



CRHIAM

CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA LA AGRICULTURA Y LA MINERÍA
ANID/FONDAP/15130015

MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS

Para el uso eficiente del agua en la industria Agrícola y Minera

Proyecto Sequía ANID/FSEQ210002



Proyecto Sequía ANID/FSEQ210002



Para el uso eficiente del agua en la industria Agrícola y Minera

AUTORES Y AGRADECIMIENTOS

EDITORES

- Leopoldo Esteban Gutiérrez Briones
Ingeniero Civil Metalúrgico, Ph.D.
Profesor Asociado del Departamento de Ingeniería Metalúrgica,
Facultad de Ingeniería. Universidad de Concepción.
Investigador Principal CRHIAM.
- José Luis Arumí Ribera
Ingeniero Civil, Ph.D.
Profesor Titular del Departamento de Recursos Hídricos,
Facultad de Ingeniería Agrícola. Universidad de Concepción.
Investigador Principal CRHIAM
- Giselle Nicol Aguayo Venegas
Ingeniera Civil Metalúrgica.
Departamento de Ingeniería Metalúrgica,
Facultad de Ingeniería. Universidad de Concepción
- Fernanda Belén Sepúlveda Fernández
Ingeniera Civil Agrícola.
Departamento de Recursos Hídrico,
Facultad de Ingeniería Agrícola. Universidad de Concepción

AGRADECIMIENTOS

Universidad de Concepción.

Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo.
Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.

Fondo de investigación Estratégica en Sequía.
ANID/FSQE210002

Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM). ANID/FONDAP/15130015.

Se agradece a todas aquellas personas que han colaborado y diseñado este manual como apoyo a mejorar el uso del recurso hídrico para el desarrollo de la agricultura y minería.

CONTENIDO

Documento Interactivo 

.....	7
.....	8
.....	10
.....	12
.....	14
.....	16
.....	16
.....	18
.....	22
.....	27
.....	32
.....	36
.....	48
.....	51
.....	53
.....	70
.....	74
.....	89
.....	97
.....	104
.....	126
.....	128
.....	133
.....	135
.....	139
.....	142
.....	152
.....	154
.....	158
.....	158
.....	159

PRESENTACIÓN

Este manual es una herramienta que muestra metodologías investigadas por profesionales pertenecientes al Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM), Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Comisión Nacional de Riego (CNR), Comisión Chilena del Cobre (Cochilco), Dirección General de Aguas (DGA), Censo Agropecuario y Forestal 2020, Consejo Minero, Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN) y otras páginas asociadas al Gobierno de Chile, para utilizar el agua eficientemente en la industria agrícola y minera.

Se generó por medio de la recopilación de información de buenas prácticas realizadas por ambas industrias para reducir el consumo de agua en los procesos productivos, a través de mejoras operacionales, una buena gestión integral y recomendaciones. Además, aporta cifras actualizadas de disponibilidad, consumo y tasas de utilización del recurso hídrico, impacto de la sequía en el país, desafíos en la industria agrícola y minera, importancia y relación de ambas industrias a nivel de cuencas, tecnología aplicada, entre otros.

Se obtiene como resultado del proyecto “Tecnologías, Metodologías CRHIAM y Guía de Mejores Prácticas para la Sostenibilidad Hídrica de las Industrias Agrícola y Minera”, con el fin de contribuir a reducir nuestro impacto en el medio ambiente, recursos naturales y construir un mejor futuro.

Este documento está dirigido a empresas, centros de investigación, profesionales de consultoría y usuarios interesados en el tema. Se espera que el manual se convierta en un aporte para enfrentar la actual sequía en Chile y posteriormente mejorar la gestión del agua en la industria agrícola y minera.

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura y la minería son las actividades que entregan mayor cantidad de recursos económicos al país, y ambas dependen de la cantidad de agua disponible en el territorio chileno. De acuerdo a las estadísticas de la DGA el año 2021, un 72,4 por ciento del agua total del país se usa para la agricultura y un 3,9 por ciento en la minería.

Existe consenso sobre la necesidad de mejorar permanentemente el manejo de los recursos hídricos en Chile, donde la demanda de este recurso aumenta por el crecimiento de la población, la mayor demanda por actividades económicas y una mayor presión por la protección del medio ambiente, todo en el contexto del cambio climático.

Se estima que los riesgos de la desertificación y la sequía se mantendrán en el tiempo, el uso del suelo para fines agrícolas también deteriorará, las tierras por el aumento del consumo y el recurso hídrico en minería nacional seguirá aumentando debido a la puesta en marcha de nuevos proyectos mineros y al aumento de la capacidad de procesamiento de los proyectos ya existentes, como consecuencia de la baja ley de minerales.

Por esta razón el objetivo de este manual es establecer metodologías, criterios de diseño y recomendaciones con base científica para contribuir a reducir el consumo de agua en las industrias agrícola y minera con enfoque en las buenas prácticas del uso eficiente del agua de ambas industrias en temas como: dimensiones técnicas, condiciones ambientales, normas y relación social con el entorno.

Por esto, es que dar a conocer información sobre acciones positivas o mejoras que pueden realizar distintas instituciones o empresas, pensando en cuidar el medio ambiente, sus trabajadores y un mejor manejo de sus tecnologías, inspira a que más interesados en estos temas o que sean parte de ellos realicen cambios.

La eficiencia de buen uso del agua en ambas industrias es relevante para la población, el adecuado mantenimiento de los ecosistemas y el desarrollo socioeconómico. Para esto se han ido explorando prácticas sustentables que requieren mejorar los sistemas de eficiencia de riego, aumentar los monitoreos de las cuencas para mejorar la cuantificación de los balances hídricos, buscar nuevas fuentes de agua (agua de mar, agua reutilizada, etc), mejorar las recuperaciones y calidad de agua en minería.

Finalmente, con prácticas sostenibles y de conservación del medio ambiente es posible desacelerar el avance de la desertificación y lograr así una reducción en el consumo de agua, aumento en la producción de alimentos tanto para los humanos como para los animales y crecimiento económico.

2. ANTECEDENTES GENERALES



2.1. DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO A NIVEL MUNDIAL

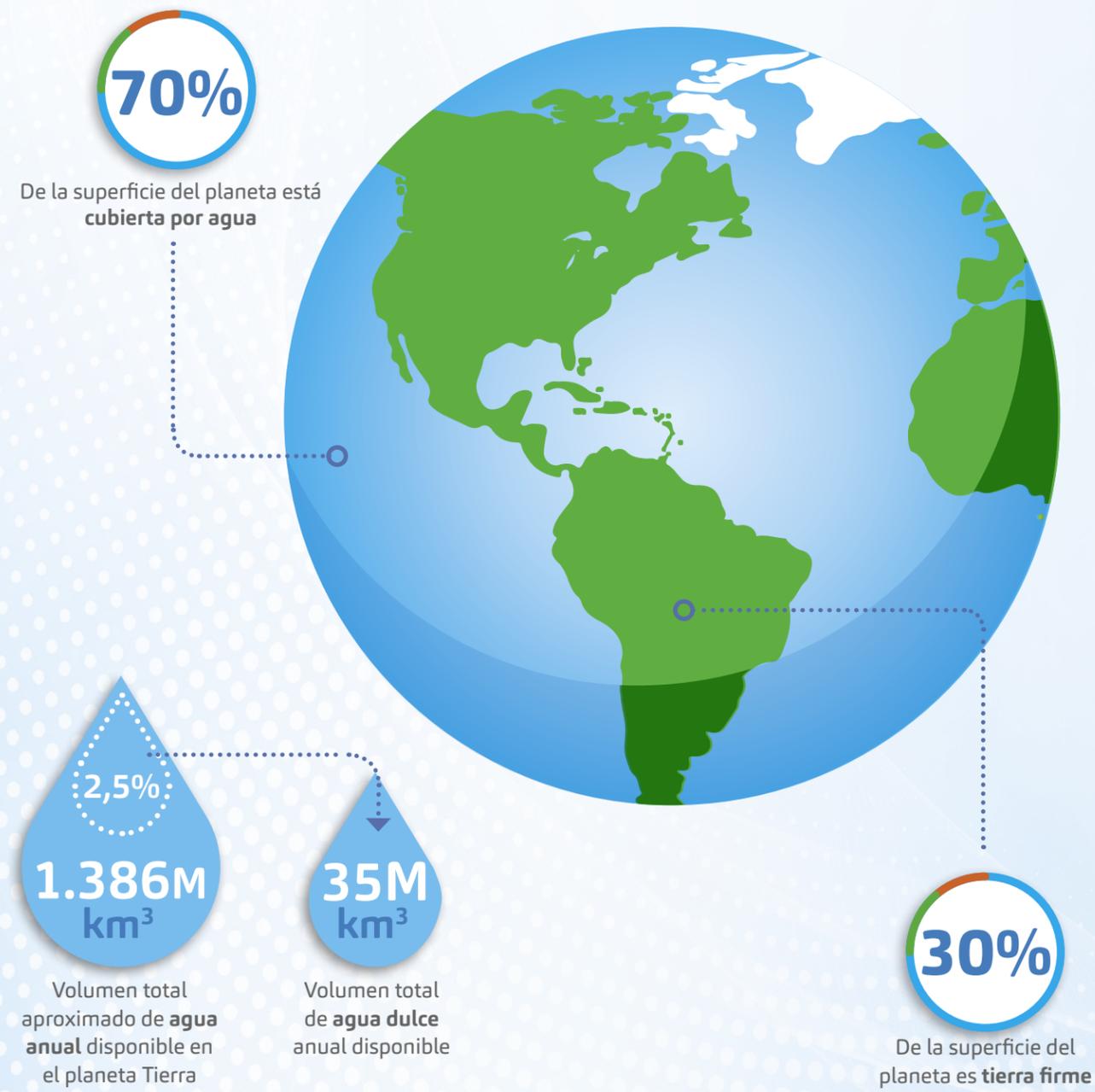


Figura 1: Disponibilidad del recurso hídrico mundial.

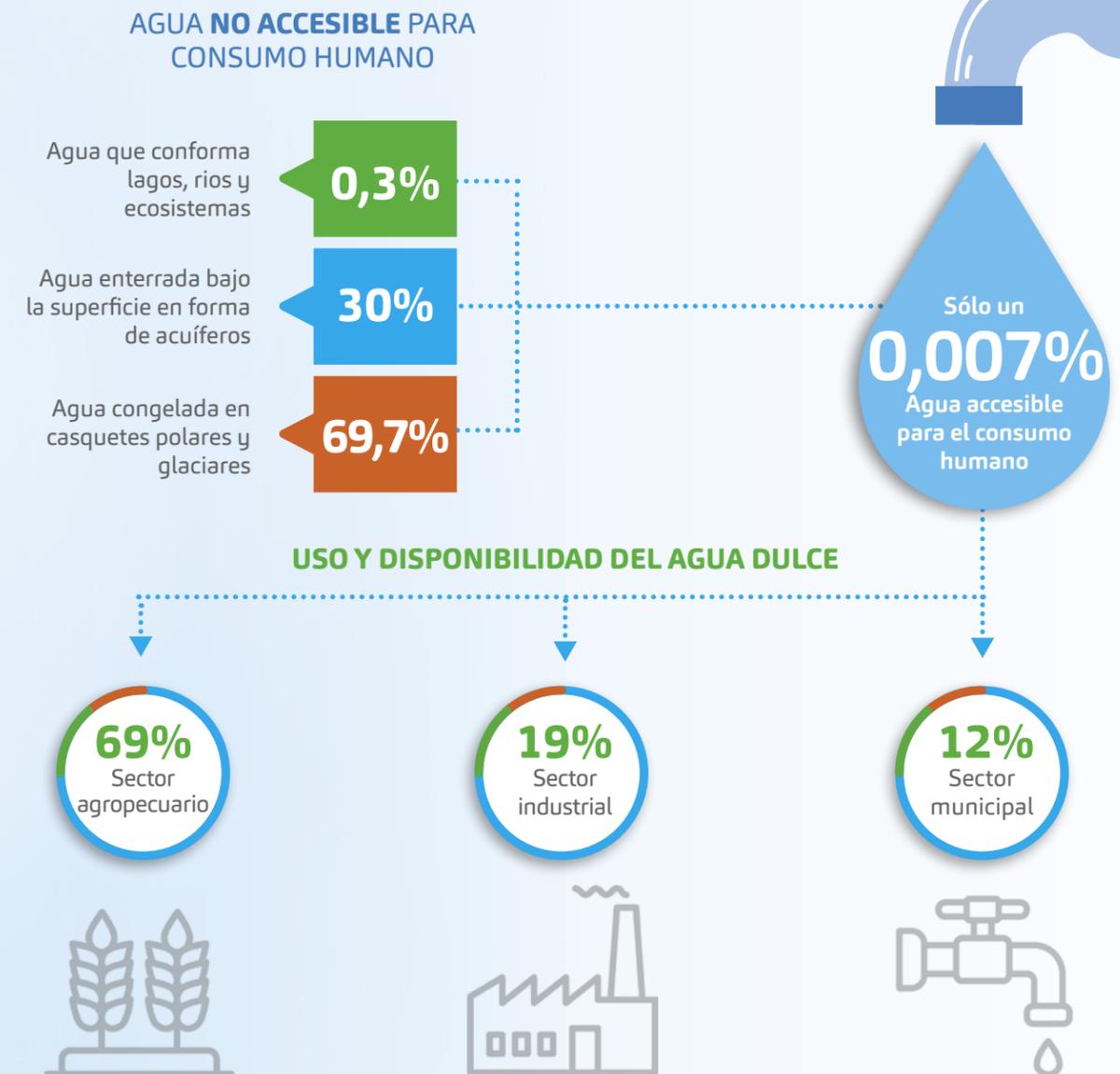


Figura 2: Distribución del recurso hídrico.

Para más información:
<https://agua.org.mx/en-el-planeta/#cuanta-hay>

2.2. DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO EN CHILE

19.212.362
Habitantes
La población de Chile

51.281
m³/persona/año

Es uno de los países que dispone de mayor cantidad de agua por habitante según datos de la DGA en el año 2016.



Figura 3: Disponibilidad del recurso hídrico en Chile.

Por otro lado, estudios de la DGA (2017) proyectan un aumento en la demanda consecutiva de recurso hídrico en Chile.



Figura 4: Proyección de la demanda del recurso hídrico en Chile (2017-2040).



A lo largo del país el escenario hídrico varía significativamente: Desde la Región Metropolitana hacia el norte prevalecen condiciones de escasez hídrica, mientras que desde la Región de O'Higgins hacia el sur se superan los 7.000 m³ por persona al año, alcanzando los 2.950.168 m³ por persona al año en la región de Aysén.

Primer Informe Mesa Nacional del agua 2020

OFERTA DE RECURSOS HÍDRICOS EN CHILE



Figura 6: Oferta del recurso hídrico en Chile.

Fuente: Dirección General de Agua, "Atlas del Agua Chile 2016"
<https://snia.mop.gob.cl/repositorioldga/handle/20.500.13000/4371>



Figura 5: Mapa de Chile por macrozonas y regiones.

2.3. RELACIÓN OFERTA Y DEMANDA DE AGUA EN LAS REGIONES DE CHILE

● Oferta regional de agua (m³/s) ● Habitantes ● Demanda regional de agua (m³/s) ● Precipitación (mm/año)

i Para más información sobre el escenario hídrico de las regiones de Chile:
Dirección General de Agua, "Atlas del Agua Chile 2016".
<https://snia.mop.gob.cl/repositorioidga/handle/20.500.13000/4371>
Estadísticas población Nacional.
Instituto Nacional de Estadísticas. Censo 2017
<http://www.censo2017.cl/descargas/home/sintesis-de-resultados-censo2017.pdf>



Figura 7: Relación oferta y demanda de agua en las regiones de Chile.

2.4. TIPOS DE USOS DE AGUA

El uso del recurso hídrico disponible se define como la aplicación que se le da al agua para realizar una determinada actividad. Este se clasifica de acuerdo a su forma de consumo en:



2.5. CONSUMO DE AGUA EN CHILE

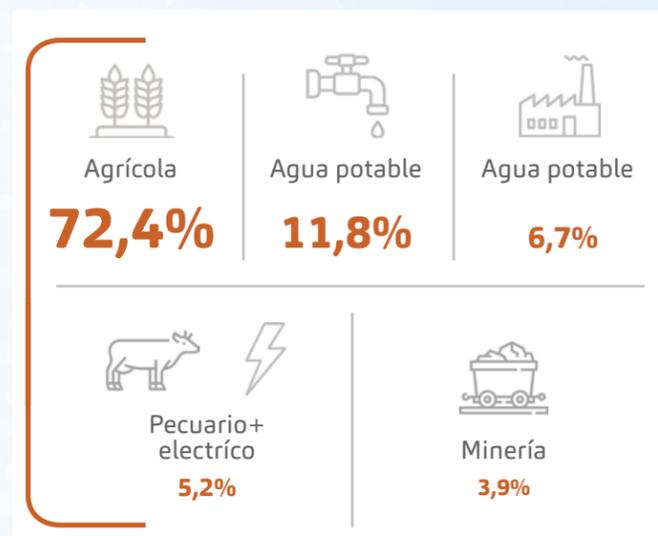
En Chile ha aumentado el consumo de agua, debido al rápido crecimiento demográfico y económico a través del paso de los años.

4.900
m³/s

Cifra a la cual aumentó las extracciones de agua (166 millones de m³ al año)

346
m³/s

Corresponde a extracciones consecutivas (7% del total de agua extraída)



Uso del Agua en Chile

Un 7% del total de agua que se extrae en Chile corresponde a extracción consuntiva, en el diagrama a continuación se detalla el uso que se le da a este flujo de agua. Se destaca que el mayor uso corresponde al agrícola, sin embargo, gran cantidad de esta agua vuelve al ciclo.

i Para más información:
 Primer Informe Mesa Nacional del agua 2020, pág 13.
https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/29307/Mesa_Nacional_del_Agua_2020_Primer_Informe_Enero.pdf?sequence=1&isAllowed=y
 Fuente: Consumo de agua en la minería del cobre año 2021. Cochilco.
<https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Consumo%20de%20agua%20en%20la%20mineria%20del%20cobre%202021.pdf>

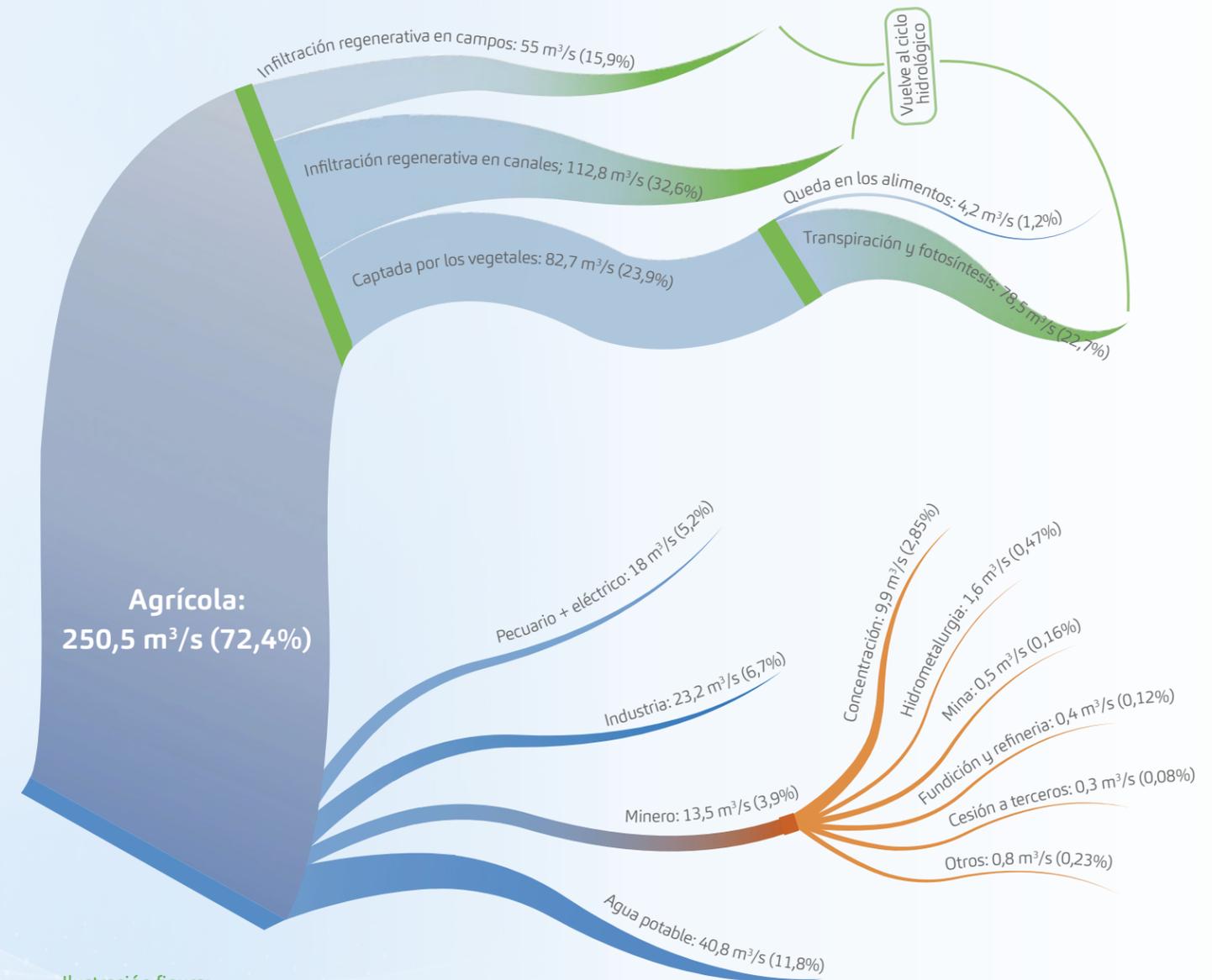


Ilustración figura: Según datos publicados por Rodrigo Callejas R., Ingeniero Agrónomo y doctor en Ciencias Agropecuarias en su columna "Devoluciones regenerativas de agua dulce al medio ambiente desde la agricultura". El Mostrador, 21 de abril 2022.

Figura 8: Diagrama de uso de agua en Chile.

2.6. PRODUCCIÓN NACIONAL AGRÍCOLA



Fué el valor del PIB para el año 2022, dado por el banco mundial.



El desempeño de la industria agrícola depende de las condiciones climáticas

48,7 millones de hectáreas

Es la superficie censada en Chile según en el último Censo Agropecuario y Forestal. Corresponde a aquella que fue caracterizada por estrategias de levantamiento web y terreno.

45,8 millones de hectáreas

Corresponden a superficie **con actividad** silvoagropecuaria

2,9 millones de hectáreas

Corresponden a superficie **sin actividad** silvoagropecuaria

Por presentar un cambio de uso de suelo permanente o no presentar actividad de manera temporal. (INE 2020-2021)

Actividad Principal del Territorio

Distribución (%) del número de UPA según actividad principal
Para el año agrícola de referencia 2020-2021



Figura 9. Gráfico de distribución del número de UPA según actividad (2020-2021).
Fuente: VIII Censo Nacional Agropecuario y Forestal.

Unidad Productiva Agropecuaria

UPA

Se refiere a la unidad económica de producción silvoagropecuaria bajo gestión única por persona productora, con una superficie igual o mayor a 2 ha y/o que registró ventas en el año agrícola 2020-2021. (Definición INE)

Para más información:
<https://www.ine.gob.cl/censoagropecuario/resultados-finales/graficas-nacionales>

Uso de Suelos

Las siguientes graficas dan a conocer los resultados del censo agropecuario del año 2020-2021, donde se muestra que la mayor cantidad de vegetación en Chile ha crecido de forma natural y la más abundante en el país son las praderas mejoradas.

Distribución (%) de la superficie física por categoría de uso de suelo

Para el año agrícola de referencia 2020-2021

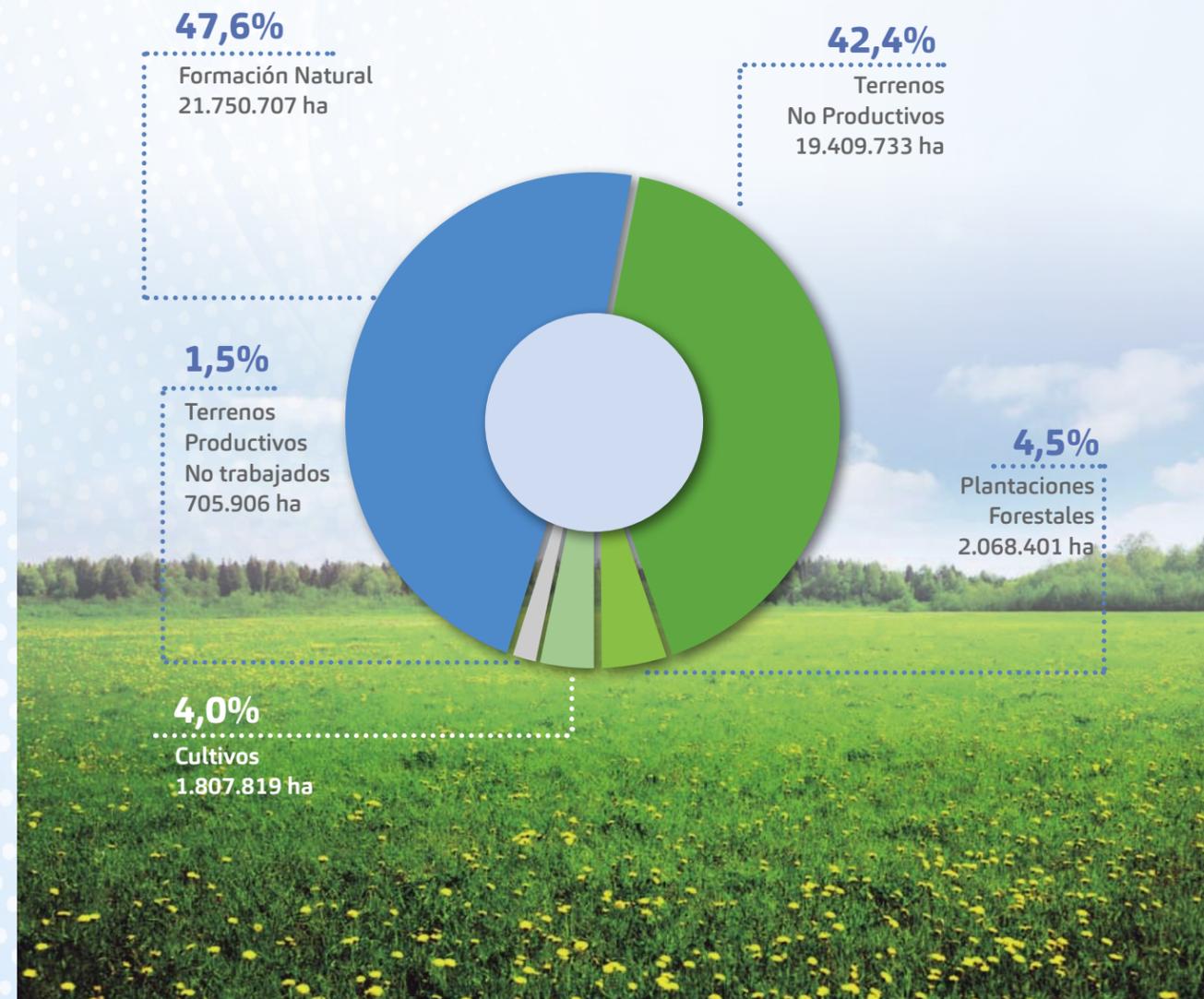


Figura 10. Gráfico de distribución de la superficie por categoría de uso de suelo (2020-2021).
Fuente: VIII Censo Nacional Agropecuario y Forestal

Superficie (ha) sembrada/plantada de la categoría cultivos

Para el año agrícola de referencia 2020-2021

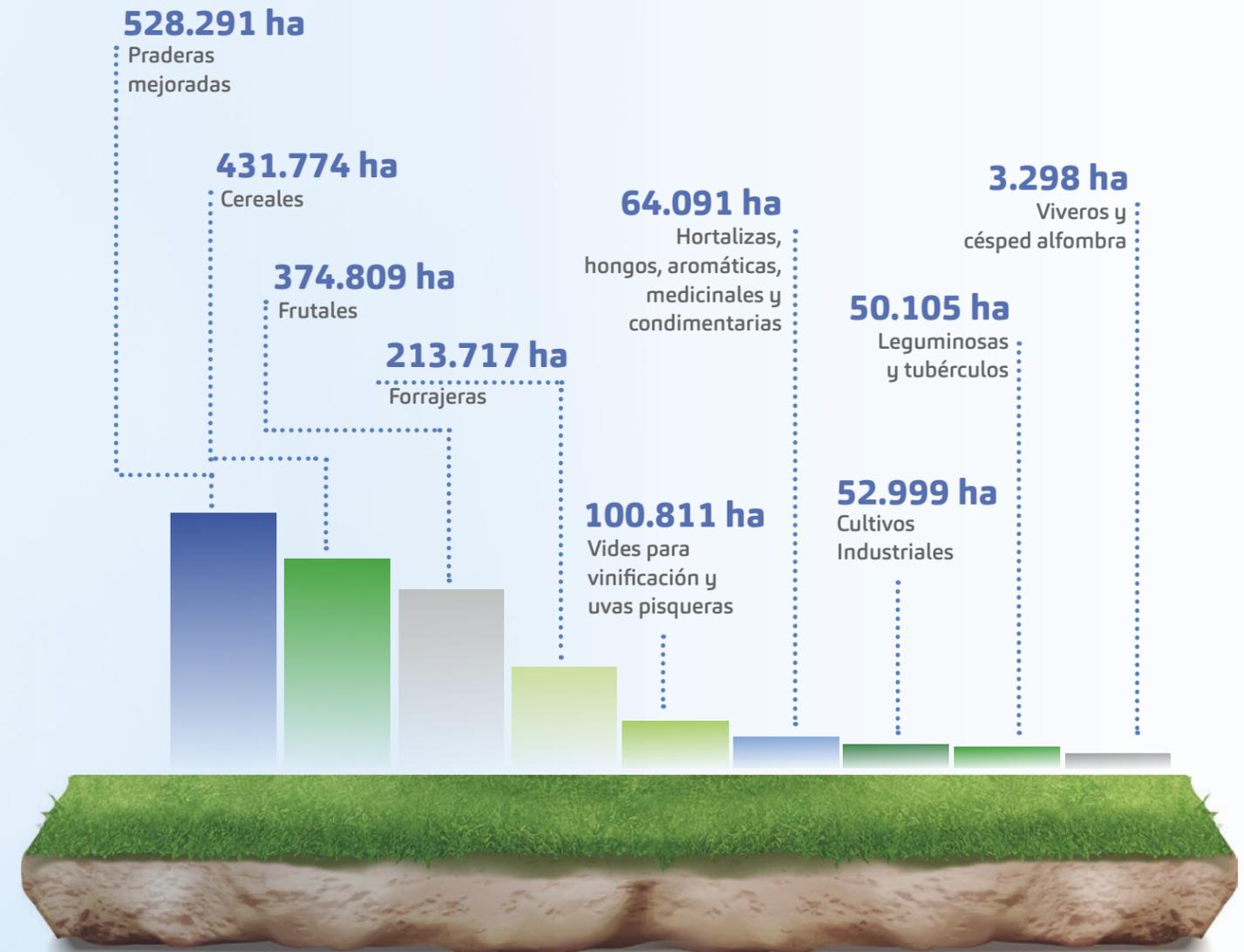


Figura 11. Gráfico superficie sembrada/plantada de la categoría de cultivos (2020-2021).
Fuente: VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal

2.7. PRODUCCIÓN NACIONAL MINERA

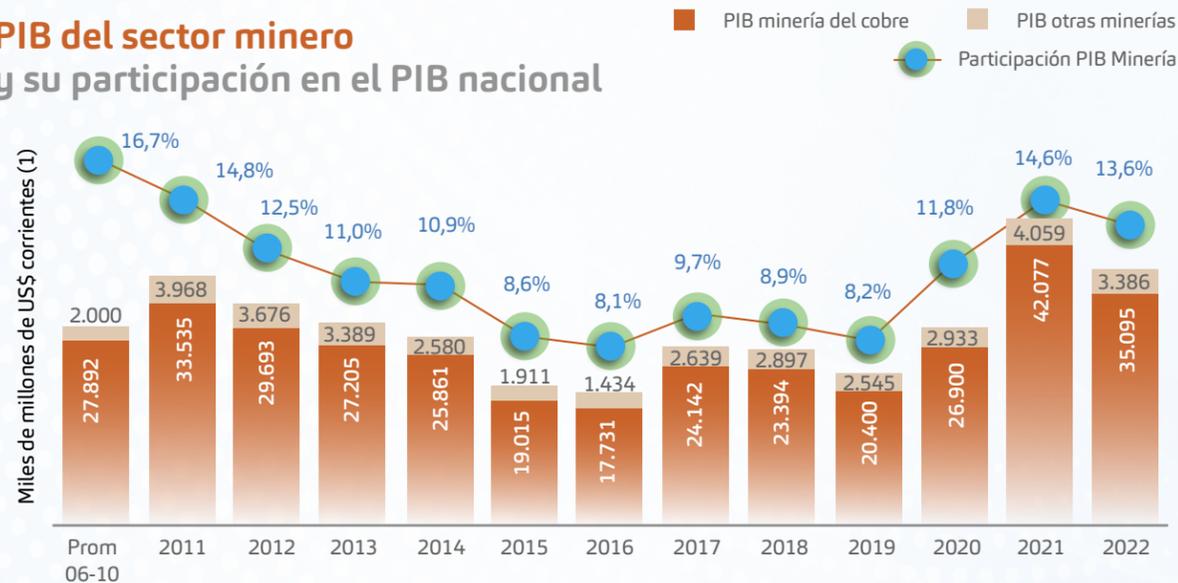
La minería es una de las principales actividades económicas de Chile, debido a la gran reserva de mineral de cobre que posee, liderando el ranking mundial.

