización de este recurso, sobre todo en el riego. Es aquí, donde surgen algunos conceptos sobre la gestión hídrica en la agricultura, que perduran hasta hoy en día. Desde el siglo XIV, existen dictámenes (Trillo, 2004), que indican que todos los vecinos tienen derecho a decidir sobre su gestión del agua, inclusive las mujeres y las personas discapacitadas, o quienes fueren sus representantes legales. Además, expresa que la propiedad del agua estaba separada de la tierra y podía enajenarse independientemente de ésta. También, se documenta la venta y el alquiler, de los turnos establecidos en el sistema el riego. Los que determinaban el orden en que cada propiedad podría disponer del agua y por cuanto tiempo, siendo estas decisiones de exclusiva competencia de la propia comunidad de vecinos involucrada (Watson, 1983). Este sistema, es similar a la gestión que actualmente realizan las organizaciones de usuarios de agua en nuestro país.

Culturas prehispánicas

AZTECAS: los ingenieros hidráulicos del continente americano

El pueblo Mexica, más conocido como aztecas, fue una de las civilizaciones más relevantes de Mesoamérica. Establecidos en la Cuenca de México, controlaron un amplio territorio desde su extinta capital, Tenochtitlán. Ciudad que fue construida sobre una isla, ubicada en el actual Zócalo de Ciudad de México, esta ciudad es un ejemplo de la tecnología desarrollada por el pueblo azteca, visibilizada a través de su ingeniería hidráulica (Palerm, 1972).

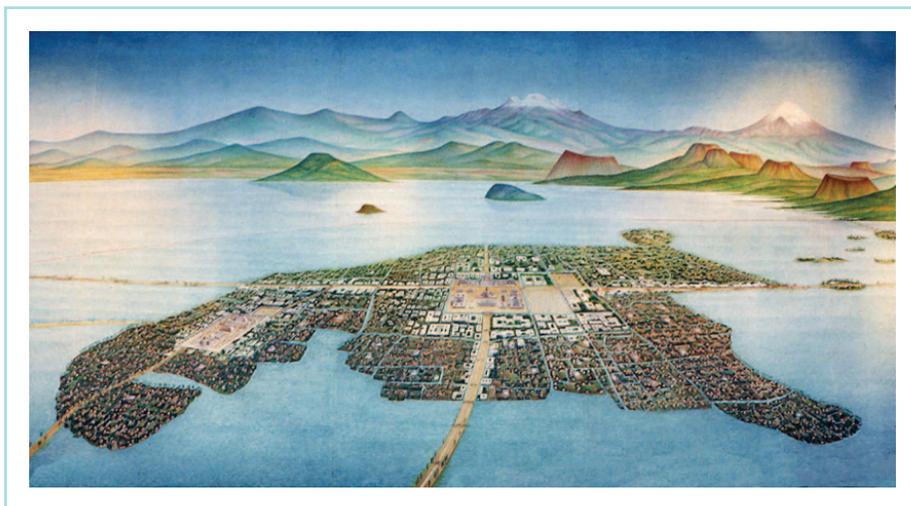


Figura 7. Representación de Tenochtitlán **Fuente:** <https://ruizhealytimes.com/wp-content/uploads/2014/12/tenochtitlan.jpg>

La cuenca del valle de México, tiene la particularidad de ser una cuenca cerrada, conformada por cinco subcuencas, cuya extensión total abarca de 1.000 km² aproximadamente, a una elevación de 2.240 m.s.n.m, en cuya cima converge un sistema de lagos, lagunas y pantanos, formados por las precipitaciones, sumado al desagüe de ríos y manantiales; los que funcionaban con un sistema de vasos comunicantes. En el punto más bajo, se encontraba el lago de Texcoco, con una superficie aproximada de 600 km², en donde desembocaba todo el sistema fluvial. Los aztecas debieron enfrentar diversos desafíos para establecerse y desarrollar la agricultura en la cuenca, como topografía abrupta, lluvias irregulares y el mismo sistema lacustre, por lo que tuvieron que idear soluciones para tener terreno de vivienda, superficies cultivables y sistemas de riego (Escalante, 2004). Para ello, diseñaron un sistema de terrazas en laderas y un sistema de canalización para la recolección de aguas lluvias, que era usada para el consumo y el riego. Esto, debido a que la zona occidental del lago Texcoco sufría de intrusión de agua salobre, por lo que no era apta para ser utilizada (Palerm, 1974).

Para lograr contener el avance del agua salada, el *tlatoani* (gobernador) Itzcóatl ordenó construir en Tenochtitlán la primera obra de grandes dimensiones, conocida como la gran calzada, que servía como camino y dique. Obras que fueron reforzándose en el tiempo debido a que aún se seguían produciendo inundaciones en la ciudad, hasta que en 1449 el *tlatoani* Nezahualcóyotl, dirigió la construcción de una calzada de barro y piedra, conocida como albarradón, que no sólo solucionó el problema de las inundaciones, sino que, además, subdividió en dos el lago de Texcoco, aislando la parte occidental del lago y lo que dio como resultado la creación del lago de México, menos salobre gracias al propio dique y al aporte de agua dulce de los ríos y esteros.

Luego de controlar el problema del agua salada, se construyó en el lago un sistema de cultivo, llamado chinampas, que consistían en un sistema de camellones, a modo de islotes, rodeados de canales y acequias, que evitaban que secaran o inundaran. Estos canales eran lo suficientemente anchos y profundos como para permitir la circulación de canoas entre las chinampas, permitiendo el desplazamiento por el lago hasta sus orillas. Con las chinampas no sólo ganaron terreno para habitación de la población, sino que además lograron abastecerla de alimentos (Boehm de Lameira & Pereyra, 1974).

Una vez abordados las problemáticas de habitación, alimentos e inundaciones, quedaba el desafío del abastecimiento de agua. Para ello, se construyó una red de monumentales acueductos de taludes de piedra y tierra, para trasladar el agua desde los manantiales de la parte alta de la cuenca hasta las ciudades del imperio (Carballal & Hernández, 2004). A medida que avanzó el tiempo, se comenzó a utilizar cal en vez de barro, mejorando la calidad del agua de consumo y su eficiencia en la distribución. Todos estos avances en hidráulica, hicieron que la civilización Mexica o Azteca, fuera la más avanzada en lo que se refiere a la gestión del agua, en la América prehispánica (Parsons, 2004).

MAYAS: los orígenes de la potabilización del agua

El pueblo Maya, fue una civilización mesoamericana establecida en los actuales países de Guatemala, Belice y México, específicamente en la Península de Yucatán, en la parte oriental de Honduras y El Salvador, dominando una extensión territorial que abarcaba más de 300.000 km². La cultura maya, realizó grandes aportes durante más de dos milenios, en diversas áreas, como el desarrollo pleno de un sistema de escritura, siendo uno de los más complejos del continente prehispánico; el arte, la arquitectura de sus pirámides, su sistema de numeración, la astronomía que permitió el diseño de su calendario propio y las matemáticas (Eggbrecht, 2011).

Esta civilización posee un legado reconocido hasta hoy, aunque existe otro aporte, no tan conocido: los sistemas de filtrado para la purificación de agua (Foster, 2002). Al igual que, muchas culturas alrededor del mundo, los mayas tenían sistemas de captación y almacenamiento de aguas lluvias, sistema que terminó siendo una fuente de agua relevante, debido a dos factores. Por un lado los altos volúmenes de precipitación en el territorio, que podían alcanzar los 5.000 mm al año; por otro, al ser una de las civilizaciones más extensas del continente, sus ciudades experimentaron un crecimiento demográfico explosivo, lo que obligó a expandir las urbes, provocando el agotamiento de los manantiales cercanos, ya que la pavimentación del terreno provocó una impermeabilización del suelo, reduciendo la infiltración de las aguas subterráneas (Blanton *et al.*, 1993).

Para abastecer de agua a la creciente población, los mayas construyeron una extensa red de agua, compuesta de canales, tanques para almacenar las precipitaciones durante los meses lluviosos, represas para racionar el agua durante los meses secos, compuertas para controlar la distribución del agua y cambiar las estaciones que controlaban la dirección del flujo (Abrams, 1994). Pese a estos avances, aún quedaba un problema que resolver, la posibilidad de que el agua se contaminase, ya sea por el cruce de canales con caminos, o por los periodos de almacenamiento prolongados.

Es aquí donde los mayas innovaron, creando sistemas de filtraje, tanto en el transporte del agua con decantadores, como filtros en los sistemas de almacenamiento. Para esto, utilizaron arena de cuarzo como estrato de arena gruesa y zeolita como estrato de arena fina, haciendo incluso el agua superficial segura para consumir. Un ejemplo de estas obras se encontró en la ciudad de Tikal, en Guatemala. Por su diseño, este sistema era efectivo filtrando microbios, compuestos nitrogenados e incluso metales pesados como el mercurio (Tankersley *et al.*, 2020)

Cabe señalar, que los materiales con los que se filtraba el agua para potabilización, no son propios de la región donde se realizaron los hallazgos, pero los investigadores asumen que fueron importados desde algún punto del imperio a dicha ciudad (Pharam, 1989). Demostrando que, tanto el diseño como los materiales seleccionados, no eran al azar, sino que se basaban en principios científicos, mostrando lo avanzada que era la civilización maya en diversas materias (Scarborough, 2012).

INCAS: el manejo del agua andina

El Imperio inca fue la civilización más extensa de la América prehispánica. Asentados en el valle de Cuzco en Sudamérica, llegaron a controlar el territorio comprendido entre la sección occidental de la selva amazónica y el océano Pacífico, desde el río Ancasmayo en Colombia, por el norte; hasta el río Maule en Chile, por el sur. Abarcando un territorio de 2.500.000 km² alcanzando los 10.000.000 de habitantes entre las distintas etnias bajo su dominio (Pease, 1991).

Como es de esperarse, en una civilización tan extensa el intercambio cultural es inevitable. Los incas, influenciaron a los pueblos locales en diversas materias como la religión politeísta, artes, cultura (Kauffmann, 2002); organización social jerárquica, estructura de la división territorial regional, sistema decimal de administración que incluía registros estadísticos, sistema de trabajo diferenciado en base a capacidades físicas, sexo y edad (Espinoza, 1997); un calendario de 360 días y 12 meses, un sistema de infraestructura vial, tecnologías para el diseño arquitectónico y construcción sin argamasa (Cabieses, 1980); y metodologías de optimización agrícola que incluían el uso de fertilizantes naturales, sistemas de cultivos en terraza en las laderas de las zonas andinas, y la construcción de acueductos; ejemplos de estos avances, que aún existen en nuestra época, son Machu Picchu y el Tipón, en Perú (Salaverry, 2018).

En cuanto al manejo del agua, los incas construyeron una serie de acueductos, que eran utilizados para abastecer de agua potable y saneamiento a la población, y para aumentar la tierra fértil; especialmente en el territorio andino, cuyas condiciones geográficas dificultaban el establecimiento de cultivos (Wright, 2008). Para llevar a cabo estas obras hidráulicas, se perforaron túneles a través de la montaña y se cavaron zanjas tallando la roca de los acantilados, que permitían conducir el agua desde ríos y manantiales montañosos, donde se captaba parte del caudal, permitiendo mantener el funcionamiento natural del curso de agua y a su vez, evitar el riesgo por las crecidas derivadas de grandes tormentas o del deshielo primaveral (Wright, 2000).

Con el fin de mantener estable el abastecimiento, los incas “sembraron agua”, es decir, construyeron una serie de depósitos subterráneos para almacenar agua, similares a las cisternas, edificados en mampostería (Niemeyer, 2007). Desde estos acumuladores, el agua era canalizada hacia los poblados y a las terrazas de cultivo donde circulaba a través de los canales que comunicaban los diversos niveles, evitando la erosión del terreno, permitiendo el uso eficiente del agua y de los suelos (Cook, 1916).

Todas las obras de ingeniería realizadas por los incas, constituyen lo que actualmente conocemos como manejo de cuenca, pero que a diferencia de la actualidad, estas prácticas se guiaban por una visión mística de los astros, que consistía en la veneración a la Pachamama, o madre tierra, por lo que el respeto hacia la naturaleza lo demostraban en la forma sustentable en que intervenían el territorio y administraban sus recursos hídricos (Dransart, 1992).

Pueblos originarios: los primeros usuarios del agua en Chile

El agua es un recurso vital para el desarrollo social, cultural y económico de cualquier asentamiento humano. Ésta ha permitido el establecimiento de pueblos originarios en los diversos territorios. Por lo tanto, la historia de cualquier pueblo, está intrínsecamente ligada a la gestión de este recurso, volviéndose parte de su propia cosmovisión (Bello, 2004).

La presencia humana en el territorio chileno, data desde hace 14.800 años a.C., aproximadamente, que corresponde a la fecha de datación de los restos arqueológicos más antiguos, encontrados en el país, en la localidad de Monte verde, en la Región de los Lagos (UNESCO, 2004). Desde esa época, diversas culturas poblaron el territorio chileno, donde se estima que más de un millón de personas llegaron a habitar el país, previo al arribo de los colonizadores españoles (BNC, 2000).

Al estudiar la ocupación originaria de Chile, se estima que las posibles vías de ingreso al territorio nacional están asociadas a la presencia de agua, que además de ser una fuente de abastecimiento para la bebida, favorecería actividades como la caza y la recolección, para luego dar paso a la agricultura y el pastoreo (Núñez, 1981).

El agua, siempre ha sido vital para el desarrollo de los pueblos originarios del país, desde el norte que fue habitado por los pueblos: Aymaras, Atacameños, Quechuas, Collas, Changos y Diaguitas; la zona central del territorio: Picunches, Pehuenches y Mapuches; el sur: Huilliches, Cuncos, Aonikenk, Chonos, Kaweskar, Selknam y Yaganes; y el pueblo Rapa Nui, que habitaba territorio exclusivamente insular (Aravena, 2014).

Los registros históricos muestran que la relación de los pueblos originarios chilenos con el agua se remonta al periodo Paleoindio, comprendido entre el 12.500 y el 9.000 a.C., que es de donde se tiene registros de asentamientos de los primeros pobladores del territorio. Estos registros, muestran que los establecimientos de los primeros ocupantes, podían ser de carácter temporal, ocasional o permanente, estando siempre asociados a cuerpos de agua, ya sea ríos, vertientes humedales, estuarios, lagos o lagunas (Montané, 1968). Esta ubicación, facilitaba la cacería de megafauna, ahora extinta, que tenía como hábitat los mismos sitios asentados (Núñez, 1981).

El periodo paleoindio, está marcado por un proceso de cambio climático derivado del fin de la última glaciación hace 15.000 años aproximadamente. Esto provocó un aumento de las temperaturas, hasta llegar a los diversos climas y hábitats que tenemos en la actualidad, marcando la distribución territorial de los pueblos originarios en el país (Núñez, 1995).

Lo anterior dio como resultado que las diferentes comunidades se establecieran de acuerdo a lo indicado en la Figura 8 (Molina *et al.*, 2012).

El pueblo Aymara, originalmente asentado en el altiplano boliviano, llegó a ocupar el altiplano chileno desde Visviri por el norte hasta laguna del Huasco por el sur, los ríos Lluta y Azapa de la precordillera, las quebradas de Vitor, Camarones, Tana o Camiña, Tarapacá y Guatacondo, llegando hasta la costa inclusive, y los oasis de precordillera; Pica, Matilla, Mamiña, la pampa de Tamarugal y Quillagua, además de centros urbanos. Todos estos lugares pertenecen a las comunas de Camarones, General Lagos y Putre en la Región de Arica y Parinacota, y a las comunas de Camiña, Huara, Pica y Colchane en la Región de Tarapacá.

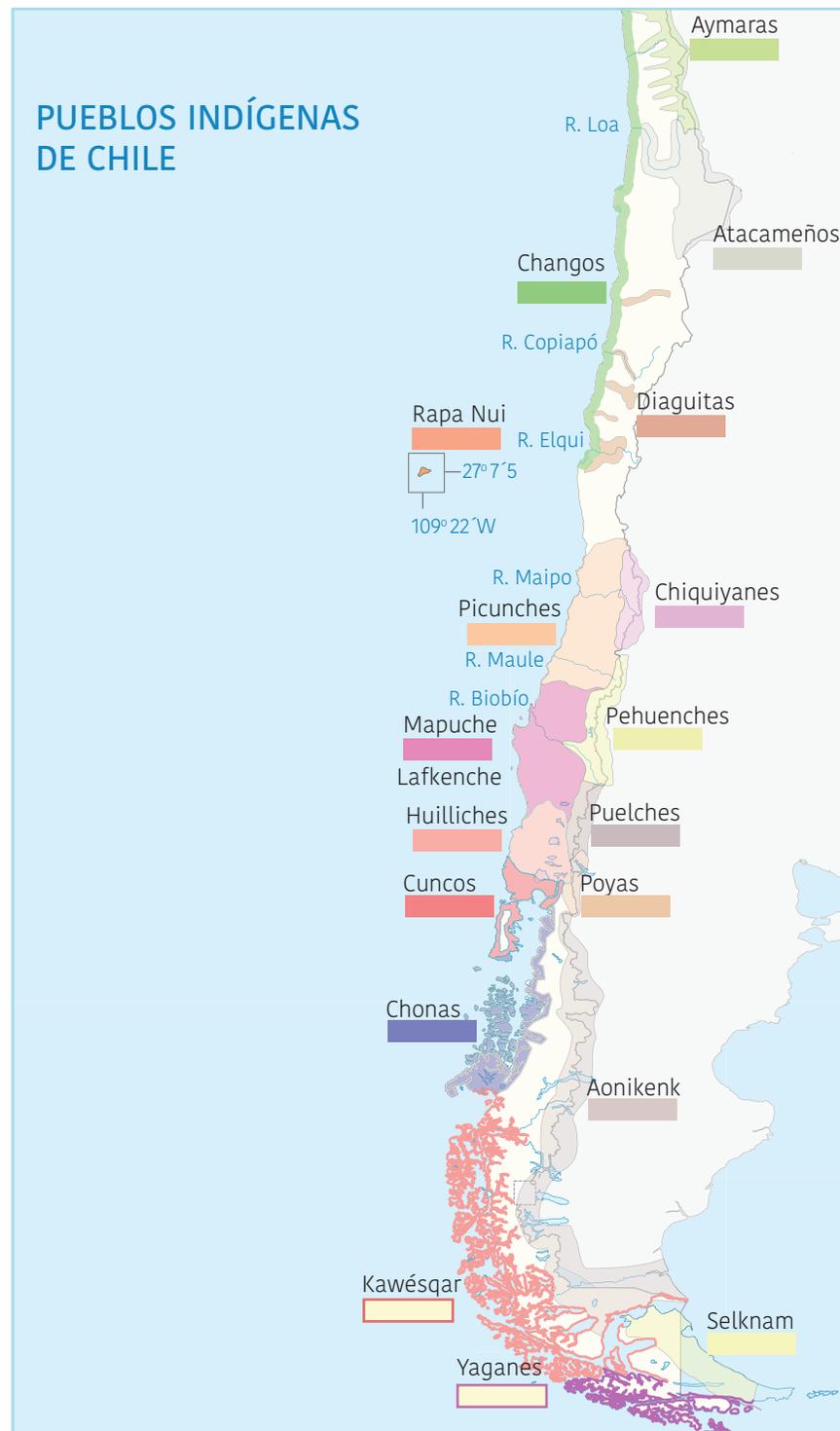


Figura 8. Distribución de los pueblos originarios de Chile, por el territorio nacional **Fuente:** Wikimedia Commons.

La hidrología de su territorio, está constituida por lagunas y lagos altiplánicos, como el Chungara, Parinacota, Huasco, Coposa y Michincha. Los ríos altiplánicos que escurren hacia Bolivia como el Lauca, Caquena, Isluga, Cariquima y Cancosa; y los que llegan a la costa como el Lluta y Azapa. Algunos ríos endorreicos de corto trayecto escurren en el altiplano y en los valles altos de Arica. En las quebradas de Vitor, Camarones, Camina y Tarapacá, existía un sistema de vertientes que alimentaba los asentamientos Aymaras de estos territorios.

El pueblo Atacameño y sus comunidades, se localiza en la cuenca del Salar de Atacama y en el curso alto del río Loa, y su afluente, el río Salado, lugares correspondientes a las comunas de Calama y San Pedro de Atacama, ambas de la provincia del Loa, Región de Antofagasta. La hidrografía en el territorio atacameño está compuesta por aguadas, vegas y ríos, estos últimos nacen de vertientes a los pies de los volcanes o en las zonas bajas del pie de monte, cercanas al Salar. Los cursos hídricos más conocidos son el río Loa, que riega Caspana y Chiu Chiu, y los ríos Caspana y Toconce que riegan los pueblos homónimos. En la cuenca del Salar de Atacama, escurren varios ríos locales; San Pedro y Vilama que riegan los ayllus de San Pedro, y los ríos que riegan los pueblos de Toconao, Camar, Talabre, Socaire, Peine y Tilomonte.

El pueblo Quechua se asentó en dos comunidades en lo que actualmente se conoce como provincia del Loa, Región de Antofagasta, una ocupa las cuencas de los Salares de Carcote y Ascotán, con sus vegas, inundables y campos de pastoreo asociados, en la comuna de Ollagüe. La segunda ocupó la cuenca del río San Pedro o Inacaliri, afluente del río Loa en la comuna de Calama. La hidrografía resultante, corresponde a vertientes y aguadas en Ollagüe, que se distribuyen dentro de las cuencas cerradas de los salares Carcote y Ascotán. La cuenca del río San Pedro recibe las mayores precipitaciones en las alturas de los volcanes San Pedro y San Pablo, Paniri, Incaliri y Linzor. Su hidrografía está compuesta por los ríos Incaliri, Siloli y Cabana, que se infiltran y formaban la laguna Ojos de San Pedro, que daba nacimiento al río San Pedro.

Los collas y sus comunidades se ubicaron en tres zonas: La cuenca del río Jorquera y sus afluentes, más la Quebrada de Carrizalillo y Lomas Bayas. Las Quebradas de Paipote, San Miguel y San Andrés, más la cuenca del río Patón y parte de la Laguna Santa Rosa. Y la zona de Potrerillos, donde ocupan la Quebrada Jardín y las aguadas cercanas, la Quebrada de Doña Inés y el Salar de Pedernales. Estos lugares pertenecen a las actuales comunas de Tierra Amarilla, Copiapó y Chañaral, de la Región de Atacama. La hidrografía está representada por el escurrimiento del río Jorquera y sus afluentes, por el endorreico río de la Sal, además de las numerosas aguadas y vegas aisladas. Pastos y aguas, favorecen la presencia de guanacos y zorros bajo los 3.500 m.s.n.m. y sobre éste ocurre el hábitat de vicuñas en la puna de Copiapó.

El pueblo Chango habitó la costa del desierto de Atacama hasta Coquimbo, ocupando la franja litoral formada por la cordillera de la costa y el océano, en el desierto más árido del mundo. El desarrollo de esta comunidad dependía principalmente de la pesca y recolección marina, y pudieron abastecerse de agua y algunos recursos terrestres, gracias la camanchaca, fenómeno que se produce por el transporte que realiza la brisa marina del agua evaporada del océano, la que llega en forma de niebla y que es retenida por la cordillera de la costa, permitiendo la presencia de ecosistemas de gran diversidad en algunos tramos de la costa y la obtención de agua a través de pequeñas vertientes y de la captura de la niebla.

Las comunidades del pueblo Diaguita, se asentaron en la cuenca del valle del río Tránsito y sus afluentes, los ríos Valeriano, Cazadero, Conay y Chollay, conocido este territorio como Huasco Alto, el que pertenece a la comuna de Alto del Carmen, provincia del Huasco, Región de Atacama. Estos ríos nacen de las filtraciones nivales o glaciares, ubicados en los cordones más altos de la cordillera de los Andes, que están en el límite internacional con Argentina. Aguas abajo, los ríos forman terrazas que fueron utilizadas para la agricultura y en el asentamiento de la población. Las precipitaciones ocurren en el invierno en las zonas altas de la cuenca y eventualmente en verano.

La comunidad Rapa Nui, se ubica en la Isla de Pascua, en medio del Pacífico Sur, a 3.700 km del continente americano. Este pueblo se asentó en la isla, cuyo clima de tipo subtropical húmedo presenta precipitaciones en todos los meses del año, que oscilan entre 90 y 150 mm mensuales. Estas precipitaciones son esporádicas y breves, y sus aguas se infiltran en el material volcánico del suelo, por lo que no existen cauces hídricos superficiales. Por ello, la comunidad debió abastecerse desde los lagos formados producto de las acumulaciones de aguas lluvias, en los cráteres de los volcanes Rano Aroi, Rano Raraku y Rano Kau.

El pueblo Mapuche se distribuyó entre el río Maule y el golfo de Corcovado, dividiéndose en diferentes comunidades de norte a sur: entre el río Maule y el Biobío se encontraba la comunidad Picunche; en la cordillera, en el nacimiento del río Biobío, se encuentra la comunidad Pehuenche; en la costa entre el río Biobío y el río Toltén se ubica la comunidad Lafkenche; entre el río Toltén y el golfo de Corcovado se encuentra la comunidad Huilliche, en lo que actualmente se conoce como las regiones de Maule, Biobío, Araucanía, Los Ríos y Los Lagos, respectivamente.

Como pudimos apreciar, la extensión del territorio donde se asentaron las comunidades mapuches fue muy extenso, abarcando desde el río Maule hasta el sur de la Isla de Chiloé, ocupando las principales cuencas hidrográficas y la mayoría de los afluentes de los ríos: Maule, Itata, Biobío, Malleco, Cautín-Imperial, Toltén, Valdivia y Bueno, y las pequeñas cuencas hídricas de los ríos de la cordillera de la Costa de Arauco, Valdivia, Osorno, y del archipiélago de Chiloé. Se deben incluir el poblamiento ribereño de los lagos Contulmo, Lleu Lleu y Budi en la costa, y de los lagos y lagunas de Galletué, Icalma, Villarrica, Calafquén, Panguipulli, Ranco y Maihue localizados en los valles de la cordillera de los Andes.

El pueblo Cunco, a veces considerado como parte del pueblo Huilliche, habitaba en la franja costera al sur del río Valdivia, hasta el río Maullín, aunque se piensa que también se extendieron a la porción norte de Chiloé y sus islas aledañas. Se caracterizaban por navegar por el mar y las desembocaduras de los ríos del territorio que habitaban, en busca de alimentos como peces y mariscos, para ello utilizaban canoas de madera, llamadas dalcas.

Los Chonos, eran un pueblo de indígenas nómadas que habitaron la patagonia insular, específicamente, las islas y canales entre el sur del archipiélago de Chiloé y la península de Taitao en la zona austral de Chile. Su principal actividad era la caza del lobo marino, la pesca, realizada por los hombres, y la recolección de algas y mariscos, realizada por las mujeres. Al igual que los Cuncos, se transportaban en dalcas, las que eran fabricadas con palos y cuero de lobo marino. Se asentaban en cuevas o campamentos familiares, fabricados de palos y cuero, manteniéndose cerca de esteros para abastecerse de agua dulce.

El pueblo Aónikenk, eran una sociedad nómada de cazadores y recolectores. Se desplazaban a pie por el territorio comprendido entre el río Santa Cruz y el Estrecho de Magallanes, en busca de guanacos, ñandúes y otros animales comestibles. Con un detallado conocimiento del territorio, frecuentaban sitios en donde se concentraba la caza y establecían periódicamente *aike*, o campamentos en aquellos lugares, los que usualmente estaban asociados a sitios de pastura con fuentes de agua producto del deshielo glaciar.

Los Kawésqar, eran un pueblo nómada que recorrió el territorio comprendido entre la península de Taitao y el Estrecho de Magallanes. Se desplazaban en sus canoas llamadas hallef, en busca de lugares donde hubiera abundancia de mariscos y para encontrar sitios de caza de lobos marinos o huemules. Se asentaban en campamentos de chozas precarias, en sitios abrigados de la costa, construidas con un armazón de ramas cubierto de cuero de lobo. Cabe señalar que el clima de este territorio es hostil, con fuertes y constantes lluvias que alcanzan los 9.000 mm al año y temperaturas medias que oscilan entre los 4 y 9 °C, debido a la influencia oceánica antártica.

Los Selk'nam también conocido como Onas, fueron un pueblo que habitó la porción norte y central de la isla grande de Tierra del Fuego. Se dividían en dos grandes comunidades, la tribu de las planicies del norte, quienes cazaban cururos y ñandúes; y la tribu de la zona montañosa del sur de la isla, quienes además se dedicaban a la pesca. El clima en Tierra del Fuego es de carácter subpolar, esto implica que las temperaturas son bajas promediando los 6 °C y con niveles de precipitación que alcanzan los 1.000 mm al año, volumen considerablemente menor que los existentes en el territorio Kawésqar.

Los Yámana o Yagán, fueron un pueblo que habitó el archipiélago fueguino, de Chile y Argentina, específicamente desde la entrada del Canal Beagle por el Norte; hasta Bahía Aguirre por el Este; la península de Brecknock por el Oeste; y el Cabo de Hornos, por el sur. Sectores como el canal Murray e islas como Hoste, Navarino, Picton y Wollaston. Una característica de los yaganes, es que no sólo se desplazaban por los canales en busca de alimento, sino que además buscaban pirita de hierro, para encender fuego que utilizaban para calefacción, cocinar y conseguir agua en invierno. Esto último, debido a que las temperaturas invernales descienden hasta los -8 °C, lo que provoca que las fuentes de agua superficial se congelen y que toda la precipitación, que alcanza los 550 mm al año, caiga en forma de nieve.

Cabe señalar que durante el periodo colonial los pueblos indígenas de Chile sufrieron, en algunas zonas, un proceso de reducción de sus tierras, como consecuencia de la expansión del establecimiento español, lo que derivó en requerimientos de suelo y agua para los sitios urbanos y la agricultura. Donde, desde la perspectiva jurídica de la propiedad, el agua estaba intrínsecamente ligada a la propiedad de la tierra (Molina & Yañez, 2020).

Luego, durante el nacimiento de la República y la consolidación del Estado - Nación de Chile entre los siglos XIX y XX, el agua al igual que en la época colonial, siguió siendo un recurso vinculado a las tierras agrícolas, otorgándose derechos para resolver la cuestión del uso y el aprovechamiento. Es aquí donde surgen nuevos usos para el recurso hídrico, como son la minería y la generación de energía eléctrica. Para solventar dicha relación de exclusividad entre el agua y la agricultura, en 1981, se actualizó el código de aguas, bajo el régimen militar. Donde se establece el uso consuntivo y no consuntivo, separando la propiedad del agua de la propiedad del suelo, creando un mercado donde el agua se puede transar, preñar y traspasar, con independencia del aprovechamiento por parte del propietario del suelo por donde fluyen dichas aguas (Yañez, 2004).



HIDROGRAFÍA

de la Región del Biobío

En cuanto a la hidrografía de la Región del Biobío, está marcada por la cuenca que le da su nombre a este territorio, siendo la tercera más extensa del país, detrás de los ríos Loa y Baker, nos referimos al río Biobío. Si bien el Biobío, es el cauce más relevante de su región homónima, éste no se encuentra completamente contenido en ella, pues tiene sus orígenes al sureste, en la cordillera de los Andes de la Región de la Araucanía. En efecto, la hoya hidrográfica abarca 24.260 km², equivalentes al 3% de la superficie continental del país, donde 17.467 Km² pertenecen a la Región del Biobío, que representan el 72% del área la cuenca y el 73% de la superficie total regional.

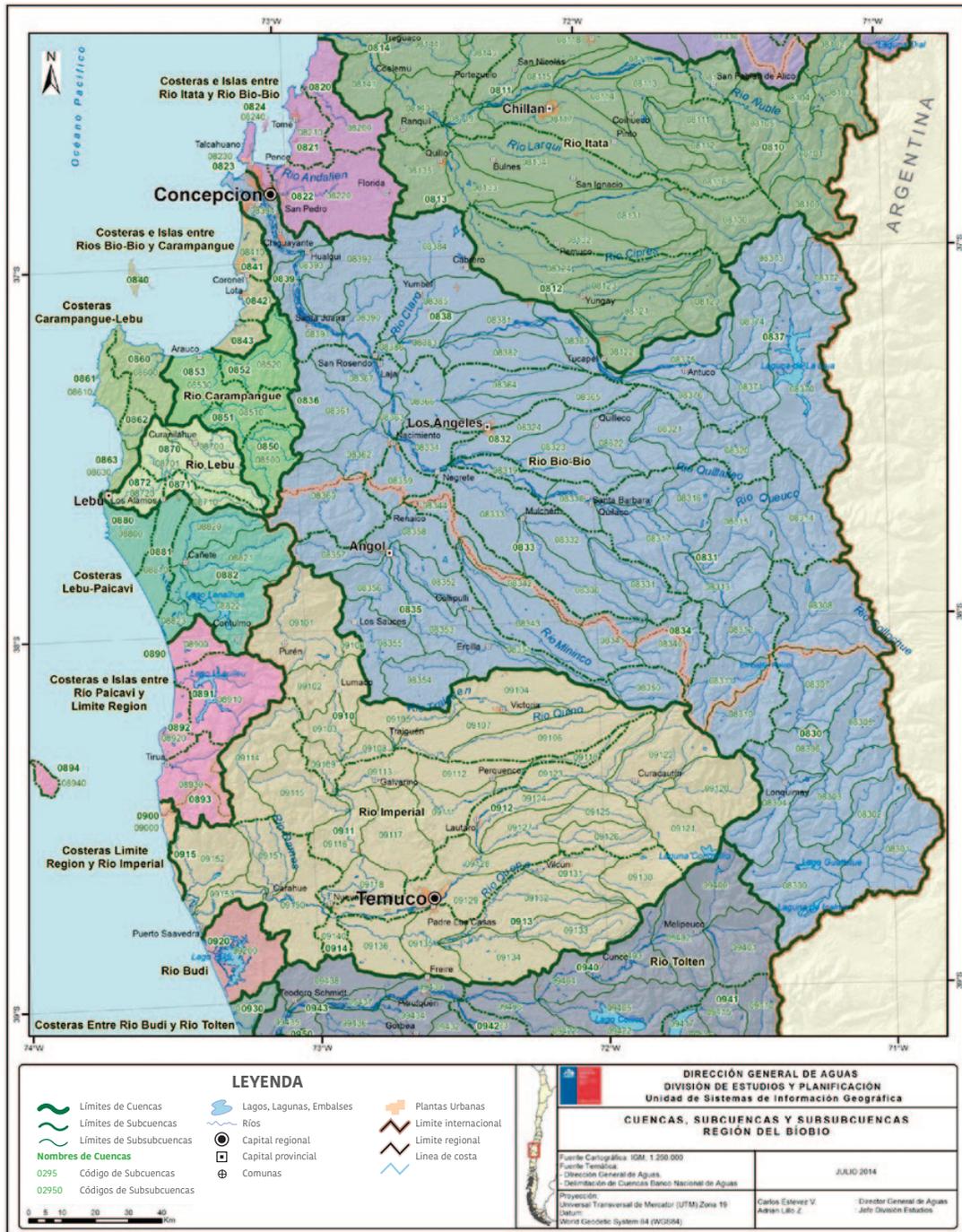


Figura 9. Cuencas, Subcuencas y Subsubcuencas de la Región del Biobío. Fuente: DGA.

Cuenca del río Biobío

Debido a la relevancia de este río, su hidrografía e hidrología, han sido ampliamente estudiadas, reportándolas con gran detalle su génesis hasta su desembocadura (Valdovinos & Parra, 2006), como se describe a continuación.