El sector minero nacional está conformado por la minería de recursos metálicos, no metálicos y recursos energéticos. Chile produce y exporta principalmente 7 metales: cobre (Cu), molibdeno (Mo), oro (Au), plata (Ag), hierro (Fe), plomo (Pb) y cinc (Zn), que son producidos por las llamadas gran, mediana y pequeña minería.



En el año 2022, el sector minero representó aproximadamente el 13,6% del producto interno bruto (PIB) de Chile. Esto significó una disminución en 1 punto porcentual respecto del año anterior.

PIB del sector minero y su participación en el PIB nacional



(1) Se actualizaron las cifras 2018 - 2022 según las correcciones hechas por el Banco Central de Chile.
 (2) PIB medido en pesos corrientes convertidos a dólares.

Figura 12. Gráfico del PIB del sector minero y participación en el PIB nacional (2011-2022), considerando la minería del cobre y otras.

Fuente: Consejo Minero a partir de información del Banco central de Chile, 2023.
<https://consejominero.cl/mineria-en-chile/cifras-actualizadas-de-la-mineria/>

Mapa Minero de Chile



Figura 13. Mapa minero de Chile.

Producción Minera de Chile 2022

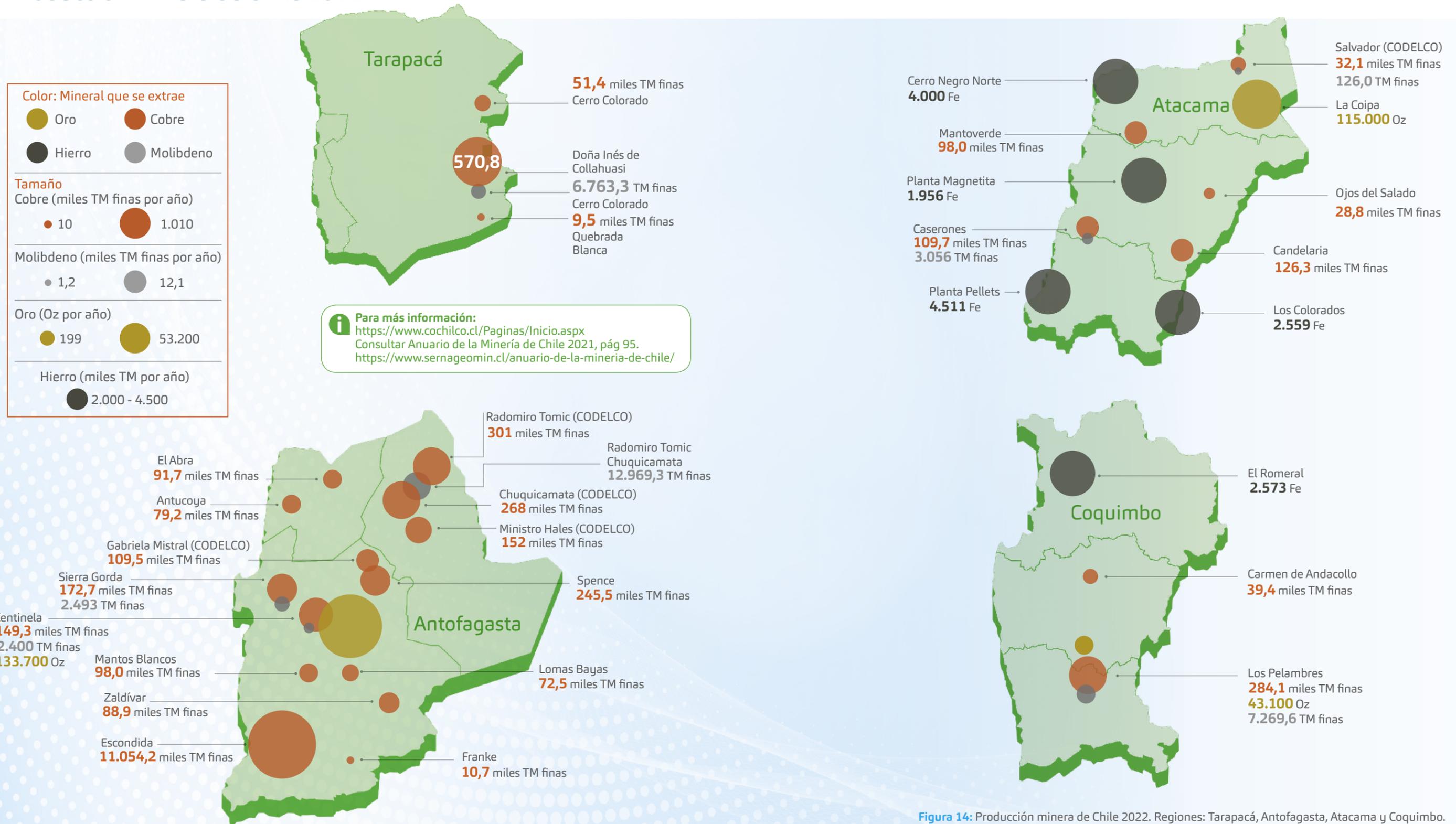


Figura 14: Producción minera de Chile 2022. Regiones: Tarapacá, Antofagasta, Atacama y Coquimbo.

Producción Minera de Chile 2022

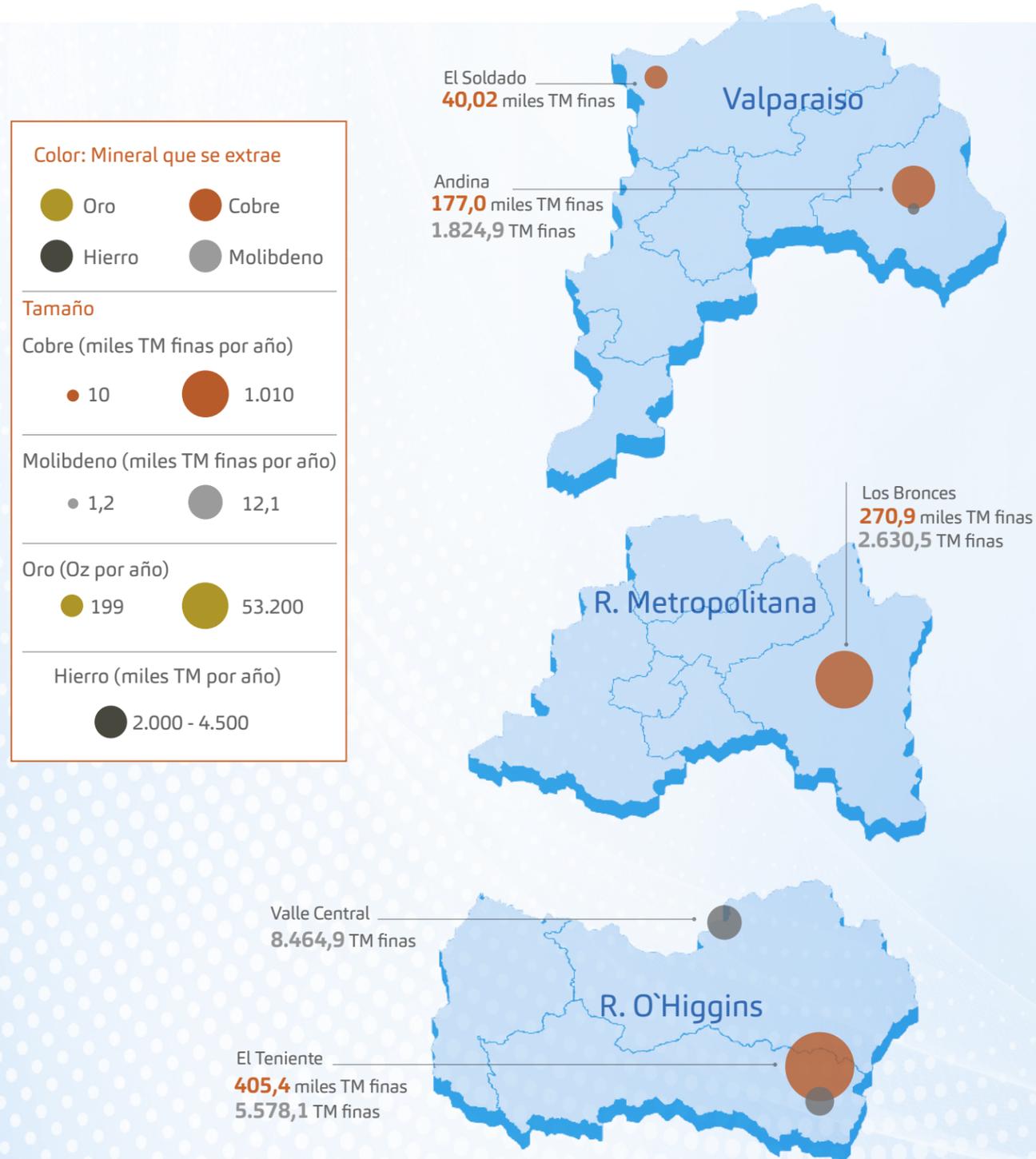


Figura 15: Producción minera de Chile 2022. Regiones: Valparaíso, Metropolitana y O'Higgins.

2.8. SEQUÍA EN CHILE

Chile central presenta un clima semiárido y mediterráneo que, desde el 2010 en adelante, se ha visto que las precipitaciones han estado por debajo del promedio histórico.



Situación actual en Chile

Chile central presenta un clima semiárido y mediterráneo que desde el año 2010 en adelante se ha visto afectado por sequías meteorológicas, resultando las siguientes cifras:

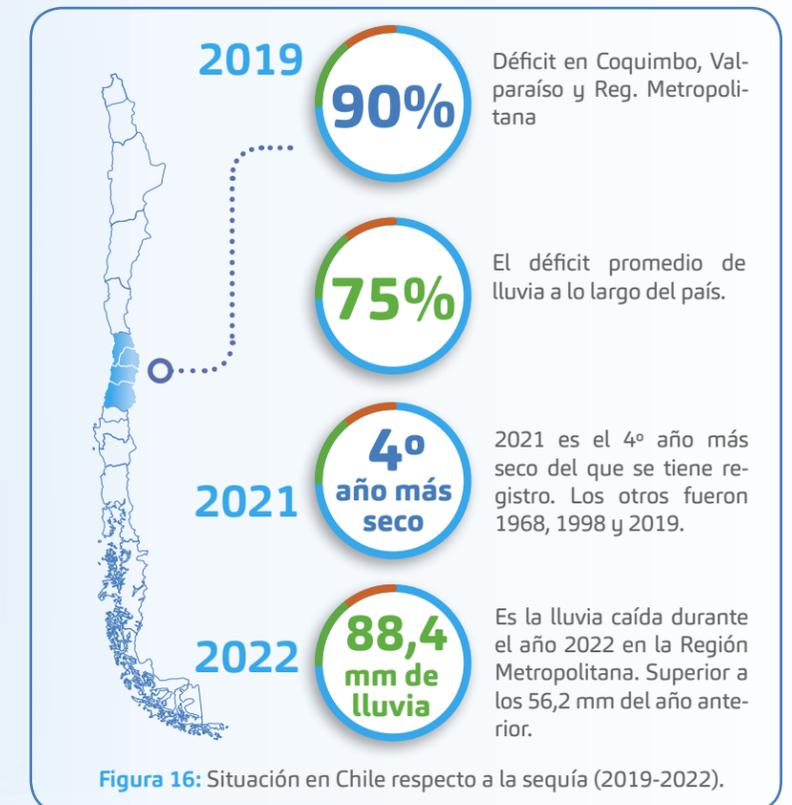
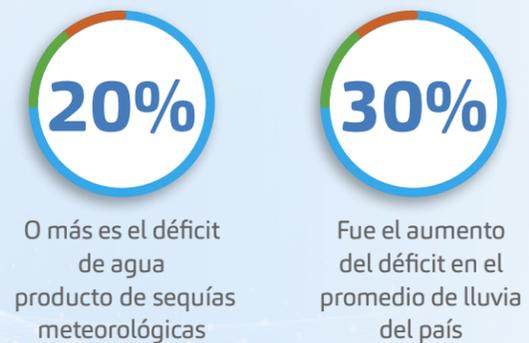


Figura 16: Situación en Chile respecto a la sequía (2019-2022).



De la superficie chilena está afectada por sequía, desertificación y suelo degradado (SudAustral Consulting SpA, 2016).



De la población chilena está afectada por riesgo de desertificación (aprox. seis millones de personas), las cuales habitan en 226 comunas (Ministerio Bienes Nacionales).

24.000

Glaciares están en retroceso por el aumento de temperatura en Chile (DGA, 2011).

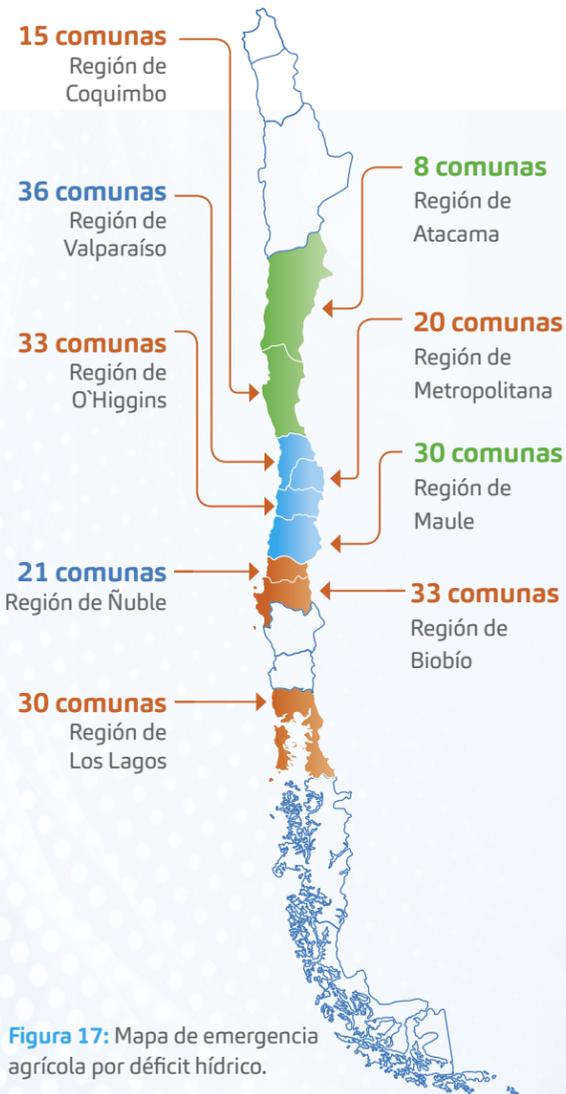


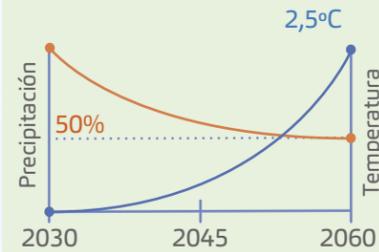
Figura 17: Mapa de emergencia agrícola por déficit hídrico.



Acuíferos actualmente se encuentran con una demanda superior a su recarga (Ministerio del Interior, 2015)

2060

Se proyecta un aumento de temperatura de 1 y 2,5°C y una baja en las precipitaciones de hasta 50% en algunas



¿Qué es una zona de Escasez Hídrica?

Área donde las condiciones hidrometeorológicas indican una situación severa sequía, en base a un análisis hidrometeorológico que demuestra condiciones menores a las definidas como límites por la DGA.



Artículo 314 del Código de Aguas

El carácter de severa sequía es un antecedente insustituible para la declaración de una zona en escasez hídrica. La delimitación territorial de estas zonas podrán ser establecidas en una cuenca, región, provincia o comuna.

Fuente: RES. DGA N° 1331, criterios para determinar severa sequía

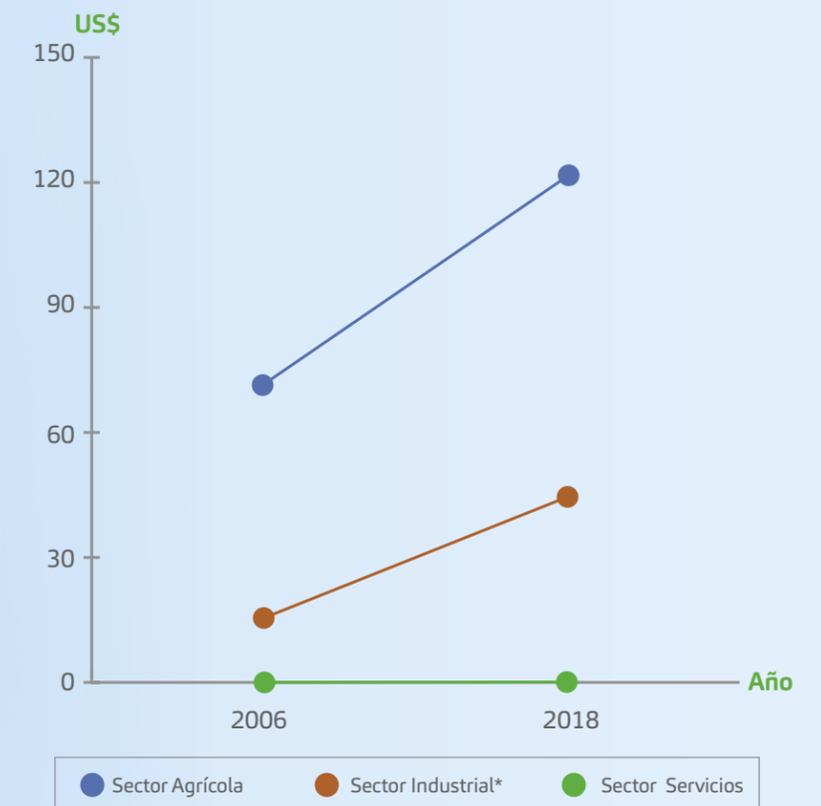
Transformación hídrica en Chile

La minería, líder en eficiencia del recurso hídrico

A nivel nacional, es la minería la que ha liderado la transformación hídrica a través de la desalación de agua de mar y mejoras sustantivas en la eficiencia en el uso del recurso, es por esto que Chile sigue con su producción e industrias a pesar de la sequía, gracias a las nuevas tecnologías que mejoran la gestión del agua.

Algunas de las tecnologías permiten que se pueda utilizar el agua subterránea, agua de mar, incluso se puede captar vapor de agua del ambiente, sin embargo, algunos métodos generan problemas con respecto a la sustentabilidad, se limita el uso de algunas tecnologías por restricciones legales, diferentes organizaciones culturales y ambientales, etc.

Eficiencia del uso de agua en Chile



* Sector industrial incluye: minería, construcción, manufacturas y energías. FAO

Figura 18: Eficiencia del uso de agua en Chile por sector (2006-2018).

Fuente: Informe FAO

Balace Hídrico DGA

En los últimos 30 años, ha disminuido los caudales de agua superficial de las cuencas del Aconcagua, Maipo, Rapel, Mataquito y Maule.

13% y 37%

Dentro de esta cifra han disminuido los caudales de importantes cuencas del país.

Hipersequía

Condición de déficit extremo de lluvia, en el siglo XX ocurrió en 1924, 1968, 1988 y 1998; el 2021 fue uno más de la mega-sequía. Un cuarto de la mega-sequía es atribuible al cambio climático antrópico (influencia do por la acción humana).

Severa Sequía en Chile

Es la situación hidrometeorológica de sequía que se determina según los criterios definidos en los Resueltos 4, 5 y 6 de la Resolución DGA 1331 y de acuerdo al artículo 314 del Código de Aguas.

¿Quién determina si una zona está afectada por severa sequía?

La calificación de las condiciones que determinan el carácter de severa sequía es una facultad exclusiva de las Dirección General de Aguas (DGA).

Plan de Emergencia Sequía en Chile

El gobierno de Chile ha desarrollado iniciativas para dejar en evidencia que estamos viviendo una de las peores sequías de la historia y que eso tiene efectos negativos en áreas como la producción de alimentos.

2019

Mesa del agua

Surge dada la necesidad de abordar las problemáticas y desafíos de la sequía, con el objetivo de establecer una estrategia hídrica.

Pilar 1

Resguardar el abastecimiento de agua, priorizando siempre el consumo humano.

Pilar 2

Asegurar la calidad del agua y proteger los ecosistemas.

Pilar 3

Modernización del marco legal e institucional: Creación del Ministerio de Obras Públicas y Recursos Hídricos y la Reforma del Código de Aguas.

2020

#Chile-SeEstáSecando

El Gobierno presentó la campaña comunicacional #ChileSeEstáSecando.

2021

Plan de Emergencia contra la sequía

Plan que busca aumentar la disponibilidad de agua y mejorar la eficiencia en su uso, con el objetivo de asegurar el abastecimiento para el consumo humano y la producción de alimentos. Este plan posee 4 medidas:

1

Uso de agua desalada

2

Tecnificación de riego para la producción de alimentos

3

Agua potable rural

4

Uso eficiente en ciudades

2022

#Hay2opciones

El Gobierno desarrolló una nueva campaña comunicacional para reforzar los mensajes de cuidado del agua, la cual va dirigida a un público de todas las edades y regiones del país. Esta campaña priorizó el mensaje #Hay2opciones:

1

Cuidamos el agua

2

Nos quedamos sin ella

Conozca las medidas de disponibilidad del agua y acciones para mejorar la eficiencia en su uso en: <https://www.gob.cl/plansequia/>

3. INDUSTRIA AGRÍCOLA



3. INDUSTRIA AGRÍCOLA

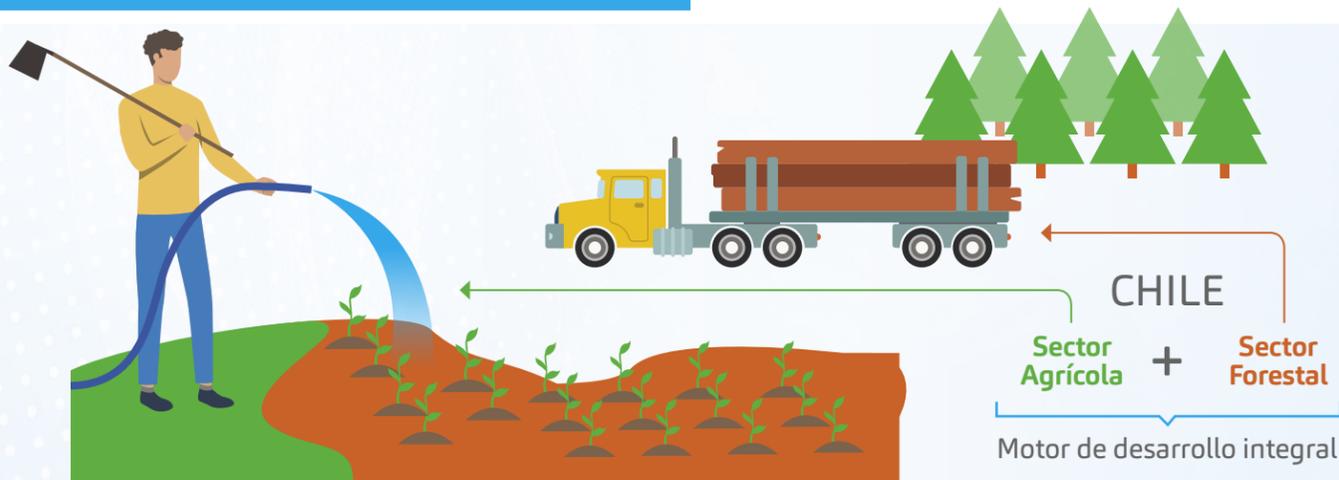


Figura 19: Relación con las personas y el medio ambiente.

Resultando una intensa actividad primaria y secundaria proveedora de alimentos, y su directa relación con las personas y el medio ambiente donde se desenvuelven. Esta actividad, que está relacionada profundamente con nuestra identidad como país, ha contado con grandes ventajas comparativas como el profesionalismo de los productores, el patrimonio fito y zoonosanitario, la producción contra temporada, estabilidad política y social y los múltiples acuerdos de libre comercio.

Para más información:
<https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2019/09/panorama2019Final.pdf>

AGRICULTURA EXTENSIVA



Se emplea en **terrenos muy amplios**, con grandes campos de cultivo.

Utilización de los **recursos naturales** para la obtención de la **producción**.

Su objetivo es **maximizar la producción**, pero **respetar el medio ambiente y el ecosistema**.

Para ello, este tipo de agricultura, a diferencia de la agricultura intensiva, presenta una menor tecnificación, así como un menor consumo de energía. Por ello, también es menos dañina con el ecosistema.

Para más información:
<https://economipedia.com/definiciones/agricultura-extensiva.html>

AGRICULTURA INTENSIVA



La **reposición del agua** a la planta mediante el **riego** es una práctica cada vez más exigente en cuanto a **cantidad, oportunidad y calidad**.

Para evaluar las necesidades de riego hay que considerar el agua perdida por evapotranspiración, es decir, el agua transpirada por las plantas más el agua evaporada directamente desde el suelo, habida consideración de las pérdidas asociadas a la práctica del riego.

La finalidad es **obtener mayor producción** mediante **métodos y herramientas** que permitan un mayor nivel de **eficiencia** en la obtención de los productos

Requiere una **mayor inversión** con respecto a la calidad y cantidad de energía para utilizar tecnología.

Requiere además un mayor uso de fertilizantes, sistemas de riego y plaguicidas.

Para más información:
<https://economia3.com/agricultura-intensiva/>



Para que Chile avance hacia un desarrollo sustentable, se requiere del compromiso de todos los sectores productivos del país que mantienen la economía, tales como el silvoagropecuario, el industrial, el minero, entre otros. En ello, el Ministerio de Agricultura tiene la misión de impulsar un sector agroalimentario y forestal competitivo, sustentable, innovador y moderno, comprometido socialmente con el desarrollo regional y rural. Para todo lo anterior, se requiere de un recurso natural estratégico y único: **EL AGUA**.

Para más información:
<https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/bitstream/handle/20.500.12650/71294/ArtRecursosHidricos202201.pdf>

3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE PROCESOS

La industria agrícola está compuesta de diferentes actividades necesarias para obtener una buena producción, las cuales se dan a conocer a continuación:

3.1.1. Preparación del suelo

La primera operación que se debe realizar para asegurarse que un cultivo pueda alcanzar el mejor rendimiento, es proporcionar a las plantas un suelo en las mejores condiciones. El objetivo es preparar un lecho con los nutrientes adecuados y con unas condiciones que permitan la germinación de la semilla y el establecimiento del cultivo para su posterior desarrollo.



3.1.1.1. Suelo

El suelo considera un cuerpo natural dinámico que evoluciona y que se encuentra en equilibrio con el sistema ecológico al cual pertenece. La Capacidad de Uso de Suelos, en su concepto más amplio representa la habilidad de los suelos para ejecutar funciones (intrínsecas o extrínsecas) en la magnitud que le son propias.

PAUTA PARA ESTUDIO DE SUELOS
En este link se encuentran todos los tipos de suelo.
<https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/pauta-para-estudio-de-suelos--mod-2016.pdf>

Criterios que determinan la capacidad de usos de suelos



“Los principales criterios para la clasificación de capacidad de uso de los suelos (CCUS), han sido organizados en tres grupos según la incidencia relativa sobre la clasificación de suelos: criterios de aproximación, definición y criterios especiales”.

Criterios de aproximación:
En estos se encuentra la profundidad, pendiente, pedregosidad superficial y clases de drenaje.

Criterios de definición:
Dentro de estos criterios se encuentra textura, agua aprovechable, pedregosidad subsuperficial, clases de erosión, clima y vientos.