Desde su nacimiento en el lago Galletué, a una altura de 1.160 m.s.n.m., el río Biobío recorre un curso de 380 km con una dirección sureste a noroeste, y desemboca en el lado norte del Golfo de Arauco, en el océano Pacífico. En este trayecto, el río contiene 15 subcuencas menores sometidas a la influencia de distintos ambientes y factores geográficos; por lo tanto, la dinámica del sistema es muy variable desde el inicio de su curso hasta su desembocadura. De estas subcuencas, las principales corresponden a las del Alto Biobío y las de los ríos Duqueco, Bureo, Vergara y Laja. El régimen hidrológico de la hoya en el alto Biobío es más bien nival, pero ya en el curso medio, al recibir aportes pluviales, pasa a régimen mixto.

En cuanto a la geografía de la cuenca, el Biobío nace rodeado de cumbres de más de 1.900 m.s.n.m., en la laguna Galletué a una altitud de 1.160 m.s.n.m., recibiendo las aguas del lago Icalma 10 km aguas abajo, a través del río Rucanueo. En este primer tramo, el río fluye hacia una planicie andina. En el sector de Liucura, recorre el valle andino de Lonquimay, cuyo relieve en forma de terrazas permite el uso agropecuario extensivo. En su recorrido hasta la confluencia con el río Lomín, el Biobío atraviesa el bosque andino, para luego recibir los aportes de los afluentes andinos desde el noreste, los ríos Liucura, Rahue, Ranquil, Lomín, Pangué, Queuco y Huequecura, y por el suroeste, los ríos Lonquimay, Lolco, Vinucura, Butaco y Lirquén.

Las laderas de la cuenca que se proyectan mirando hacia el oeste, reciben la mayor intensidad de las lluvias, provocando que los afluentes del lado oriental sean más numerosos y caudalosos que los del lado occidental. Del río Rahue, hasta su nacimiento en la laguna Galletué, el río Biobío transita por un valle relativamente ancho; en cambio, hacia la depresión intermedia, lo hace muy encajonado, por lo que las aguas adquieren velocidad conforme aumenta la pendiente.

Entre Santa Bárbara y Negrete, el Biobío recibe los aportes por el norte de la subcuenca del Duqueco, y por el sur, de las subcuencas de los ríos Bureo y Mulchén, a través de los ríos de los mismos nombres. El río Duqueco, se alimenta del deshielo de los glaciares de Sierra Velluda. En el sector de Nacimiento, que corresponde a su curso medio, el Biobío recibe al río Vergara, que tiene como afluentes los ríos Malleco y Renaico, los cuales traen las aguas de las laderas occidentales de la cordillera de Pemehue. La subcuenca del río Vergara, típicamente preandina y de carga pluvial, constituye un aporte importante para los consumos del Biobío, en su curso inferior.

El río Laja, corresponde al principal tributario del río Biobío, nace en la laguna del mismo nombre, que está ubicada en la cordillera de los Andes, a más de 1.360 m.s.n.m. Luego de la confluencia de estos ríos, se encuentra la cordillera de la Costa, modelada por la escorrentía que tuvo el Biobío, en épocas geológicas pasadas. Estas cumbres son de escasa altura, las que en general no sobrepasan los 330 m, hasta llegar a la ciudad de Concepción, donde el río alcanza su ancho máximo, aproximadamente 2.300 m. En su paso por la cordillera de la Costa, el río Biobío recibe las aguas de los cauces que fluyen por su lado oriental, como los ríos Guaqui, Gomero, Hualqui y el Estero Quilacoja; y por el lado occidental, el río Tavoleo y río Rele.

Entre San Rosendo y la desembocadura, el río Biobío recorre 80 km con una pendiente suave, la cual favorece la formación de meandros y su sedimentación. Al final de su recorrido, desemboca en el mar, entre las comunas de San Pedro de la Paz y Hualpén. En este lugar, una importante barra obstruye la salida e impide la navegación de embarcaciones incluso de escaso calado.

En cuanto a la hidrología del Biobío, en condiciones de precipitaciones normales, el caudal promedio en su nacimiento es de 30 m³/s. En cambio, el caudal medio anual en la desembocadura, varía entre 300 y 900 m³/s. Además, puede presentar normalmente crecidas de hasta 8.000 m³/s, las que podrían llegar los 17.000 m³/s, en un evento extremo que puede darse una vez cada cien años.

La hidrología del cauce principal y de sus afluentes, sigue comportamientos diferentes debido a las distintas unidades morfológicas presentes (cordillera de los Andes, Valle Central o Depresión Intermedia y cordillera de la Costa) que influyen en la precipitación nival y/o pluvial, en toda la extensión de la cuenca. Además, las formaciones geológicas existentes influyen de manera diversa en los aportes de aguas subterráneas a los cauces superficiales.

Tomando los caudales medios mensuales medidos en la estación Biobío en Desembocadura, perteneciente a la Dirección General de Aguas (DGA), se observa que el régimen del río es del tipo pluvio-nival, con un caudal máximo medio mensual de aproximadamente 2.200 m³/s en los meses de junio-julio, que corresponde a los meses de máximas precipitaciones en la cuenca. Los caudales mínimos medio mensuales se ubican en los meses de marzo-abril con valores cercanos a los 180 a 220 m³/s, cuando se termina el verano y aún no se registran las primeras precipitaciones. Este caudal mínimo se mantiene gracias a algunos aportes nivales remanentes y a la napa.

El río Laja en Tucapel, con una cuenca de 2.680 km², posee caudales medios anuales de 170 m³/s. El río Laja y el Biobío en el Alto Biobío presentan una alta correlación en sus caudales proporcionalmente a sus áreas, ya que en ambos casos sus cabeceras corresponden a zonas cordilleranas y ambas cuencas presentan un régimen pluvio-nival. Si bien, la alta meseta de Lonquimay, en donde nace el Biobío, registra valores de precipitación bajo los 2.000 mm, a medida que éste avanza, hay sectores con precipitaciones que pueden superar los 4.000 mm anuales. En el caso del río Laja, las fuentes de origen recogen las aguas de escorrentía de zonas con precipitaciones que sobrepasan los 4.000 mm anuales.

En resumen, la subcuenca central del Alto Biobío representa aproximadamente, el 65% del caudal total del Biobío en su desembocadura. El Laja aporta un 20% del caudal, correspondiendo el resto, de un 15% al Vergara y otros ríos menores. Se ha calculado que el sistema fluvial del río Biobío, estaría conformado por alrededor de 15.000 cauces entre los cuales se encuentran de primer, es decir que no tienen afluentes hasta de noveno orden, es decir que tienen 9 afluentes; cada uno de estos 15.000 cauces, posee su respectiva cuenca.

Cuencas costeras de la Región del Biobío

Los otros sistemas hidrográficos que existen en la Región del Biobío, corresponden a cuencas costeras, que se encuentran en las provincias de Concepción y Arauco, las que se describen a continuación.

Cuencas costeras entre río Itata y río Biobío

De norte a sur, encontramos la red hidrográfica ubicada entre las cuencas del río Itata, de la Región del Ñuble, y el río Biobío. Esta hoya pertenece a la Provincia de Concepción, abarcando un área aproximada de 1.503 km², que contiene a las comunas de Tomé, Penco, Talcahuano, Florida y parte de Concepción. Dentro de los principales

cauces de esta cuenca, que desembocan al Océano Pacífico, encontramos los ríos Rafael - Pingueral y Andalién; y los esteros Perales, Purema, Pudá, El Molino, Dichato, Coliumo, Bellavista y Collén.

El río Rafael en el tramo superior y río Pingueral en el inferior, es un curso de agua que nace al sur del pueblo Rafael, pertenece a la comuna de Tomé, tiene una longitud de 32 km y su hoya hidrográfica abarca una superficie de 282 km². Éste, se origina de la confluencia de los esteros Conuco y Las Taguas para continuar en dirección noroeste hasta su desembocadura en la Bahía Coliumo, al sur de la Punta Pingueral, en el océano Pacífico. En el curso medio desagua en él su afluente principal, el estero La Cascada, que fluye al oeste con una longitud de 7 km; para luego, poco antes de su desembocadura recibir las aguas del estero El Molino, cuyo flujo también es al oeste y de longitud total de 4 km. El caudal posee un régimen pluvial, con crecidas en invierno donde su máximo varía entre 8 y 16 m³/s, lo cual desciende en los meses de verano donde el flujo varía entre 1 y 2 m³/s.

Por su parte el río Andalién, es un curso de agua que atraviesa parte de la ciudad de Concepción, y las comunas de Penco y Talcahuano, desembocando en la Bahía de Concepción. Tiene una longitud de 36 km y su hoya hidrográfica abarca una superficie de 780 km², que equivalen al 23% de la provincia de Concepción, e incluye parte de las comunas de Florida, Penco, Talcahuano y Tomé.

Éste, nace producto de la unión de los esteros Poñén, el cual viene desde la divisoria de aguas por el norte, y Curapalihue, que viene desde el sur. Su trayecto, está marcado por la cordillera de la Costa, cuyos cerros provocan que tenga un recorrido serpenteante, llegando a un arco abierto al sur que bordea la ciudad de Concepción. Además, esta llanura aluvial suele dividirse en dos o más brazos, dando origen al sistema de humedales Rocuant - Andalién, para luego vaciarse en un gran ensanchamiento de la costa sur de la bahía de Concepción, específicamente en Playa Negra, de la comuna de Penco.

En la cuenca del río Andalién, desde su nacimiento en la unión de los esteros Poñén y Curapalihue en la Cordillera de la Costa, hasta su desembocadura en el océano Pacífico, se observa un régimen exclusivamente pluvial, debido a su elevación y cercanía con el mar, con los mayores caudales en meses de invierno, que alcanzan los 300 m³/s en años lluviosos, mientras que en la época estival su caudal desciende a 1 m³/s.

Cuencas costeras entre río Biobío y río Carampangue

Avanzando hacia el sur, encontramos la red hidrográfica ubicada entre las cuencas del río Biobío, en la Provincia de Concepción; y el río Carampangue, en la Provincia de Arauco.

Esta cuenca posee una superficie aproximada de 394,6 km², conteniendo a la comuna de Lota y abarcando parte de las comunas de Arauco, Coronel y San Pedro de la Paz. Dentro de los principales cauces de esta cuenca, que desembocan en el Golfo de Arauco, al océano Pacífico, encontramos el río Laraquete y los esteros Villa Mora, Manco, Colcura y Chivilingo.

El río Laraquete es un curso de agua que tiene sus orígenes al noreste de la localidad del mismo nombre, en la comuna de Arauco. Éste, se origina en la confluencia de las aguas de las quebradas Del Cajón y Agua del Loro, para continuar en dirección al oeste, donde recibe las aguas del estero el Molino, para luego desembocar en el golfo de Arauco, en el océano Pacífico.

Cuenca del río Carampangue

La cuenca del río Carampangue, drena sus aguas desde la cordillera de Nahuelbuta, recorriendo 70 km en dirección oeste, por donde atraviesa las comunas de Curanilahue y Arauco, para desembocar al océano Pacífico, en la costa del golfo de Arauco.

En su curso superior, el río Carampangue fluye encajonado entre laderas abruptas, cubiertas por plantaciones forestales y remanentes de bosque nativo, en la falda occidental de la cordillera de Nahuelbuta. En el curso medio, el cauce se enancha a terreno más plano y reduciendo su velocidad, llegando a un valle fértil y abierto hasta su desembocadura en el golfo de Arauco. Forma aquí, como se dijo, una laguna litoral alargada, paralela a la línea de costa, y una barra que da paso a embarcaciones menores, a través de un canal que permite la navegación por botes hasta 15 km del curso inferior del río. Su caudal, medio estimado es de unos 5 m³/s en los meses críticos del verano, en contraste con los 45 m³/s en promedio que presenta en la época de invierno.

Cuenca del río Lebu

La cuenca del río Lebu, es una hoya hidrográfica de 858 km² de superficie, cuyo cauce posee una longitud de 35 km, que fluye hacia oeste de la cordillera de Nahuelbuta, desembocando en el océano Pacífico.

El río Lebu, se origina de la convergencia de los ríos Curanilahue, que baja desde el norte, y del río Pilpilco que proviene del este. En su curso inferior, tras describir un gran arco hacia el sur, se dirige al noroeste hasta vaciarse en el Pacífico. El río tiene un régimen pluvial, con caudales que pueden alcanzar los 100 m³/s, en los meses de invierno y descender a unos 20 m³/s en los meses de verano.

Cuenca del río Paicaví

La cuenca del río Paicaví, se encuentra al sur de la cuenca del río Lebu, comprende una superficie de 1.215 km², su cauce fluye, al sur de Cañete y al noroeste de Contulmo hasta verter su caudal en el océano Pacífico. En su tramo superior, se le llama río Tucapel, para luego de bordear la ciudad de Cañete por el oeste, pasa a llamarse río Peleco y en su tramo inferior recibe el nombre de Paicaví.

El Paicaví nace en la confluencia del estero Puyehue, emisario del lago Lanalhue y el lago Puyehue; y el río Peleco, que nace de la convergencia de los ríos Tucapel y Leiva; captando y transportando todas las aguas de la parte norte de esta cuenca. El Paicaví, dada su conformación, puede ser considerado como la cuenca inferior de un curso de agua, cuya cuenca superior es el río Tucapel y su cuenca intermedia es el río Peleco.

Las aguas del río Paicaví, poseen un régimen pluvial, con aguas tranquilas y poco profundas, que presentan crecidas en invierno, mientras fluyen entre quebradas de laderas poco boscosas, cuyo nivel es afectado por la marea, permitiendo que hacia el interior sea navegable por embarcaciones menores.

Cuenca del río Tirúa

El río Tirúa, posee un cauce que fluye en dirección al oeste y desemboca en el océano Pacífico, cuya cuenca posee una superficie de 426,5 km². Éste, nace en la confluencia del estero Palo Santo, que viene desde el sureste, con el estero Poduco, que viene desde el este. Desde su nacimiento recorre 25 km hasta finalmente desembocar en el mar tras bordear la localidad de Tirúa. En su tramo superior y medio, recibe los afluentes esteros Santa Ana, Blenco, Macha y Cuyel entre otros, siendo el más importante es el Loncotripal.

Como se ha podido observar, todos los asentamientos humanos, ya sea más o menos urbanizados, se sitúan en alguna cuenca. Es decir, que el desarrollo del ser humano y de la vida en general, depende de estos territorios, ya que, es ahí donde se obtiene el suministro de agua para bebida, riego, industria, recreación, entre otros usos; y al mismo tiempo proporciona hábitats para la vida. Por ello, es vital tener conciencia de las implicancias que tienen las acciones que ejercemos en la cuenca, porque pueden afectar al entorno y, por consecuencia, al resto de los habitantes de dicho territorio, ya que, al existir diversos tipos de usos y de usuarios, se genera competencia por el acceso a los recursos existentes, los que son de carácter finito.

Por esta razón, la búsqueda de alcanzar un equilibrio entre la conservación y su uso sustentable de los recursos naturales, como el agua, permitirá contar con él a largo plazo, reduciendo los conflictos por su acceso y propendiendo a la seguridad hídrica. Pero, para alcanzar este objetivo, no basta con el uso eficiente del agua, sino que hay que entender su dinámica, el cómo se mueve por el territorio, como ingresa al subsuelo y principalmente como se renueva en el territorio.

Para ello, hay que profundizar en cómo el agua se comporta en la naturaleza, específicamente, en sus cambios de estados de la materia. Para el caso del agua, las temperaturas y presiones necesarias, para que se produzcan estas transiciones, existen en condiciones naturales. Esto, provoca que podamos encontrar agua sólida (hielo), agua líquida y agua gaseosa (vapor) en el medio ambiente; y que, por efecto de variaciones en las condiciones del clima, ésta cambie de estado, ya sea, de sólido a líquido (fusión), de líquido a gaseoso (evaporación), de gaseoso a líquido (condensación), o de gaseoso a sólido y viceversa (sublimación). A este fenómeno natural se le conoce como ciclo hidrológico.

Efectos del cambio climático sobre las principales cuencas de Chile

Por la localización latitudinal de Chile, el territorio comienza en la zona subtropical árida, que recibe una fuerte influencia anticiclónica (de alta presión atmosférica), correspondiente al cinturón de desiertos del trópico de Capricornio. El anticiclón del Pacífico sur-oriental, permanece todo el año, con su alta presión, bloqueando el ingreso de cualquier perturbación atmosférica que pudiera generar lluvias, ese es el origen del desierto del norte grande. En el desierto de Atacama se registran las menores precipitaciones del planeta, alcanzando promedios tan bajos como 2 mm por año.

A medida que avanzamos hacia el sur, alejándonos del trópico, el anticiclón va perdiendo su capacidad de bloqueo, lo que permite el ingreso de frentes de lluvia que vienen del suroeste, y que se intensifican a medida que se alejan del trópico. Así, el territorio chileno va observando un gradual aumento de las precipitaciones hasta la región de Aysén, donde esta llega a un máximo superior a los 3.000 mm anuales, debido al paso de un par de frentes cada semana, los que dejan más de 250 días de lluvia cada año, en las islas más occidentales.

Hacia el extremo austral, principalmente en la Región de Magallanes, la precipitación declina nuevamente debido a la influencia de la Pampa Argentina, que trae altas presiones del anticiclón del Atlántico y es el responsable de la aridez del sur de Argentina. Junto con esta evolución, el territorio se enfría gradualmente desde la región central al sur, manteniendo temperaturas diurnas entre 8 a 10 °C más bajas en la costa que en el interior.

Este gradiente de precipitaciones, se ve reflejado en la distribución del total de aguas renovables en Chile, que alcanza a los 922 km³ anuales, lo que lo sitúa en el lugar 14 en el mundo y 5 en Latinoamérica, pero que presenta un fuerte desequilibrio geográfico latitudinal.