Criterios especiales:
En estos se encuentra inundación, salinidad, sodicidad y alcalinidad.

Tabla 1. Criterios de aproximación que determinan la capacidad de usos de suelos.

CLASE	Profundidad	CRITERIOS DE APROXIMACIÓN				Drenaje
		Pendiente		Pedregosidad superficial (%)		
		Simple	Compleja	Gravas (2,0-7,5cm diam)	Piedras (>7,5 cm diam)	
I	>90	>1	>3	>10	>5	Bien drenado
II	>70	>5	>5	>10	>5	Bien drenado a drenaje moderado
III	>40	>8	>8	>20	>15	Bien drenado a drenaje imperfecto
IV	>20	>15	>15	>40	>35	Bien drenado a pobremente drenado
V	Cualquiera	>1	>3	Cualquiera	Cualquiera	Pobremente drenado a muy pobremente drenado
VI	>20	>45	>45	≤85	≤50	Drenaje imperfecto a excesivamente drenado
VII	Cualquiera	>60	>60	Cualquiera	Cualquiera	Drenaje imperfecto a excesivamente drenado
VIII	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera

Fuente: SAG 2011

Tabla 2. Criterios de definición que determinan la capacidad de usos de suelos.

CLASE	Textura	Agua Aprovechable (cm c.a.)	CRITERIOS DE DEFINICIÓN			
			Pedregosidad (%) Subsuperficial (>2,0 cm diam)	Erosión	Clima	
					Días libres de heladas	Vientos
I	Fa _r - FAL	18 o más	<5	No aparente	150 o más	Bien drenado
II	aF - A	12 a < 18	<15	No aparente a ligera	≥100	Bien drenado a drenaje moderado
III	a _r - A	9,5 a < 12	<35	No aparente a moderada	≥80	Bien drenado a drenaje imperfecto
IV	a ₉ - A	5a < 9,5	<35	No aparente a moderada	≥50	Bien drenado a pobremente drenado
V	a ₉ - A	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	≥80	Pobremente drenado a muy pobremente drenado
VI	a ₉ - A	Cualquiera	<60	No aparente a severa	≥80	Drenaje imperfecto a excesivamente drenado
VII	a ₉ - A	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Drenaje imperfecto a excesivamente drenado
VIII	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera

Fuente: SAG 2011

Tabla 3. Criterios especiales que determinan la capacidad de usos de suelos.

CLASE	Inundación	Salinidad	CRITERIOS ESPECIALES	
			Sodicidad RAS (%)	Alcalinidad (%)
I	Ninguna	<2	<5	0
II	Ninguna	<2	<5	0
III	Ninguna a frecuente	<4	<13	<2
IV	Ninguna a frecuente	<8	<18	2 a 10
V	Muy frecuente	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera
VI	Ninguna a muy frecuente	<12	<28	Cualquiera
VII	Ninguna a muy frecuente	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera
VIII	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera

Fuente: SAG 2011

3.1.1.1. Suelo

PERFIL DEL SUELO



Tabla 4. Superficie de uso de suelo por región en hectáreas.

Región	Áreas urbanas e industriales	Terrenos agrícolas	Praderas y matorrales	Bosques y Bosques mixtos	Plantaciones	Humedales	Áreas desprovistas de vegetación	Nieves y glaciares	Cuerpos de agua	Áreas no reconocidas	TOTAL
Arica y Parinacota	10.577	12.780	923.142	47.151	21	23.760	665.853	7.109	4.159	0	1.694.479
Tarapacá	1.198	7.864	1.035.095	7.300	26.975	18.607	3.172.395	680	0	9.382	4.279.495
Antofagasta	3.315	3.968	1.813.733	0	3.411	49.468	10.837.254	0	11.039	0	12.722.189
Atacama	1.440	45.908	3.113.892	0	0	7.304	4.438.896	0	7.667	0	7.615.107
Coquimbo	39.361	161.909	3.025.768	49.361	12.285	11.555	758.229	399	2.710	0	4.061.628
Valparaíso	58.505	219.103	514.610	484.840	68.758	9.851	229.740	52.290	5.264	0	1.598.767
Metropolitana	134.760	405.304	434.837	364.173	9.181	12.515	255.019	101.345	8.697	0	1.539.632
O'Higgins	33.704	667.538	326.242	459.855	130.536	6.628	56.407	205.389	10.371	0	1.634.436
Maule	16.183	715.001	746.444	404.233	607.594	4.190	488.877	68.499	31.715	0	3.035.273
Biobío*	41.494	782.848	516.728	914.240	1.255.890	11.151	169.493	30.137	55.170	0	3.709.304
La Araucanía	15.918	22.802	561.132	1.011.792	632.289	19.978	72.353	28.706	55.333	0	3.180.348
Los Ríos	6.899	22.802	493.459	926.397	208.775	12.246	45.156	7.627	111.603	0	1.834.965
Los Lagos	16.627	14.220	1.098.868	2.840.236	96.599	56.644	243.018	241.414	233.211	0	4.840.836
Aysén	3.119	7.546	2.781.462	4.399.828	32.017	107.806	1.391.759	1.559.701	452.819	0	10.736.056
Magallenes y de La Antártica	4.669	12	3.059.947	2.671.594	23	3.236.622	1.790.953	1.795.347	354.932	273.808	13.187.948
Total País	387.770	3.241.690	20.445.358	14.581.000	3.084.354	3.588.364	24.615.400	4.098.643	1.344.690	283.190	75.670.460

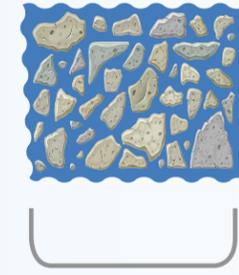
Fuente: CONAF, MINAGRI 2021.

Capacidad de retener e infiltrar agua en el suelo

Los espacios entre las partículas del suelo forman una red de cavidades conectadas entre sí con una variedad infinita de formas y dimensiones. Al suministrar agua en un suelo seco, ya sea por lluvia o riego, ésta se distribuye alrededor de las partículas y es retenida por las fuerzas de adhesión y de cohesión, desplazando el aire de las cavidades y finalmente, llenando los poros.



SATURADO



CAPACIDAD DE CAMPO



SECO

CONCEPTOS IMPORTANTES SOBRE RETENER E INFILTRAR AGUA



AGUA GRAVITACIONAL

Agua que drena por acción de la gravedad. Este drenaje es más rápido en suelos arenosos que arcillosos. El agua está sólo disponible en mínima proporción en la zona de raíces cuando se mantiene una aireación adecuada y/o cuando deja de ser gravitacional para pasar a ser aprovechable.



PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE (P.M.P.)

Es el porcentaje de humedad retenido a una tensión aproximada de 15 atm en la cual las plantas no pueden reponer el agua suficiente para recobrar su turgencia y la planta se marchita permanentemente. También depende de la especie vegetal, cantidad de agua utilizada por los cultivos, profundidad de raíces y capacidad de retención del suelo, entre otros. En términos de tipo de agua éste representa al agua no disponible, es decir, agua que se encuentra muy retenida por diferentes fuerzas y que a las plantas se les dificulta su aprovechamiento.



CAPACIDAD DE CAMPO (C.C.)

Es el porcentaje de humedad retenida a una tensión de 1/3 de atm, aproximadamente, y es la medida de mayor cantidad de agua que un suelo retendrá o almacenará bajo condiciones de completa humedad, después de haber drenado con toda libertad. Aunque depende del tipo de suelo, después de la saturación, el drenado libre dura entre uno a tres días.



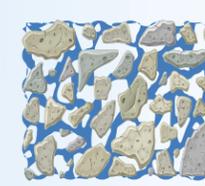
AGUA DISPONIBLE O HUMEDAD APROVECHABLE (H.A.)

Es el agua que puede ser aprovechada por la planta y se define como la diferencia entre la humedad a capacidad de campo (retenida a una fuerza de 1/3 de atm) y el punto de marchitamiento permanente (humedad retenida a una fuerza de 15 atm).

Capacidad de campo



Nivel de humedad para riego (NH)



Punto de marchitez permanente



← Agua Aprovechable (AA) →

Tabla 5. Parámetros de humedad según el tipo de suelo.

Textura del suelo	Punto de marchitez permanente (%)	Capacidad de campo (%)	Humedad aprovechable (%)
Arena media	1,7	6,8	5,1
Arena fina	2,3	8,5	6,2
Migajón arenoso	3,4	11,3	7,9
Migajón arenoso fino	4,5	14,7	10,2
Franco	6,8	18,1	11,3
Migajón limoso	7,9	19,8	11,9
Migajón arcilloso	10,2	21,5	11,3
Arcilla	14,7	22,6	7,9

Fuente: INIA 2020.

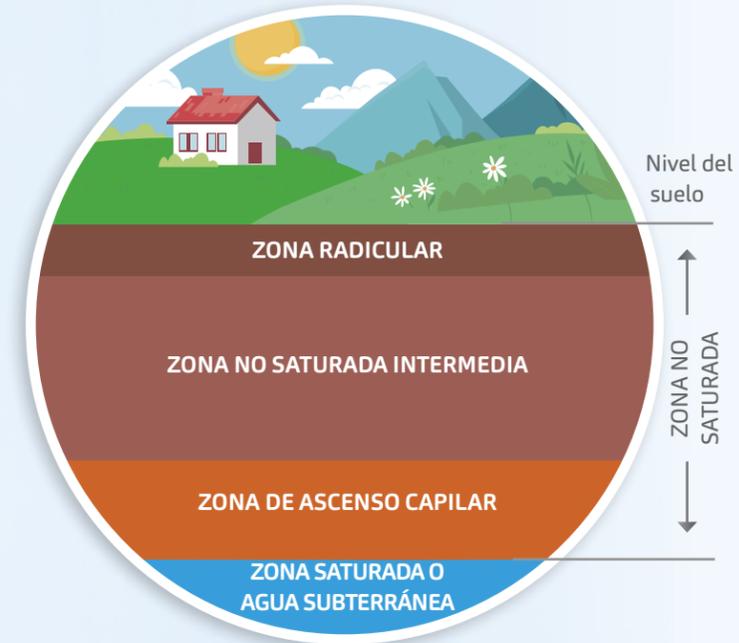


Figura 20: Triángulo textural de suelo

Ejemplo uso triángulo textural

“Por ejemplo, se tiene una muestra de suelos que contiene 30% de arcilla, 61% de limo y 9% de arena, determinado en análisis de laboratorio. Para definir la textura de acuerdo con el triángulo textural, se marcan los porcentajes en el lado correspondiente a cada una de las fracciones y se trazan las paralelas. Donde se crucen las tres líneas, es la textura que corresponde a ese suelo. En este caso corresponde a un suelo franco-arcillo-limoso. En el caso que las líneas se corten en un punto límite entre dos clases de textura, se tiende a definir la más fina”.

SUBCAPAS ZONA NO SATURADA DE UN SUELO



Dentro de la denominada zona no saturada se tienen 3 sub-zonas: zona radicular o de raíces, zona no saturada intermedia, y la zona de ascenso capilar (Espinoza, 2005). En la Figura se muestran las sub-zonas indicadas.

Por otro lado, Naumburg en el año 2005 señala que en los lugares donde hay aguas subterráneas someras mantienen una densidad mayor de vegetación que en áreas con niveles freáticos más profundos, aportando aguas adicionales para el crecimiento y transpiración de las plantas. Remarca que, si bien es ampliamente reconocido que un aumento en la profundidad del agua subterránea puede ser perjudicial para la vegetación, no lo es tanto el hecho de que un aumento del nivel freático también puede ser perjudicial.

Para más información:
<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/115577>

NIVEL FREÁTICO
 “Nivel superior de un acuífero. En caso de las aguas subterráneas también se denomina tabla de agua”.

DRENAJE Y RELACIÓN CON LOS CULTIVOS

“Los problemas de drenaje tienen su origen en diversas causas, entre las que destacan: la naturaleza de la recarga, el suelo y la topografía”. La recarga, coeficiente de drenaje o exceso de agua que crea el problema de drenaje, tiene a su vez varios orígenes: lluvia, riego, filtraciones, inundaciones, etc. Estas causales pueden presentarse individualmente o como una combinación de dos o más de ellas, situación que obliga a conocer exactamente cuál es el origen cantidad de la recarga, para poder hacer un adecuado dimensionamiento del sistema de drenaje”.



Para más información:
<https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/9598/CNR-0122.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

La conductividad hidráulica (CH) del suelo es la capacidad de éste para transportar el agua hacia sus perfiles inferiores, esta propiedad física es un indicador de la estabilidad de la estructura y el grado de compactación del suelo.

Para más información:
<https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/NTF-19-021-La-CH-y-la-humedad-del-suelo.pdf>

Valores de conductividad hidráulica según textura

Textura	K m/día
Arena gruesa con grava	10 - 50
Franco arenosa fina; arena fina	1 - 5
Franco: Franco arcillosa bien estructurada	1 - 3
Franco arenosa muy fina	0.5 - 2
Arcilla con grietas	0.5 - 2
Arena muy fina	0.2 - 0.5
Franco arcillosa, arcillosa mal estructurada	0.002 - 0.2
Arcilla compactada	<0.002

3.1.2. Operaciones de Cultivo

3.1.2.1. Agronomía del cultivo

CULTIVO

Se entiende por cultivo a la acción de sembrar una semilla a cierta profundidad debajo de la tierra y aplicar las distintas labores de mantenimiento. Con el propósito de obtener algún fruto de la planta o que esta crezca lo suficiente, para ello se requiere de acciones que hacen que mejore y se transforme la tierra y así inicie el crecimiento de la semilla. Todo esto en grandes cantidades forman los cultivos y existen diferentes tipos que proporcionan y favorecen la diversidad gastronómica.

Por otra parte, esta práctica también facilita la implementación de técnicas que influyen en el aporte de nutrientes a los vegetales o una cosecha en general.

AGRICULTURA INTENSIVA



Pertenece a los cultivos según impacto sobre el terreno, es decir, son siembras en las que el área de tierra no es muy grande pero debido a la alta producción se realiza a gran escala. Por lo general, es aplicado en las zonas de área metropolitana para abastecer a los habitantes de este mismo sector.

AGRICULTURA EXTENSIVA



También es un cultivo por impacto, a este en particular se le conoce como explotación agropecuaria extensiva, esto se debe a que se utiliza en grandes parcelas de tierra y, sin embargo, no se degrada mucho el suelo. Para ello se utilizan menor cantidad de productos agroquímicos y riegos que pueden debilitar los nutrientes de la tierra. Se busca beneficiarse al máximo de los elementos climáticos naturales.

CEREALES

Son cultivos aplicados en grandes extensiones y su uso es agroindustrial.



LEGUMINOSAS

Se explotan en terrenos extensos y su consumo por lo general es directo.



OLEAGINOSAS

Son cultivos de un ciclo corto, también se aplica en grandes terrenos y del producto que se cosecha se extrae aceites, su uso es exclusivo agroindustrial.



HORTALIZAS

Tienen un ciclo corto y se explotan en pequeñas superficies, su consumo es fresco y directo al consumidor.



FRUTALES

El tiempo de cultivo por lo general es largo, también es aplicado en grandes extensiones de terreno, en cuanto a su consumo es directo con el propósito de que llegue fresco.



ORNAMENTALES

Son cultivos exclusivos para la decoración y no son de uso comercial para la alimentación, el ciclo de cultivo es corto y en muy pocas especies.



RAÍCES Y TUBÉRCULOS

Son dedicados a la agricultura intensiva y extensiva y su consumo es alimenticio.



PASTOS

Es de ciclo de vida largo y se utiliza para la alimentación de animales.



TIPOS DE CULTIVOS SEGÚN ESPECIE CULTIVADA

Para más información: <https://www.asemafor.cl/flora-nativa-de-valor-ornamental-y-paisajistico/>



3.1.2.2. Siembra

“Entre las numerosas labores que determinan el rendimiento de un cultivo, la siembra y escarda son de las principales”.

La RAE nos explica que la definición de sembrar es esparcir semillas en un terreno preparado para que germinen y den plantas o frutos.

Para que la semilla germine y se desarrolle debe tener un suelo adecuado y condiciones climáticas que le favorezcan.

La combinación del laboreo reducido y la siembra directa como parte del concepto de **Agricultura de Conservación** contribuyen a la preservación de las condiciones del suelo y al asentamiento de la semilla. Existen sembradoras que son capaces de operar en esas condiciones de laboreo reducido; tales como manuales, sembradoras de tracción animal, sembradoras de tractores de un eje adaptadas a diferentes cultivos y sembradoras tiradas por tractores de dos ejes con diferentes diseños y niveles de sofisticación.

La reducción del trabajo pesado y la oportunidad son beneficios inmediatos del uso de la siembra directa, ofreciendo la posibilidad de producciones más grandes y nuevos usos de la mano de obra remanente en el contexto de agricultores de pequeña escala.

Para más información:
<https://www.fao.org/sustainable-agricultural-mechanization/guidelinesoperations/cropproduction/es/>



3.1.2.3. Fertilizantes

“Los fertilizantes proveen nutrientes que los cultivos necesitan. Con los fertilizantes se pueden producir más alimentos y cultivos comerciales, y de mejor calidad. Con los fertilizantes se puede mejorar la baja fertilidad de los suelos que han sido sobreexplotados. Todo esto promoverá el bienestar de su pueblo, de su comunidad y de su país”.

Para más información:
<https://www.fao.org/3/x4781s/x4781s.pdf>



3.1.2.4. Riego

MÉTODOS DE RIEGO Y DRENAJE

“Una definición muy acertada de los sistemas de riego es la que dan los rusos Aidarov, Golovanov y Mamaév (1985): el sistema de riego es el conjunto de instalaciones técnicas que garantizan la organización y realización del mejoramiento de tierras mediante el riego”. “Todo esto con el fin de hacer un aprovechamiento integral del agua para que sea aplicada en oportunidad y con la mayor eficiencia posible, obteniendo el máximo de los rendimientos en la producción”.



RIEGO SUPERFICIAL

Los riegos superficiales como tendido, surcos y platabandas, son los sistemas de riego menos eficientes, sin embargo, es posible mejorar su eficiencia con algunas prácticas orientadas al correcto diseño, combinado con sistemas para controlar el caudal aplicado a los cultivos.

Para más información:
http://www.gea.uchile.cl/archivos/Riego_superficial_tecnificado_Conadi.pdf

RIEGO PRESURIZADO

Surge así la necesidad de que la agricultura, sobre todo en zonas áridas, utilice metodologías de riego de alta eficiencia, como goteo, cintas, microjet y microaspersión, etc, conocidos como “Riego Tecnificado”.

- Riego localizado (goteo, microjet, cinta etc)
- Riego por aspersión (pivote, avance frontal, carrete, etc)

RIEGO EXHUDANTE

El fundamento del riego exudante o riego por exudación es simple. Un tubo poroso en todos sus puntos que literalmente exuda el agua por todos ellos proporcionando un caudal continuo y uniforme por toda el área de cultivo. Los hay de diversos materiales como el polietileno, caucho o textil. Este último es el más utilizado. Consiste en un tubo textil de poliéster recubierto con una resina porosa.

RIEGO POR ASPERSIÓN

El riego por aspersión consiste en aplicar el agua al suelo simulando una lluvia. Este efecto es conseguido gracias a la presión en que fluye el agua dentro de un sistema de tuberías y es expulsada al exterior a través de las boquillas de un aspersor. Normalmente, la presión requerida se obtiene a partir de bombas hidráulicas las cuales aspiran el agua desde un canal, río o pozo. Sin embargo, el sistema también puede operar sin bombas cuando la fuente de agua se encuentra en una posición más elevada que el terreno a regar.

EFICIENCIA DE UNIFORMIDAD:
 Evalúa el grado de uniformidad de la lamina de riego aplicada en el terreno.

EFICIENCIA DE APLICACIÓN:
 Determina la fracción de agua no retenida en la zona radical, en relación del agua aplicada en el perfil del suelo.

EFICIENCIA DE RIEGO

EFICIENCIA DE ALMACENAMIENTO:
 Se define como la razón de agua aplicada almacenada en el suelo, en relación a la necesaeia, para llevar a capacidad de campo el perfil.

3.1.2.5. Plaguicidas

Plaguicidas se define como “compuesto químico, orgánico o inorgánico, o sustancia natural que se utilice para combatir malezas o enfermedades o plagas potencialmente capaces de causar perjuicios en organismos y objetos”

i Para más información:
https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/26830/1/Plaguicidas_Antecedentes_generales.pdf



En muchos países, las consideraciones técnicas para una aplicación correcta y segura de pesticidas y herbicidas a menudo se descuidan, se desconocen o no están reguladas. Esto tiene un gran impacto ambiental y representa un peligro para la salud de los agricultores y consumidores de productos agrícolas.

“La FAO está abordando estas preocupaciones a través de varias iniciativas. Se han formulado estándares para equipos de aplicación más seguros y eficientes, además se han desarrollado pautas sobre la introducción del marco regulatorio respectivo. Los requisitos mínimos se basan en estándares internacionales, europeos y nacionales que brindan ayuda práctica para comprar y evitar comprar o aprobar rociadores con limitaciones de calidad y diseño”.

Directrices de aplicación de pesticidas de acuerdo con la FAO

i Para más información:
<https://www.fao.org/sustainable-agricultural-mechanization/guidelinesoperations/harvesting/es/>



3.1.2.6. Retiro de malas hierbas

La escarda o eliminación de malas hierbas usando herramientas convencionales como una azada de mano, puede llevar 140 horas por persona y hectárea. Las malas hierbas se eliminan en momentos críticos para evitar su establecimiento y que dañen al cultivo. Una escarda tardía del cultivo anterior se ha de hacer para evitar que sus semillas permanezcan. El uso de herramientas adecuadas y de un equipo correcto, pueden contribuir a hacer esta labor más rápido y con menos mano de obra, mejorando la calidad de vida del agricultor y la eficiencia de su trabajo.

Hay dos modos de control de las malas hierbas: mecánico o químico. Para la opción mecánica, el objetivo es erradicar la planta y para la química es matarla mediante un agente químico de acción selectiva, que normalmente se aplican mediante pulverización.

i Para más información:
<https://www.fao.org/sustainable-agricultural-mechanization/guidelinesoperations/harvesting/es/>

3.1.2.7. Cosecha

La cosecha manual tiende a ser lenta y normalmente se realiza con herramientas manuales simples como hoces, cuchillos, etc. Por lo tanto, el uso de máquinas mecanizadas en las operaciones de cosecha aumenta la producción en términos de cultivos cosechados por unidad de tiempo y la calidad del producto final. Las máquinas cosechadoras están diseñadas para adaptarse a operaciones a diferentes escalas (hay máquinas de pequeña, mediana y gran escala disponibles para su uso en las operaciones de cosecha), incluidas las cosechadoras. El uso de máquinas cosechadoras más eficientes contribuye a la reducción de pérdidas poscosecha.

Además, la reducción del tiempo de cosecha es importante en áreas con varias temporadas de cultivo, donde el establecimiento temprano del cultivo puede contribuir a mayores rendimientos para el cultivo siguiente.

El uso de equipos adecuados, así como la disponibilidad de servicios de alquiler para la cosecha, pueden marcar la diferencia para los pequeños agricultores que dependen de la entrega oportuna de la producción. Las segadoras y cosechadoras se adaptan a diferentes cultivos y tamaños.

i Para más información:
<https://www.fao.org/sustainable-agricultural-mechanization/guidelinesoperations/harvesting/es/>



3.1.3. Postcosecha



La mecanización sigue desempeñando un papel cada vez más importante en las operaciones posteriores a la producción, como el descascarillado, la molienda, el envasado, el transporte, el almacenamiento y la comercialización. La aplicación de la mecanización sostenible en las operaciones de posproducción a través de un uso más eficiente de la mano de obra, la puntualidad de las operaciones y operaciones de campo y fuera de campo más eficientes contribuyen a sistemas de alta productividad.

En los últimos años, hemos visto una gran transformación en el diseño de máquinas agrícolas de posproducción con las versiones actuales que utilizan avances científicos y tecnológicos. En consecuencia, se han desarrollado máquinas y equipos de alta capacidad, precisos, fiables, energéticamente eficientes y relativamente fáciles de operar.

A continuación, se dan ejemplos de la aplicación de la mecanización en operaciones de postproducción: Operaciones de trilla, descascarillado y molienda, secado, procesamiento de raíces y tubérculos, transporte, contratar servicios poscosecha, reparación y mantenimiento.

3.1.4. Condiciones Ambientales

Las consecuencias hidrológicas del cambio climático también se reflejan en un aumento de la energía de la precipitación, así como también en el aumento de la evapotranspiración y requerimientos de riego de los cultivos, la posible disminución en recarga de napas, entre otros. Contribuyen a esta situación la falta de cobertura vegetal de laderas de cerros y quebradas, lo que ha acelerado el escurrimiento y reducido la recarga de las napas. Luego de una sequía como la que afecta a Chile, las cuencas quedan exhaustas, perdiendo gran parte de sus reservas de nieve, cobertura vegetal y del agua almacenada en el subsuelo.

i Para más información sobre las zonas de Chile y sus microclimas, visitar: <https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/bitstream/handle/20.500.12650/71294/ArtRecursosHidricos202201.pdf>

Es posible implementar cultivos y plantaciones en zonas climáticas favorables que se denominan agroclimas.

i Para más información sobre variables ambientales, visitar: <https://agrometeorologia.cl/>

i Para más información sobre las zonas de Chile y sus microclimas, visitar: <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/proyecciones-climaticas/>



3.2. USO DEL AGUA EN LA AGRICULTURA

3.2.1. Fuentes de Agua

Dada la situación de escasez hídrica en Chile, la gestión del recurso debería realizarse de forma integral, de manera que las decisiones tomadas a nivel estatal sean las más adecuadas desde el punto de vista social y económico, tal como ocurre en otros países con situaciones similares o, incluso, más críticas. En este aspecto se tendría que comenzar a priorizar la disponibilidad de agua para uso doméstico con el objetivo de promover el bienestar de las personas. Esto no tiene que ir reñido con su uso en actividades productivas e industriales.

Para ello, se debería pensar en potenciales nuevas fuentes de recursos hídricos tales como las aguas residuales municipales que, una vez tratadas adecuadamente, pueden ser aptas para el consumo humano. Por otra parte, un tratamiento más estricto de las aguas residuales, como el que se aplica en Europa y Estados Unidos, y una fiscalización exhaustiva de vertidos incontrolados ayudarían a proteger los recursos hídricos disponibles (José L. Campos, 2020).

i Para más información: <https://escenarioshidricos.cl/actualidad/consejos-hidricos-sobre-uso-del-agua-en-chile/>

Para dilucidar el impacto que tiene el agua de riego agrícola en la salud de las personas, del ambiente y de los animales, es necesario determinar las fuentes de obtención de agua y los principales afectados por el consumo de los productos agrícolas, tal como se muestra en la Figura 21. Cualquier contaminante en alguna de las fuentes será transferido a los alimentos y, como consecuencia, a los consumidores directos.

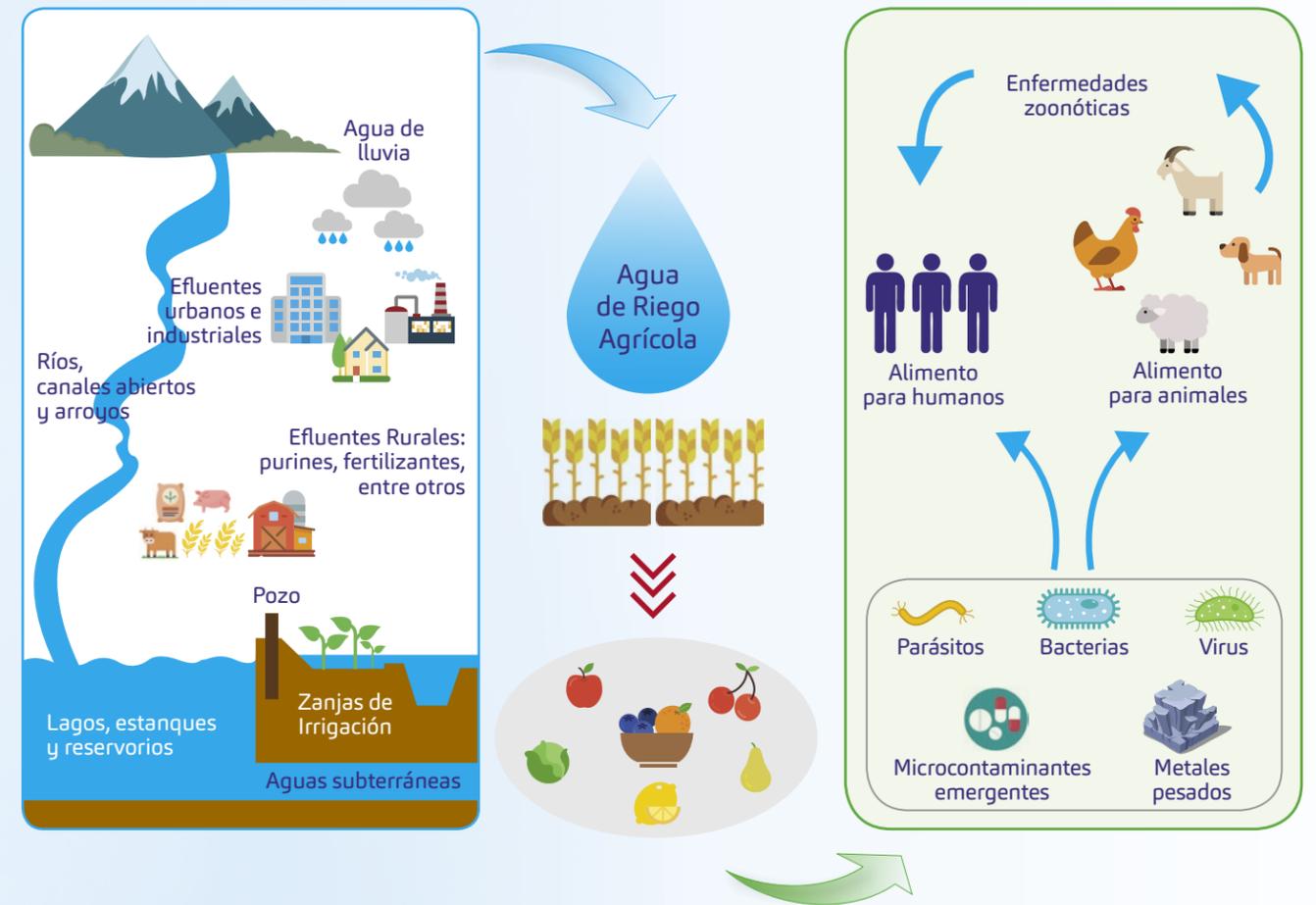


Figura 21: Fuentes de obtención de agua para el riego agrícola, posibles agentes contaminantes presentes en productos agrícolas, y organismos involucrados. **Fuente:** Elaboración propia CRHIAM.