El patrimonio hidrológico de Chile, se estructura en 101 cuencas hidrográficas principales, que nutren a 1.251 ríos cuya escorrentía anual en conjunto alcanza a los 29.245 m³/s (MOP, 2013). Este caudal de agua renovable, en relación con la población del país, da una disponibilidad de agua del orden de los 53.000 m³/habitante/año, lo que es 25 veces el valor de 2.000 m³/habitante, considerado adecuado para un desarrollo humano sostenible (Banco Mundial, 2011).

En cifras globales, Chile es un país con abundantes recursos hídricos, considerando el total de la escorrentía procedente de las precipitaciones. Pese a ello, existe un desajuste entre la localización de los recursos y la población. La distribución demográfica de Chile, muestra que entre las regiones del norte y del centro del país, se concentra el 65% de la población del país, que a su vez son territorios con altos déficit de agua. El caso más extremo, se presenta en las regiones de Antofagasta y Atacama con 52 y 208 m³/habitante/año. Entre las regiones de O'Higgins y La Araucanía, la disponibilidad natural de agua supera los 6.000 m³/habitante/año, llegando hasta los 49.000 m³/habitante/año. Desde la Región de Los Ríos hacia el sur, aumenta el agua y disminuye la población, observándose una disponibilidad natural de agua que supera los 169.500 m³/habitante/año (Santibáñez, 2016).

En lo que respecta a las aguas subterráneas, la recarga media estimada alcanza aproximadamente 55 m³/s desde la Región Metropolitana al norte (Salazar, 2003). Al sur de la Región del Libertador B. O'Higgins no hay datos precisos, pero se estima una recarga de alrededor de 160 m³/s en las regiones del Maule y Los Lagos (DGA, 2011 a).

En cuanto al clima chileno, está fuertemente influido por el fenómeno de El Niño-La Niña (ENSO). Durante la fase cálida de El Niño, el anticiclón se repliega más al norte o bien se debilita y divide en dos, una fracción se mantiene frente a la costa norte y la otra se desplaza a regiones australes, provocando sequías en Aysén y Magallanes. Los frentes ingresan con frecuencia trayendo lluvias a la zona central, aprovechando el espacio que dejan las dos fracciones del anticiclón.

Contrariamente durante la fase fría de La Niña, el anticiclón se refuerza y avanza hacia la zona central y centro sur, ejerciendo un efecto de bloqueo de los frentes, los que no pueden ingresar al centro del país, propiciando lo que se asocia a una sequía. Por lo general esto hace que continúe la tendencia decreciente que han mostrado las precipitaciones en el último siglo. A estas tendencias de largo plazo, se agregan los ciclos de sequía de corto plazo, los que tienen una longitud de 10 a 20 años, en los cuales pasamos por periodos lluviosos y secos. Este último fenómeno es conocido como Oscilación Decadal del Pacífico (PDO), el cual hace que toda la costa americana pase por periodos de aguas frías, asociados a una alta frecuencia de Niñas.

Adicionalmente, a esta causa de variabilidad climática sobre los climas chilenos juega además otro fenómeno llamado Oscilación Antártica (AO), el que influye mayormente en la actividad frontal en la zona subantártica. En periodos bajos de la AO, los frentes son más débiles, no alcanzando a traer precipitaciones hacia la zona central.

Desde el inicio de los años 2000 estamos cruzando por un periodo seco asociado mayormente a la PDO, lo que ha traído una alta frecuencia de episodios de aguas oceánicas frías y la consecuente menor pluviometría. Esto, se ha hecho patente en el país durante la última década, donde las precipitaciones han disminuido sobre 80% en las regiones del norte y del centro; mientras que hacia el sur este déficit puede llegar a superar el 60% (DGA, 2022).

Estudios muestran que, entre el periodo 2030 al 2060 habrá una disminución generalizada de las precipitaciones en comparación con la media histórica, por lo que se proyectan disminuciones promedio de entre 5% y 15% para la zona comprendida entre las cuencas de los ríos Elqui (Región de Coquimbo) y el Baker (Región de Aysén). Estas proyecciones se acentuarían hacia la zona sur del país, en especial entre la cuenca del río Biobío y el límite sur de la Región de Los Lagos (Rojas, 2012).

Estas condiciones, hacen prever que el agua será uno de los recursos que enfrentará las mayores amenazas durante este siglo en Chile, debido al excesivo consumo y a la reducción de su disponibilidad, a raíz de los cambios que está experimentando el régimen de lluvias. Hasta ahora, se ha observado que la fuerte reducción de las precipitaciones anuales se produce principalmente en las regiones costeras de Chile, mostrándose como un fenómeno localizado en el litoral. A su vez, se desconoce el tiempo y la intensidad, con que este fenómeno podría avanzar hacia las regiones interiores, hasta que muestren una tendencia similar.

Otro factor que afecta la hidrología de los ríos cordilleranos, es la subida de altura de la isoterma 0 °C, que se estima que se elevará entre 300 y 500 m durante este siglo, reduciendo los depósitos de nieve en la cordillera, haciendo que la precipitación invernal escurra rápidamente, reduciendo la capacidad de infiltración de agua a los acuíferos subterráneos y eliminando la recarga de cauces en la época estival, producto del derretimiento de la nieve.

Como se puede observar, el cambio climático ha tenido un significativo impacto en la hidrología del país, el cual es más severo en las regiones del norte y centro del país, lo que no significa que en las regiones hacia el sur los efectos sean leves, como sucede en la Región del Biobío.

Impactos del cambio climático sobre la hidrología de la Región del Biobío

La Región del Biobío está ubicada en la zona considerada como de frontera entre la zona central y la zona sur de Chile. Desde el norte recibe influencia climática con estaciones marcadas: un invierno que concentra todas las precipitaciones del año, promediando en condiciones normales los 700 mm, seguidos de un verano seco y caluroso, con medias de temperatura superiores a los 30 °C. Por otro lado, desde el sur, en condiciones normales, las precipitaciones aumentan sobre los 1.000 mm anuales, las que si bien se concentran en invierno, se distribuyen durante todo el año, lo que modera las temperaturas medias en la época estival.

La geografía regional, también juega un rol preponderante en el clima y las precipitaciones. Encontramos un litoral costero limitado por la cordillera de la costa, que genera un efecto de biombo climático, que provoca que en la provincia de Arauco y Concepción se registren las precipitaciones más altas de la región, sólo superadas por las lluvias en la cordillera de los Andes. Además mantiene las temperaturas moderadas durante todo el año, debido a la influencia del océano Pacífico.

Luego, se encuentra un valle central de lomajes suaves, cuyo territorio pertenece en su mayoría a la Provincia del Biobío, el que presenta un clima de carácter continental, con mayor variación de temperatura en el día con respecto a la noche y entre estaciones, presentando en invierno temperaturas que pueden llegar a descender de los 0 °C y en verano superar los 30 °C. Su pluviometría está en torno a los 1.000 mm en el año, concentrándose principalmente en invierno, mientras que en primavera y verano sus cuencas se recargan producto del derretimiento de la nieve acumulada en la cordillera de los Andes, luego se sitúa la precordillera y la cordillera de los Andes, que por su elevación genera el vaciamiento de las nubes antes de su paso a territorio argentino, acumulando el agua en forma de nieve y dando origen a glaciares como el del volcán Antuco, el de la Sierra Velluda y el del volcán Callaqui.

El cambio climático ha provocado un avance del sistema climático del centro de Chile hacia el sur, provocando un aumento de las temperaturas y modificando los patrones de precipitación, dando como resultado un déficit de precipitaciones en la Región del Biobío. Este fenómeno se ha prolongado e intensificado durante la última década, provocando que para el año hidrológico 2021 – 2022, que contempla las precipitaciones desde abril de 2021 a marzo de 2022, la región presente un déficit de precipitaciones en torno al 43,6% respecto de un año normal. Lo que al ser disgregado por provincia, nos muestra que el déficit en la provincia de Arauco se encuentra en torno al 29,4%, por su parte en la provincia del Biobío alcanza el 43,6% y en la provincia de Concepción llega al 58,0%.

Tabla 3. Balance de precipitaciones Región del Biobío (DGA Biobío, 2022)

Estación	m ³ acumulado en el mes	m ³ acumulado a la fecha (1)	m ³ precipitación Año normal 1991 – 2020 (2)	m ³ acumulado año hidrológico 2020 – 2021 (3)	Comparativo % Superávit + o Déficit – (1 en relación a 2)	Comparativo % Superávit + o Déficit – (1 en relación a 3)
Cañete	7,00	846,80	1198,90	856,50	-29,4	-1,1
Concepción	0,20	448,20	1066,80	803,60	-58,0	-44,2
Los Ángeles	2,00	471,30	1017,30	677,50	-53,7	-30,4
Mulchén	5,30	737,10	1177,00	848,90	-37,4	-13,2
Quilaco	4,10	662,50	1340,40	1100,90	-50,6	-39,8
Abanico	18,50	1416,20	2053,90	1752,90	-31,0	-19,2
Pangué	23,20	1916,50	3506,40	2397,10	-45,3	-20,0

Esta situación provocó que, para el año hidrológico 2021 – 2022, los caudales de los principales ríos de la región presenten un déficit promedio de un 43,5%.

En cuanto la Laguna Laja, principal reservorio de agua dulce de la Región del Biobío y que da origen al Río Laja, es el afluente más relevante de la región. Debido al marcado déficit de precipitaciones, tanto de lluvias como de nieve, presenta un volumen de 747,7 millones de m³ que equivalen al 20,7% de llenado, respecto de su promedio histórico, que son 3.619 millones de m³ y 13,4% respecto de su capacidad total 5.580 millones de m³. Es decir, un déficit de un 79,3% en relación con el promedio histórico y de un 86,6% de su capacidad total. Este descenso en el nivel de la laguna ha sido tan marcado que, si es comparado con el que presentaba a la misma fecha en año anterior, muestra un descenso de un 28% en un sólo año.

En cuanto a los glaciares presentes en la Región del Biobío, los más relevantes corresponden al del volcán Antuco, el de la Sierra Velluda y el del volcán Callaqui. Debido al cambio climático, todos han experimentado un retroceso, el último estudio glaciológico (DGA, 2011 b) muestra que en un periodo de 25 años, el glaciar del volcán Antuco se ha reducido un 56%, es decir ha perdido una superficie de 1,98 km². Por su parte, el glaciar Sierra Velluda se ha visto reducido en un 37%, presentando una disminución de su superficie de 6,86 km². Finalmente el glaciar del volcán Callaqui, se ha visto reducido en un 47% es decir ha perdido 6,41 km² de su superficie. Cabe señalar que este estudio se realizó en los comienzos de la década más seca que ha experimentado el país y por consiguiente la región, por ello se estima que la reducción de estos reservorios de agua montañosos se hayan visto reducidos de forma más drástica que los valores mostrados.

Proyecciones sobre el futuro hídrico de la Región del Biobío

Debido a los cambios en los patrones meteorológicos que está experimentando la Región del Biobío, fundamentalmente en lo que respecta a la temperatura y la precipitación, se prevé que los efectos vistos puedan verse intensificados con el tiempo. Una consecuencia esperada, derivada del aumento de la temperatura, es que se eleve la isoterma 0 °C entre 300 y 500 m, por consiguiente, la altura de las líneas de nieve se elevaría en la misma proporción.

Esto, representa una pérdida de 400 a 450 millones de m³ de agua, que ahora caerían en forma líquida y no sólida, por lo que dejarían de estar disponibles para la estación estival, cuando es requerida como forma de recarga, para los caudales de las cuencas como la del Biobío y sus afluentes que nacen en la cordillera. De esta forma, se induciría a una desregulación hidrológica, aumentando la escorrentía invernal a la vez que crearía mayor riesgo de crecidas, elevando las probabilidades de inundación en zonas pobladas.

Además, se contempla la posibilidad, de que el número de días de lluvia continúe descendiendo durante las próximas décadas, debido al efecto de bloqueo que el anticiclón ejercerá al paso de los frentes, especialmente si se desplaza más al sur, lo que interceptaría la trayectoria de los que se mueven desde el sur oeste. Los modelos regionales proyectan para este siglo el mayor descenso en la precipitación, entre las regiones de Valparaíso y Biobío, lo que podría afectar fuertemente al sector del secano costero.

Otra consecuencia proyectada, es que el viento aumente su intensidad, especialmente en zonas costeras y cordilleranas. Esto, debido a que una atmosfera más caliente, tiende a aumentar la intensidad y frecuencia de lluvias convectivas, es decir, aquellas lluvias súbitas que producen chubascos de gran intensidad, asociados a tormentas eléctricas y granizo. Esto último, refuerza la posibilidad de precipitaciones más intensas en un periodo acotado, aumentando la escorrentía superficial, reduciendo la capacidad de infiltración para recarga de acuíferos subterráneos y aumentando el riesgo de crecidas abruptas de los cauces.

El mayor ingreso de masas de aire desde el océano hacia el continente, con más humedad y frescor, podría aumentar la nubosidad de una extensa franja territorial cercana al litoral, ingresando hasta donde la cordillera de la costa lo permita, creando un corredor donde el alza de la temperatura se vería considerablemente atenuada.

La corriente de Humboldt actúa en Chile como un verdadero sistema de climatización, pues al subir la temperatura de la atmósfera, el viento toma mayor velocidad sobre el océano, haciendo que las aguas profundas y frías suban a la superficie, enfriando las aguas del Pacífico cercanas al litoral. Con esto, las masas de aire que ingresan al continente se enfrían al pasar sobre las aguas frías del océano. Este mismo enfriamiento, más el aumento de la actividad convectiva de la zona intertropical, haría que el anticiclón del Pacífico tienda a desplazarse hacia el sur de Chile, trasladando los patrones climáticos propios de la zona central del país hacia la Región del Biobío, situación que se iría intensificando durante este siglo.

Dentro de las consecuencias de este cambio en los patrones climáticos de la región, se espera que afecte tanto a los ecosistemas como a los poblados humanos. En efecto, la creciente demanda por recursos naturales producto del desarrollo socioeconómico, la utilización desregulada de los recursos hídricos, los procesos de contaminación derivados de la actividad humana, la pérdida y erosión de suelos y degradación de ecosistemas en general, así como problemas estructurales para el desarrollo adecuado de las personas, como el acceso a sistemas de agua potable y saneamiento, especialmente en el sector rural, constituyen escenarios actuales que exponen fuertemente a la región frente a eventos extremos del cambio climático.

Resumiendo los posibles efectos del cambio climático en la región, sumados a la actividad humana desarrollada en el territorio, de no mediar un cambio de las tendencias existentes hasta ahora, se podría esperar una modificación de la intensidad y distribución temporal y espacial de las precipitaciones, la escorrentía superficial y recarga de agua, la ocurrencia de eventos extremos asociados a inundaciones y otros fenómenos meteorológicos, como sequías, heladas y tormentas. Esto traería como consecuencia que las grandes formaciones de bosque nativo y plantaciones forestales, las tierras cultivadas y las zonas de pastoreo, podrían experimentar procesos de erosión y desertificación. Este escenario afectaría la producción de alimentos, los sistemas de producción agropecuarios y forestales, sistema energético regional y/o nacional, sistemas productivos hidrobiológicos, sistemas urbanos y la proyección de sus demandas.

A su vez, también se observarían efectos en los sistemas costeros, principalmente en la diversidad biológica y sus efectos sobre los sistemas productivos, la infraestructura de producción costera, asentamientos urbanos y ecosistemas costeros como humedales.

La población se vería expuesta a la ocurrencia de eventos extremos (inundaciones, sequías, deslizamientos, entre otros), la alteración de formas de vida tradicionales de grupos humanos (población indígena y rural) y estrategias de sobrevivencia. Esto obliga a las autoridades a mejorar su trabajo en la creación de equipamiento e infraestructura para dar seguridad, ante eventos extremos, en el abastecimiento de recursos naturales, bienes y servicios, movilidad de la población y estrategias de adaptación, para que los indicadores sociodemográficos y calidad de vida se vean mejorados (Rojas y Parra 2010).

EVOLUCIÓN

del uso de las aguas en la Región del Biobío

CAPÍTULO

4

La Región del Biobío, se encuentra en la zona considerada como de frontera entre la zona central y la zona sur de Chile. La superficie regional, considerando los territorios continentales e insulares abarca 23.890,2 km², que representa casi al 3% del territorio chileno (INE, 2018). El relieve regional, se caracteriza por la presencia de la cordillera de Los Andes, la depresión central, la cordillera de la Costa y la Plataforma Costera Adyacente. Esta diversidad en su geografía, delimitada por las cuencas existentes, origina una gran variedad de climas, suelos y ecosistemas; que han determinado la disponibilidad de recursos naturales y por consiguiente la ocupación del territorio y su eventual transformación (Henríquez *et al.*, 2006).

Antecedentes históricos

Si revisamos la historia de la Región, como ya vimos anteriormente, fue inicialmente habitada por los Mapuche o araucanos, nombre dado por los españoles. Estas comunidades se distribuían a lo largo del territorio ocupando diferentes cuencas, por el norte la comunidad Picunche que ocupaba la parte norte de la cuenca del río Biobío; por el este los Pehuenches, quienes habitaban en la parte alta del mismo río, en los cajones montañosos; por el oeste los Lafkenches, que ocupaban las cuencas costeras al sur del río Biobío, abarcando todo el golfo de Arauco; y por el sur sus diversas comunidades, confluían ocupando el territorio del valle central (Molina *et al.*, 2012).

Posteriormente, en 1546, el militar y conquistador español, Pedro de Valdivia, organiza la primera expedición de conquista de los territorios al sur de la ciudad de Santiago de la nueva Extremadura, fundada en 1541. En su avance, encontraron las primeras señales de resistencia hostil en la confluencia de los ríos Biobío y Laja, obligándolos a moverse hacia la costa llegando a los cerros de lo que hoy se conoce como Penco. En esta zona, en 1550 se fundaría la ciudad de Concepción, que originalmente se llamó “La Concepción de María Purísima del Nuevo Extremo”, que permaneció por 200 años, donde sufrió una serie de terremotos, maremotos y asedios de lo que se conoció como la Guerra de Arauco, que provocaron que en 1751, la ciudad fuera trasladada a las orillas del río Biobío, que en lengua mapuche significa Huio Huio o “rumor de agua”, desplazando a los mapuche a la rivera de este cauce, transformándolo en la frontera entre el avance español y la resistencia mapuche, y otorgándole un rol estratégico militar (Cox, 2002).

La condición fronteriza del río, duró mientras existió el dominio de la Corona Española, que si bien se internó hacia el sur durante los siglos XVI y XVII, debieron replegarse de vuelta al norte del río, abandonando los asentamientos establecidos, producto de los permanentes ataques (Bauer, 1970). No fue hasta mediados del siglo XIX, que el Biobío dejó de ser una frontera, luego de que Chile se convirtiera en república independiente en 1818. Luego comenzó la ocupación de los territorios del sur, primero en forma pacífica hasta que a partir de 1860 fue el Ejército de Chile, quien se internó más allá de la ribera sur del río, incorporando esos territorios al Estado chileno. En los años que siguieron, el Biobío fue cambiando de función de manera sostenida y paulatina al punto de que tomara relevancia desde la perspectiva social y económica; pues la economía había evolucionado de un enfoque colonial a uno de capitales (Escalona & Ulloa, 2022).

Es en este periodo donde la actividad agrícola comenzó a cobrar relevancia, tuvo como primer hito la expansión del cultivo del trigo desde Concepción hacia los valles de la depresión intermedia, abarcando parte de lo que hoy se conoce como las provincias de Concepción y del Biobío, lo que trajo consigo un aumento de la demanda de agua para riego (Cariola & Sunkel, 1982).

Influencia del desarrollo económico regional en el uso del agua

Este mismo aumento productivo, sumado a que con la evolución económica Chile comenzó a exportar materias primas, se hizo necesario mejorar el sistema de transporte, utilizando el ferrocarril y barcos, ambos medios utilizaban la combustión de carbón mineral, como fuente de energía para su propulsión. Este aumento en la demanda de carbón, provocó que la industria carbonífera de la región se intensificara, creándose la Compañía Carbonífera e Industrial de Lota, de Matías Cousiño, en el año 1852. Esto trajo consigo dos nuevos usos para el agua, el industrial minero y la generación hidroeléctrica, con la construcción de la central hidroeléctrica Chivilingo, en 1897; marcando la industrialización de la región (Robles, 2003).

Ya en el siglo XX, se observa la profundización del modelo productivo de la región, cuyo uso del recurso hídrico sigue liderado por la agricultura, que en el año 1890, comenzaba a tener los primeros grupos organizados de vecinos, como por ejemplo los de la antigua isla de La Laja, quienes vieron la posibilidad de usar las aguas del río del mismo nombre, canalizándolas para riego, dando origen a la actual asociación de Canalistas del Laja, constituida formalmente en 1916. Sistema que se replica en las principales cuencas de la región (Jaime & Salazar, 2009).

La evolución de la agricultura de subsistencia a la extensiva, trajo consigo problemas de erosión de los suelos en todo el territorio regional, por lo que el Estado chileno, comenzó a fomentar proyectos para incentivar la producción de plantaciones forestales, las que se vieron potenciadas luego de la firma del DFL 701, en 1974, que promovía la creación de plantaciones forestales a gran escala, un proceso de crecimiento que se ha mantenido hasta el día de hoy. Esto introdujo una nueva demanda por las aguas de la región, uno no cuantificado, que es el consumo de los árboles establecidos en las plantaciones, siendo la cobertura de suelo más extensa en la región; y el otro es el consumo para la manufactura de productos de la industria forestal (Martínez - Retureta *et al.*, 2020).

En cuanto a la generación hidroeléctrica, se vio potenciada durante el siglo XX y XXI, con el embalsamiento del lago Laja en 1948; la construcción del embalse Pangue en la junta entre el río Pangue y el río Biobío, en el año 1993; la construcción del embalse Ralco en el río Biobío en 1998; y la construcción del embalse Angostura sobre el río Biobío en 2014. Además de la construcción de más de 20 centrales de pasada en los cauces de todo el territorio, logrando que el 42% de la energía eléctrica generada en la región provenga de esta fuente (INE, 2022).

Las aguas en territorio mapuche

El proceso de constitución de derechos de agua en el territorio mapuche viene desarrollándose desde la promulgación del Código de Aguas en 1981, pese a lo cual, las comunidades indígenas y sus miembros han quedado rezagados. Las comunidades se ven afectadas territorialmente por los proyectos hidroeléctricos, ya sea por ocupación de territorio o por su inundación. También han visto limitado su acceso al agua, debido a que estos proyectos modifican el cauce y concentran los derechos de agua en la zona, que si bien no son de carácter consuntivo, requieren zonas de protección para la no afectación del ejercicio de estos mismo. Para ello, se ha buscado la colaboración entre servicios como Corporación Nacional de Desarrollo Indígena (CONADI), DGA y los municipios donde existen comunidades, para restringir el otorgamiento de derechos a nuevos proyectos hidroeléctricos y generar programas de regularización y reconocimiento de las aguas ancestrales de dichos territorios (Molina & Yañez, 2020).

¿Cómo se utiliza el agua y de qué infraestructura se dispone en la región actualmente?

Como vimos anteriormente, el uso del agua fue evolucionando con el tiempo, desde el consumo para la subsistencia como la bebida y el riego de baja escala, al uso productivo con fines económicos, como el riego a gran escala, la generación hidroeléctrica y el uso industrial.

Es así como en la actualidad, basándose en los derechos de agua otorgados en la región, los usos que se le da a este recurso se distribuyen de la siguiente forma (DGA, 2017). La imagen, nos revela que el consumo de agua potable no alcanza el 10% de la distribución total de los derechos de agua de la región. Además, se observa que este consumo corresponde predominantemente a los sectores urbanos. Donde el 90,50% de las viviendas es abastecida por medio de empresas sanitarias; el 2,55% por medio de sistemas de agua potable rural; el 0,11% recibe agua de camiones aljibes; y del 6,84% restante de las viviendas, no se tiene conocimiento sobre el mecanismo por el cual se abastecen de agua.

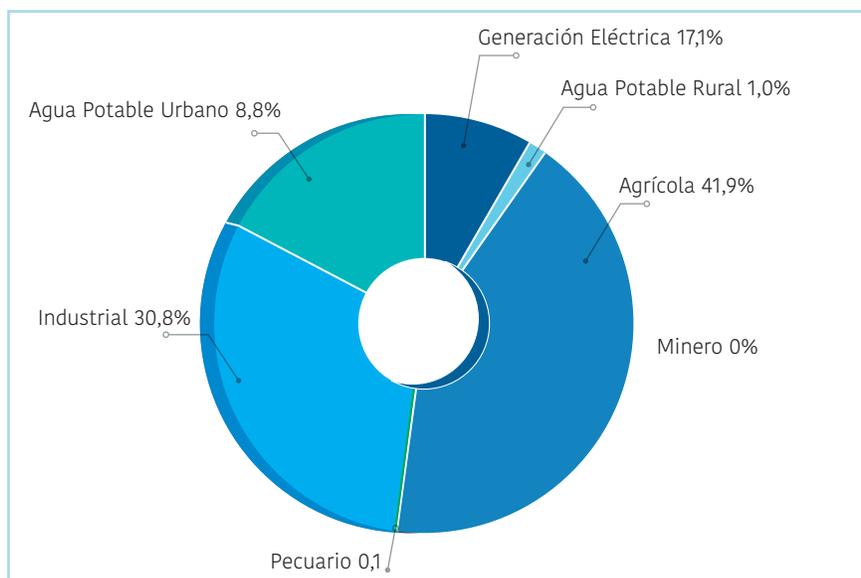


Figura 10. Distribución del consumo de agua en base a derechos otorgados. **Fuente:** DGA, (2017).

En cuanto al sector rural, el 43% de las viviendas se abastece desde un sistema de agua potable rural; el 1,3% de empresas sanitarias; y el 55,7% restante no cuenta con algún sistema de abastecimiento de agua potable, debiendo abastecerse de alguna captación superficial, un pozo o del reparto de agua a través de camiones aljibes (MOP Biobío, 2021).

Por su parte, el uso agrícola y pecuario, sigue siendo el predominante en la región, alcanzando el 42% de los derechos de consumo de agua en este territorio. El riego regional, ha sido posible, debido a que los agricultores se han organizado para distribuir las aguas a través del territorio, construyendo canales cuya administración recae en órganos creados para este fin, como son las asociaciones de regantes y asociaciones de canalistas, las que en su mayoría se encuentran en la provincia del Biobío, destacándose las presentes en las cuencas del río Laja y del río Biobío (CNR, 2011).

En el caso de la cuenca del río Laja, se encuentra la Asociación de Canalistas del Laja, quienes obtienen sus aguas principalmente desde este río por medio de una Bocatoma ubicada a 2 km de la ciudad de Tucapel, captando un caudal de 55 m³/s, a los que suman otros 13,5 m³/s provenientes desde los de los esteros que forman parte de la red bajo su administración. Con este caudal se riegan cerca 55.000 ha, ubicadas en las comunas de Los Ángeles, Quilleco y Laja. Su red de canales alcanza una longitud aproximada a los 1.000 km, en cuya extensión abastecen de agua a un rol de 1.870 regantes asociados.

En lo que respecta al río Biobío, debido a la gran extensión de la cuenca existen 118 organizaciones, de las cuales 113 son asociaciones de regantes y 5 son asociaciones de canalistas, estas últimas son las que concentran el mayor uso de agua en la cuenca, y corresponde a la asociación de canalistas canal Biobío Negrete, quienes captan 28 m³/s del río Biobío, los que se distribuyen entre sus 700 regantes; Asociación de canalistas canal Biobío Sur quienes captan 40 m³/s del río Biobío, administrando el agua para regar un área de 40.000 ha, en el sector agrícola ubicado al sur de la Región del Biobío y norte de la Región del Araucanía, abasteciendo a 1.645 usuarios; asociación de canalistas canal Biobío Norte que captan 24,4 m³/s, distribuidos entre 211 usuarios que riegan una superficie de 25.000 ha; Asociación de canalistas Canal Duqueco Cuel que capta 7,67 m³/s distribuidos en 445 usuarios quienes riegan una superficie de 8.000 ha; y la asociación de canalistas canal Quillaileo que capta 3,5 m³/s distribuidos entre 223 usuarios para regar 3.500 ha.

En cuanto al uso de las aguas para la generación hidroeléctrica, sus derechos no son de carácter consuntivo, pues el agua utilizada para producir energía eléctrica es devuelta al cauce. Sobre su infraestructura, la Región del Biobío cuenta con 3 centrales de embalse y 23 centrales de pasada, lo que se traduce en que actualmente se genera un total de 457 GWh, que equivale al 42% de toda la electricidad producida en la región y el 6,4% del total nacional (INE, 2022).

Sobre generación eléctrica, los embalses poseen una mayor capacidad instalada. El embalse de la central Ralco cuenta con una capacidad de acumulación de 1.174 millones de m³, es la que más electricidad genera (689 MWh); seguido de la central Pangue, cuyo embalse tiene una capacidad de almacenamiento de 83 millones de m³, generando 465,8 MWh; y finalmente la central Angostura, cuyo embalse almacena 40 millones de m³ de agua, generando 321 MWh.

En cuanto a las centrales de pasada, las más relevantes son las que utilizan el agua del embalsamiento natural de la laguna Laja, que tiene una capacidad máxima de llenado de 5.582 millones de m³, aunque debido al déficit de precipitaciones de la última década, ni siquiera ha alcanzado a llegar a los 1.000 millones de m³ en los últimos años (DGA Biobío, 2022). Estas centrales corresponden a El Toro de 448,7 MW de potencia generada, Antuco 319,2 MW y Abanico de 92,7 MW. La otra central de pasada de importancia es Rucue que genera 178,1 MW que se encuentra aguas debajo de la central Antuco, utilizando también las aguas del río Laja y las del río Rucue para producir electricidad.

Debido a la diversidad de usos que existen en una cuenca, el Código de Aguas contempla la figura de las juntas de vigilancia de río y sus afluentes, que se conforma por común acuerdo de quienes usan las aguas o por orden judicial, donde todos los usuarios que tienen derechos de agua se organizan formando un directorio y escogiendo un juez de agua. La finalidad de esta junta es administrar las aguas del río y de sus afluentes, asegurando que cada usuario ocupe lo que corresponde y, en caso de ser necesario, reducir equitativamente el consumo cuando existe algún déficit hídrico en la cuenca, promoviendo el uso sustentable del agua en el largo plazo.

En el caso de la cuenca del río Biobío, la Junta de Vigilancia del río Biobío y sus afluentes formalizó su conformación en septiembre de 2021. Este órgano, se estableció por acuerdo voluntario de un grupo mayoritario de usuarios de la cuenca, dentro de los que se encuentran empresas hidroeléctricas, asociaciones de canalistas, empresas sanitarias, asociaciones de regantes, comunidades de agua rural, industrias y empresas forestales y usuarios particulares, entre otros. Esta junta, administra las aguas de la cuenca del río Biobío, asegurando que cada uno de los 1.420 derechos de agua, registrados en el catastro público de aguas de la DGA, obtenga el caudal que le corresponde, controlando fuentes de extracción ilegal y mediando en cualquier conflicto que pudiese generarse por el uso del recurso. Cabe señalar, que la subcuenca del río Laja, se encuentra fuera de la Junta de Vigilancia del río Biobío. Esto se debe a que el Laja, al ser el principal afluente del Biobío, igual genera una gran cantidad de usos y de usuarios, quienes también se encuentran trabajando para conformar su propia junta de vigilancia.

Agua potable y sistemas de saneamiento ¿cómo avanza la reducción de la brecha regional?

Como se mencionó en el punto anterior, en el sector rural existe una enorme brecha en la cobertura de sistemas de agua potable y saneamiento, que alcanza el 55,7% de las viviendas de estos territorios. Al traducir este porcentaje en datos desgregados por provincia, se obtiene que en la provincia de Arauco existen 7.140 viviendas sin acceso al agua potable, en la provincia del Biobío son 27.450 viviendas y en la provincia de Concepción son 10.109 viviendas, lo que da un total regional de 44.699 viviendas sin algún sistema de saneamiento, es decir, obtienen agua de alguna fuente natural superficial o subterránea principalmente, sin potabilizar.

Los principales sistemas que proveen agua potable en la región son: empresas sanitarias quienes se encuentran bajo la supervisión de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS); sistema de agua potable rural (APR), cuyos estándares de operación y obra están normados por el departamento de Servicios Sanitarios Rurales de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) del Ministerio de Obras Públicas (MOP); sistemas de agua rural (SAR), de menor complejidad y capacidad que un APR, por lo general éstos son construidos con fondos municipales, ya que tienen un costo menor que otros sistemas; y camiones aljibes, éstos proveen agua en forma periódica a viviendas en sectores donde no hay acceso al agua potable, siendo el mecanismo más ineficiente por su alto costo y baja capacidad de volumen entregado.

Para abordar esta problemática, la SEREMI de Obras Públicas de la Región del Biobío (SOP), a través de la Dirección de Planeamiento (DIRPLAN) y la DOH, realizaron un estudio donde además de analizar la situación regional, que arrojó los datos antes mencionados, entregaron una propuesta para abordar este déficit de cobertura y reducir la brecha de acceso al agua (MOP Biobío, 2021). La propuesta realizó un estudio de diversos parámetros, como densidad de viviendas, derechos de agua disponible, cercanía a sistemas existentes y antecedentes geográficos, entre otros; para establecer qué sectores tienen el potencial de ser abordados a través de proyectos realizados por la DOH, a través del departamento de sistemas de saneamiento rural, ya sea ampliando un APR existente o construyendo uno nuevo; cuáles pueden ser cubiertos por la ampliación de operación territorial de las empresas sanitarias y cuáles no son abordables por factores como la relación de bajo número de beneficiarios versus el alto costo de inversión, la factibilidad técnica en el territorio o la disponibilidad de derechos de agua para abastecerlo.

De este análisis, se obtuvo que es posible darle solución de agua potable a 12.330 viviendas a través de 133 proyectos nuevos y otras 9.918 viviendas a través de la ampliación de 62 sistemas existentes que DOH podría abordar. Además otras 2.343 viviendas podrían ser abastecidas por la ampliación operacional de las empresas sanitarias. Lo que deja una brecha en la región, de 20.108 viviendas, que aún no verían una posible solución para su abastecimiento de agua potable.

El costo de los proyectos recae en la gestión de la DOH, es decir, deben ser financiados por el Estado. El valor estimado es de unos 94 mil millones de pesos en total, contemplando los 62 proyectos de ampliación y los 133 de construcción de nuevos sistemas, lo que da un promedio de 482 millones de pesos por proyecto, cubriendo sólo el 55% de la brecha.

Esta realidad contempla varios desafíos, por un lado se requiere mejorar las políticas de planificación del territorio, para evitar crear comunidades que no cuenten con servicios tan básicos como el acceso al agua potable, lo que también implica una mejora en la gestión de la cuenca tanto en el ordenamiento territorial de ésta, como en la administración del agua, propendiendo a la seguridad hídrica y a la reducción de los conflictos por el acceso a este recurso.