El agua para riego agrícola es obtenida a través de un amplio suministro de sistemas que utilizan tanto aguas superficiales como aguas subterráneas. Las aguas superficiales pueden provenir de ríos, arroyos, zanjas de riego, agua de lluvia, canales abiertos, estanques, embalses y lagos. Las aguas subterráneas son recolectadas principalmente a partir de pozos (Markland, 2018). Las aguas de efluentes urbanos, industriales, y rurales también pueden ser usadas para propósitos agrícolas. Sin embargo, a pesar de que entrarían dentro de los conceptos de "economía circular" y "reúso", los procesos de tratamiento de estas aguas pueden tener altos costos según el nivel y tipo de contaminación.

i Para más información: <https://drive.google.com/file/d/1h0TbOveCiOp-OSg8248KG0ErtZLHwDT7/view>

3.2.2. Consumo de Agua en la Agricultura

Dadas las condiciones climáticas de Chile donde predomina un clima mediterráneo que se caracteriza por veranos secos y cálidos, la producción agrícola requiere de un suministro de agua para el cultivo y plantaciones que permiten que estos produzcan en mejor calidad y cantidad. Es importante tener presente que otros países como Alemania por ejemplo poseen veranos húmedos y por esto no requieren de una infraestructura de riego como la que existe en Chile.

Un sistema de riego bien dimensionado, operado y mantenido proporciona una gran uniformidad y eficiencia en la aplicación del agua. Para ello es necesario conocer agrónomicamente la planta que se desea regar, el suelo en donde crece y sus necesidades de agua (Delgado, Arumí, 2021).



3.2.3. Uso de Agua en Chile

En Chile el agua es un elemento esencial para la vida y para la producción de alimentos. La creciente demanda por agua debido al aumento de la población y de la producción, incluida la demanda por alimentos, combinada con los impactos del cambio climático sobre su disponibilidad, han llevado a que el agua sea uno de los principales desafíos actuales en nuestro país y en el mundo.

Los habitantes rurales, que en su mayoría son agricultores, son quienes tienen más dificultades para acceder al agua potable para consumo humano, por tanto, el déficit hídrico afecta tanto a la producción agrícola como a la calidad de vida de la población rural.

Por ejemplo, un sector relevante es la agricultura, que consume un 88% de las aguas superficiales y subterráneas del país, con un 45% de eficiencia en promedio a nivel nacional, cifra muy baja frente al estándar mundial que indica que se puede llegar al 80%. Es decir, acá se está usando el doble del agua que se necesita para riego. Otro ejemplo es el sector de agua potable y saneamiento, que informa pérdidas de 30% de agua en sus sistemas de distribución, y hay empresas sanitarias que reconocen que podrían perder más de un tercio incluso. En el sector sanitario una pérdida razonable sería en torno al 15%.



Para más información:
<https://www.odepa.gob.cl/sustentabilidad/agricultura-sustentable/agua>
 (ULRIKE BROSCHEK -Subgerente de Sustentabilidad de Fundación Chile. Líder de Escenarios Hídricos 2030.)

3.3. GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN LA AGRICULTURA

El Ministerio de Agricultura es la institución del Estado encargada de fomentar, orientar y coordinar la actividad silvoagropecuaria del país; encaminando su actuar, fundamentalmente, en obtener el aumento de la producción nacional, conservar, proteger y acrecentar los recursos naturales renovables y el mejoramiento de las condiciones de nutrición del pueblo.

La Infraestructura de Riego corresponde al conjunto de estructuras u obras, que hacen posible que una determinada área pueda ser cultivada con la aplicación del agua necesaria a las plantas, obras que constituyen un sistema de riego y consta de una serie de componentes que dependen de la necesidad o problemática planteada: obras de captación, obras de conducción, obras de distribución y obras de regulación. Para una utilización eficiente del agua en riego se incorpora, a esta infraestructura, el concepto de multiuso del agua, utilizando energías renovables no convencionales (ERNC) y medición o aforo de caudales a través de sistemas de lectura y transmisión de datos con Telemetría.

El recurso hídrico es fundamental para la vida por esto es por lo que su principal función dentro de la agricultura es para regar las plantas, ya que, estas requieren un aprovechamiento óptimo por su limitada disponibilidad en estos últimos años. Además, también tienen otros usos de agua como para incorporar pesticidas, fertilizantes, enfriamiento de los cultivos, etc.

El ámbito de Demanda y eficiencia se encuentra representado principalmente por iniciativas relacionadas a Infraestructura de riego y drenaje (90%), mientras que el ámbito de Gestión, por acciones asociadas a apoyo a Organizaciones de Usuarios de Aguas (OUA) (80%).

En relación con el alcance territorial, alrededor de 18% de las iniciativas catastradas abarcan todo el país, mientras que más de la mitad involucran una región en particular. Las regiones que concentran la mayor cantidad de acciones se encuentran dentro de la zona centro del país, en particular, en las regiones de Coquimbo, Valparaíso y del Libertador Bernardo O'Higgins; y por el sur en La Araucanía. Por otro lado, las regiones con menor número de iniciativas levantadas corresponden a Antofagasta y Magallanes y la Antártica Chilena.

Tabla 6. Ámbitos de acción entorno a "Agua y Recursos hídricos" desde el ministerio de agricultura.

Ámbito	Nº iniciativas	% del total
1.- Demanda y Eficiencia	64	37.2
2.- Gestión	30	17.4
3.- Conservación y manejo de cuencas hidrográficas	26	15.1
4.- Capacidad y transferencia	15	8.7
5.- Información	15	8.7
6.- Disponibilidad	9	5.2
7.- Coordinación	7	4.1
8.- Calidad de aguas	6	3.5
Total	172	100

Fuente: ODEPA, en base a la información proporcionada por los servicios participantes del grupo técnico de Recursos Hídricos Minagri 2022.



Tabla 7.1. Ámbitos de acción y servicios Minagri relacionados.

Ámbito	Sub-ámbitos	Principales servicios Minagri relacionados
1.- Demanda y Eficiencia	Infraestructura de riego y drenaje, nuevas tecnologías, riego con ERNC	CNR, INDAP, FIA, INIA
2.- Gestión	Apoyo a OUAs, adaptación al cambio climático, monitoreo y gestión de riesgos agroclimáticos	CNR, INDAP, SEGRA, AGROSEGUROS
3.- Conservación y manejo de cuencas hidrográficas	Conservación, restauración y manejo integrado de cuencas hidrográficas, servicios ambientales hidrológicos, soluciones basadas en la naturaleza, equilibrio con otros usos (consumo humano).	CONAF, INFOR, SAG
4.- Capacidad y transferencia	Eficiencia, riego tecnificado y ERNC, adaptación al cambio climático, restauración de cuencas	CNR, FIA, INIA

Fuente: ODEPA 2022.

Tabla 7.2. Ámbitos de acción y servicios Minagri relacionados.

Ámbito	Sub-ámbitos	Principales servicios Minagri relacionados
5.- Información	Actualización, generación, sistematización, investigación, desarrollo e innovación.	ODEPA, CNR, INIA, CIREN
6.- Disponibilidad	Nuevas fuentes, recursos hídricos subterráneos.	CNR, INIA
7.- Coordinación	Coordinación intra e interministerial, publico-privada	ODEPA
8.- Calidad de aguas	Calidad de agua para riego, educación y capacitación	ACHIPIA, CNR.

Fuente: ODEPA 2022.



Para más información:
<https://www.cnr.gov.cl/agricultores/infraestructura/>

Un sistema de riego puede estar conformado por dos partes, por un sistema de riego extrapredial e intrapredial. Dentro de la infraestructura de riego extrapredial se encuentran las obras que captan el agua desde una fuente para luego conducir, distribuir y regular su uso según los requerimientos de los cultivos. La infraestructura intrapredial considera las obras y componentes necesarias para la aplicación del agua a las plantas al interior del predio. Gestión extrapredial (marco legal vigente y organización de usuarios de agua) e intrapredial (tranque de regulación corta, almacena el agua en la noche, etc)

La CNR, a través de la Unidad de Estudios, apoya a la planificación de las inversiones en infraestructura de riego, mediante una cartera de iniciativas de preinversión que contiene, por un lado, Estudios Básicos que permiten generar la información necesaria para identificar distintas soluciones a cada problemática en riego, de ser necesario se identifican ideas de proyectos.

Por otro lado, esta Unidad desarrolla Estudios de Prefactibilidad como primera etapa en el ciclo de evaluación económica para un Proyecto de riego.

DATOS IMPORTANTES

1 "Nuestro país, como es una constante en el mundo, utiliza la mayoría de los recursos hídricos en agricultura, dejando a este sector como el principal consumidor de agua. Más del 70% del recurso hídrico disponible en el mundo se utiliza para producir alimentos, y su creciente escasez puede repercutir en el abastecimiento de éstos y en su precio.

3 Los resultados preliminares del Censo Agropecuario y Forestal revelan que, según usos de suelo, un 3,8% de la superficie total, equivalente a 1.819.118 hectáreas, fue destinado a cultivos de cereales, leguminosas, tubérculos, cultivos industriales, hortalizas, hongos, plantas aromáticas-condimentarias-medicinales, frutales, vides, flores, semilleros, viveros, césped, forrajeras y praderas mejoradas. En tanto, un 4,3% corresponde a plantaciones forestales.

2 Las actividades agrícolas y ganaderas representan un 82% de las extracciones consuntivas a nivel nacional, lo que se traduce en el riego de 1,1 millones de hectáreas localizadas, principalmente, entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos.

4 "Chile es un país altamente vulnerable al cambio climático, especialmente, el sector silvoagropecuario, la pequeña agricultura y las zonas rurales. Los impactos que se derivan sobre la cantidad, calidad y oportunidad de los recursos hídricos (oferta) y sobre los requerimientos hídricos (demanda), son parte importante de los factores que incidirán en el desarrollo del sector y los medios de vida de la población rural".

Para más información:
<https://bibliotecadigital.odepa.gov.cl/bitstream/handle/20.500.12650/71294/ArtRecursosHidricos202201.pdf>



5 Las buenas prácticas agrícolas son una serie de métodos específicos, que los agricultores y productores deben aplicar para proteger la salud y el bienestar de las personas que consumen y producen sus productos, además del cuidado del medio ambiente. En el capítulo de industria agrícola, se dio a conocer la descripción general de procesos, uso de agua en la agricultura y la gestión del recurso hídrico en la agricultura, que sirve como conocimientos previos para entender las buenas prácticas agrícolas de este manual.

3.4 BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS

3.4.1. Criterios y recomendaciones técnicas

3.4.1.1. Prácticas agrícolas que deben evitarse

Según la "FAO (2015) reconoce que existen 10 consecuencias de manejo inadecuado a nivel mundial en los suelos con uso silvoagropecuario, todos los cuales tienen ocurrencia en Chile":

- 1 Erosión del suelo:** Pérdida de la superficie del suelo por el agua, el viento o la labranza.
- 2 Compactación:** Aumento de la densidad y disminución de la macroporosidad del suelo debido a la presión sobre la superficie de los suelos.
- 3 Acidificación:** Disminución del pH del suelo.
- 4 Contaminación:** Presencia de elementos contaminantes debido al uso de productos químicos o materiales al suelo que tienen un efecto adverso en los organismos y funciones.
- 5 Sellado:** Cobertura permanente de una superficie del suelo debido a la presencia de materiales exógenos artificiales.
- 6 Salinización:** Es la acumulación de sales inducida por el hombre, debido a prácticas de riego inadecuadas o drenaje insuficiente.

- 7 Anegamiento:** Saturación de suelo por exceso de agua, lo que genera una reducción del oxígeno en el espacio poroso del suelo, el cual es necesario para el crecimiento de las plantas y organismos aeróbicos del suelo.
- 8 Desequilibrio de nutrientes:** Desbalance en el contenido de nutrientes producido por aportes deficientes o excesivos, afectando el desarrollo normal de cultivos y sus rendimientos esperados.
- 9 Pérdidas de carbono orgánico:** Reducción del contenido de carbono en los suelos debido a la remoción de la vegetación natural asociada a estos.
- 10 Pérdida de la biodiversidad:** Disminución de la diversidad y funcionalidad de la biota del suelo.

Para más información:
<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/179262/Capitulo5-Suelos.pdf?sequence=1>

3.4.1.2. Recomendaciones para el drenaje

Una de las características que un suelo fértil y con buena salud debe tener es un equilibrio en sus propiedades fisicoquímicas, por lo que debemos conocer los intervalos de estas en el suelo y si es preciso realizar alguna acción de enmienda o labor agrícola, por eso es recomendable:

- Realizar un análisis fisicoquímico de suelo que nos determine el estatus de nuestro suelo.
- Un análisis de extracto saturada es un indicador de salinidad y estructura del suelo.



La saturación del suelo y freáticas cercanas a la superficie por ser un fenómeno que se produce en el subsuelo no es fácilmente detectable y no se le da la suficiente importancia hasta que aparecen sintomatologías de amarillamiento, intoxicación, crecimiento restringido y disminución de la productividad en general. A continuación se resume a manera de guía los pasos necesarios para la solución del problema a través de un proyecto de drenaje.

- Relevamiento:** Consiste en determinar la posibilidad de evacuar los excedentes hacia zonas topográficamente más bajas y depresiones que se denominan áreas de descarga. Para ello es necesario relevar drenes colectores, desagües y lugares bajos que permitan la evacuación de los excedentes de agua de la zona a drenar. En general, en todos los departamentos con problemas de drenaje, existe una red colectora general y drenes secundarios o terciarios que descargan en los colectores.
- Construcción de freatímetros:** Se utilizan para determinar donde se ubican las zonas más afectadas. Consisten en tubos de PVC de 50 mm de diámetro que se instalan en sectores representativos de la finca.

3.4.1.3. Zonas ideales de Chile para el cultivo

i Véase más información para comprender el comportamiento e identificar las zonas de producción para cada cultivo en:

“Mapas de zonificación de aptitud productiva del territorio nacional de especies vegetales con potencial de producción de biocombustibles”

https://www.odepa.gob.cl/files_mf/1369770910Mapas_produccion_biocombustibles.pdf

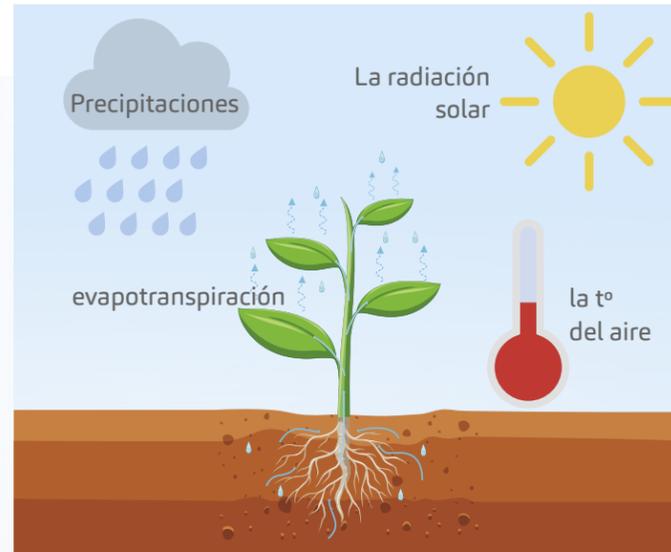


Figura 22: Factores ambientales que afectan las plantas.

3.4.1.4. Manejo de condiciones ambientales

- Los factores tales como salinidad o baja fertilidad del suelo, uso limitado de fertilizantes, presencia de horizontes duros o impenetrables en el suelo, ausencia de control de enfermedades y de parásitos y el mal manejo del suelo pueden limitar el desarrollo del cultivo y reducir la evapotranspiración.
- Otros factores que se deben considerar al evaluar la ET son la cubierta del suelo, la densidad del cultivo y el contenido de agua del suelo.
- El efecto del contenido en agua en el suelo sobre la ET está determinado primeramente por la magnitud del déficit hídrico y por el tipo de suelo. Por otra parte, demasiada agua en el suelo dará lugar a la saturación de este lo cual puede dañar el sistema radicular de la planta y reducir su capacidad de extraer agua del suelo por la inhibición de la respiración.
- Cuando se evalúa la tasa de ET, se debe considerar adicionalmente la gama de prácticas locales de manejo que actúan sobre los factores climáticos y de cultivo afectando el proceso de ET.
- Las prácticas del cultivo y el método de riego pueden alterar el microclima, afectar las características del cultivo o afectar la capacidad de absorción de agua del suelo y la superficie de cultivo.
- Una barrera rompe vientos reduce la velocidad del viento y disminuye la tasa de ET de la zona situada directamente después de la barrera. El efecto puede ser significativo especialmente en condiciones ventosas, calientes y secas, aunque la evapotranspiración de los mismos árboles podría compensar cualquier reducción en el campo.
- La evaporación del suelo de un huerto con árboles jóvenes, en donde los árboles están ampliamente espaciados, puede ser reducida usando un sistema de riego por goteo bien diseñado.
- Los góteros aplican el agua directamente al suelo cerca de los árboles, de modo en que dejan la mayor parte de la superficie del suelo seca, limitando las pérdidas por evaporación.
- El uso de coberturas, especialmente cuando el cultivo es pequeño, es otra manera de reducir substancialmente la evaporación del suelo.
- Los anti-transpirantes, tales como estimulantes del cierre de los estomas, o los materiales que favorecen el reflejo del suelo, reducen las pérdidas de agua del cultivo y por lo tanto la tasa de transpiración.
- Cuando las condiciones de campo difieran de las condiciones estándar, son necesarios factores de corrección para ajustar ETC (ETc aj). Estos factores de ajuste reflejan el efecto del ambiente y del manejo cultural de las condiciones de campo.



sistema de riego por goteo

i Para más información:
<https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.pdf>

3.4.1.5. Criterios de diseño y métodos de riego

Los criterios que se mostrarán a continuación están basados en el Manual Riego y Drenaje en frutales hecha por FIA y CRHIAM.

i Para más información:
https://bibliotecadigital.fia.cl/bitstream/handle/20.500.11944/148562/RiegoyDrenajeenFrutales_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y

RIEGO SUPERFICIAL

“Es el método de riego más antiguo y el más comúnmente usado. En el último tiempo ha adquirido una gran importancia debido a los elevados costos de la energía que requieren los métodos de riego presurizados y en la incorporación de distintos niveles de automatización en los métodos superficiales. Su principio básico es que el agua es ingresada al campo en el punto más alto, fluyendo hacia los sectores más bajos en la medida que se infiltra en el suelo en la a fase de avance, almacenamiento, vaciado y receso como se muestra en la Figura 23. El tiempo de riego en una determinada distancia es la diferencia entre la curva de receso y avance”.

El riego superficial se puede realizar de varias maneras. Los tipos de métodos de riego superficial más recomendados para frutales son: riego por bordes y riego por surcos. Dado lo anterior es que existen técnicas y alternativas que apuntan a:

- El diseño optimizado del riego por surco.
- La implementación de tecnología de bajo costo que permita el manejo optimizado del riego tradicional.

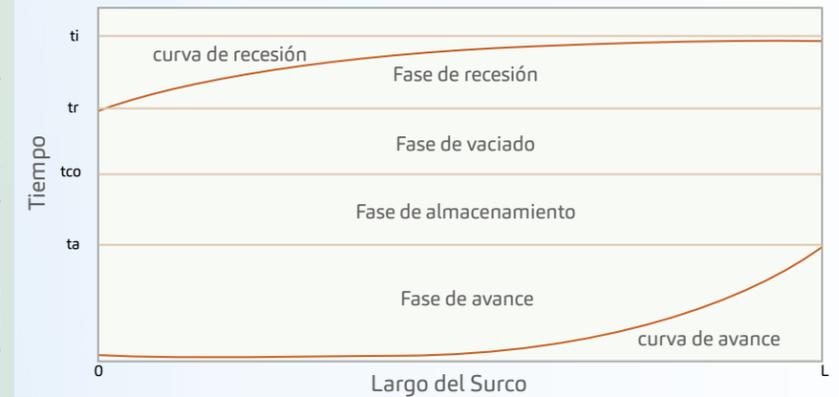
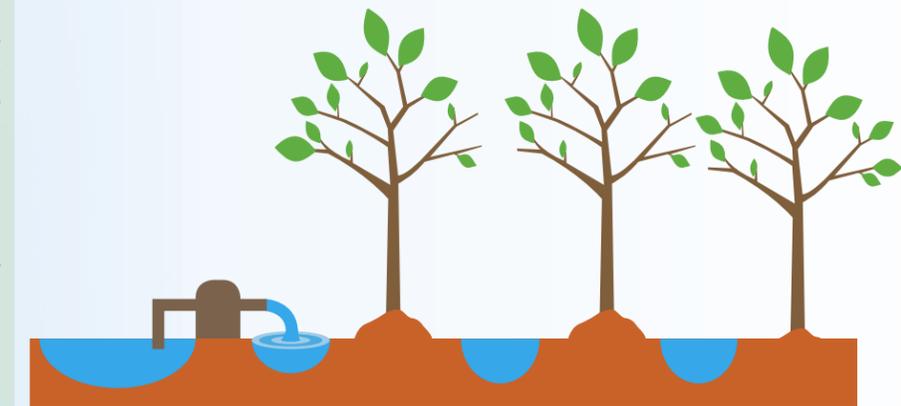


Figura 23: Diagrama esquemático de fases de riego; ta: tiempo de avance, tc: tiempo de corte, tr: tiempo de comienzo de recesión, ti: tiempo final del riego.



SURCO

El riego por surco consiste en la entrega de agua a través de pequeños canales o surcos, trazados en la misma dirección de la plantación, a los que se ingresa el agua desde una acequia o sistema de aducción específico (sifones, tubos rectos, mangas plásticas o sistema de baja presión llamado también californiano).



VENTAJAS DEL RIEGO POR SURCO	LIMITACIONES
Comparado con otros métodos de riego superficial, la eficiencia de aplicación del riego por surco está entre un 60 y un 85%, pudiendo calificarse de buena. Esto con sistemas de aducción adecuado con un cierto grado de automatización, utilizando implementos de control de bajo costo como tubos, sifones, sistema californiano con válvulas que permiten tener un buen control sobre el agua de riego. En la actualidad hay un importante avance para automatizar los sistemas de aducción que lo hacen bastante competitivo en su manejo con los sistemas presurizados.	Una de las principales limitaciones del riego por surco es el peligro de erosión y arrastre de partículas bajo condiciones de pendientes fuertes (> 1,5%). Generalmente se producen pérdidas por escurrimiento para uniformar la aplicación de agua, cuando no hay un importante sistema de control o automatización.

RIEGO SUBTERRÁNEO

Exhudante

Cuando un suelo está seco y el tubo contiene agua con una mínima presión (a partir de 0.2 bar), el conjunto suelo-tubo exhudante está sometido a la fuerza hidráulica negativa que provoca un movimiento natural del agua desde el tubo hasta el suelo por las fuerzas de gravedad y capilaridad.

De esta forma el agua se distribuye en todas direcciones (también hacia arriba) provocando que el frente húmedo se sitúe alrededor del tubo.

Dependiendo de la presión y de la estructura del suelo (contenido en limos, arcillas y arenas), tendremos un sistema suelo-planta que se autorregulará en función de la cantidad de agua evapotranspirada. Esto se consigue con riego continuo.



VENTAJAS DEL RIEGO SUBTERRANEO	LIMITACIONES
<p>Ahorro de agua frente a cualquier otro sistema de riego, incluso el localizado por goteo. Condiciones de crecimiento de las plantas óptimas consiguiendo muy buenos rendimientos, ya que, proporcionamos a la planta la humedad necesaria para su desarrollo. Uniformidad en la distribución del agua en la zona de cultivo provocando una eficiencia mayor y mejor rendimiento en el cultivo.</p> <p>En terrenos con pendiente es un sistema muy adecuado ya que la distribución del agua a través de las fuerzas de capilaridad impide en gran medida el desplazamiento del agua por gravedad a favor de la pendiente. Máximo 3%. Para más pendiente seguir las curvas de nivel.</p> <p>Funcionamiento con mínima presión (0.2 bar), pudiendo realizar el riego por gravedad sin necesidad de tomas de agua corriente ni bombas.</p> <p>En lugares con excesos de cal en el agua no tendremos problemas en mucho tiempo. No existen los problemas de reubicación de goteros al cambiar los marcos de plantación en las rotaciones de cultivo.</p> <p>Otras ventajas del riego exhudante A demás si el tubo está enterrado conseguiremos ventajas adicionales: Mejor eficiencia, si cabe, ya que perdemos todavía menos agua por evaporación. Las pérdidas son casi nulas. Queda mejor el huerto desde el punto de vista estético, ya que, no se ve el tubo a diferencia de los goteros. Cuidado al hacer labores en el terreno para no romperlo. Mayor durabilidad. El deterioro por la radiación solar es casi nulo por lo que tendremos riego exhudante para rato. Enterrado a la profundidad adecuada, estaremos aportando el agua exactamente en la zona radicular de la planta.</p>	<p>La tubería exhudante se obstruye por las raíces que ingresan por los microporos, provocando una disminución del 60 hasta un 82 por ciento en su capacidad de trabajo, impidiendo su normal funcionamiento en las próximas temporadas.</p> <p>Se debe trabajar a máximas presiones con la tubería para evitar, la obstrucción por raíces (Isabel Foster, 2008).</p>

RIEGO PRESURIZADO

Los métodos de microriego se caracterizan por tener un sistema de distribución bajo presión. Entre los métodos de microriego presurizados tenemos, goteo, microjet y microaspersión.

El riego mediante los métodos nombrados se puede definir como la aplicación frecuente de agua al suelo en pequeñas cantidades a través de una red de tuberías y dispositivos especiales denominados emisores, ubicados a lo largo de la línea de distribución.

- A) goteo
- B) microjet
- C) microaspersión



VENTAJAS DEL RIEGO PRESURIZADO	LIMITACIONES
<p>Terreno de topografía irregular. Suelos delgados. Suelos con alta velocidad de infiltración. Suelos susceptibles a la erosión. Cuando se dispone de poco caudal.</p>	<p>La eficiencia de aplicación del método de riego por microaspersión es afectada por la presión de trabajo de los aspersores. La velocidad del viento provoca una deformación en el patrón de humedecimiento y pérdidas de agua por evaporación directa del chorro del aspersor. Estas pérdidas de agua están en función de la temperatura ambiental y de la velocidad del viento. Manejo del sistema es la frecuente reducción de velocidad del viento por la noche. Esto aconsejaría alternar el riego diurno y nocturno de cada zona para aumentar la uniformidad de aplicación.</p>

i Para más información:
https://bibliotecadigital.fia.cl/bitstream/handle/20.500.11944/148562/RiegoyDrenaje-enFrutales_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y



i Véase mayor información sobre el diseño y manejo del riego por aspersión en:
<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/40180/NR26419.pdf?sequence=1>

3.4.1.6. Comportamiento del agua de acuerdo con el método de riego utilizado

“El desarrollo del sistema radical en frutales, además de las características del patrón de injerto, varía según el tipo de suelo y método de riego aplicado. Sin embargo, es necesario tener presente que la distribución de las raíces en el suelo no es uniforme y que éstas tenderán a tener mayor presencia en superficie, disminuyendo en profundidad”.

“Es importante reiterar que la distribución de raíces puede ser alterada por el régimen de riego que se aplique al frutal, ya que, las raíces estarán concentradas donde el agua esté presente. Por ejemplo, en riego por goteo habrá una tendencia a formar un bulbo de raíces en la zona de humedecimiento del gotero; en riego por microjet las raíces tenderán a ser superficiales y con una extensión horizontal que dependerá de la distancia de mojamiento del emisor (Figura 24). Además, las características físicas, y en especial la textura del suelo y presencia de gravas, tienen una gran influencia en la profundidad radical. En suelos arcillosos, las raíces pueden alcanzar la mitad del desarrollo que en un suelo de textura media”.

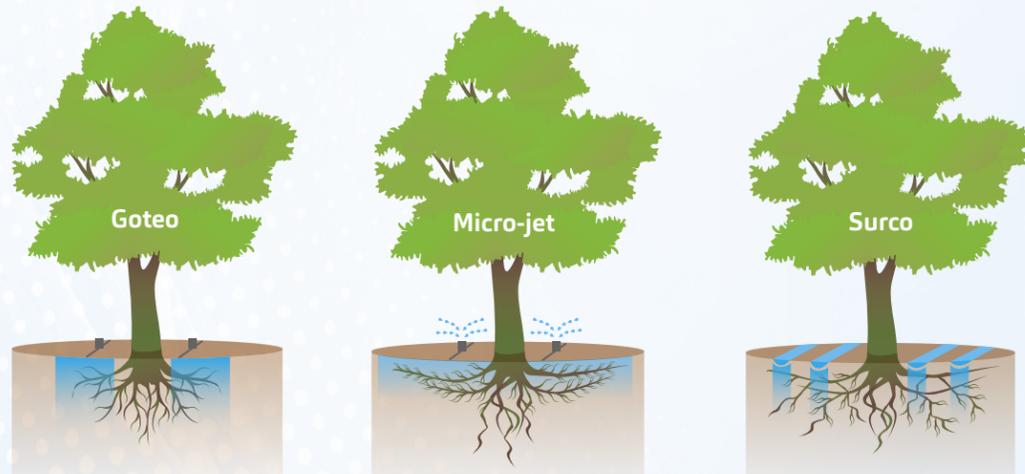


Figura 24: Ejemplo de cómo se distribuye el agua de riego con tres métodos diferentes, en un mismo cultivo y suelo.

3.4.1.7. Calidad de riego

La calidad del riego es una forma de evaluar si este ha cubierto los requerimientos de agua y qué tan bien es distribuida el agua a través del campo.

El agua aplicada durante el riego debe cumplir, entre otros, con los siguientes requisitos:

- Suministrar a la planta el agua requerida.
- Estar distribuida uniformemente sobre el área de riego.
- No exceder la capacidad de almacenamiento de agua del perfil del suelo para impedir la percolación profunda.
- Evitar la lixiviación en el suelo más de lo requerido para prevenir la salinización.
- Minimizar la erosión y el deterioro de la estructura del suelo.

En general se puede establecer que la calidad del riego es afectada por:

- El tiempo de avance del frente de agua en riego superficial.
- La velocidad de infiltración del agua en el suelo.
- El caudal de entrada.
- El tiempo de riego.
- El tiempo de recesión del agua desde la superficie del suelo.
- La humedad del suelo antes del riego.
- La variabilidad estructural del suelo (distintos tipos).
- Las condiciones climáticas, especialmente en microjet o microaspersión.
- Presión y espaciado entre los aspersores o emisores en sistemas de riego presurizado.

Fuente: (Holzapfel, Arumí, 2010).



3.4.1.8. Fertiirrigación y chemigación

Fertiirrigación es el proceso mediante el cual los fertilizantes que necesita una planta son aplicados junto con el agua de riego. Cuando además de fertilizante se aplica otro tipo de productos químicos como herbicidas, insecticidas, fumigantes de suelo, acondicionadores de suelo (enmiendas) y compuestos que permiten el buen funcionamiento de los sistemas de riego presurizados (goteo, microjet y microaspersión), se usa el término chemigación.



En suelos de baja fertilidad los fertilizantes aumentarán la profundidad a la cual las raíces crecen

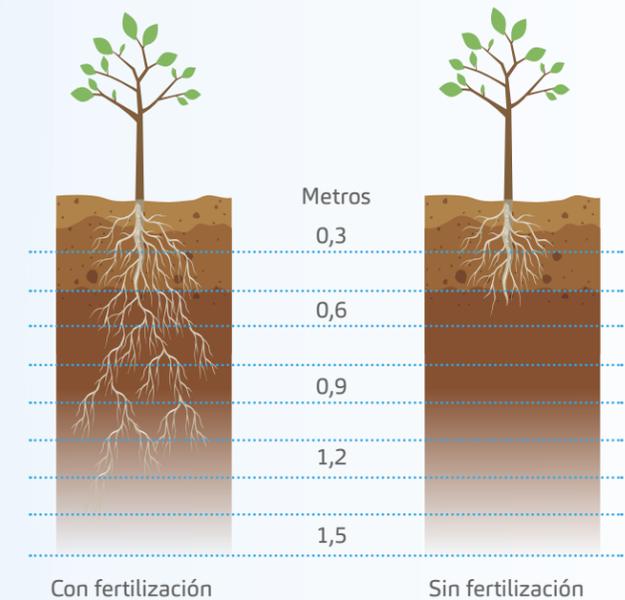


Figura 25: Profundidad de las raíces de las plantas con y sin fertilización.

VENTAJAS	LIMITACIONES
<ul style="list-style-type: none"> • Mayor eficiencia en el uso de los fertilizantes y químicos: Una mayor cantidad de fertilizante o químicos es utilizado por la planta en relación al total aplicado. Existe una mejor distribución y uniformidad, mejor penetración en el suelo y menores pérdidas por volatilización debido a que penetra en el suelo disuelto en el agua de riego. • Adaptación del programa de fertilización o químicos a diferentes etapas de desarrollo del cultivo: Las aplicaciones pueden hacerse al ritmo que el cultivo lo necesita en las fases de crecimiento vegetativo, floración, cuajado y postcosecha. Los fertilizantes o químicos pueden ser aplicados a través de mecanismos automáticos que permiten un alto control del agua y de los fertilizantes o químicos. • Uso de suelos marginales: Suelos pedregosos o muy arenosos que se caracterizan por una baja fertilidad natural, pueden ser cultivados sin problema y obtenerse de ellos altas producciones. • Ahorro de trabajo y comodidad: Se requiere menor mano de obra en la aplicación de fertilizantes o químicos y la aplicación es independiente de la hora del día. • Reducción del daño mecánico al cultivo: Existe una baja probabilidad de daño mecánico al cultivo tales como poda de raíces, rotura de hojas o quiebre de ramillas. • Posibilidad de utilizar fertilizantes líquidos y gaseosos: La fertilización tradicional requiere de productos formulados en forma sólida para facilitar su manejo. Hay productos como amoníaco anhidro (NH₃) que se comercializa en forma de gas. El amoníaco reacciona en forma instantánea con el agua formando el Ion amonio (NH₄) que es retenido por el complejo de intercambio. También es posible utilizar soluciones líquidas formuladas especialmente para diferentes fases de desarrollo del cultivo. En el caso de los químicos en general están en estado líquido. 	<p>La mayoría de los inconvenientes asociados a la fertiirrigación o chemigación no se deben al método en sí, sino más bien a un manejo incorrecto o al desconocimiento que existe acerca de los aspectos de la nutrición de las plantas o sistemas de control.</p> <p>Los principales inconvenientes son:</p> <p>Obturaciones: Obturaciones por precipitados causados por incompatibilidad de los distintos fertilizantes entre sí o con el agua de riego o bien debidas a una dilución insuficiente.</p> <p>Dosificación: Las aplicaciones de fertilizantes y químicos deben ser bien dosificados para no producir daño al cultivo. Un exceso de productos químicos puede inducir toxicidad afectando los futuros rendimientos.</p>

MÉTODOS DE RIEGO PARA FERTIRRIGACIÓN O CHEMIGACIÓN

Se practica comercialmente hoy en día en métodos de riego presurizados en donde existe la seguridad de aprovechar al máximo todo el insumo, sin embargo, el desarrollo de mejoramiento en el diseño y operación de los métodos de riego superficiales (surcos) puede ser en un futuro cercano una buena alternativa.



El riego localizado o presurizado, ya sea goteo, cinta, microaspersión o micro jet brinda una excelente oportunidad para la aplicación de fertilizantes y agroquímicos a través del sistema de riego. Las raíces se desarrollan intensivamente en un volumen reducido de suelo, en donde el agua y los nutrientes se encuentran fácilmente. Este es un buen escenario que puede tener el cultivo para expresar todo su potencial, lo que más tarde se traducirá en altas producciones. Sistemas de riego superficiales de alta tecnificación (surcos con sistemas de control) son también una importante alternativa cuando existe un diseño y operación adecuado y profesionales de apoyo.

Los fertilizantes orgánicos o fertilizantes ecológicos se obtienen mezclando sustancias obtenidas por la degradación y mineralización de residuos de naturaleza orgánica (estiércoles), vegetal (despojos de las cosechas) y restos leñosos e industriales (lodos de depuradoras). Cuando se abona la tierra con fertilizantes ecológicos, se está enriqueciendo eficientemente las características químicas, físicas y biológicas del suelo sin usar productos químicos que tan perjudiciales están resultando ser para nuestra salud y para el medioambiente.

Para más información:
<https://agbaragriculture.com/fertilizantes-ecologicos-la-solucion-para-tu-cultivo/>

Beneficio de los fertilizantes ecológicos

- Aumentan la cantidad de nutrientes para el suelo
- Son más amigables con el medio ambiente
- Producen alimentos no tóxicos
- Mejoran la fertilidad del suelo

Para más información:
<https://www.agropinos.com/blog/las-ventajas-de-los-fertilizantes-organicos>



3.4.1.9. Plaguicidas

El aumento de la población mundial ha llevado al desarrollo de la agricultura a una escala industrial con la finalidad de producir el alimento necesario. El uso intensivo de plaguicidas para controlar las plagas y enfermedades que reducen la cosecha o disminuyen su calidad, ha contribuido a aumentar los rendimientos y bajar los costos de producción. No obstante, desde comienzos de la década del 70 comenzó a hacerse notorio que estos productos ocasionaban efectos adversos sobre el medio ambiente. **Estudios desarrollados en el extranjero han determinado la presencia de plaguicidas en el agua superficial y subsuperficial, afectando su calidad y los ecosistemas.** Las evaluaciones demostraron que los plaguicidas podían llegar al agua aun cuando hubieran sido empleados correctamente. Ello condujo a los países a exigir mayores estudios para aprobar su utilización, y a mejorar las prácticas de aplicación, además de desarrollar sistemas de mitigación con el fin de evitar que sus residuos lleguen a cursos de agua superficiales.



VENTAJAS	LIMITACIONES
<ul style="list-style-type: none"> • Los insecticidas ecológicos son plenamente respetuosos con el medio ambiente. • La gran mayoría son también biodegradables, por lo que no dejan ningún tipo de residuo ni en la tierra ni tampoco en las cosechas. • La toxicidad de los insecticidas ecológicos es nula o extremadamente baja, lo que significa que no suponen ningún riesgo para el aplicador, ni para el medio ambiente. Están exentos de LMRs, o bien presentan unos niveles muy bajos de los mismos. • El plazo de seguridad de los insecticidas ecológicos suele ser de cero días, o bien son muy cortos (1 o 2 días), por lo que pueden ser aplicados en momentos próximos a la recolección. • Los insecticidas ecológicos tienen un perfil toxicológico favorable siendo compatibles con la fauna auxiliar. • Son aptos para utilizarse en agricultura integrada y ecológica. • Reducen la aparición de plagas secundarias. • Su aplicación evita la aparición de resistencias. • Son productos seguros y de eficacia contrastada. 	<p>Asegúrate que los mismos estén registrados por el Ministerio de Agricultura. En todos ellos aparece un número de registro en su etiqueta comercial que da validez al mismo.</p> <p>El manejo agronómico, que considera la aplicación y la formulación de los productos, y el manejo del riego, incide en la biodisponibilidad de los residuos. A mayor uso de plaguicidas, las probabilidades de contaminar el agua superficial o subterránea aumentan, por lo cual se debe incorporar conceptos como el manejo integrado de plagas y evitar el uso de aplicaciones por calendario. La utilización de plaguicidas aplicados al suelo aumenta la posibilidad de que lleguen a las fuentes de agua, debido a que la cantidad de producto que potencialmente se puede movilizar es mayor. Aquellos aplicados al follaje son afectados por factores ambientales, como la luz solar, que los degradan, y la cantidad de plaguicidas que llega al suelo es una fracción menor de la distribuida inicialmente.</p> <p>El riego puede transportar los plaguicidas a las aguas, especialmente en los sistemas superficiales, como el riego por surco, debido a que se utilizan altos volúmenes del recurso hídrico. Además, un aspecto poco evaluado es que el mal manejo del riego tiende a producir erosión, movilizándolo hasta los cursos de agua los plaguicidas que se encuentran adheridos a la materia orgánica y las arcillas.</p> <p>Evitar el uso indiscriminado de plaguicidas persistentes, solubles, etc.</p> <p>Los plaguicidas o insecticidas ecológicos son productos que se caracterizan, principalmente, por estar compuestos íntegramente por organismos vivos, como pueden ser bacterias (por ejemplo, Bacillus thuringiensis, Bacillus amyloliquefaciens, etc.), hongos (Beauveria bassiana, etc), feromonas y/o bien extractos vegetales o minerales. En el mercado existen una gran variedad de los mismos, para saber cómo hacer una correcta elección, es importante conocer el tipo de cepa, en el caso de hongos y bacterias, que tienen cada uno de estos compuestos, ya que no todas tienen el mismo nivel de eficacia.</p>

3.4.1.10. Principales contaminantes de agua para riego

 Aguas residuales con alto contenido de elementos orgánicos y microorganismos.	 Aceites, grasas y otros derivados del petróleo.
 Basura doméstica e industrial.	 Minerales orgánicos.
 Nutrientes estimulantes del crecimiento de plantas acuáticas (nitratos y fosfatos).	 Partículas de suelo arrastradas por escurrimiento superficial, desde suelos erosionados.
 Productos químicos (metales pesados, pesticidas, detergentes y productos resultantes de la descomposición de compuestos orgánicos).	

3.4.1.11. Mal manejo agrícola contribuye a mala calidad del agua de riego

Las prácticas agrícolas que más contribuyen a la contaminación difusa son:

- Fertilización excesiva al suelo.
- Exceso de insumos y aplicación descuidada para el control de plagas.
- Pastoreo en suelos con cuerpos de agua vulnerable (con posibilidad de contaminarse).
- Exceso de labranza y preparación del suelo (erosión); Mal diseño del sistema de riego y aplicación deficiente de agua.

En el área agrícola es esencial que la calidad del agua sea óptima para el riego de cultivo, puesto que afecta tanto el crecimiento y desarrollo de las plantas, como a los suelos y a las aguas subterráneas, tal como se observa en la Figura 26. Es decir, todo el ecosistema y consumidores involucrados en la actividad agrícola se ven afectados por la presencia de cualquier agente, estudiado o no estudiado, regulado o no regulado, que pueda representar una amenaza para la salud global. Así, es necesario asegurar que las aguas de reúso para riego agrícola sean tratadas eficientemente.



Figura 26. Efecto de la contaminación de aguas reutilizadas en la salud medioambiental. Fuente: Elaboración propia CRHIAM.

3.4.1.12. Recomendaciones para disminuir la contaminación del agua por fertilizantes

- Calcular la dosis de fertilizantes según la capacidad de uso del suelo, las necesidades del cultivo y las producciones esperadas.
- Realizar la fertilización en la época más recomendable para el cultivo.
- Evitar la aplicación de fertilizantes si hay pronóstico de lluvia las próximas 72 horas.
- Evitar fertilizantes de alta solubilidad (nitrogenados) en sitios con napa freática alta (es decir, a 1 m de profundidad o menos).
- Aplicar uniformemente el fertilizante en el suelo.
- Mantener el suelo cubierto con vegetación a fin de capturar el exceso de nitratos.
- Evitar el riego excesivo, ya que, favorece la lixiviación (lavado del suelo).
- Aplicar el riego de manera uniforme, considerando las depresiones y la pendiente del terreno.
- Para todos los sistemas de riego se recomienda realizar estudios de uniformidad de aplicación en la distribución de agua.
- Almacenar el fertilizante de manera que no sea alcanzado por las aguas, animales domésticos o animales plagas.
- En caso de fertirrigación con riego presurizado, usar concentraciones adecuadas al cultivo y tener óptimamente programado los tiempos y frecuencias de riego.

3.4.1.13. Filtros

Uno de los inconvenientes que presenta una instalación de riego presurizado es el riesgo de obturación de los emisores, por lo que se utilizan una serie de filtros en las instalaciones para separar las partículas que contiene el agua de riego que puede provocar esta obturación.

Los filtros se clasifican en los siguientes tipos:

Filtros de arena:

Se utiliza para separar o filtrar sólidos en suspensión, algas, y su cama es de arena de sílice de una dimensión específica asociada al emisor. Son bastante eficientes.

Hidrociclones:

Realizan la separación de partículas del agua mediante el efecto de la fuerza centrífuga generada por el torbellino, de manera que las partículas pesadas como las arenas que puede contener el agua de riego se desplazan hacia las paredes cayendo después al depósito situado en la parte inferior. Se utilizan cuando se tienen arenas en suspensión que aparecen en aguas de pozos profundos.

Filtros de malla:

El agua es filtrada por una malla, la cual se define por el número de aperturas por pulgada lineal o número de mesh. Las partículas de tamaño superior a las aperturas de la malla quedan retenidas en el filtro. Son efectivos para aguas poco sucias con materiales de origen inorgánico del tamaño de limos o arenas. Los filtros de mallas se presentan en tres modalidades, según el sistema de limpieza que tengan, manual, semiautomáticos y automáticos.

Filtros de anillas:

Este sistema cuenta con un conjunto de anillas ranuradas que se comprimen las unas contra las otras formando un cilindro filtrante de manera que el agua pasa por las pequeñas ranuras entre las anillas quedando atrapados en el filtro las partículas de mayor tamaño al de las ranuras. Son apropiados para la limpieza de aguas de mediana a mala calidad. Las anillas pueden ser de diferentes diámetros de paso, así encontramos que cada tipo de anilla tiene un color asociado.

Los filtros de anillas se presentan en tres modalidades:

- Según el sistema de limpieza que tengan
- Manual
- Automáticos.

Estos equipos pueden poseer sistemas autolimpiantes, los cuales realizan la limpieza mediante operaciones de contralavado automático o de manera manual en el caso de los filtros de malla, anillas e hidrociclones. Los sistemas semiautomáticos tienen mecanismos que limpian mediante operaciones de contralavado a través del accionamiento de dicho mecanismo.



Para más información:

<https://www.novagric.com/es/riego/materiales-de-riego/filtros-riego-por-goteo>

3.4.1.14. Biofiltros

Uso de biofiltros para control de contaminación difusa, es una asociación vegetal dispuesta en franjas que se ubica a los pies de un potrero de cultivo, en forma perpendicular al avance del agua y paralelo a un desagüe o cauce. Las especies vegetales utilizadas pueden ser árboles, arbustos o pastos, que tienen la propiedad de filtrar contaminantes provenientes de la escorrentía superficial que se produce en los campos de cultivo. Esta asociación se considera como una zona de transición entre la zona de cultivo y un curso de agua, conformando complejos ecosistemas que entregan un hábitat propicio para el buen desarrollo de microorganismos habitantes comunes del suelo que participan en la degradación o retención de contaminantes difusos.

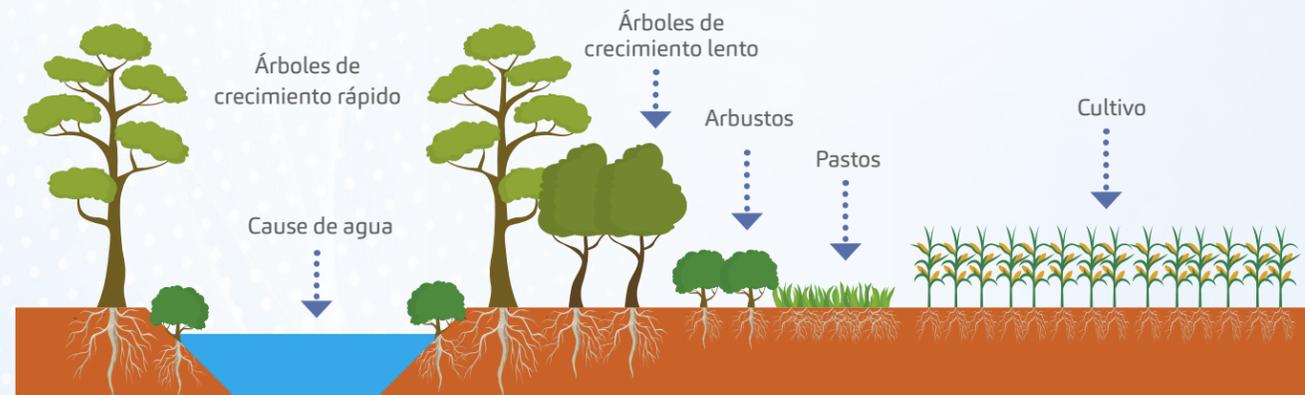


Figura 27. Biofiltros para control de contaminación difusa.

VENTAJAS	LIMITACIONES
Estos biofiltros presentan altos niveles de eficiencia para remover contaminantes de tipo difuso, generados por las actividades agrícolas, tales como nutrientes (nitrógeno y fósforo), sedimentos, residuos de plaguicidas y material orgánico entre otro.	Un aspecto importante a considerar es que la eficiencia de estos biofiltros es notoriamente afectada por las prácticas de manejo que se realizan dentro del campo de cultivo, especialmente en lo relativo al movimiento de sedimentos. En efecto, prácticas inadecuadas de preparación de suelos, mal manejo del agua de riego, con aplicación de altos caudales o cultivos que dejan baja cantidad de residuos en el campo durante la época invernal, provocan una mayor susceptibilidad al arrastre de sedimentos, lo que afecta negativamente el nivel de eficiencia de remoción. Los biofiltros son una buena herramienta para reducir el nivel de residuos de plaguicidas contenidos en el agua de riego y se pueden considerar como una "buena práctica agrícola".



3.4.1.15. Soluciones basadas en la naturaleza

La agricultura ha desarrollado sus actividades en la mayoría de los casos modificando, en mayor o menor medida, el medio ambiente, para orientarlo a la producción de bienes para el ser humano. Es por ello que, en el contexto actual y lo que se espera para las próximas décadas, se deben fomentar medidas que permitan utilizar los recursos, al mismo tiempo que se asegura su protección para las generaciones futuras. Por lo anterior, está emergiendo la necesidad de desarrollar una actividad agrícola que conjugue los tres pilares de la sustentabilidad, esto es, la protección del medio ambiente, la equidad social y la viabilidad económica.



Figura 28: Esquema de los factores que promueven las BPA. Figura adaptada de FAO, (2012).

Las prácticas agronómicas que deben adoptarse según GLOBALG.A.P. son las siguientes:

- Cultivo: elección y origen.
- Operaciones previas al cultivo: rotación de cultivos, nivelación de suelos, reducir uso de herbicidas, etc.
- Durante el desarrollo: densidad de plantación, polinizadores, no emplear fitorreguladores, declarar si es material transgénico.
- Fertilización de los suelos: adecuada según demanda de suelo y cultivo (análisis de suelo o foliares periódicas), hidropónicos (análisis nutritivo, foliar y solución de drenaje), y abonos orgánicos (análisis de nutrientes).
- Uso sustentable del agua: disponibilidad, eficiencia y calidad del agua, para lo que se necesita tener conocimiento y registro de las necesidades de riego como frecuencia, tiempo y volumen aplicado.
- Calidad del agua: análisis físico, químico y bacteriológico.
- Control de plagas: manejo integrado de plagas con el empleo mínimo de productos fitosanitarios, privilegiando métodos culturales y biológicos.
- Suelo y sustratos: mapa de suelo del predio, con el fin de conocer su capacidad de uso.

MÉTODOS QUE AYUDEN A SOLUCIONAR PROBLEMAS DE RIEGO QUE NO AFECTE EL ECOSISTEMA SIN NECESIDAD DE MUCHA TECNOLOGÍA.

Algunas ideas para mejorar la actividad agrícola

Resguardar la sustentabilidad de la actividad silvoagropecuaria, velar por la seguridad hídrica y alimentaria de Chile, junto con el bienestar de la población rural, son aspectos que plantean una serie de desafíos estratégicos en la coordinación y ordenamiento de las distintas iniciativas de competencia del Ministerio de Agricultura. Un análisis situacional preliminar, permite entregar las siguientes reflexiones:

- Resulta relevante revisar los lineamientos estratégicos y reforzar acciones que consideren una intervención integral y coordinada en materias hídricas. En este sentido, existen desafíos transversales, como la Gestión Integrada de Recursos Hídricos a nivel de cuenca hidrográfica; sumado al contexto de cambio climático, cuyo abordaje requiere permear cada uno de los ámbitos trabajados.
- En relación con la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), la Global Water Partnership (GWP) la define como “un proceso que promueve la gestión y el desarrollo coordinado del agua, el suelo y los otros recursos relacionados, con el fin de maximizar los resultados económicos y el bienestar social de forma equitativa sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales”. Este enfoque se basa en el desarrollo y gestión eficientes, equitativos y sostenibles de un recurso hídrico cada vez más limitado, para abordar unas demandas en competición. En este contexto, cobran especial importancia las Organizaciones Usuarios de Aguas (OUA), conformadas por Juntas de Vigilancia, Asociaciones de Canalistas y Comunidades de Aguas Superficiales y Subterráneas.
- Por su parte, el cambio climático constituye la mayor amenaza y desafío global de nuestra era. Es entendido como un proceso que afecta de manera transversal al sector silvoagropecuario,
- Se entiende por seguridad hídrica a la posibilidad de acceso al agua en cantidad y calidad adecuada, determinada en función de las realidades propias de cada cuenca, para sostener la salud de la población, su subsistencia, desarrollo económico y conservación de los ecosistemas, así como para asegurar la protección eficaz de vidas y bienes durante desastres asociados a exceso y déficit hídricos (basado en el Proyecto de Ley de Cambio Climático y el Programa Hidrológico Internacional de la Unesco 2014-2021).
- Las OUA corresponden a una de las instituciones más antiguas de Chile, algunas desde hace 200 años han distribuido las aguas en ríos y canales, teniendo por objetivo principal la gestión y distribución de las aguas entre sus miembros. Estas organizaciones son entidades con personalidad jurídica, reglamentadas por el Código de Aguas, formadas por dos o más personas con derechos de aprovechamiento sobre las aguas de un mismo río, acuífero, canal, embalse u otra obra hidráulica de toma y distribución común.
- Agua y Recursos Hídricos: Agenda del Ministerio de Agricultura en el marco del desarrollo sustentable del sector silvoagropecuario – enero 2022 ODEPA, Oficina de Estudios y Políticas Agrarias impactando la oferta del recurso hídrico, la demanda hídrica de los cultivos y la gestión de riesgos, por nombrar solo algunos aspectos principales relacionados con el agua en el sector. En este sentido, las iniciativas ministeriales deben considerar los escenarios futuros, tendencias y proyecciones en materia de disponibilidad y demanda de recursos hídricos, así como también los elementos de gestión del cambio climático que la institucionalidad del país defina (asociada a legislación, planes de adaptación, entre otros) y que permitan evitar o disminuir los efectos adversos del cambio climático, prevenir los riesgos asociados a éste y aumentar la resiliencia climática. De esta forma, se recomienda considerar y reforzar medidas de:

ADAPTACIÓN:

que permitan moderar y evitar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas, buscando reducir la vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático (ej. riego tecnificado, infiltración de acuíferos, reconversión productiva y transferencia tecnológica).

MITIGACIÓN:

mediante la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, restricción de su uso e incremento de sumideros (ej. reforestación).

CO-BENEFICIOS:

que contribuyen tanto a la adaptación como a la mitigación (ejemplo: uso de energías renovables en sistemas de riego).

- Medidas transversales institucionales que faciliten la implementación de las anteriores (ejemplo: acciones de coordinación, leyes, políticas, programas).
- Finalmente, es recomendable fortalecer el quehacer ministerial en los ámbitos de acción menos abordados, por ejemplo, en torno a la Calidad de aguas, incluyendo la sedimentación de cuencas hidrográficas; así como también el trabajo en torno a Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN), incluidas en el catastro de iniciativas del ámbito Conservación y manejo de cuencas hidrográficas, especialmente por la labor de CONAF en esta línea. Existe potencial de desarrollo de las SbN en el sector silvoagropecuario que Minagri puede apoyar, sobre todo, considerando que este tipo de soluciones son parte del eje central de la Estrategia Climática a Largo Plazo de Chile.



Para más información:

<https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/bitstream/handle/20.500.12650/71294/ArtRecursosHidricos202201.pdf>



REÚSO DEL AGUA EN LA AGRICULTURA

Basado en el documento **Aguas grises (Alcances y limitaciones del uso de aguas servidas tratadas, normativa de aguas grises)**. Por Gladys Vidal.

Dentro de las diferentes estrategias para hacer frente a la escasez hídrica y alcanzar la seguridad alimentaria, el reúso de aguas servidas representa una alternativa sustentable para la demanda de agua, sin embargo, deben cumplirse ciertas pautas para regular los niveles de agentes contaminantes presentes en las aguas, que puedan afectar la seguridad alimentaria. Es por esa razón que la implementación de políticas públicas asociadas al reúso de aguas servidas en la agricultura debe ir acompañada de regulaciones y normativas muy estrictas y exigentes para evitar efectos sobre la salud humana, animal y medio ambiental.

SALINIDAD DEL AGUA

El agua de riego proveniente de lluvia y deshielos es rica en sales que se incorporan de manera natural mediante procesos de lixiviación del suelo. Finalmente, en algunos casos, el procesamiento de materia prima como fibras naturales contribuye iones que combinados en la solución líquida conducen a incrustaciones difíciles de manejar. La complejidad es agravada por la variabilidad del contenido de sales en aguas que comparten procedencia.

En terrenos que dejan de cultivarse por varias temporadas y ante la presencia de freáticas superficiales, se produce resalinización (ascenso de sales por capilaridad) y pierden su productividad. En estos casos, es necesaria la recuperación a través del lavado de suelos y obras de drenaje para evacuar el exceso de sales. La imagen de fondo muestra un terreno que fue cultivado y posteriormente abandonado y se resalinizó por presencia de freática superficial.

Intoxicación por sales y asfixia radicular, el efecto sobre los cultivos depende de la especie, del tipo de suelo y de la magnitud del fenómeno. Los síntomas propios son asfixia radicular, amarillamiento de hojas, intoxicación por sales, (cloruros, boro), fallas en el crecimiento, poco vigor, bajos rendimientos y, en casos extremos, pérdidas del cultivo y salinización del perfil del suelo. La afectación es mayor en cultivos.



INTOXICACIÓN POR SALES Y ASFIXIA RADICULAR

El efecto sobre los cultivos depende de la especie, del tipo de suelo y de la magnitud del fenómeno. Los síntomas propios son asfixia radicular, amarillamiento de hojas, intoxicación por sales, (cloruros, boro), fallas en el crecimiento, poco vigor, bajos rendimientos y, en casos extremos, pérdidas del cultivo y salinización del perfil del suelo. La afectación es mayor en cultivos.



NECESIDADES Y RECOMENDACIONES

La salinidad es un tema complejo, que no sólo afecta al crecimiento de los cultivos, sino que también puede afectar a las condiciones del suelo, por lo que es necesaria una gestión integrada del agua. A menudo se necesitan soluciones a medida, para lo cual es esencial una adecuada recopilación y análisis de datos. Se han identificado distintas necesidades y recomendaciones, relacionadas con:

- Recopilación de datos, cartografía y seguimiento a nivel local y regional.
- Entrenamiento a medida y desarrollo de capacidades sobre metodologías para combatir la salinidad.
- Gestión del agua y del riego en las plantaciones.
- Gestión y gobernanza del agua a nivel regional.



OPORTUNIDADES

En el informe se destacaron varias oportunidades relacionadas con la gestión de los cultivos, el suelo y el agua, tanto a nivel local como a nivel regional. Algunas de las oportunidades identificadas que pueden aportar de manera positiva a aumentar el rendimiento de los cultivos en las explotaciones agrícolas se indican a continuación:

- Utilizar portainjertos Antillanos para el palto, los cuales son más tolerantes a la salinidad.
- Mejorar las condiciones del suelo mediante la adición de insumos orgánicos y utilizar fertilizantes sin cloruro de sodio, evitando el uso de magnesio en lo posible.
- Asegurarse de que el pH del suelo se encuentre dentro del rango adecuado. El uso de fertilizantes foliares puede ser necesario para asegurar un buen equilibrio de nutrientes en el cultivo.
- El uso de mulch (orgánico) y cultivos de cobertura pueden reducir la evaporación y mejorar la infiltración del agua;
- Asegurar un drenaje adecuado y la lixiviación del exceso de sales con frecuencia.
- Es posible coleccionar el agua del río en épocas de baja salinidad junto a agua lluvia en los embalses de agua que poseen los predios, con el fin de obtener agua de riego de baja salinidad.
- Uso de riego de precisión mediante una estación meteorológica o sensores de humedad del suelo para garantizar el equilibrio hídrico óptimo en el suelo.

Información obtenida de "Escaneo Rápido de Salinidad en las Regiones Metropolitana y de Valparaíso de Chile; desafíos y oportunidades".

LA INFORMACIÓN QUE SE DA A CONOCER EN ESTE CAPÍTULO SE BASA EN DOCUMENTOS PUBLICADOS POR EL CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA LA AGRICULTURA Y MINERÍA (CRHIAM) Y PÁGINAS OFICIALES DEL GOBIERNO.