La Ley 21.435 el año 2022 reformó el Código de Aguas e incorporó materias relevantes tratadas en esta serie comunicacional. Así, por ejemplo, el art 5° se refiere específicamente a las aguas, en cualquiera de sus estados, son bienes nacionales de uso público. En consecuencia, su dominio y uso pertenece a todos los habitantes de la nación. También habla del interés público como un elemento a considerar al constituir derechos de aprovechamiento sobre las aguas, los que podrán ser limitados en su ejercicio, de conformidad con las disposiciones de este Código. Para estos efectos, se entenderán comprendidas bajo el interés público las acciones que ejecute la autoridad para resguardar el consumo humano y el saneamiento, la preservación ecosistémica, la disponibilidad de las aguas, la sustentabilidad acuífera y, en general, aquellas destinadas a promover un equilibrio entre eficiencia y seguridad en los usos productivos de las aguas.

Es realmente relevante que, por primera vez, se priorice que el acceso al agua potable y el saneamiento es un derecho humano esencial e irrenunciable que debe ser garantizado por el Estado. Asimismo, establece que no se podrán constituir derechos de aprovechamiento en glaciares. Hay incluso una referencia específica a los territorios indígenas, en que el Estado velará por la integridad entre tierra y agua, y protegerá las aguas existentes para beneficio de las comunidades indígenas, de acuerdo a las leyes y a los tratados internacionales ratificados por Chile y que se encuentren vigentes.

Por otro lado, es necesario generar soluciones hídricas a baja escala, de bajo costo y que requieran poca mantención, que permitan hacer seguras las fuentes locales de abastecimiento ya sean superficiales o subterráneas. Este es un tema pendiente en las políticas de estado que, por su concepción, el diseño de iniciativas apunta a que el gasto de recursos sea lo más eficiente y eficaz posible, es decir, maximizar el beneficio para el mayor número de personas posibles al menor costo. No obstante, hay situaciones donde se requieren iniciativas particulares, pero las herramientas que posee el aparato público y su marco normativo no le permiten abordarlas, creándose una ausencia del Estado.

Es aquí, donde la academia y los centros de investigación pueden generar su mayor aporte, tanto en materia de planificación territorial como en la innovación de tecnologías para el agua que permitan abordar desde distintas perspectivas el desafío hídrico de la región.

Cambio climático y seguridad hídrica: abordando el desafío en el Biobío

Para afrontar el desafío de la seguridad hídrica en la Región del Biobío se requiere una perspectiva integral, considerando todos los factores que puedan tener relación con la gestión del agua, tales como el medio ambiente, la sociedad, la economía y la institucionalidad.

Para poder avanzar en esta materia en la región, los servicios públicos sectoriales que tienen relación con algún aspecto de la gestión del agua, comenzaron a trabajar en conjunto con la academia, contando con la participación de las principales universidades locales y sus centros de investigación relacionados con la materia, dentro de los cuales CRHIAM fue parte. Siendo la DGA del Biobío, la entidad coordinadora del trabajo para presentar una propuesta para la gestión hídrica en la región.

Estrategia hídrica regional

Como resultado de este trabajo, el año 2021 se entregó al Gobierno Regional el documento “Propuesta de una política para la gestión sustentable de los recursos hídricos en la Región del Biobío” (DIPLADE Biobío, 2021), que tiene por objetivo, lograr que la región sea un territorio resiliente a los efectos del cambio climático sobre la disponibilidad y variabilidad hídrica, otorgando acceso universal al agua para las personas, con el fin de generar económico sustentable y un uso eficiente del recurso, a través de la formulación de una Política Regional de Gestión Hídrica.

Con ese objetivo en mente, la propuesta busca obtener el levantamiento de un diagnóstico de la situación hídrica, en términos ambientales, sociales y económicos. Esto permitirá el fortalecimiento de la gestión sustentable del agua, por medio del robustecimiento de los organismos públicos dedicados a este fin, la materialización de programas que propendan a mantener el abastecimiento, a largo plazo, de agua desde sus fuentes naturales; y que atiendan la demanda de agua para el consumo humano, el saneamiento y medios de subsistencia, a través de obras.

También contempla la exploración de factibilidad de iniciativas y proyectos de prospección de nuevas fuentes de aguas para diversos fines; que concienticen a la población sobre la importancia de la conservación de los ecosistemas que son fuentes reguladores naturales de agua; que exploren iniciativas de desarrollo socioeconómico que rentabilicen el esfuerzo por recuperar y conservar las fuentes naturales de agua; que indaguen la factibilidad de mejorar la eficiencia y potenciar el riego productivo de forma sustentable; que fortalezcan la planificación territorial, el manejo integrado de cuencas y la gobernanza del agua; y, finalmente, que consoliden los sistemas de información y monitoreo permanente de la gestión de los recursos hídricos en el territorio, desarrollando el siguiente esquema conceptual.



Figura 10. Esquema de gestión sustentable de los recursos hídricos. **Fuente:** Adaptado de Wu *et al.*, (2013).

Medio ambiente

En materia de medio ambiente, la propuesta busca la creación de un programa de conservación y restauración de ecosistemas productores – reguladores de agua (ej.: cuencas hidrográficas) y sistemas de recarga natural de acuíferos subterráneos (ej.: humedales y estuarios). Además, considera la implementación de un sistema de monitoreo de reservorios de agua dulce (ej.: glaciares y acuíferos subterráneos) para garantizar los niveles de cantidad y calidad de éstos en el tiempo.

El desarrollo de estas iniciativas es clave para asegurar el abastecimiento de agua en el largo plazo de cualquier proyecto que se pueda construir, para la distribución y/o acumulación de este recurso, ya sea para el consumo humano, el riego o cualquier otro tipo de uso.

Para concretar las iniciativas de este eje, se requiere contar con un sistema de priorización de cuencas y ecosistemas a conservar o restaurar. Para concretar este programa, es necesario contar con la siguiente información para generar su línea base:

- ▶ Estudios sobre la capacidad de provisión de servicios ecosistémicos hídricos de regulación y provisión, en relación con las coberturas, los usos del suelo y el cambio climático en las sub-subcuencas de la región.
- ▶ Estudio de evaluación del estado de conservación de los ecosistemas que recargan en forma natural los acuíferos de la región.
- ▶ Estudio de modelación de posibles escenarios ambientales y socioeconómicos, basado en el estado actual de las precipitaciones, la capacidad de las cuencas de proveer de servicios ecosistémicos hídricos y los mecanismos de gestión del agua existentes; para proyectar la efectividad de nuevos instrumentos de gestión, iniciativas y nueva institucionalidad.
- ▶ Estudio de prospección y cartografía de acuíferos subterráneos.
- ▶ Programa de identificación, valoración, protección y restauración de áreas de captación de agua potable y saneamiento (rural y urbano).
- ▶ Caracterización de la demanda del riego para la agricultura y usos pecuarios (productivos y de subsistencia).
- ▶ Programas de conservación y restauración de ecosistemas reguladores – proveedores de agua existentes.
- ▶ Línea base de reservorios de agua dulce de la región y su estado de conservación.
- ▶ Estudio para la determinación de caudales ambientales en los principales cauces de la región.
- ▶ Estudio de definición de límites de cauces, para establecer el área de tuición del estado en los cursos de agua.
- ▶ Programa de monitoreo regional de calidad de agua en cauces y cuerpos lacustres.
- ▶ Estudios de factibilidad para iniciativas de reducción de vertimiento de contaminantes industriales y agrícolas a cursos de agua.
- ▶ Programa de educación ambiental que promueva la importancia de los ecosistemas que proveen y regulan el agua en el contexto de cambio climático existente.

De todas las iniciativas planteadas en este eje, algunos de los estudios señalados, ya han sido desarrollados por investigadores, o por servicios públicos de la región. Otros, han avanzado consiguiendo la aprobación del Consejo Regional (CORE), para su financiamiento, como el estudio de prospección y cartografía de acuíferos subterráneos para toda la región, con un monto aprobado de 8.800 millones de pesos; o el programa de monitoreo regional de calidad de agua en cauces y cuerpos lacustres, que dio su primer paso con la aprobación del presupuesto para la construcción del primer laboratorio descentralizado de limnología y calidad de aguas de la DGA, con una inversión aprobada de 1.350 millones de pesos.

Además, CRHIAM elaboró series comunicacionales que abordan diversas materias como la evaluación del impacto de la contaminación antrópica en los sistemas lacustres (Álvarez *et al.*, 2020), el análisis de la huella del agua (González *et al.*, 2020), la sustentabilidad y seguridad hídrica (Díaz *et al.*, 2021), biomarcadores de calidad de agua (Saavedra *et al.*, 2021) y soluciones basadas en la naturaleza (Vidal *et al.*, 2021). Aportando a la discusión, con insumos que serán de utilidad en la implementación de este eje.

Pese a estos importantes progresos, aún quedan bastantes tareas pendientes, para contar con la línea base que permita diseñar el programa de conservación y restauración de ecosistemas productores – reguladores de agua, pero se está avanzando.

Social

En materia social el principal desafío a abordar es el acceso al agua potable, ya sea rural o urbana, la disponibilidad de agua para el riego de subsistencia también conocido como “riego campesino”, la presencia de cuerpos de agua que brinden servicios ecosistémicos de recreación para el turismo y el uso ancestral de las aguas por parte de las comunidades originarias presentes en la región. Para ello se ha propuesto las siguientes iniciativas:

- ▶ Estudios de factibilidad para propuesta de proyectos de APR regional.
- ▶ Estudios de factibilidad para iniciativas de fomento de obras para el riego de subsistencia.
- ▶ Estudios de factibilidad de proyectos de diversificación de fuentes de agua (desalación, tratamiento y reutilización de aguas grises, cosecha de lluvias, entre otras.)
- ▶ Estudios de factibilidad para propuestas de saneamiento en sectores semiurbanos y rurales.
- ▶ Estudios de factibilidad para proyectos de planificación y expansión urbana en la región.
- ▶ Programa regional de regularización del uso de aguas para comunidades y pueblos originarios.
- ▶ Programa de emergencias hídricas: sistema de alerta de crecidas de caudales y sistema de provisión de agua en emergencias por sequía o desastres naturales.
- ▶ Estudio de demanda por servicios ecosistémicos hídricos de recreación para el desarrollo de actividades turísticas en la región.

En este eje, las iniciativas que tienen relación con el riego, cuentan con apoyo de programas estatales del Ministerio de Agricultura, como el Instituto Nacional de Desarrollo Agropecuario (INDAP) y la Comisión Nacional de Riego, quienes promueven el acceso al agua para la agricultura y las mejoras para la optimización en el riego. En esta materia, CRHIAM ha aportado con publicaciones sobre enriquecimiento orgánico del suelo para mejorar su infiltración y retención de agua (Fernández *et al.*, 2020; Santander *et al.*, 2021), consideraciones en el uso de aguas servidas tratadas para el riego (Sepúlveda *et al.*, 2020), riesgos en el uso de plaguicidas (Parra *et al.*, 2021), problemas de escasez hídrica en el secano interior (Muñoz *et al.*, 2021), consideraciones sobre el uso de fertilizantes (Carrillo *et al.*, 2021), gestión sustentable de embalses (Arumí *et al.*, 2020) y un manual de riego y drenaje en frutales (Holzapfel *et al.*, 2021).

En cuanto al agua potable, como se vio anteriormente, la región cuenta con una propuesta de estrategia para reducir en parte la brecha de cobertura, donde se cuenta con 13 mil millones de pesos, para avanzar en esta iniciativa con la construcción de 10 sistemas de APR nuevos, y comenzar con los estudios básicos para otros 3. Por su parte, CRHIAM ha desarrollado estudios sobre el derecho humano al agua (Álvez and Castillo, 2020), consideraciones sobre la protección de las fuentes subterráneas para agua potable (Delgado *et al.*, 2020), seguridad hídrica (Barra and Rojas, 2020) y la calidad ambiental de las fuentes de agua potable (Barriga *et al.*, 2022); realizando la importancia de la necesidad de este programa.

En cuanto a los proyectos de diversificación de fuentes de agua en la región, hasta el momento, sólo se ha explorado formalmente como alternativa las aguas subterráneas, con la aprobación del presupuesto para los estudios de prospección hidrogeológica. En este ámbito, CRHIAM ha desarrollado investigaciones e iniciativas piloto, que pueden aportar en la diversificación de fuentes de agua para distintos usos, con publicaciones sobre diferentes aspectos de la depuración de aguas servidas (Vidal and Araya 2014; Chamorro and Vidal 2015; Vidal and Hormazábal 2018; Urrutia *et al.*, 2020; Duarte *et al.*, 2021; Gómez *et al.*, 2021; Vidal *et al.*, 2021; Casas *et al.*, 2022; Crouchett *et al.*, 2022; Ortega *et al.*, 2022), reutilización de aguas servidas (Sepúlveda *et al.*, 2020; Neumann *et al.*, 2021; Sabag *et al.*, 2021; Pérez *et al.*, 2022), gestión de las aguas subterráneas (Delgado *et al.*,

2020; Castillo *et al.*, 2020; Delgado and Arumí, 2021; Garrido *et al.*, 2021), desalación de agua de mar (Toledo, *et al.*, 2021; Pulgar, *et al.*, 2022) y cosecha de aguas lluvias (Castillo *et al.*, 2022).

En lo que respecta al uso de las aguas ancestrales, lo que se plantea en la propuesta es replicar el programa de regularización del uso de las aguas que utilizan las comunidades, que ha impulsado DGA en conjunto con la CONADI, con el fin de que este uso cuente con el reconocimiento y la protección legal correspondiente, buscando ser una medida que propenda a reducir los conflictos por el acceso de las aguas por parte de los pueblos originarios. Sobre este tema, CRHIAM ha realizado publicaciones centradas en las aguas ancestrales y los conflictos que se han suscitado en el norte del país (Videla, 2021a; Videla, 2021b; Videla, 2022).

Sobre las emergencias hídricas, el abastecimiento de agua por camiones aljibe, surgió como un programa de emergencia administrado por el Ministerio del Interior a través de la Oficina Nacional de Emergencias (ONEMI), el que debido a los problemas de sequía, terminó siendo un programa permanente en varias regiones del país, incluyendo Biobío. Este programa tiene un costo elevado y poco eficiente para el país, superando los 48.000 millones de pesos el año 2021 (Radio Biobío, 2022), mostrando la urgencia que existe en diversificar las fuentes de abastecimiento de agua para diversos fines.

En cuanto a la gestión de emergencias por crecidas de caudal, el gobierno regional del Biobío aprobó el financiamiento por más de 1.500 millones de pesos de un proyecto presentado por la DGA regional, para la creación de un sistema de alerta temprana de crecidas para el río Biobío, con el fin de evacuar a la población en caso de un desbordamiento de su cauce, por algún evento meteorológico o por algún hecho catastrófico, como la apertura o ruptura repentina de alguno de los embalses que se encuentran en la cuenca.

Economía

El eje económico, plantea que ninguna actividad de esta índole puede desarrollarse sin agua, por lo que es necesario que las medidas desarrolladas para buscar la seguridad hídrica también aporten en conseguir certeza jurídica para la producción y la economía, es en este sentido que la política propuesta considera lo siguiente:

- ▶ Iniciativas de gobernanza del agua, planes de manejo integrado de cuencas y estrategias de fortalecimiento de las OUA, que otorguen certeza jurídica para la producción.
- ▶ Estudio de prospección y factibilidad para incorporación de nuevas áreas de riego.
- ▶ Iniciativas de fomento para el uso eficiente del agua en el sector agrícola e industrial.
- ▶ Programa de rentabilización económica de la conservación y recuperación de ecosistemas reguladores – proveedores de agua.
- ▶ Estudio de factibilidad para iniciativas de diversificación de fuentes de agua para el uso productivo a partir de reutilización de aguas grises.
- ▶ Estudio de factibilidad para proyectos de generación hidroeléctrica a microescala a partir de caudales generados de las aguas residuales.

En cuanto a la gobernanza de la cuenca, el Código de Aguas le entrega esta responsabilidad a las organizaciones de usuarios de agua y particularmente a las juntas de vigilancia. Para aportar en la gestión integrada de la cuenca, la DGA ha comenzado a licitar la realización de los planes estratégicos para las 101 cuencas del país. En contraste, la propuesta de estrategia propone crear instituciones regionales, para la gobernanza y el manejo integrado de las cuencas, que se detallan en el eje transversal. Para aportar en la discusión, CRHIAM publicó una Serie Comunicacional sobre la gobernanza y gestión de las aguas apuntando a la seguridad hídrica (Julio *et al.*, 2021).

En el área de la agricultura a gran escala, servicios como CNR están potenciando la optimización del riego para reducir el consumo de agua del sector, que resulta ser el mayor usuario del agua tanto en el país como en la región. Al respecto, CRHIAM realizó una publicación sobre tecnologías del manejo de agua para la sustentabilidad en la agricultura intensiva (Holzapfel *et al.*, 2020), además de las otras publicaciones referidas en el eje anterior.

El resto de las iniciativas propuestas en este eje, dependen de la concreción de las iniciativas expresadas en los ejes anteriores, las que al ser integradas permitirán hacer los estudios de factibilidad para implementarlas.

Transversal

Este eje contempla la creación de mecanismos de gestión de la información, monitoreo e institucionalidad regional para fortalecer la gestión sustentable del agua, según se detalla a continuación:

- ▶ Propuesta de monitoreo regional permanente a través de la creación de un observatorio hídrico regional.
- ▶ Creación de un repositorio de iniciativas y estudios, dependiente del observatorio hídrico regional, que sistematice y unifique la información para apoyar la gestión del servicio público, la academia y el sector privado.
- ▶ Creación de un laboratorio para análisis de calidad de aguas que apoye el monitoreo permanente en esta materia, administrado por la DGA regional.
- ▶ Construcción de una red de pozos de observación de aguas subterráneas para monitorear extracciones, cantidad de agua disponible y su calidad, en los principales acuíferos de la región.
- ▶ Implementación de red de monitoreo de captaciones superficiales para el control de caudales de extracción en los cursos de agua.
- ▶ Programa para el desarrollo tecnológico y formación de capital humano.

Las iniciativas propuestas en este eje, son el resultado final de la realización de todos los estudios y programas propuestos en los 3 primeros ejes. Es aquí donde podría nacer la institucionalidad regional, a través del observatorio hídrico regional, quien se encargaría de la sistematización de la información y el monitoreo coordinado entre los diferentes servicios relacionados.