4. INDUSTRIA MINERA



4. INDUSTRIA MINERA

La minería es la actividad económica primaria del país que consiste en extraer elementos determinados desde depósitos mineros con la finalidad de obtener un beneficio económico, requiere de la extracción de recursos mineros valiosos, sean estos minerales u otros recursos no minerales. En conjunto con la agricultura, es el área productiva que utiliza más recursos considerados críticos para su funcionamiento, como el agua y la energía eléctrica.

En la producción de materias primas en Chile, hay varios tipos de minería metálica y no metálica que son estratégicas y de interés nacional. Además del cobre, Chile ocupa el primer puesto a nivel mundial en la producción de renio, yodo y nitratos naturales. Junto con ser el segundo productor de molibdeno, litio y compuestos de boro; el quinto en producción de plata y el octavo en compuestos de potasio (SERNAGEOMIN, 2022; US Geological Survey, 2022).

En general se habla solamente de dos tipos de minería en el país, la minería del cobre y la del litio. En esta oportunidad este manual se centrará en la minería del cobre al ser la más dominante.

La industria minera más dominante en Chile es la Minería del Cobre.



Figura 29: Industria minera.

El cobre es el metal producido y exportado por Chile por excelencia. Es uno de los metales más utilizados en la industria manufacturera, eléctrica, electrónica y química, así como en la fabricación de maquinarias y automóviles, además de ser un material bactericida.

i Para más información:
Serie Comunicacional Crhiam N°11: Radiografía de la minería chilena: presente y futuro.
<https://drive.google.com/file/d/1Fw5Swiuh3dt0DTE1QNsbRZ81quOQAdqr/view>



Figura 30: Mineral cobre y sus aplicaciones.

4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE PROCESOS

Existen dos procesos o métodos para tratar los minerales de cobre, la **Hidrometalurgia para los óxidos** y la **Concentración para los sulfuros**.



Figura 31: Métodos fisicoquímicos con los principales minerales de cobre a tratar.

4.1.1. Hidrometalurgia

Los **minerales oxidados de cobre** se procesan por **procesos hidrometalúrgicos** hasta obtener cobre electrolítico de calidad comercial con una pureza del 99,99% de cobre. El proceso comienza por la reducción del tamaño de la roca hasta tamaños finos. Las pilas son rociadas con ácido sulfúrico para disolver el cobre. Este se recupera luego de la solución de cobre por separación por solventes y electroobtención. La primera tiene por objetivo liberar de impurezas al sulfato de cobre de la solución, para concentrarlo de 9 a 45 gramos por litro, mediante la aplicación de un compuesto de parafina y resina orgánica que captura los iones de cobre de forma selectiva. La electroobtención o electrodeposición recupera el cobre mediante la aplicación de energía eléctrica produciendo planchas de cobre, denominadas cátodos, con una pureza de 99,99%.

Para más información:
Serie Comunicacional Crhiam N°4: Minería, energía y agua. Situación actual.
<https://drive.google.com/file/d/1CKS82VjI2H7CQw4GY2RRHxdcUDWSfhkg/view>

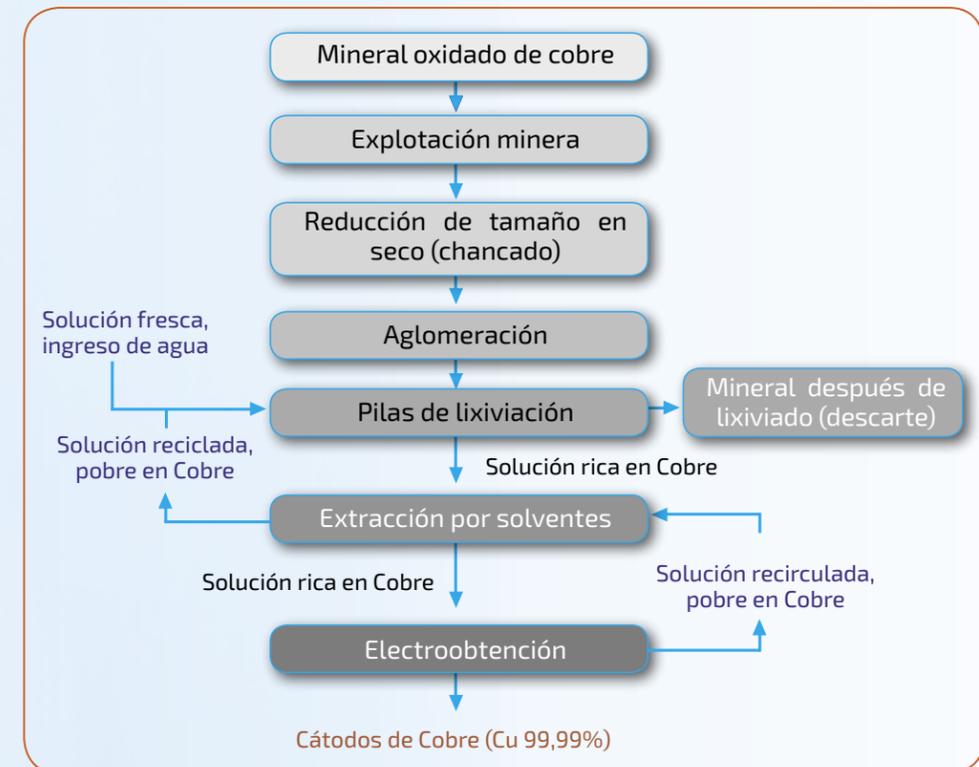


Figura 32: Procesamiento de minerales oxidados.

4.1.1.1. Preparación Mena

La preparación de la mena incluye reducción de tamaño, es decir el chancado que tiene por objetivo llevar los trozos de mena a un tamaño tal que el contenido mineral sea fácilmente accesible a los agentes químicos de disolución y/o liberar las especies minerales valiosas del estéril o ganga de manera que el material responda bien al proceso de lixiviación.

El material chancado es transportado en correas transportadoras hacia el lugar donde será ubicado en pilas para la lixiviación.

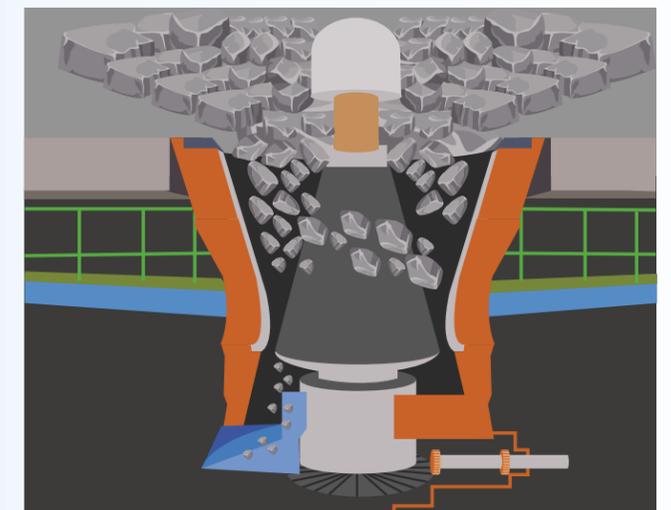


Figura 33: Chancador.

4.1.1.2. Lixiviación

La lixiviación básicamente consiste en recuperar los metales presentes en la roca mineralizada mediante la aplicación de agua y ácido sulfúrico. Esta fase se realiza mediante un proceso hidrometalúrgico lo que significa extracción o recuperación de metales a través del uso de soluciones líquidas, es decir, las rocas reducidas se riegan para rescatar los minerales deseados.

Para más información:
<https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/edic/base/port/lixivacion.html>

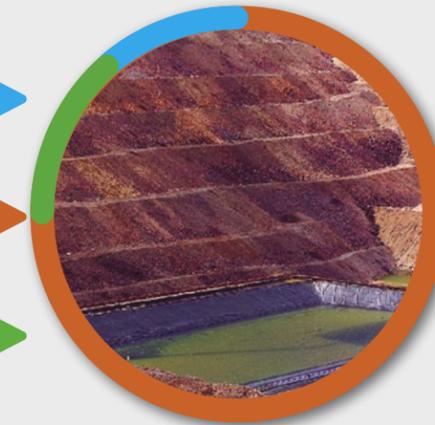


Lixiviación en pilas

Es la técnica más utilizada para recuperar cobre desde minerales oxidados

Formada por un montículo continuo de 6 a 8 m de altura

Riego por goteo con una tasa de riego de 10-20 L/hm²



La aspersión rocía la mezcla de agua y ácido sulfúrico, solución que se encarga de disolver el cobre contenido en los minerales oxidados, formando una solución de sulfato de cobre

Figura 35: Lixiviación en pilas.

Luego de que el material chancado es transportado al lugar de destino, se deposita y distribuye ordenadamente sobre una base o carpeta impermeable formando un montículo continuo de 6 a 8 metros de altura, que se denomina pila de lixiviación. Encima de estas se instala un sistema de riego por goteo y aspersores que cubren toda el área, con una tasa de riego de 10-20 L/hm².

Para la recolección de las soluciones se utilizan cañerías de drenaje perforadas y canaletas abiertas que las llevan a piscinas de almacenamiento desde donde son bombeadas al proceso de purificación de soluciones y recuperación de cobre.

El riego o lixiviación dura entre 45 a 65 días para intentar diluir la cantidad máxima de cobre, obteniéndose soluciones de cobre de una concentración de hasta 9 gramos por litro (g/L). El material restante o ripio se transporta a botaderos donde se podría iniciar un segundo proceso de lixiviación para extraer más metal.

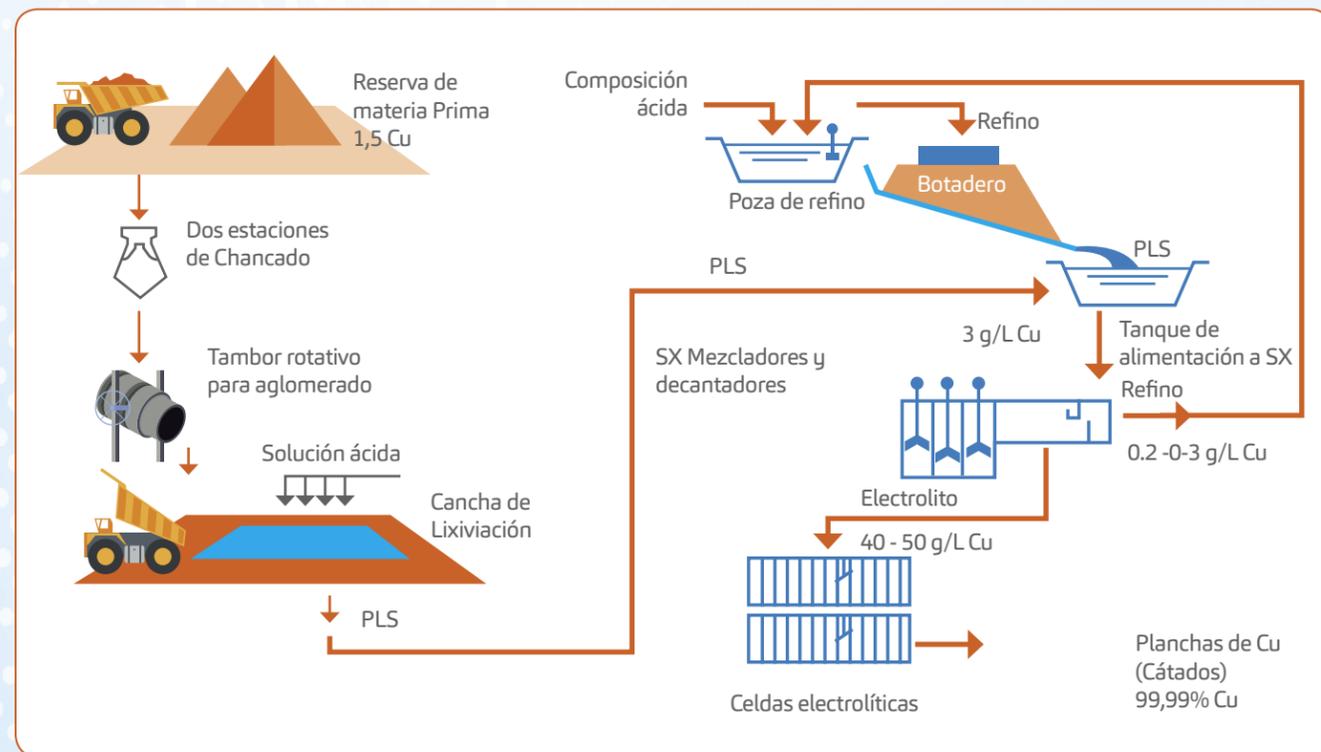


Figura 34: Diagrama de procesos planta de lixiviación SX-EW.

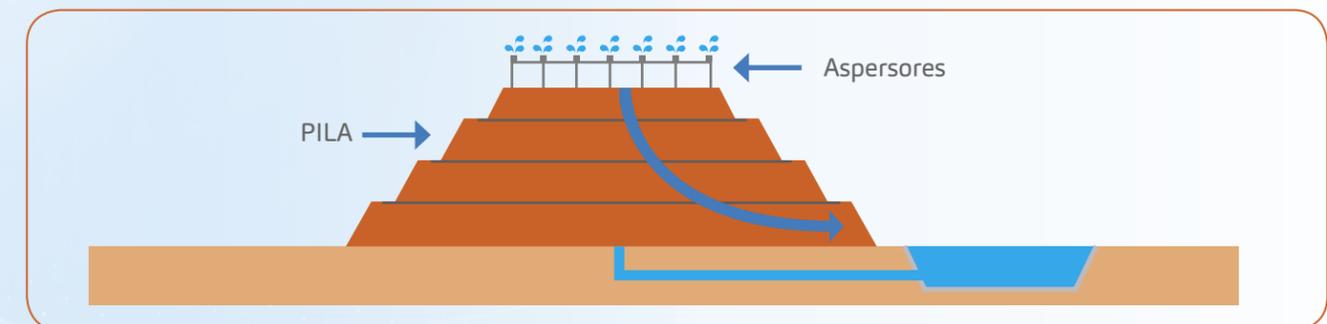
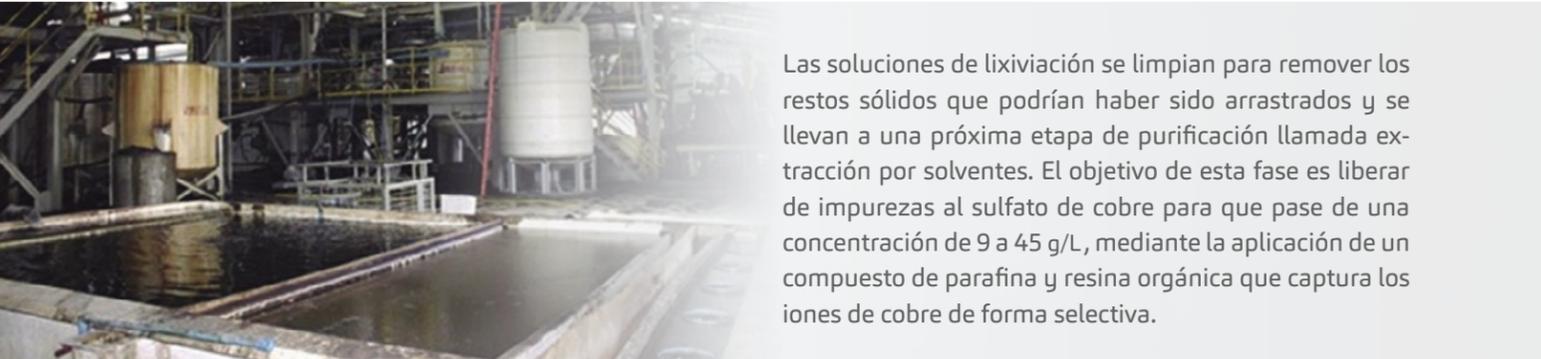


Figura 36: Diagrama de una pila de lixiviación.

Fuente: Libro Hidrometalurgia. Dra. María Cristina Ruiz. Departamento de Ingeniería Metalúrgica. Universidad de Concepción 2013.

4.1.1.3. Extracción por solventes y electroobtención



Las soluciones de lixiviación se limpian para remover los restos sólidos que podrían haber sido arrastrados y se llevan a una próxima etapa de purificación llamada extracción por solventes. El objetivo de esta fase es liberar de impurezas al sulfato de cobre para que pase de una concentración de 9 a 45 g/L, mediante la aplicación de un compuesto de parafina y resina orgánica que captura los iones de cobre de forma selectiva.

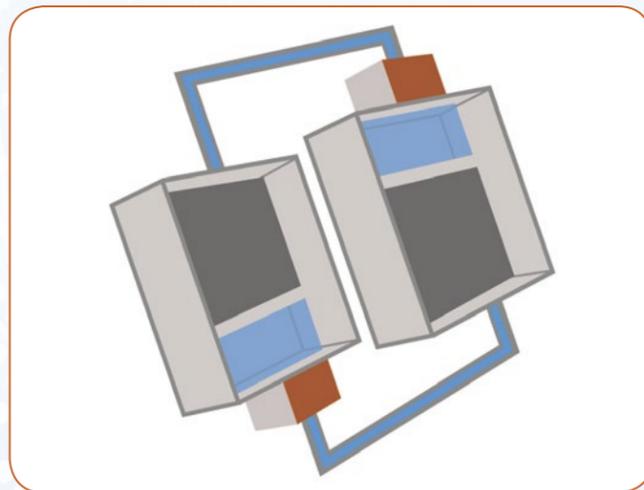
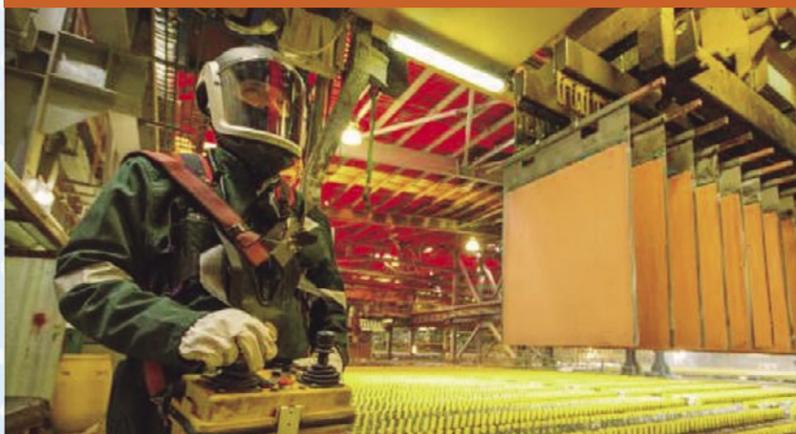


Figura 37. Mecanismo de extracción por solventes.

La solución resultante es la que se lleva, posteriormente, a la etapa de Electroobtención, que tal como su nombre lo indica, recupera el cobre mediante la aplicación de energía eléctrica. El producto de este proceso son cátodos de cobre de alta pureza.



Cátodos de Cobre



ELECTROOBTENCIÓN

Para más información:
<https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/edic/base/port/lixivacion.html>

4.1.2. Concentración

Los minerales sulfurados se procesan en lo que comúnmente se denominan plantas concentradoras. El proceso de concentración consiste en reducir el tamaño de la roca hasta que se puedan separar las especies mineralógicas de la ganga (liberación). El proceso de concentración consiste de tres grandes etapas: molienda, flotación y espesamiento para obtener un concentrado con aproximadamente 35% de cobre desde una roca inicial con menos de 1% de cobre. El producto final es un concentrado que contiene un 8% de agua, al que se llegó por la secuencia de los procesos de espesamiento y filtración y que se transporta al mercado por barco. Los relaves, conteniendo menos de 40% de agua, son productos de desecho que son transportados a reservorios denominados tranques de relaves.

Para más información:
 Serie comunicacional N°4: Minería, energía y agua. Situación actual.
<https://drive.google.com/file/d/1CKS82VjI2H7CQw4GY2RRHxdcUDWSfhkg/view>

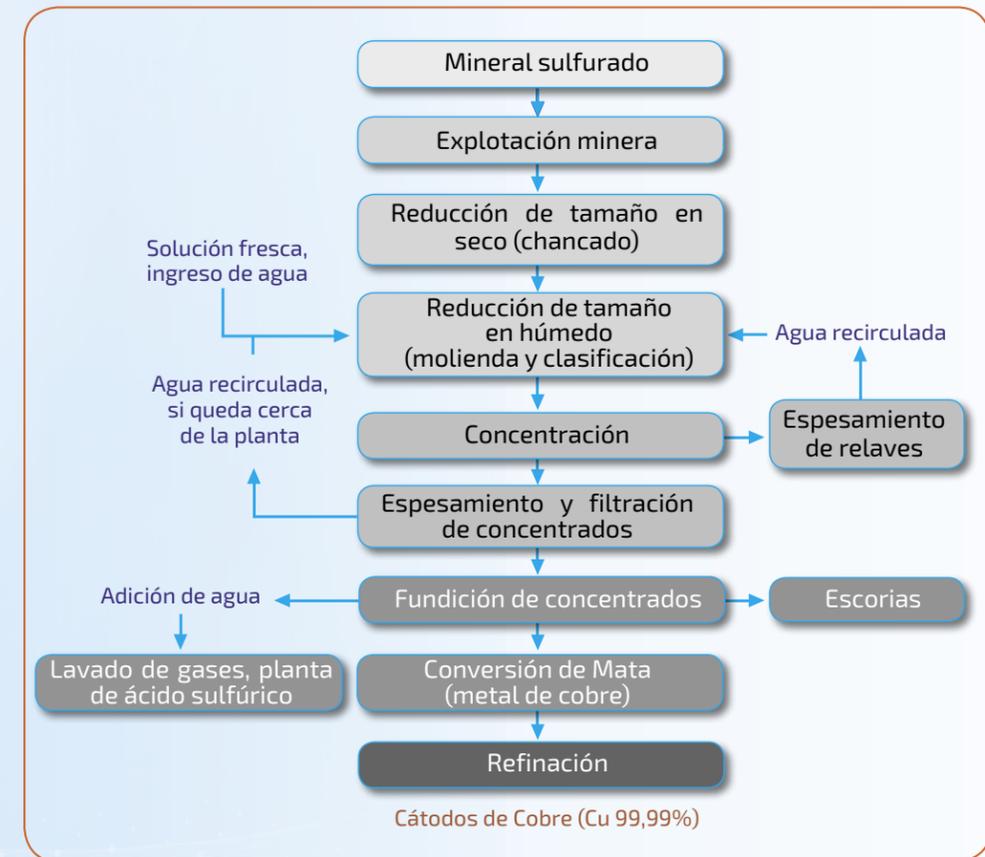


Figura 38: Procesamiento de minerales sulfurados.

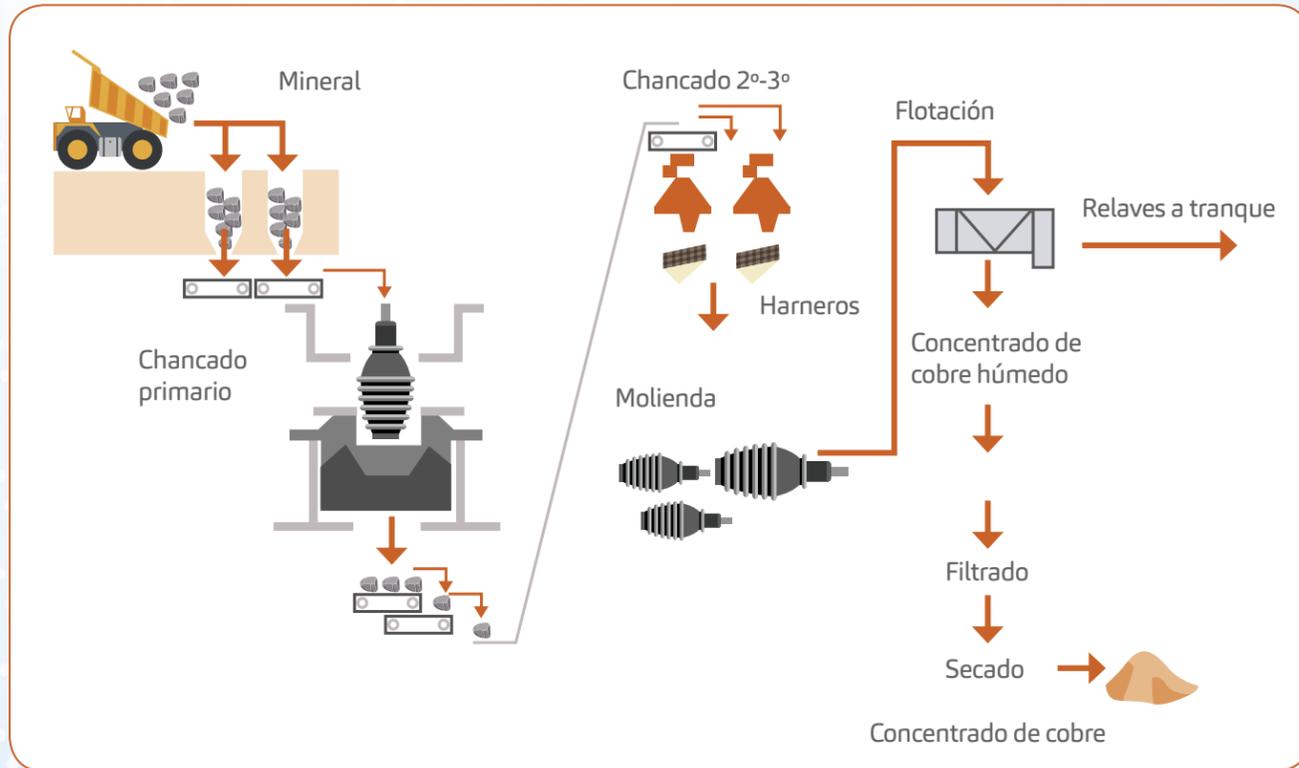


Figura 39: Diagrama de procesos de planta concentradora.

4.1.2.1. Molienda

A diferencia de los óxidos, los sulfuros necesitan reducir aún más el tamaño de los fragmentos de roca para que sea más fácil separar el cobre de otras sustancias. En esta etapa el material proveniente del chancado alimenta a grandes equipos giratorios denominados **molinos**, incorporando **agua y reactivos** para generar una pulpa que es una mezcla de partículas minerales y agua. Los fragmentos son triturados llegando a una granulometría bajo los **180 micrones**, necesarios para realizar la siguiente etapa del proceso productivo, la Flotación.

Para más información:
<https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/edic/base/port/molienda.html>



Figura 40: Molino SAG.

TIPOS DE MOLIENDA

Según la tecnología que se utilice en cada planta minera

Molienda de Barra

Molienda de Bolas

Molienda SAG

Molienda SAG es el más moderno y eficiente

4.1.2.2. Flotación

La flotación es un proceso fisicoquímico que tiene como objetivo la separación selectiva de partículas minerales valiosas las que son colectadas como **concentrados**. Las partículas no valiosas o **ganga** son eliminadas como colas o relaves de flotación.

Esto ocurre cuando las partículas del mineral molido se adhieren a burbujas de aire de manera selectiva. La propiedad que permite generar la unión de las partículas del mineral con las burbujas se llama **hidrofobicidad** porque implica capacidad para repeler el agua entre las partículas.

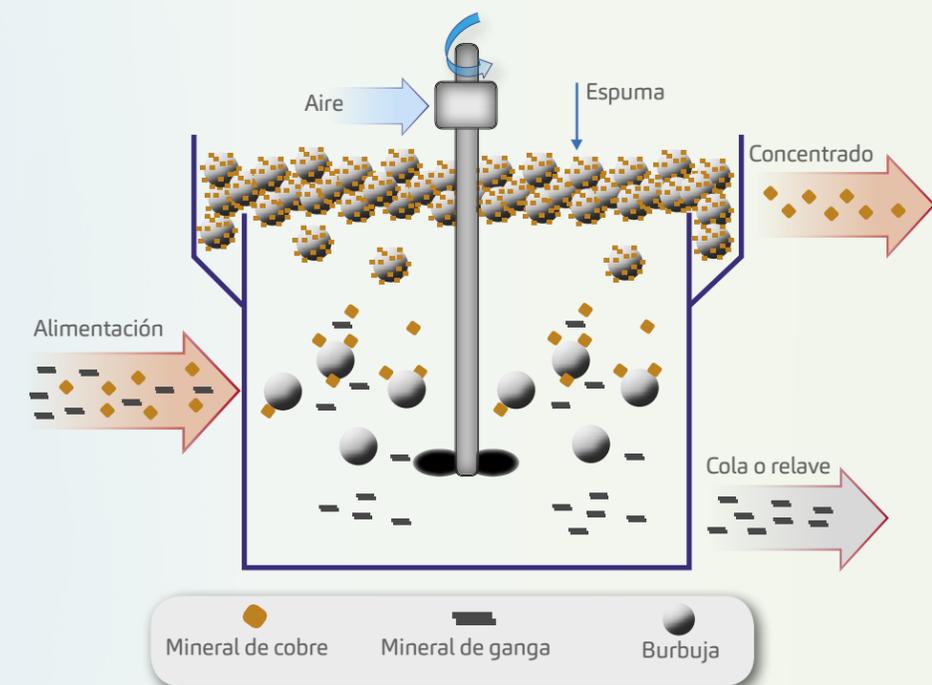
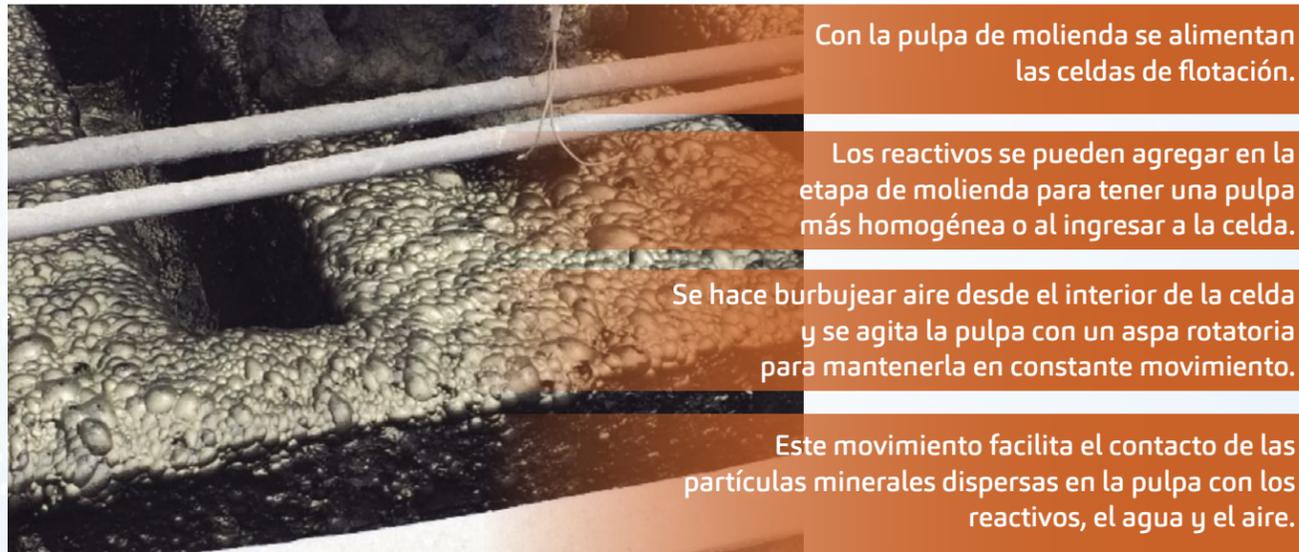


Figura 41: Celda de flotación.



Con la pulpa de molienda se alimentan las celdas de flotación.

Los reactivos se pueden agregar en la etapa de molienda para tener una pulpa más homogénea o al ingresar a la celda.

Se hace burbujear aire desde el interior de la celda y se agita la pulpa con un aspa rotatoria para mantenerla en constante movimiento.

Este movimiento facilita el contacto de las partículas minerales dispersas en la pulpa con los reactivos, el agua y el aire.

Figura 42: Espuma de flotación conteniendo partículas ricas en cobre.

Las burbujas de aire arrastran a la superficie los minerales sulfurados, rebosando el borde de la celda en forma de concentrado hacia canales que lo envían a la etapa siguiente (Espesamiento). Este proceso se lleva a cabo en reiterados ciclos, por lo que cada vez se logra un producto más concentrado. La ganga es eliminada por el fondo de la celda en forma de cola a tranques de relaves.



Para más información:
<https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/edic/base/port/flotacion.html>

Para retirar el exceso de agua de los concentrados de cobre son necesarias las etapas de espesamiento y filtración.

Hidrofobicidad en los minerales
Puede ser de dos tipos:

NATURAL

Molibdenita, grafito, carbón, azufre, pirofilita

INDUCIDA

Por reactivos químicos como es el caso de los sulfuros de cobre

Tipos de reactivos

COLECTORES

Permiten inducir hidrofobicidad en partículas minerales, generan que se separen del agua y se adhieran a la burbuja de aire para ser colectadas.

Los más utilizados son los xantatos en sulfuros de cobre.

ESPUMANTES

Estabilizan las burbujas y aumentan el área superficial para actuar sobre los minerales (adhesión partícula-burbuja). Más utilizados DF 250 y MIBC.

MODIFICADORES

Permiten manejar las condiciones fisicoquímicas del sistema para mejorar la eficiencia del proceso de flotación. Entre ellos están los reguladores de pH para mantener una condición óptima en el proceso de flotación, los activadores para mejorar la adhesión de colectores, dispersantes para evitar aglomeraciones indeseadas y depresantes que se adhieren a los minerales no valiosos para inducir un carácter hidrofílico en su superficie o evitar que se adhieran los colectores.

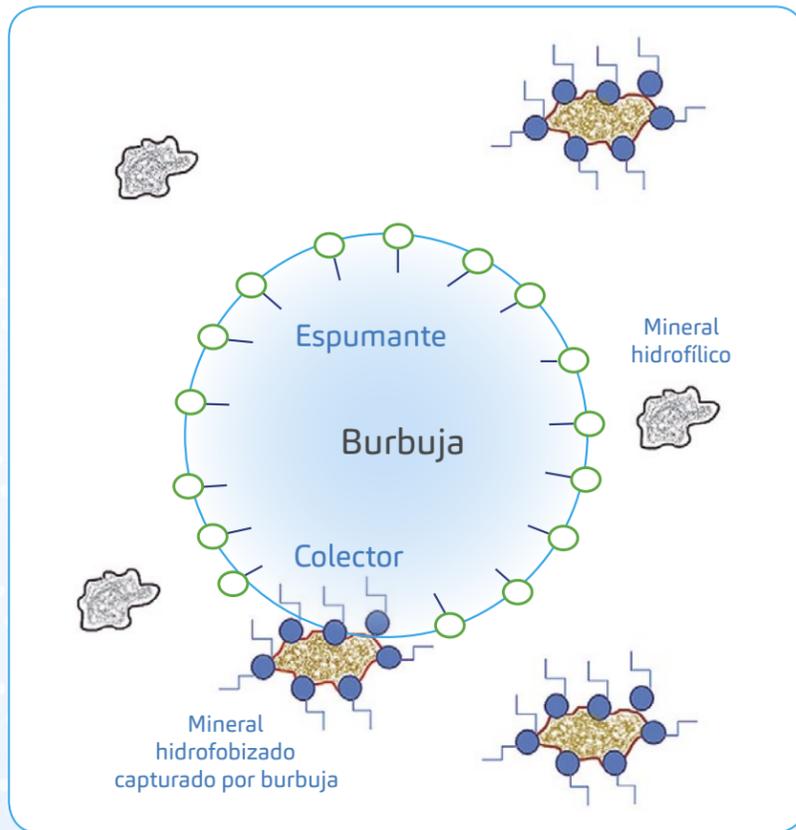


Figura 43: Esquema de una burbuja inmersa en solución acuosa con moléculas de espumante, que captura un sólido recubierto con moléculas de colectores en presencia de partículas hidrofílicas.

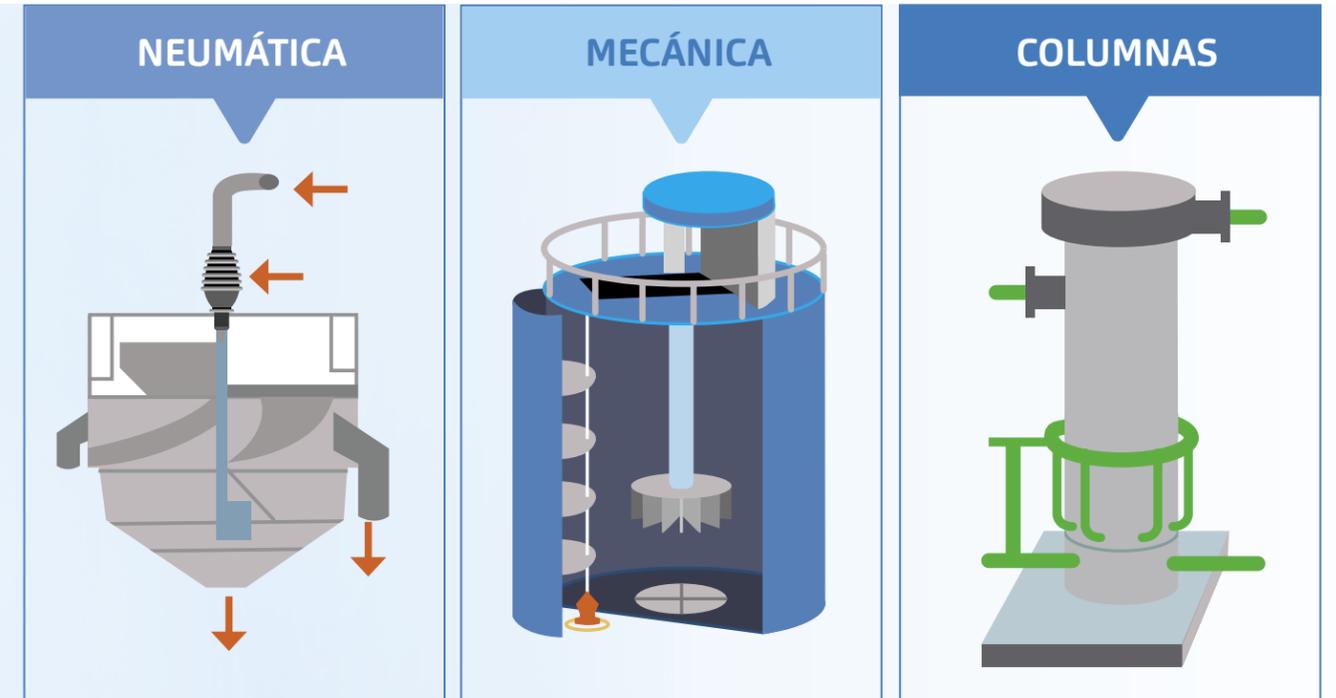


Figura 44: Tipos de celdas de flotación.

Celda de flotación

Es un estanque agitado diseñado de tal forma de promover la generación de agregados partículas-burbuja y su posterior separación selectiva desde la pulpa.

Existen tres tipos:

MECÁNICAS

Es el tipo más común de gran tamaño, caracterizado por un impulsor mecánico que agita la pulpa y la dispersa. Genera burbujas de 1-5 mm y permite altas recuperaciones.

NEUMÁTICAS

Carecen de impulsor, utilizan aire comprimido para agitar y airear la pulpa. Generan burbujas pequeñas (400 micrones).

COLUMNAS

Se caracterizan por tener un flujo en contracorriente de las burbujas de aire con la pulpa y de las burbujas mineralizadas con el flujo de agua de lavado. Altura: 9-15 m Diámetro: 0,5-3 m.

Tabla 8. Variables proceso de flotación.

Mineralógicas	Fisicoquímicas	Operacionales
Forma de grano	pH	Tipo y modelo celda
Tamaño de grano	Dosis y tipo colector	Porcentaje de sólidos
Asociaciones minerales	Dosis y tipo espumante	Dispersión de aire (J_g, ϵ_g, d_b)
Estado superficial partículas minerales	Dosis y tipo modificador	Tiempo de residencia
Porosidad	Concentración y tipo iones	Altura espuma
Impurezas e inclusiones	Concentración y tipo compuestos orgánicos presentes	BIAS
Propiedades físicas y química	Potencial redox (Eh)	Agua lavado
Estructura cristalina	Concentración oxígeno disuelto	Circuito flotación
Productos de alteración (filosilicatos, arcillas)	Tipo de agua	Reología pulpa

4.1.2.3. Espesamiento

En el proceso de **espesamiento** se aumenta la densidad de la pulpa de descarga con el fin de **recuperar** la mayor cantidad de **agua**. Gran parte del agua contenida en las pulpas de flotación es retirada en espesadores de concentrado. El producto obtenido en la descarga de los espesadores puede contener entre **50 y 65% sólido**. El flujo de agua clara recuperada se retorna al proceso productivo.

**La importancia de
ESPESAR
concentrados y relave**

- Disminuye la cantidad de agua en los depósitos
- Disminuye los costos de recirculación
- Disminuye la cantidad de agua fresca requerida

Las variables más importantes incluyen la composición mineralógica de la pulpa y las condiciones del medio (% de sólido, pH, carga iónica y especies disueltas).



Figura 45: Espesador.

Los espesadores son equipos de forma cilíndrica de separación sólido-líquido en los que una suspensión de sólidos (formando una pulpa), se alimenta a un tanque provisto de un mecanismo interno que mediante la acción de la gravedad permite concentrar los sólidos en el fondo y hace fluir el agua clarificada hacia la superficie para ser recogida en el rebose del tanque.

Para más información:
https://www.crhiam.cl/wp-content/uploads/2022/05/N°36_Serie-comunicacional-CRHIAM-Uso-de-agua-de-mar-en-minería.pdf

Sedimentación

Es el asentamiento de partículas sólidas contenidas en una pulpa.

Consolidación

El proceso termina cuando las partículas llegan al fondo del equipo de espesamiento y comienzan a descansar unas sobre otras. La consolidación ocurre justo en el fondo, donde las partículas se comprimen liberando agua.

Floculación

Es clave que las partículas sólidas de tamaño pequeño se puedan adherir entre sí para formar agregados más grandes, que sedimenten más rápido favoreciendo el proceso industrial. Para esto se agregan reactivos químicos denominados floculantes, que son polímeros o polielectrolitos de cadena larga y alta masa molecular y solubles en agua.

FLOCULANTES
+
utilizados

Los floculantes más utilizados en la industria son los sintéticos orgánicos, de carácter aniónico y de alto peso molecular.

Tabla 9. Floculantes comunes en la industria minera.

Fabricante	Nombre
SNF	Floerger 913-SH Floerger 923-SH Tec-2050
BASF	Magnafloc 1011 Magnafloc 155 Magnafloc 2025 Magnafloc 333 Rheomax 1050
Orica	Orifloc AP 2020
Kemira	Superfloc A-110

Fuente: Cochilco 2019.

El tipo de floculante y la dosis en que es suministrado se debe escoger cuidadosamente a fin de que los flóculos resultantes posean una densidad adecuada para minimizar el consumo energético de transporte hacia los tranques y maximizar la recuperación de agua clara para ser recirculada al proceso. Es importante señalar que los floculantes se escogen de la oferta disponible y la dosificación es de acuerdo a pruebas y errores en el laboratorio, plantas piloto y, en algunos pocos casos, en pruebas de campo.

Para más información:
 Serie comunicacional N°36: Uso de agua de mar en minería. Avances en el espesamiento de relaves ricos en arcillas. https://www.crhiam.cl/wp-content/uploads/2022/05/N°C2%BA36_Serie-comunicacional-CRHIAM-Uso-de-agua-de-mar-en-miner%C3%ADa.pdf

4.1.2.4. Filtración

La **filtración** es el proceso de separación sólido-líquido que consiste en hacer pasar una suspensión por un lecho poroso que retiene el sólido y deja pasar el líquido, permite una **mayor recuperación de agua** que la depositación convencional y el espesamiento de relaves.



El **agua remanente** en los concentrados espesados es posteriormente retirada mediante filtros hasta obtener un valor final que va desde **8 a 10% de humedad** en el producto final.

El producto de la filtración puede ser comercializado en forma de **concentrado de cobre** o enviado a las siguientes etapas de **fundición y electrorefinación** para obtener cátodos con un **99.99 % de pureza**.



Figura 46: Planta de filtración de concentrados de cobre.

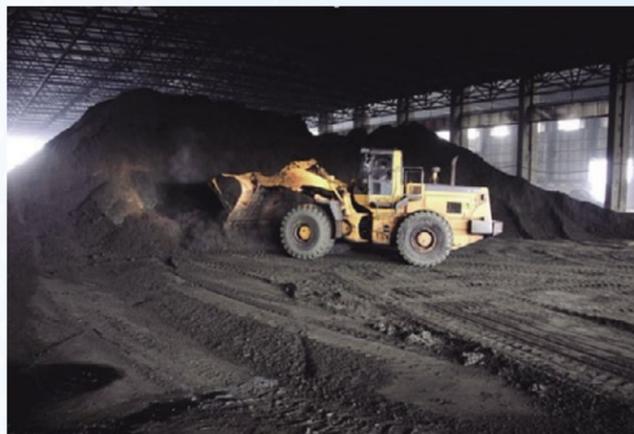


Figura 47: Acopio de concentrados de cobre.

4.2. USOS DE AGUA EN MINERÍA

4.2.1. Fuentes de Agua



Existen dos fuentes de agua según abastecimiento que se utilizan en la minería para sostener la producción y servicios anexos.



Agua Continental

Son aguas superficiales (vertientes, esteros, ríos, quebradas, lagos, lagunas, pantanos y embalses), aguas subterráneas (acuíferos o embalses subterráneos y aguas de mina o aguas halladas) y aguas adquiridas a terceros (se compra el agua directamente).



Agua de origen Oceánico

Son aguas provenientes del mar que pueden ser previamente desalinizadas o utilizadas directamente en el proceso minero.



Figura 48: Fuentes de agua según abastecimiento en la minería de Chile.

4.2.1.1. Extracción de agua minería según fuentes 2021

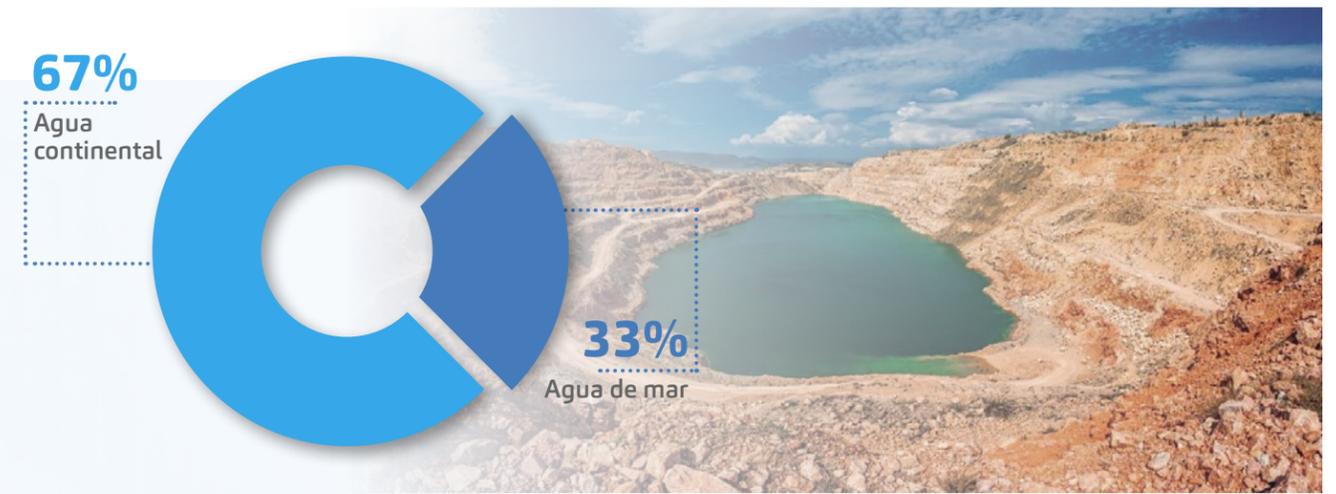
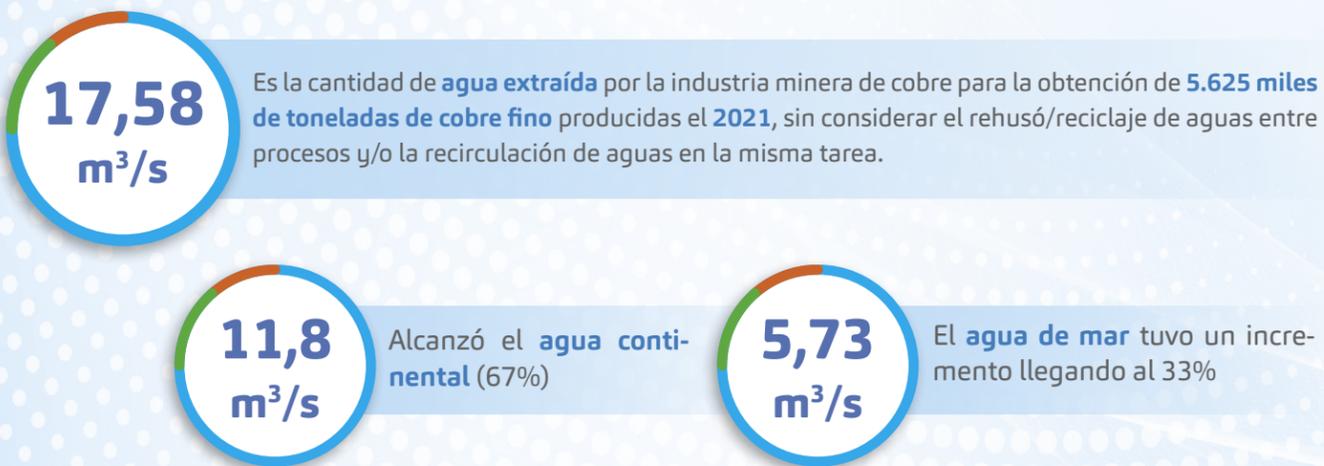


Figura 49: Extracción de agua en minería del cobre 2021.

Fuente: Consumo de agua en la minería del cobre año 2021. Cochilco.

<https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Consumo%20de%20agua%20en%20la%20minería%20del%20cobre%202021.pdf>

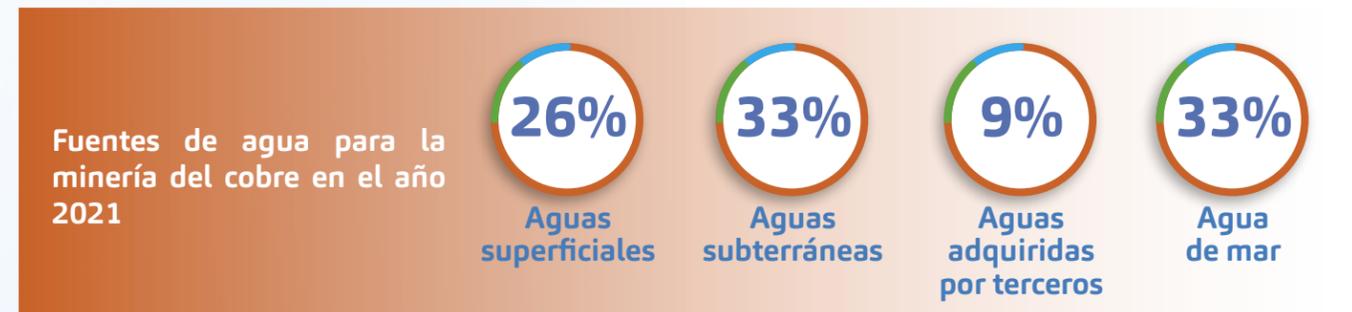


Figura 50: Extracciones de agua según fuentes de abastecimiento en la minería del cobre. Fuente: Cochilco 2021.

i Para más información:
<https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Consumo%20de%20agua%20en%20la%20minería%20del%20cobre%202021.pdf>

Aguas Continentales

Ha mantenido una **tendencia a la baja** en los últimos años, debido a la escasez del recurso hídrico que se vive a nivel nacional.

Agua de mar

Se observa una **tendencia al alza** con una tasa de **crecimiento del orden del 22%** promedio anual en los últimos 10 años, acentuándose como una alternativa para enfrentar la actual escasez hídrica.

Fuente: Consumo de agua en la minería del cobre año 2021. Cochilco.
<https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Consumo%20de%20agua%20en%20la%20minería%20del%20cobre%202021.pdf>

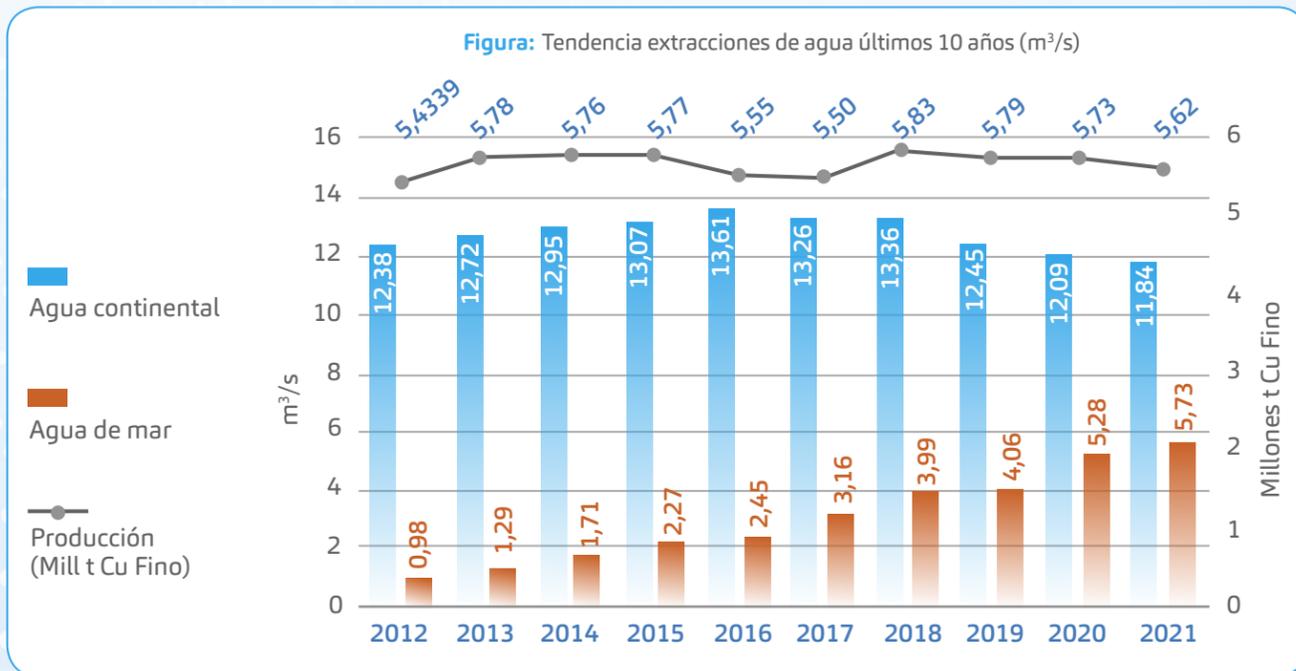


Figura 51: Tendencia extracciones de agua últimos 10 años (m³/s). **Fuente:** Cochilco 2021.

Tabla 10. Extracción de agua en la minería del cobre según fuente de extracción.

Año	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Agua Continental (m³/s)	12,38	12,72	12,95	13,07	13,61	13,26	13,36	12,45	12,09	11,84
Agua de Mar (m³/s)	0,98	1,29	1,71	2,27	2,45	3,16	3,99	4,06	5,28	5,73
Total País (m³/s)	13,36	14,00	14,66	15,35	16,06	16,43	17,35	16,51	17,37	17,58

Fuente: Cochilco 2021.

4.2.1.2. Extracciones de agua según distribución regional

Es necesario conocer la distribución regional de los requerimientos de agua para poder enfatizar los esfuerzos en las zonas con mayor estrés hídrico.

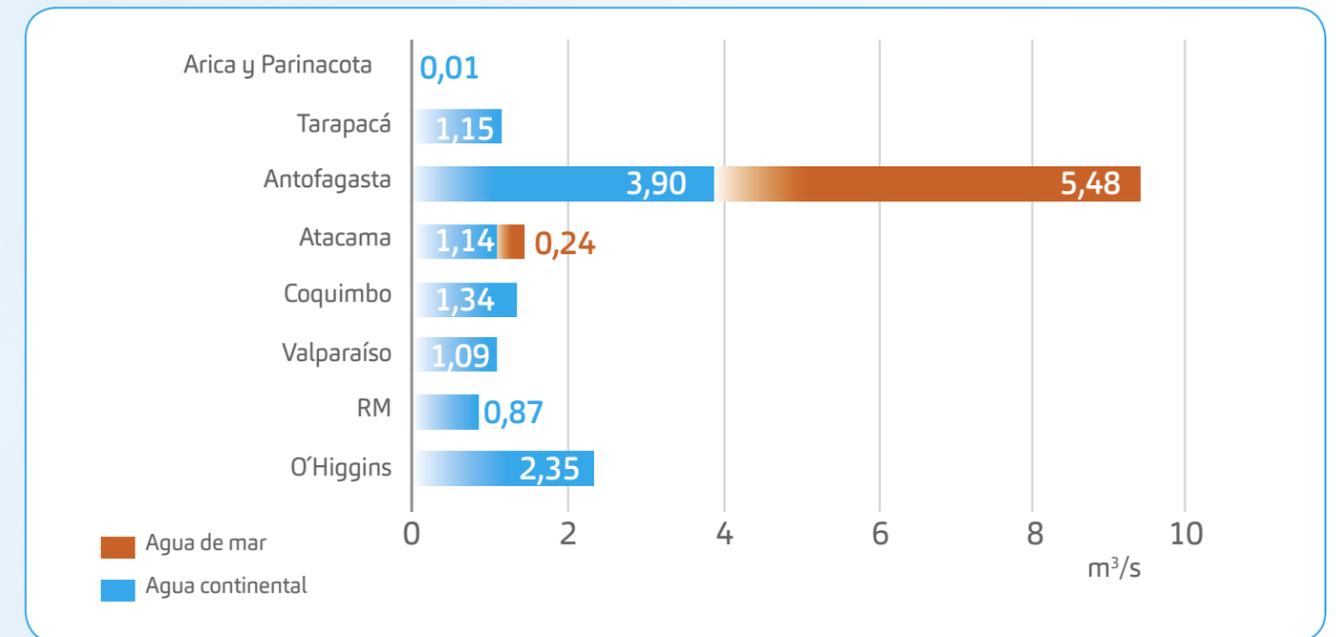


Figura 52: Tendencia agua continental y agua de mar últimos 10 años (m³/s). **Fuente:** Cochilco 2021.

ANTOFAGASTA

53%
del consumo de agua

54%
producción nacional de cobre

La zona de Antofagasta presenta el mayor consumo de agua, con un 53%, la región concentra el 54% de la producción de cobre nacional.

Si bien la minería no es el sector que utiliza el mayor porcentaje de aguas continentales a nivel nacional, esta actividad está ubicada principalmente en la zona norte y centro, donde la disponibilidad es limitada.

Fuente: Consumo de agua en la minería del cobre año 2021. Cochilco.
<https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Consumo%20de%20agua%20en%20la%20minería%20del%20cobre%202021.pdf>

4.2.2. Consumo de Agua en Minería

Se identifican y agrupan 6 distintas áreas de consumo de agua en la industria minera del cobre:

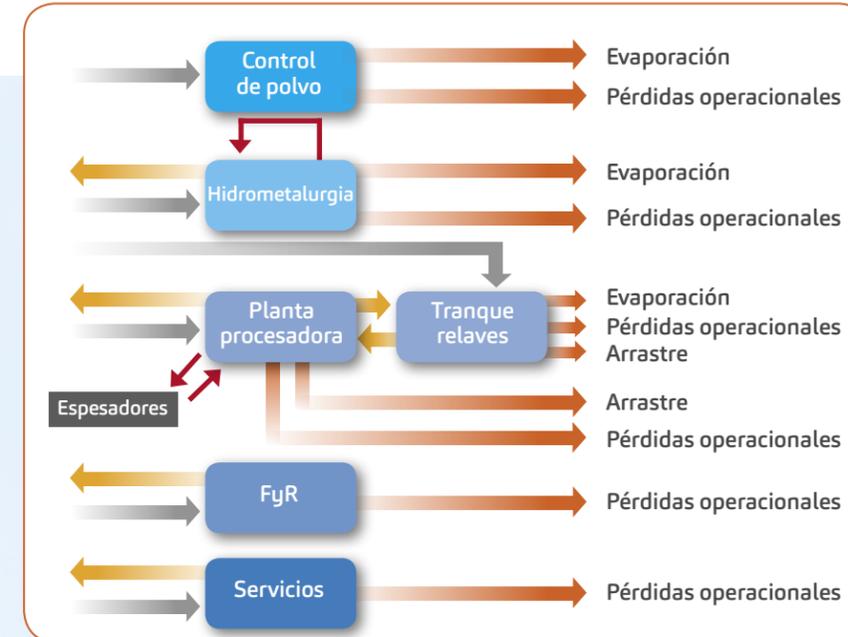


Figura 53. Esquema flujo de agua en la minería.
Fuente: Cochilco 2021.