Si bien, la idea de que la región logre alcanzar la seguridad hídrica aún se ve lejana, iniciativas como la propuesta de la estrategia para la gestión sustentable de los recursos hídricos de la región, nos acerca un paso más para alcanzar esa meta. La que será posible lograr con el trabajo colaborativo entre el sector público, la academia, el sector productivo y la sociedad civil.

CAPÍTULO

5

COMENTARIOS

Finales



Como se menciona en el desarrollo de los capítulos de esta Serie Comunicacional, el agua es un elemento fundamental para la vida en todos sus aspectos, marcando su desarrollo y evolución. El ser humano, al igual los demás seres vivos, también ha experimentado cambios en el tiempo. Pasando de ser un ente nómada, que buscaba condiciones ambientales favorables, a establecerse en comunidades, adaptando el entorno a su conveniencia, pero con un criterio básico fundamental, siempre contar con la presencia de fuentes de agua cercanas.

El establecimiento del humano, trajo consigo la modificación del territorio, que se subdivide en cuencas hidrográficas, construyendo obras para el aprovechamiento de los recursos naturales, primero para la sobrevivencia y luego para el desarrollo económico. Este avanzar tecnológico, trajo consigo por un lado la optimización en la producción de recursos, pero por el otro, consecuencias ambientales como el cambio climático global que estamos experimentando, lo que ha desencadenado problemas para las personas, que no ven satisfecha su necesidad básica de acceso al agua potable, generando conflictos por el acceso, de los que la región del Biobío no ha estado exenta.

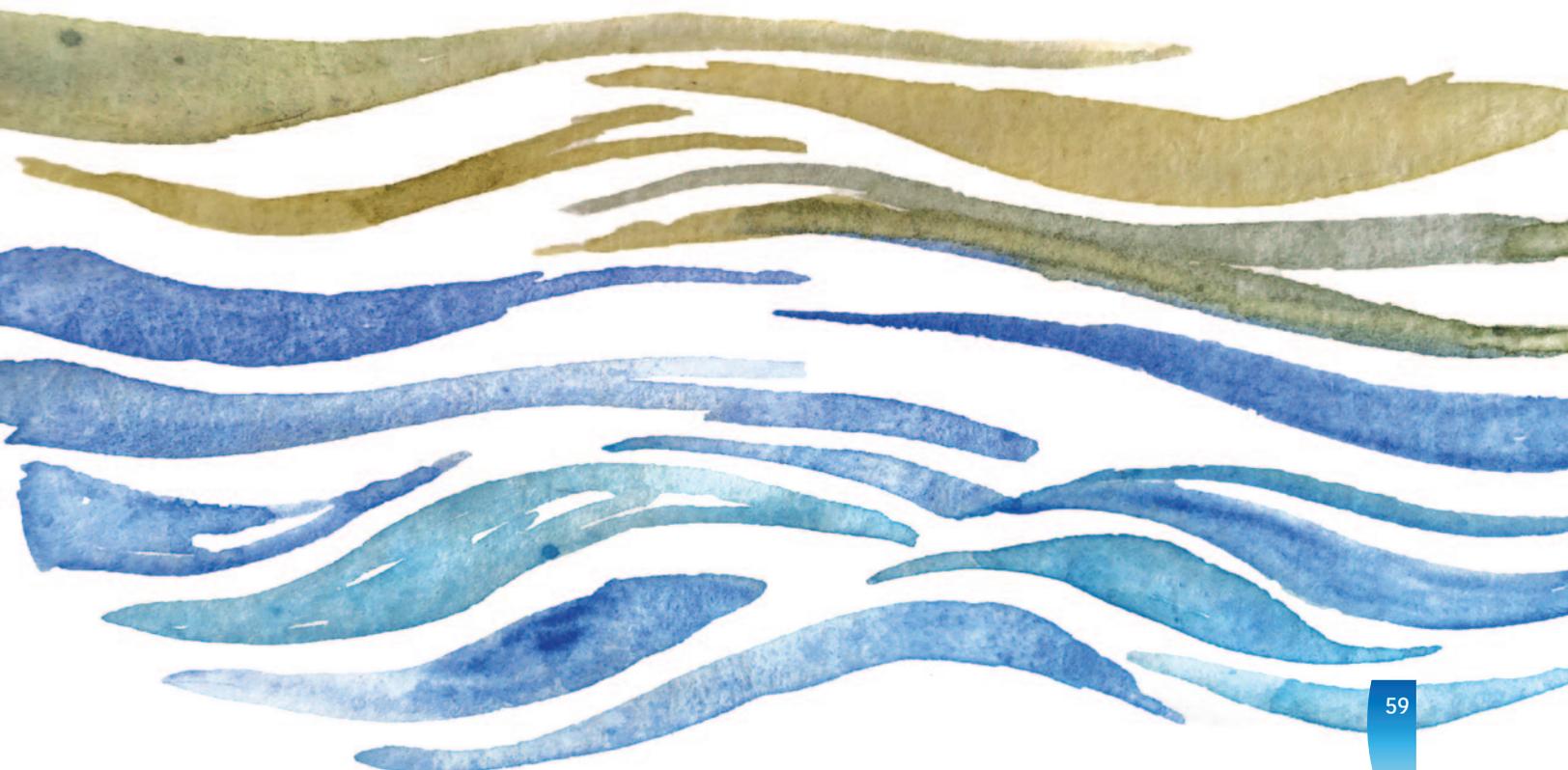
Por esta razón, tanto las autoridades de Estado, en conjunto con la academia y todos los actores relevantes en la materia, deben trabajar en conjunto en el objetivo de alcanzar el objetivo de la seguridad hídrica para nuestros territorios, con políticas basadas en la información científica generada de centros de investigación existentes, atendiendo las necesidades locales inmediatas pero con una perspectiva a largo plazo. Si todos ponemos de nuestra parte, la gestión sustentable del agua podrá ser una realidad.

Como CRHIAM, tenemos el compromiso de crear redes, con las principales instituciones de investigación, nacionales e internacionales, con el sector público y privado para beneficio de los intereses comunes de investigación, innovación y desarrollo en materia de recursos hídricos, para contribuir a una mejor gestión del agua, mediante comunicación y difusión de evidencia científica, que aporte a las políticas públicas y al conocimiento de la sociedad.

CAPÍTULO

6

REFERENCIAS



- ▶ Abrams, Elliot M. 1994. *How the Maya Built Their World: Energetics and Ancient Architecture*. Austin, Texas, EE. UU: University of Texas Press. ISBN 0-292-70461-5. OCLC 29564628.
- ▶ Alba, M. y Feijoo, S. 2010. *Los caminos del agua romana*. Ayto de Mérida.
- ▶ Álvarez D., Pedreros P., Delgado, V. y Urrutia, R. 2020. Apoyo a la toma de decisiones en políticas públicas usando herramientas paleolimnológicas: Evaluando el impacto de la contaminación antrópica en los sistemas lacustres. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM) ANID/FONDAP/15130015. Versión impresa ISSN 0718-6460.
- ▶ Álvez A. & Castillo R. 2020. *El Derecho Humano al Agua*. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM) ANID/FONDAP/15130015. Versión impresa ISSN 0718-6460.
- ▶ Angelakis, A.N. and Koutsoyiannis, D. 2003. Urban water engineering and management in ancient Greece. *The Encyclopedia of Water Science*, 999-1007, Dekker, New York.
- ▶ Aranda, F. 2006. *Las presas de abastecimiento en el marco de la ingeniería hidráulica romana. Los casos de Proserpina y Cornalbo*. Traianvs.
- ▶ Aravena, A. 2014. Identidad indígena en Chile en contexto de migración, urbanización y globalización, *Amérique Latine Histoire et Mémoire. Les Cahiers ALHIM 2014*. Disponible en: <http://journals.openedition.org/alhim/4942>.
- ▶ Arumí A., Delgado, V., Stehr, A., Sandoval, M. I. & Urrutia, R. 2020. Los embalses y su gestión sustentable bajo el escenario de escasez hídrica. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM) ANID/FONDAP/15130015. Versión impresa ISSN 0718-6460.
- ▶ Banco Mundial. 2011. *Chile Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos*. Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible Región para América Latina y el Caribe. 92 pp.
- ▶ Barnes, R. & Eicher, J. B. 1992. *Dress and gender: making and meaning in cultural contexts*. Berg: Distributed exclusively in the U.S. and Canada by St. Martin's Press.
- ▶ Barra R. & Rojas J. 2020. Seguridad hídrica: derechos de agua, escasez, impactos y percepciones ciudadanas en tiempos de cambio climático. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM) ANID/FONDAP/15130015. Versión impresa RIL Editores 2020. ISSN 978-956-01-0757-2.
- ▶ Barriga F., Gómez G., Barra R., Urrutia R., Arumí J. L. & Vidal G. 2022. Calidad ambiental de fuentes de agua potable de empresas de servicios sanitarios de Chile, periodo 2014 – 2020. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM) ANID/FONDAP/15130015. Versión impresa ISSN 0718-6460.
- ▶ Bauer, A. 1970. Expansión económica en una sociedad tradicional: Chile central en el siglo XIX. *Historia (Santiago de Chile)*. v. 9, p. 137-235, 1970.

- ▶ Bello, A. 2004. Territorio, cultura y acción colectiva indígena: algunas reflexiones e interpretaciones. En Aylwin, José (Ed.) Derechos Humanos y pueblos indígenas. Tendencias internacionales y contexto chileno, IEL. Temuco, Chile.
- ▶ BNC. 2000. Biblioteca Nacional de Chile. La población durante el período colonial. Memoria Chilena. Disponible en <http://www.memoriachilena.gob.cl/602/w3-article-703.html>
- ▶ Blanton, R., Kowalewski S., Feinman G. & Laura M. F. 1993. Ancient Mesoamerica: A Comparison of Change in Three Regions. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press. ISBN 0-521-44053-X. OCLC 470193044.
- ▶ Boehm de Lameiras, B. & Pereyra A. 1974. Terminología agrohidráulica prehispánica nahua. México: CISNAH, Colección Científica, 1974.
- ▶ Briones C. 2020. ¿Estamos solos?: en busca de otras vidas en el cosmos. Biología Editorial Crítica. Septiembre 2020. ISBN 978-84-9199-221-9.
- ▶ Cabieses, F. 1980. Historia de la ciencia y tecnología en el Perú (1ª edición). Lima: Editorial Juan Mejía Baca.
- ▶ Carballal, S. & Hernández, M. 2004. Elementos hidráulicos en el lago de México-Texcoco en el Posclásico. En Lagos del Valle de México. Revista Arqueología Mexicana, nº 68, 28-33. 2004
- ▶ Cariola, C. & Sunkel, O. 1982. La historia económica de Chile: dos ensayos y una bibliografía Madrid: Cultura Hispánica.
- ▶ Carrillo V., Gómez G., Fuentes B., Lagos, O. & Vidal, G. 2021. El fósforo como nutriente: perspectivas globales, ambientales y su aplicación en la agricultura. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM) ANID/FONDAP/15130015. Versión impresa ISSN 0718-6460.
- ▶ Casas Y., González Y., Gómez G., Holzapfel E., Arroyo N. & Vidal G. 2022. Sustentabilidad de los sistemas de tratamiento de aguas servidas, una mirada desde el análisis de ciclo de vida. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM) ANID/FONDAP/15130015. Versión impresa ISSN 0718-6460.
- ▶ Castillo D., Oyarzún R. & Arumí J. L. 2020. Hidrogeología de Medios Rocosos Fracturados. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM) ANID/FONDAP/15130015. Julio 2020. Versión impresa ISSN 0718-6460.
- ▶ Castillo R., Barriga F., Fernández L., Gómez G., Ortega M. J., Álvez A. & Vidal G. 2022. Estudio comparado de la regulación de cosecha de aguas lluvias. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM) ANID/FONDAP/15130015. Septiembre 2022. Versión impresa ISSN 0718-6460.
- ▶ Chaaban, A. 2014. Pillars of Practice in Islam (What is Islam?). Iran (Islamoriente: Oriental Cultural Foundation): 9-10.

- ▶ Chamorro, S. & Vidal, C. 2015. Tecnologías de tratamiento de agua mediante sistemas de lodos activados. Observación microscópica de organismos indicadores. Grupo de Ingeniería y Biotecnología Ambiental (GIBA-UDEC). Editorial Universidad de Concepción. I.S.B.N: 978-956-227-390-9.
- ▶ CNR. 2011. Línea Base de la Situación Legal de las Organizaciones de Usuarios de Aguas de la Región del Biobío. División de Estudios y Desarrollo Comisión Nacional de Riego del Ministerio de Agricultura, Santiago junio de 2011.
- ▶ Codoñer, C. & Fernández-Corte, C. 1991. Roma y su imperio. Anaya, 1991.
- ▶ Cook, O.F. 1916. Staircase farms of the ancients. Astounding Farming skill of ancient Peruvians, who were among the most industrious and highly organized people in history, in The Nat. Geo. Magazine, 29 (5): 474-534.
- ▶ Cox y Méndez, G. 2002. Historia de Concepción. Alicante: Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes, 2002. Disponible en: <https://www.cervantesvirtual.com/nd/ark:/59851/bmc37785>
- ▶ Crouchett F., Arango, J., Bürger, R. & Jeison, D. 2022. Modelación matemática de sistemas biológicos: microalgas y bacterias para el tratamiento de aguas residuales. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM) ANID/FONDAP/15130015. Julio 2022. Versión impresa ISSN 0718-6460.
- ▶ De la Peña Olivas, J. M. 2010. “Las técnicas y las construcciones de la ingeniería romana”, V Congreso de Obras Públicas Romanas, Fundación de la Ingeniería Técnica de Obras Públicas.
- ▶ Delgado, M. I. & Hernández, J. 2015. Viruses are they living organisms? Discussion on the training of teachers of Biology. VARONA, *Revista Científico-Metodológica*, No. 61. ISSN: 1992-8238
- ▶ Delgado V., Reicher O. & Arumí J. L. 2020. Sobre la necesidad de considerar áreas de protección de las aguas subterráneas para captaciones de agua potable. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM) ANID/FONDAP/15130015. Versión impresa ISSN 0718-6460
- ▶ Delgado, V. & Arumí, J. L. 2021. El modelo chileno de regulación de las aguas subterráneas: críticas desde el derecho ambiental y las ciencias ambientales. El modelo chileno de regulación de las aguas subterráneas, Editorial Tirant lo Blanch. 1-398 pp. ISBN 9788413782942.
- ▶ DGA. 2011 a. Comunidad de Aguas Copiapó – Piedra Colgada – Desembocadura. DGA, Santiago de Chile.
- ▶ DGA. 2011 b. Inventario Nacional de Glaciares. División de Glaciología, Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas. Santiago de Chile.
- ▶ DGA. 2014. Inventario de Cuencas, Subcuencas, y Subsubcuencas de Chile. División de Estudios y Planificación. Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas. Santiago, diciembre de 2014. URL: <https://snia.mop.gob.cl/sad/CUH5690.pdf>

- ▶ DGA. 2017. Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile / Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación; Realizado por Unión Temporal de Proveedores Hídrica Consultores SPA y Aquaterra Ingenieros Ltda.
- ▶ DGA. 2022. Boletín Información Pluviométrica, Fluviométrica, Estado de Embalses y Aguas Subterráneas. Departamento de Hidrología, Dirección general de aguas del Ministerio de Obras Públicas. Abril 2022
- ▶ DGA Biobío. 2022. Boletín mensual del estado hídrico de la región. Unidad de Hidrología, abril 2022.
- ▶ DIPLADE Biobío. 2021. División de Planificación y Desarrollo Regional del Gobierno Regional del Biobío. Propuesta de una política para la gestión sustentable de los recursos hídricos en la Región del Biobío. GORE Biobío, agosto 2021.
- ▶ Díaz M. E., Julio N., Vidal, G. & Figueroa, R. 2021. Sustentabilidad y seguridad hídrica. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM) ANID/FONDAP/15130015.
- ▶ Duarte C., Ramírez A., Gutiérrez L. & Jeison D. 2021. Biotecnologías de precipitación para recuperación de metales en aguas de la minería del cobre. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM) ANID/FONDAP/15130015. Mayo 2021. Versión impresa ISSN 0718-6460
- ▶ Escalante Gonzalbo, P. Conquistas lacustres. Tenochtitlán (1519- 1521) Tayasal (1525-1696). En Lagos del Valle de México. *Revista Arqueología Mexicana*, nº 68, 44-49. 2004
- ▶ Escalona, M. & Olea, J. 2022. Colonialismo y despojo en Wallmapu, sur de Chile: expansión territorial y capitalismo en la segunda mitad del siglo XIX. Artículo parte del Proyecto Fondecyt n. 11200188, “Wallmapu/Araucanía en llamas: el rol del fuego en la construcción social de un territorio”, y del Grupo de investigación: “Territorio, control y poder: una agenda investigativa en la Araucanía”, vicerrectoría de Investigación y Posgrado/ Universidad Católica de Temuco. pp. 238-259. ISSN 1980-542X. <https://doi.org/10.1590/TEM-1980-542X2022v2801013>.
- ▶ Espinoza, W. 1997. Los incas. Economía, sociedad y Estado en la era del Tahuantinsuyo (3ª edición)
- ▶ Farman, J. 1999. La superbreve historia de los romanos, Ed. Molino.
- ▶ Fernández, A. 2012. Water, an essential resource. Instituto Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua (CETA), Universidad de Buenos Aires. Revista Química Viva - Número 3, año 11, diciembre 2012. 147-170 pp. E-ISSN: 1666-7948
- ▶ Fernández, G., Sandoval, M. & Vidal, G. 2020. Reciclaje en la agricultura: Disposición de biosólidos al suelo. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM) ANID/FONDAP/15130015. Versión impresa ISSN 0718-6460

- ▶ Finlayson C. 2014. The improbable primate: how water shaped human evolution. Oxford University Press.
- ▶ Foster, Lynn. 2002. Handbook to Life in the Ancient Maya World. Nueva York, EE. UU.: Oxford University Press. ISBN 978-0-19-518363-4.
- ▶ Garrido E., Arumí, J. L., Aguayo, M. & Urrutia, R. 2021. Recarga artificial de aguas subterráneas. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM) ANID/FONDAP/15130015. Octubre 2021. Versión impresa ISSN 0718-6460.
- ▶ Gómez G., Ortega M. J., Figueroa R., González, Y. & Vidal, G. 2021. Microbiología y tratamiento de aguas servidas bajo el concepto de “One Health”. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM) ANID/FONDAP/15130015. Versión impresa ISSN 0718-6460
- ▶ González, Y., Casas, Y. & Vidal, G. 2020. Huella del Agua. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM) ANID/FONDAP/15130015. Versión impresa ISSN 0718-6460.
- ▶ Grube, N., Eggbrecht, E., Seidel, M. 2011. Los Mayas: una civilización milenaria. Barcelona, España: h. f. Ullmann, cop. ISBN 9783833162930.
- ▶ Henríquez, C. & Azócar, G. 2006. Cambio de uso del suelo y escorrentía superficial: aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Ángeles, VIII Región del Biobío, Chile. *Revista de geografía Norte Grande*, (36), 61-74 pp.
- ▶ Hernández, C. 2001. Historia antigua del saneamiento de aguas en la época romana, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- ▶ Hopkins, N. 2007. The Cloaca Maxima and the monumental manipulation of water in archaic Rome. *The waters of Rome*, nº 4.
- ▶ Holzapfel, E., Rivera, D. & Arumí, J.L. 2020. Tecnología de manejo de agua. Para una agricultura intensiva sustentable. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM) ANID/FONDAP/15130015. Editorial Universidad de Concepción, abril 2020. I.S.B.N: 978-956-227-466-1
- ▶ Holzapfel E., Orrego X., Jara J., Salgado L. & Souto C. 2021. Manual Riego y Drenaje en frutales. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM) Universidad de Concepción - Fundación para la Innovación Agraria. Edición Diciembre 2021. ISBN 978-956-227-502-6
- ▶ INE. 2018. Instituto Nacional de Estadísticas. 2018. División Político Administrativa y Censal. Gobierno de Chile.
- ▶ INE 2022. Instituto Nacional de Estadísticas. 2022. Generación de Energía Eléctrica Región del Biobío. Edición nº41/ 02 de mayo de 2022
- ▶ Jaime, Mónica M. and Salazar, César A. 2009. Capital social y eficiencia técnica de los pequeños agricultores de trigo de la Región del Bío Bío. MPRA Paper No. 17220, posted 10 Sep 2009.

- ▶ Julio N., Figueroa, R., & Ponce, R. 2021. Gobernanza y gestión del agua en el marco de la seguridad hídrica. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM) ANID/FONDAP/15130015. Versión impresa ISSN 0718-6460.
- ▶ Kauffmann, F. 2002. Historia y arte del Perú antiguo 4 (1ª edición). Lima: PEISA / Diario La República. ISBN 9972402126.
- ▶ Mangas, J. 1999. Historia universal. Edad Antigua. Roma, vol. I, tomo B, Ed. Vicens Vives.
- ▶ Marcos, L. 2020. Proyecto Adaptación al Cambio Climático en las Universidades. Escuela Politécnica Superior Universidad de Burgos España, 30 de Abril de 2020.
- ▶ Martínez-Retureta, R., Aguayo, M., Stehr, A., Sauvage, S., Echeverría, C. & Sánchez-Pérez, J.M. 2020. Effect of Land Use/Cover Change on the Hydrological Response of a Southern Center Basin of Chile. *Water*, 12(1), 302. <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/1/302>
- ▶ Marsot, A. 2008. Historia de Egipto. Ediciones Akal.
- ▶ Molina, R., Carvajal, P., Velasco, P. 2012. Guía de antecedentes territoriales y culturales de los pueblos indígenas de Chile. Convenio OIT 169, Ministerio de Obras Públicas. Santiago de Chile. Disponible en: http://transparencia.dgop.cl/OtrosAntecedentes/docs/Guia_asuntos_indigenas.pdf
- ▶ Molina, R. & Yañez, N. 2020. Las aguas indígenas en Chile. LOM Ediciones, Concha y Toro 23, Santiago de Chile.
- ▶ Mommsen, T., Historia de Roma. Libro I. Desde la fundación de Roma hasta la caída de los reyes, cap. XIII, Liber Ed., 2006.
- ▶ Montané, J. C. 1986. Paleo indians remains from Laguna Tagua Tagua, Central Chile. *Science* 161, USA, 1968.
- ▶ MOP 2013. Estrategia Nacional de Recursos Hídricos (2012-2025). Gobierno de Chile. 40 pp.
- ▶ Ministerio de Obras Públicas Región del Biobío. 2021. Propuesta de Planificación de Agua Potable Rural, Región del Biobío. Dirección de Planeamiento febrero 2021.
- ▶ Muñoz, B., Arumí, J. L., Uribe, H., Lagos, O. & Rojas, O. 2021. La escasez de agua del secano interior. Del desastre a la evolución. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM) ANID/FONDAP/15130015. Versión impresa ISSN 0718-6460
- ▶ Neumann, P., Riquelme, C., Álvez, A. & Castillo, R. 2021. Aspectos ambientales y desafíos del tratamiento y reutilización de las aguas residuales urbanas. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM) ANID/FONDAP/15130015. Versión impresa ISSN 0718-6460.

- ▶ Niemeyer, S. 2007. Urban Landscapes of Peru South America: Bridging Historic Inca Urban Centers and Current Housing. Annual Housing Education and Research Association Conference Proceeding: 161-8 pp.
- ▶ Núñez, L., Varela, F. & Casamiquela, R. 1981. Ocupación paleoindio en Quereo (IV Región): Reconstrucción multidisciplinaria en el territorio semiárido de Chile. Boletín del Museo Arqueológico de La Serena 17, La Serena, Chile.
- ▶ Núñez Z., Martín, L., Messerli, B. & Schreliker, H. 1995. Cambios ambientales holocénicos en la puna de Atacama y sus implicancias paleoclimáticas. Estudios Atacameños, N°12, Instituto de Investigaciones Arqueológicas y Museo R.P. Gustavo Le Paige S.J. Universidad Católica del Norte., II Región, Chile.
- ▶ Ordoñez, J. 2011. Ciclo Hidrológico: Contribuyendo al desarrollo de una cultura del agua y la gestión integral del recurso hídrico. Sociedad Geográfica de Lima, Jr. Puno 450 – Lima. ISBN: 9789972602771.
- ▶ Ortega M.J., Campos J. L., & Vidal, G. 2022. Evaluación del metabolismo microbiano. Para el monitoreo y la optimización de sistemas biológicos de tratamiento de efluentes industriales y aguas servidas. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM) ANID/FONDAP/15130015.
- ▶ Palerm, A. 1972. Agricultura y civilización en Mesoamérica. México: Sepsetentas.
- ▶ Palerm, A. 1974. Nuevas noticias sobre las obras hidráulicas prehispánicas y coloniales en el Valle de México. México: Sep-Inah.
- ▶ Palomo, J., Fernández, M. P. 2006. Los molinos hidráulicos en la Antigüedad, Espacio, Tiempo y Forma, Serie II, Historia Antigua.
- ▶ Parra B., Barra R., Díez, M. C. & Vidal, G. Uso de plaguicidas en la agricultura: Conceptos básicos, riesgos y soluciones. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM) ANID/FONDAP/15130015. Versión impresa ISSN 07186460.
- ▶ Parsons, J.R. 2004. Recursos acuáticos en la subsistencia azteca. Cazadores, pescadores y recolectores. En Lagos del Valle de México. *Revista Arqueología Mexicana*, n° 68, 38-43 pp.
- ▶ Pease F. 1991. Historia de Los Incas. Pontificia Universidad Católica del Perú PUCP- Fondo Editorial Lima.
- ▶ Pérez, K., Jeldres, R., Toledo, P. & Gutiérrez, L. 2022. Calidad del agua recirculada en operaciones mineras. Mejoramiento mediante microesferas de vidrio químicamente funcionalizadas. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM) ANID/FONDAP/15130015. Versión impresa ISSN 0718-6460.
- ▶ Pharam, W. 1989. Natural zeolites: Some potential agricultural applications for developing countries. *Nat. Res. Forum* 13, 107-115 pp.

- ▶ Pidwirny, M. 2006. The Hydrologic Cycle. Fundamentals of Physical Geography, 2nd Edition. Disponible en: <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/8b.html>
- ▶ Pladeyra. 2003. Paisajes hidrológicos y balance hídrico de la cuenca Lerma Chapala, México.
- ▶ Pulgar, F., Jeldres, R., Concha, F. & Toledo, P. 2022. Uso de agua de mar en minería. Avances en el espesamiento de relaves ricos en arcillas. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM) ANID/FONDAP/15130015. Versión impresa ISSN 07186460.
- ▶ Radio Biobío. 2022. Cuantiosos desembolsos: Chile ya ha gastado casi \$10 mil millones este 2022 en aljibes por sequía. Disponible en: <https://www.biobiochile.cl/especial/bbcl-investiga/noticias/cronicas/2022/03/28/cuantiosos-desembolsos-chile-ya-ha-gastado-casi-10-mil-millones-este-2022-en-aljibes-por-sequia.shtml>
- ▶ Redman, C. L. 1990. Los orígenes de la civilización. Desde los primeros agricultores hasta la sociedad urbana en el Próximo Oriente, Crítica.
- ▶ Robles, C. 2003. Expansión y transformación de la agricultura en una economía exportadora. La transición al capitalismo agrario en Chile (1850-1930). *Historia Agraria. Revista de Agricultura e Historia Rural*, 29, 45-80 pp.
- ▶ Rojas, T. 1974. Aspectos tecnológicos de obras hidráulicas prehispánicas y coloniales. En Rojas Rabiela, T. et al. Nuevas noticias sobre las obras hidráulicas prehispánicas y coloniales en el Valle de México. México: Secretaría de Educación Pública, Centro de Investigaciones Superiores, Instituto Nacional de Antropología e Historia, 21-133 pp.
- ▶ Rojas, M. 2012. Estado del arte de modelos para la investigación del calentamiento global. Informe para Opciones de Mitigación para enfrentar el Cambio Climático. Santiago: MAPS Chile.
- ▶ Rojas, J. & Parra, O. 2010. Cambio climático local: la Región del Bío Bío en Chile en contexto global. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais* - Número 17 - septiembre de 2010. ISSN Impreso 18084524 / ISSN Electrónico: 21769478.
- ▶ Rubio, A. M. 2012. Breve historia de los sumerios. Nowtilus.
- ▶ Saavedra, M. F., Álvarez, D., Barra, R. & Urrutia, R. 2021. Biomarcadores de calidad de agua: Situación actual chilena y proyecciones futuras. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM) ANID/FONDAP/15130015. Versión impresa ISSN 07186460.
- ▶ Sabag M., Leiva A. M., Gómez G., Rivera, D. & Vidal, G. 2021. Seguridad alimentaria en la agricultura: Desafíos para el reúso de aguas servidas en el marco del nexo salud humana, animal y ambiental. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM) ANID/FONDAP/15130015. Versión impresa ISSN 07186460.
- ▶ Salaverry, E. 2018. El modelo de producción Inca en la agricultura de la Quebrada de Humahuaca. Geografías del presente para construir el mañana: miradas geográficas que contribuyen a leer el presente. Tandil: Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, 878-886 pp.

- ▶ Salazar, C. 2003. Situación de los recursos hídricos en Chile. Con el apoyo de la Fundación Nippon. Centro del Tercer Mundo para el Manejo del Agua, A. C., México.
- ▶ Santander, C., Cornejo, P., Vidal, G. & Holzapfel, E. 2021. Hongos micorrícicos arbusculares: Biotecnología sustentable para la agricultura frente al cambio climático. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM) ANID/FONDAP/15130015. Versión impresa ISSN 07186460
- ▶ Santibáñez, F. 2016. El cambio climático y los recursos hídricos de Chile: La transición hacia la gestión del agua en los nuevos escenarios climáticos de Chile. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias del Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile.
- ▶ Sepúlveda, R., Leiva, A. M., Cornejo, P. & Vidal, G. 2020. Salinización de Suelos Agrícolas por el Reúso de Aguas Servidas Tratadas. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM) ANID/FONDAP/15130015. Versión impresa ISSN 0718-6460
- ▶ Spence, J. 2013. The search for modern China. W.W. Norton & Company. ISBN 9780393934519. OCLC 900465587.
- ▶ Scarborough, V. L., et al. 2012. Water and sustainable land use at the ancient tropical city of Tikal, Guatemala. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 109, 12408-12413 pp.
- ▶ Segura, B. & Carrasco, F. 2015. Análisis de técnicas para abastecimiento de agua en la ingeniería hidráulica romana, Ciencias, Ed. Área de Innovación y Desarrollo.
- ▶ Tankersley, K.B., Dunning, N.P., Carr, C. et al. 2020. Zeolite water purification at Tikal, an ancient Maya city in Guatemala. *Sci Rep* 10, 18021.
- ▶ Toledo, P., Rozas, R., Quezada, G., Saavedra, J., & Gutiérrez, L. 2021. ¿Sal o no sal? Esa es la cuestión en procesos con agua salada. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM) ANID/FONDAP/15130015. Diciembre 2021. Versión impresa ISSN 07186460.
- ▶ Trillo San José, C. 2004. Agua, tierra y hombres en al-Andalus. La dimensión agrícola del mundo nazarí. Granada.
- ▶ UNESCO. 2004. Monte Verde Archaeological Site. UNESCO World Heritage Centre.
- ▶ Urrutia, R., Almanza, V., Campos, J. L. & Vidal, G. 2020. Calidad de agua en los ecosistemas, nutrientes, tecnologías de abatimiento y marco regulatorio de emisiones. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM) ANID/FONDAP/15130015. Versión impresa ISSN 07186460
- ▶ Valdovinos, C., & Parra, O. 2006. La cuenca del río Biobío: historia natural de un ecosistema de uso múltiple. Publicaciones Centro de Estudios Ambientales EULA, 1-25 pp.
- ▶ Vázquez, A. M. 2006. Grecia, un universo de agua. La importancia del agua en las civilizaciones antiguas. Revista Tecnología del Agua UNED. Madrid Septiembre 2006.

- ▶ Vidal, G. & Araya, F. 2014. Las aguas servidas y su depuración en zonas rurales: situación actual y desafíos. Grupo de Ingeniería y Biotecnología Ambiental (GIBA) Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad de Concepción. Editorial Universidad de Concepción. ISBN: 9789562273787.
- ▶ Vidal, G. & Hormazábal, S. 2018. Humedales construidos diseño y operación. Grupo de Ingeniería y Biotecnología Ambiental (GIBA) Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad de Concepción. Editorial Universidad de Concepción. ISBN: 9789562274197.
- ▶ Vidal, G., Gómez, G. & Diez, M. C. 2021. Soluciones basadas en la naturaleza para la descontaminación de descargas puntuales y difusas. Editorial Universidad de Concepción. ISBN 978956227A65A.
- ▶ Videla, S. 2021 a. Historia del Agua en el Norte Grande Siglo XIX. Editorial Universidad de Concepción Primera edición, Marzo 2021. ISBN 9789562274807.
- ▶ Videla, S. 2021 b. Historia del Agua en el Norte Chico Siglo XIX. Editorial Universidad de Concepción. ISBN 9789562274920.
- ▶ Videla, S. 2022. En búsqueda del agua ancestral en el norte semiárido y árido de Chile. Editorial Universidad de Concepción. ISBN: 9789562275330.
- ▶ Watson, A. 1983. Agricultural Innovation in the Early Islamic World. The Diffusion of Crops and Farming Techniques, 700-1100 pp. Cambridge.
- ▶ Wintle, J. 2002. The Rough Guide History of China. London: Rough Guides Ltd. p. 78. ISBN 1-85828-764-2.
- ▶ Wrangham, R. W., Jones, J. H., Laden, G., Pilbeam, D., & Conklin-Brittain, N. 1999. The raw and the stolen: cooking and the ecology of human origins. *Current anthropology*, 40(5), 567-594 pp.
- ▶ Wright, K. & Valencia, A. 2000. Machu Picchu: A Civil Engineering Marvel. ACSE Publications 26.
- ▶ Wright, K. 2008. A True Test of Sustainability. *Water, Environment, and Technology*: 84-5 pp.
- ▶ Wu, J. 2013. Landscape Sustainability science: Ecosystem services and human well-being in changing landscapes. *Landscape Ecology* 28.
- ▶ Yáñez, N. 2004. Derecho de Aguas y Pueblos Indígenas: Avances y Contradicciones del Derechos Chileno (m.s). Disponible en: www.derechosindigenas.cl/Observatorio/Chile_esp
- ▶ Zhang, K., Hu, C. 2006. World Heritage in China. Guangzhou: The Press of South China University of Technology. 95-103 pp. ISBN 7-5623-2390-9.
- ▶ Zhongguo, Y. 2004. (China Cultural Heritage). Winter 2004 issue, 8-74pp. Xu Hongtang's preface appears on 7 pp.





CRHIAM

CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA LA AGRICULTURA Y LA MINERÍA

ANID/FONDAP/15130015

ANID/FONDAP/1523A0001

Serie Comunicacional CRHIAM
PATRIMONIO HÍDRICO
DE LA REGIÓN DEL BIOBÍO



Universidad de Concepción



UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA



Universidad del Desarrollo
Universidad de Excelencia



Agencia
Nacional de
Investigación
y Desarrollo

Ministerio de Ciencia,
Tecnología, Conocimiento
e Innovación

Gobierno de Chile