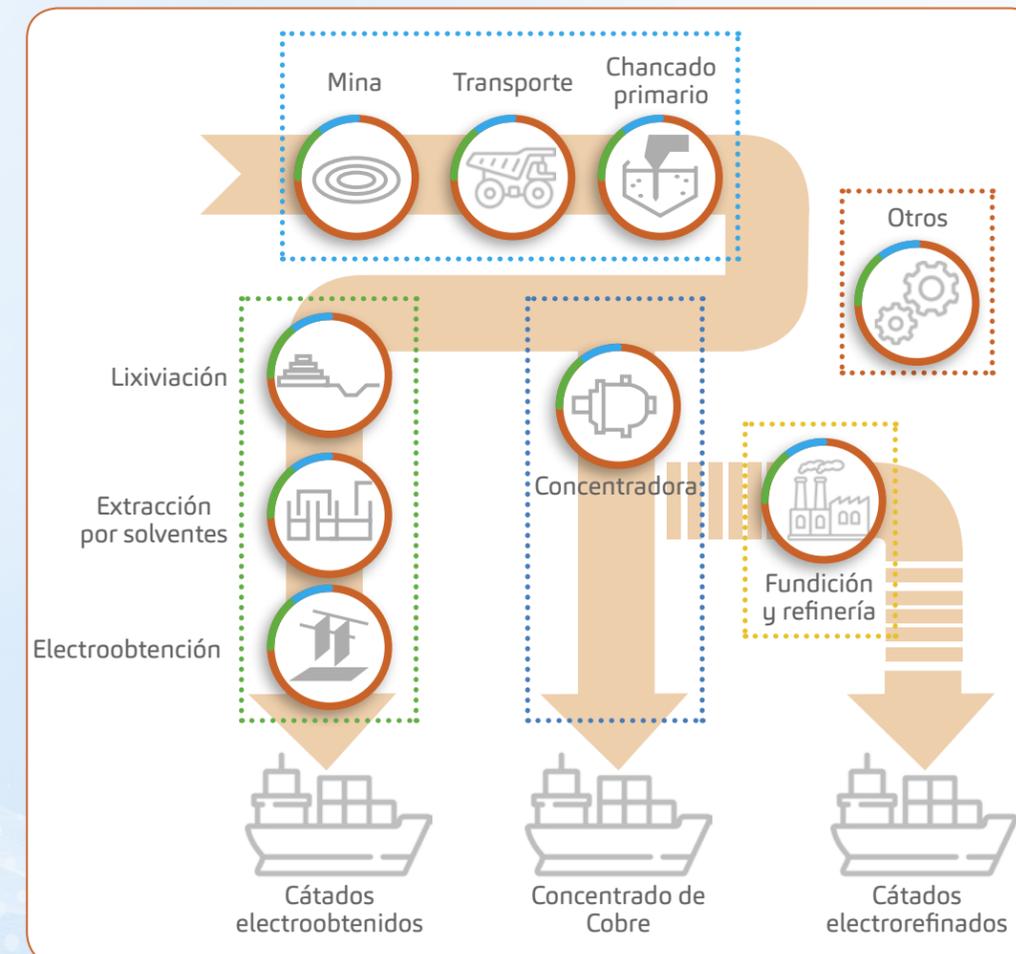


Figura 54. Áreas o procesos de consumo de agua en la industria minera.
Fuente: Cochilco.

Consumo de agua en la minería de cobre

2021



Es el área que presenta mayor consumo de agua

El proceso de concentración para minerales sulfurados se mantiene por lejos como el mayor demandante, siendo el proceso más intensivo en el uso de recursos hídricos. En el caso de hidrometalurgia, el proceso requiere menos entradas de agua, ya que la solución rica en ácido es recircula para el riego de las pilas de lixiviación.

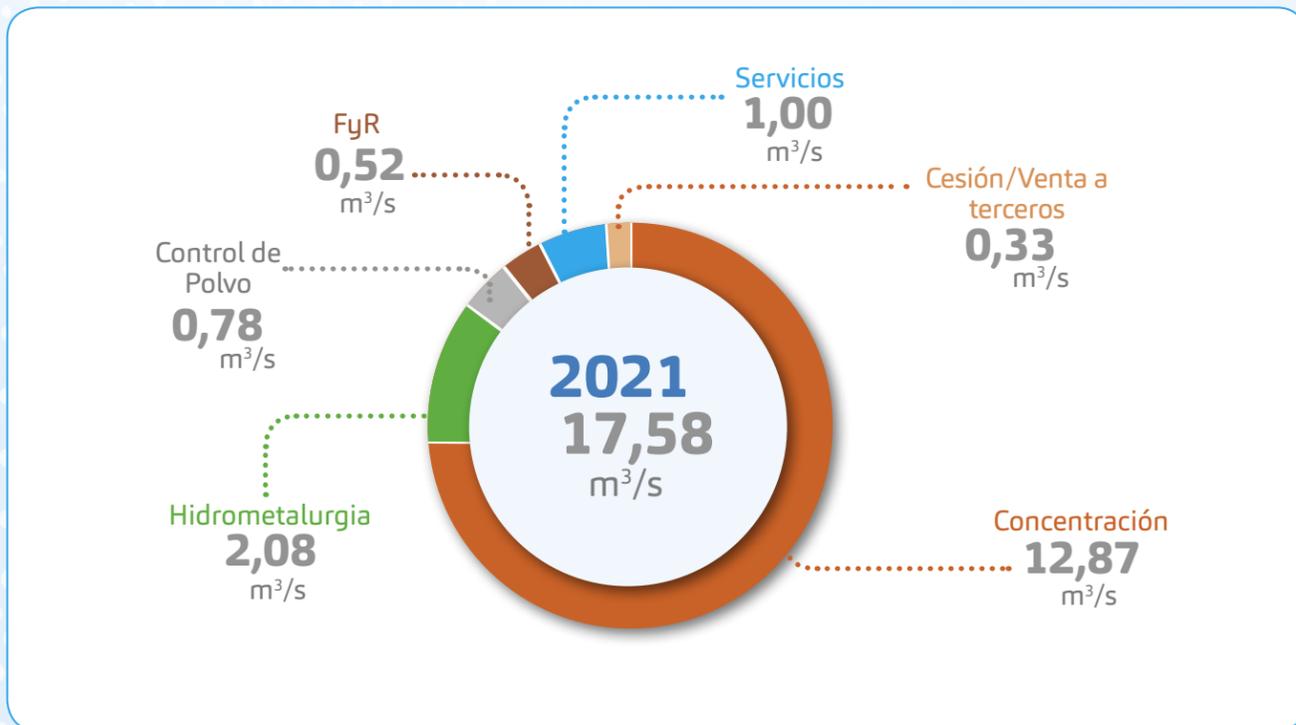


Figura 55: Uso del agua según proceso en la minería de cobre. Fuente: Cochilco 2021.

Fuente: Consumo de agua en la minería del cobre año 2021. Cochilco. <https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Consumo%20de%20agua%20en%20la%20minería%20del%20cobre%202021.pdf>

4.3. GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN FAENAS MINERAS

La industria minera ha trabajado intensamente en la reducción del consumo de agua por tonelada de mineral procesado, presentando una disminución hasta del 41% del consumo de agua en los procesos de concentración entre el 2012 y el 2019 (COCHILCO, 2020). Esta mejora significativa en la gestión del recurso hídrico significa que se disminuyó desde 0,52 hasta 0,36 m³/t el consumo unitario de agua continental.



Figura 56: Disminución consumo de agua en procesos de concentración (2012-2019).

MEJORAMIENTO EN LA GESTIÓN

Está asociado al desarrollo de nuevos reactivos y optimización de procesos de separación sólido líquido, que permite llegar a recircular entre un 75 y un 80% del agua empleada en los procesos de concentración.

Las empresas invierten en la gestión eficiente del recurso hídrico, produciendo relaves con menor contenido de agua y realizando un manejo cada vez más eficiente en los tranques, tanto para beneficio del ambiente, como para el proceso.



i Para más información:
Serie comunicacional N°34: Calidad de agua y su uso en la minería.
https://www.crhiam.cl/wp-content/uploads/2022/03/N%C2%B034_Serie-comunicacional-CRHIAM-Calidad-del-agua-y-su-uso-en-la-miner%C3%ADa.pdf

El **consumo de agua** en la minería nacional ha aumentado debido a la puesta en marcha de algunos proyectos mineros nuevos de diferentes escalas y al aumento de la capacidad de procesamiento de proyectos existentes, en cierta medida, por la necesidad de incrementar la cantidad de toneladas procesadas por tonelada de concentrado o de metal obtenido, **y por la alta demanda de cobre que se tiene a nivel mundial.**



Puesta en marcha de proyectos mineros nuevos

Aumento de la capacidad de procesamiento de proyectos existentes

AUMENTO
del consumo
de agua en
la minería



50%
disminución
en 20 años

Ley promedio de los yacimientos

El aumento de los volúmenes de procesamiento se explica porque a medida que se van explotando los yacimientos la **ley de los minerales** de interés **disminuye**.

En los últimos 20 años la ley promedio de los yacimientos ha disminuido cerca de la mitad (Concha A. et al., 2020).

4.3.1. Indicadores de Gestión

La gestión del agua en una empresa es parte importante de cualquier programa de sustentabilidad y sostenibilidad, durante todo el ciclo de vida de una operación minera.

En una gestión ambiental eficiente del agua en minería es recomendable la disminución de su consumo, el uso eficiente del recurso hídrico y el manejo sustentable de los acuíferos y ecosistemas desde donde se abastecen. Se debe contar con sistema de medición de los consumos de agua en cada etapa del proceso minero y contar con un completo balance hídrico que permita evaluar la situación actual.

ASPECTOS CLAVE

Garantizan el éxito en la gestión. Permiten manejar de forma integrada el recurso hídrico

- 1** Manejo y control adecuado de los derechos de agua disponibles.
- 2** Disponer del instrumental adecuado que permita medir en línea los volúmenes de agua en las entradas y salidas de los procesos a fin de determinar el balance hídrico de la faena.
- 3** Construcción de indicadores que permitan monitorear la evolución de los consumos y los resultados de las acciones adaptadas para mejorar la eficiencia y rentabilidad del agua.

4.3.1.1. Make up

El make up es calculado como el **volumen total de agua consumida por tonelada/unidad de material mineral procesado y/o producto final**, según corresponde para la instalación operativa. El objetivo es mostrar la intensidad de uso de agua.

Volumen total de agua: Agua continental + Agua de mar + Aguas recirculadas o recuperadas.

Fuente: Consumo de agua en la minería del cobre año 2021. Cochilco. <https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Consumo%20de%20agua%20en%20la%20minería%20del%20cobre%202021.pdf>

Make up de agua **2021**

0,76
m³/t

agua en concentradora

0,10
m³/t

agua en hidrometalúrgia

De acuerdo a estos datos las empresas no han visto un uso óptimo de los recursos de agua, sino más bien han cambiado agua continental por agua de mar.

Es importante tener un uso eficiente del agua, independiente de donde provenga, impulsando tecnología de optimización y reúso, para disminuir las entradas de agua al sistema.

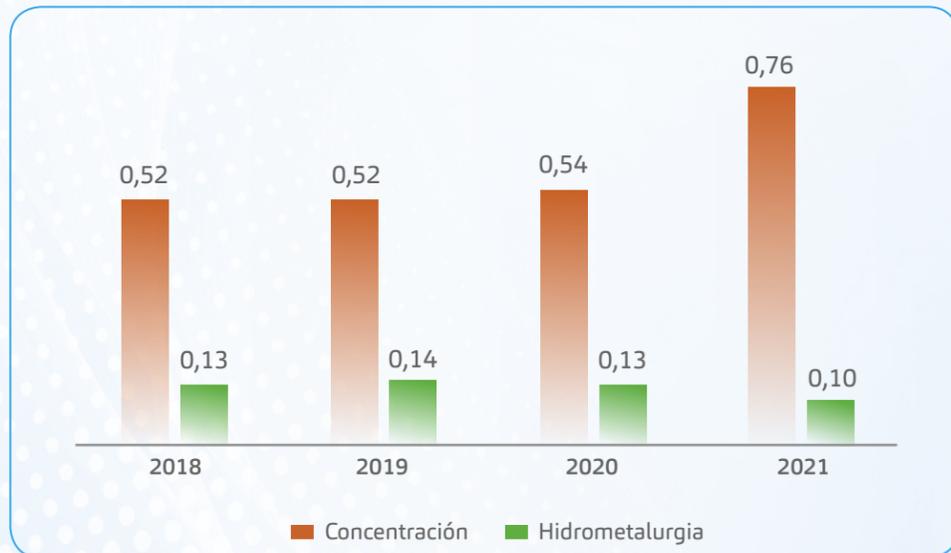


Figura 57. Make up de agua según proceso minero 2019-2021 (m³/t de mineral). Fuente: Cochilco 2021.

Se debe analizar la información de eficiencia de agua en las opresiones mineras, ya que en una adecuada gestión de los recursos es primordial privilegiar las opciones de reciclaje por sobre el uso continental.



4.3.1.2. Eficiencia operacional

$$\text{Eficiencia Operacional: } \frac{R1 + R2 + R3 + R4 + R5 + R7}{R1 + R2 + R3 + R4 + R5 + R7 + \text{Ext. agua de mar} + \text{Ext. agua continental}}$$

Los excedentes de agua del procesamiento de minerales pueden ser utilizados dentro del mismo proceso o en etapas diferentes, lo cual produce un ahorro importante del recurso hídrico.

Minerales Sulfatados

Se maximiza la reutilización de agua desde los tranques de relave y espesadores, así como también evitando fugas y minimizando evaporaciones.

Óxidos

Se maximiza recirculando las soluciones, evitando infiltraciones y minimizando el consumo de agua por evaporación.

Los volúmenes de agua recuperadas durante el año 2021 se muestran a continuación.

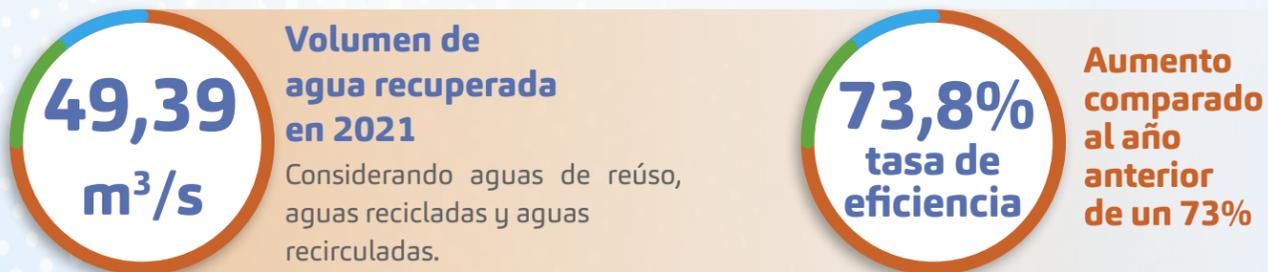
Tabla 11. Resumen flujos de aguas recuperadas y recirculadas.

Métrica	Núm.	Enfoque	Volumen (m³/s)
Recirculación y Reutilización de agua operacional	R1	Recirculación en hidrometalurgia (caudal de refinó hacia lixiviación)	17,85
	R2	Recirculación desde espesadores	20,68
	R3	Recuperación de agua en piscinas de aguas claras	6,00
	R4	Otras recuperaciones de agua (drenes, sistemas de remediación, barreras hidráulicas)	1,96
	R5	Recuperación de aguas en planta de tratamiento de aguas	0,19
	R6	Aguas desde plata procesadora a depósitos de relaves	21,24
	R7	Otras aguas que van desde una tarea a otra	2,71

Fuente: Cochilco 2021.



Figura 58. Tendencia en volumen y tasa de recuperación en operaciones mineras (2012-2021). Fuente: Cochilco 2021.



La eficiencia en planta concentradora para el año 2021 alcanzó el **64,7%**.

Fuente: Consumo de agua en la minería del cobre año 2021. Cochilco. <https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Consumo%20de%20agua%20en%20la%20mineria%20del%20cobre%202021.pdf>

Tabla 12. Aguas recuperadas (Reutilizadas, recicladas y/o recirculadas).

Año	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Agua recuperada total (m³/s)	25,367	34,291	32,138	31,708	40,382	43,269	38,069	44,867	53,325	46,977	49,394
Tasa de eficiencia total prom. (%)	8,7	74,0	73,0	73,9	72,5	72,9	69,7	72,1	76,4	73,0	73,8

Fuente: Cochilco 2021.

4.3.2. Balance Hídrico

El Balance Hídrico busca aplicar los principios del modelo de balance y simplificar los diagramas de flujo internos para visualizar de manera más fácil el uso de agua en la minería del cobre.

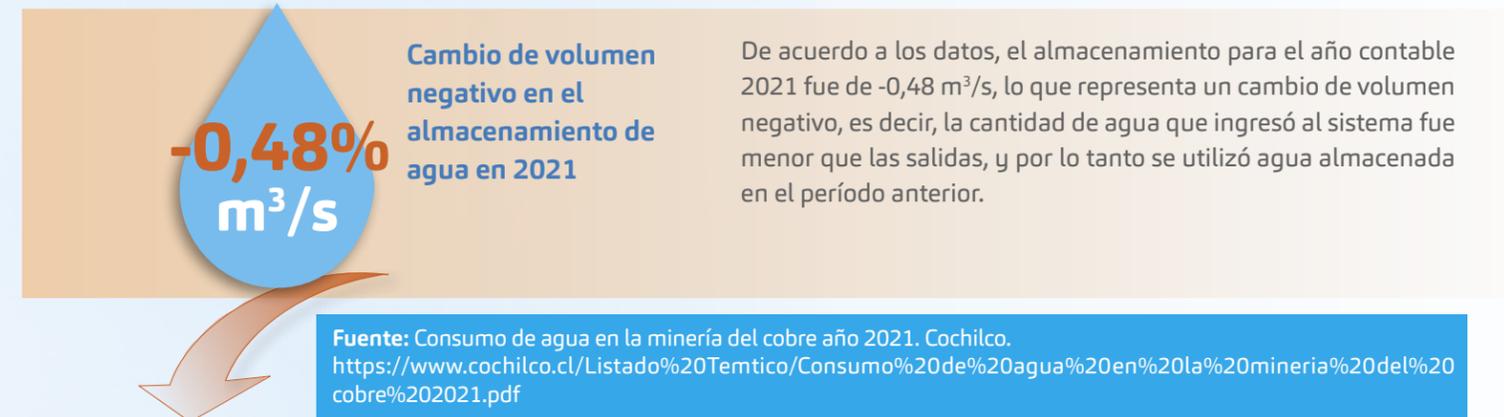


Figura 59. Balance hídrico para la minería del cobre. Fuente: Cochilco 2021.

4.4. BUENAS PRÁCTICAS MINERAS

4.4.1. Criterios y Recomendaciones Técnicas

4.4.1.1. Uso de agua recirculada

Según Cochilco actualmente en minería la tasa promedio de recirculación de agua total en procesos mineros es de 73,8% y solo en el proceso de concentración es de 64,7%, es decir, una misma gota de agua pasa varias veces por distintos procesos.



Figura 60. Cifras de uso de agua recirculada.

El aumento de uso de agua recirculada es muy importante para la reducción de agua continental en los procesos mineros. Gracias a innovaciones y avances tecnológicos cada vez se recupera más agua para ser utilizada en más de un proceso a la vez. Además, hay un mayor control de la evaporación y menos agua retenida en los relaves.



Fuente: Consumo de agua en la minería del cobre año 2021. Cochilco.
<https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Consumo%20de%20agua%20en%20la%20mineria%20del%20cobre%202021.pdf>

RECOMENDACIONES

Se requieren alternativas operacionales que mejoren la **calidad de agua recuperada**, debido a que el agua que retorna al proceso es turbia y arrastra reactivos como floculantes residuales, que luego alteran la superficie de los minerales en las etapas de recuperación, afectando los rendimientos y la sostenibilidad de los procesos. **El monitoreo de la calidad de agua** para verificar el contenido de partículas en ella es de gran relevancia por este motivo.

TIPO DE MINERAL **CALIDAD DEL AGUA**

Son parámetros que afectan directamente el rendimiento de las concentradoras, en particular la flotación. (Farrokhpay & Zanin, 2012).

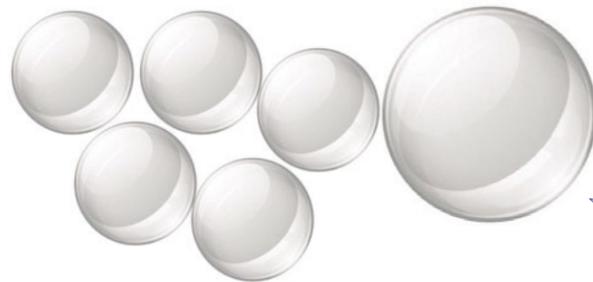
AGUA FRESCA
 Se caracteriza por una **baja cantidad de sólidos totales disueltos (TDS)** y una **alta estabilidad** debido a la **baja concentración de compuestos químicos**.

AGUA RECIRCULADA
 Se caracterizan por un **alto contenido de TDS**, altos niveles de sólidos en suspensión y reactividades particularmente altas (Dharmappa et al., 1998).





Una opción para mejorar la calidad del agua recuperada es el uso de **microesferas de vidrio** modificadas químicamente para capturar partículas finas que están presentes en el agua. El desarrollo está listo para ser implementado en procesos mineros e industriales aportando críticamente a la sostenibilidad de estas actividades.



TRATAMIENTO CON MICROESFERAS DE VIDRIO FUNCIONALIZADAS

Reduce la turbiedad del agua entre **30 y 40** veces

Figura 61: Microesferas de vidrio.

A continuación se muestra la tabla resumen de los resultados obtenidos para el tratamiento de aguas de dos empresas mineras, Centinela y Escondida.

Tabla 13. Reducción de turbiedad de aguas industriales mediante flotación de arcillas con microesferas de vidrio funcionalizadas con APTES.

Origen Agua	pH	Al inicial (mg/L)	Al final (mg/L)	Turbiedad inicial NTU	Turbiedad final NTU
Centinela	6,9	1,0	0,05	90	3,4
Escondida	7,9	1,5	0,10	30	0,7

Al: Aluminio; NTU: Unidad nefelométrica de turbidez, expresada habitualmente con el acrónimo NTU (Nephelometric Turbidity Unit).

Las empresas necesitan aumentar la recirculación, disminuir el make up de agua, y clarificar mejor y más rápido. Los resultados de esta innovación contribuyen a la sustentabilidad hídrica de la industria minera y otras que recirculan aguas con contenido de arcillas.

Fuente: Serie comunicacional N° 37: Calidad del agua recirculada en operaciones mineras. Mejoramiento mediante microesferas de vidrio químicamente funcionalizadas. https://www.crham.cl/wp-content/uploads/2022/06/N%C2%B037_Serie-comunicacional-CRHAM-Calidad-del-agua-recirculada-en-operaciones-mineras.pdf

4.4.1.2. Uso de agua de mar

En la actualidad una alternativa ante el aumento de la demanda hídrica en los procesos mineros es el uso de **agua de mar**, cuya demanda va en crecimiento. Este aumento se debe principalmente a la **mayor cantidad de mineral procesado** en las plantas concentradoras por la disminución en leyes del mineral a extraer e **incremento en proyectos cupríferos de sulfuros**.

Hay empresas emblemáticas que han utilizado agua de mar desalada en sus procesos, como Minera Escondida, o directamente sin proceso previo de desalinización, como Minera Centinela.



Composición del agua de mar



Tabla 14. Concentraciones de iones en agua de mar.

Especie iónica	Valencia	Concentración, ppm
Cloruro	-1	19.345
Sodio	1	10.755
Sulfato	-2	2.702
Magnesio	2	1.295
Calcio	2	416
Potasio	1	390
Bicarbonato	-1	145
Bromuro	-1	66
Borato	-3	27
Estroncio	2	13
Fluoruro	-1	1

Fuente: Floor (2006).

CONSIDERACIONES DEL USO DE AGUA DE MAR

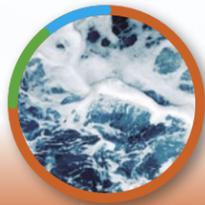
Debido a sus características, el agua de mar posee un **comportamiento buffer**, es decir, puede oponerse a grandes cambios en el pH. Por ejemplo, Castro (2012) indicó que la dosis de reactivo modificador de pH (cal) para lograr un cambio en el pH de 7 a 11 en agua de mar es diez veces mayor que en agua dulce.



El uso de agua de mar en procesos de flotación ha resultado eficaz para concentrar minerales de naturaleza hidrofóbica.



Las sales disueltas en este medio acuoso tales como el cloruro de sodio, mejoran su flotabilidad.



Otros elementos presentes en el agua de mar como el magnesio y el calcio provocan un mal desempeño en la flotación.



Ya que forman compuestos sólidos hidrofílicos sobre la superficie de minerales como molibdenita y calcopirita, provocando la depresión de estos minerales en el proceso de flotación.

(Fuerstenau et al., 1988; Hirajima et al., 2016).

La salinidad del agua no es del todo perjudicial en los procesos de espesamiento, pero si lo es en los procesos metalúrgicos.

Modifica el comportamiento de las variables metalúrgicas y genera residuos químicamente más complejos.

El agua con distintas calidades ofrece ventajas y desventajas, y cuando se decide por una calidad, entonces el proceso debe ser adaptado.

El uso de agua de mar involucra ajustes en las variables de operación, siendo el pH la más significativa por la posible precipitación de hidróxidos, que limitan la recuperación de molibdenita o la depresión de pirita.

2021



De los cuales **38% (2,17 m³/s)** corresponde a agua de mar utilizada directamente en los procesos.

Un **62% (3,57 m³/s)** es de agua previamente desalinizada.



Chile

Es el país de América Latina con **mayor capacidad de desalinización.**

Tecnología ligada a la expansión de la minería que necesita agua en el desierto norte del país.



Figura 62: Agua de mar en minería 2021.

Tabla 15. Clasificación de tipos de agua de acuerdo a la salinidad.

Clase de agua	Conductividad (dS/m)	Concentración sal (mg/L)	Tipo de agua
Sin sal	<0.7	<500	Agua para beber y riego
Poca sal	0,7-2	500-1500	Agua de riego
Moderada sal	2-10	1500-7000	Agua de drenaje primario y subterránea
Alta sal	10-25	7000-15000	Agua de drenaje secundario y subterránea
Muy alta sal	25-45	15000-35000	Agua subterránea muy salina
Salmuera	>45	>45000	Agua de mar y salmuera

1dS/m= 1 mmho/cm, la conductividad es una medida de capacidad para conducir electricidad y aumenta con la concentración de sal.
Fuente: Rhoades 2001.

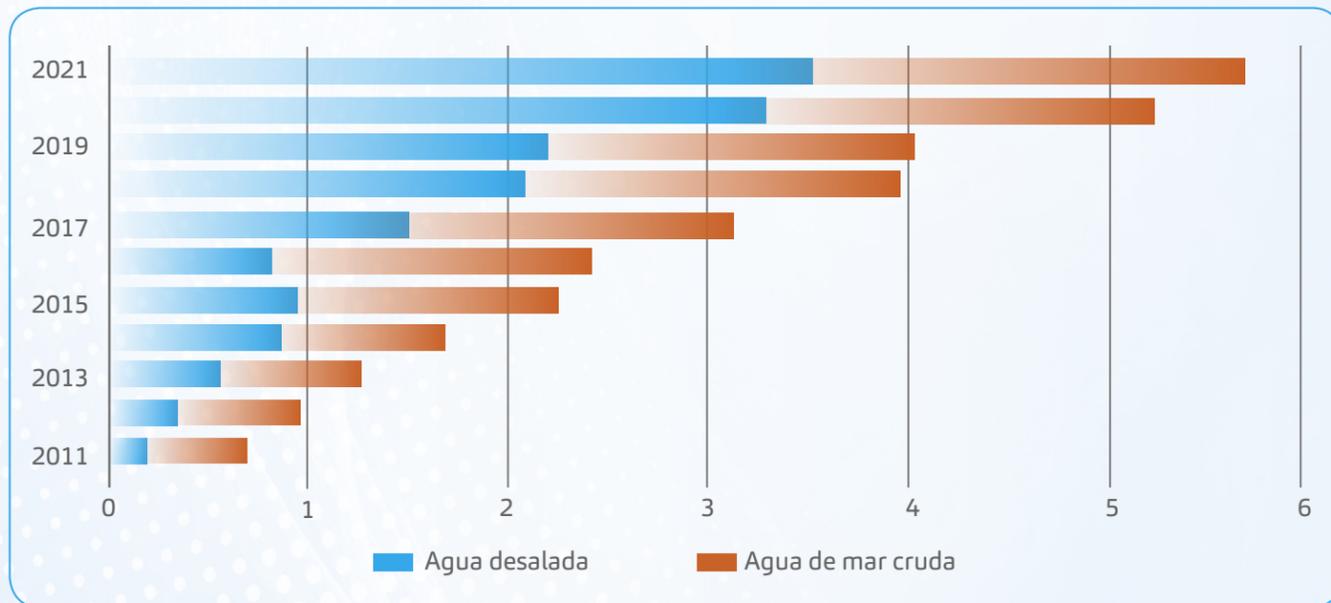


Figura 63: Distribución de los últimos 11 años de agua de mar 2021 (m³/s). Fuente: Cochilco 2021.

Tabla 16. Uso de agua de mar en la minería del cobre.

Año	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Desalada (m³/s)	0,223	0,369	0,581	0,885	0,965	0,834	1,532	2,117	2,224	3,316	3,566
Salobre (m³/s)	0,490	0,609	0,706	0,822	1,309	1,612	1,630	1,876	1,838	1,961	2,166
Total	0,713	0,978	1,287	1,707	2,275	2,446	3,162	3,993	4,062	5,277	5,732

Fuente: Cochilco 2021.

A nivel regional, el consumo de agua de mar se concentra en las regiones de Antofagasta y Atacama, representando el 96% y 4% respectivamente, esto se debe a que en la región de Antofagasta es donde se concentra la producción nacional de cobre.

5,48 m³/s

0,24 m³/s

DISTRIBUCIÓN REGIONAL DE AGUA DE MAR PARA LA MINERÍA DEL COBRE 2021 (m³/s)



Figura 64: Distribución regional de agua de mar para la minería del cobre. Fuente: Cochilco 2021.

El agua de mar desalinizada es cada vez más importante en Chile debido a la proximidad de las áreas industriales a la costa y al suministro ilimitado de este recurso. Sin embargo, los altos costos de capital y operación han limitado la adopción de la tecnología.

En Chile, las plantas desaladoras existentes están todas ubicadas en el norte. Al año 2021 existen 12 plantas operando a lo largo de la costa, muchas de las cuales están cerca de pueblos y ciudades, aunque la mayoría tiende a estar relativamente lejos de las minas. 10 de estas plantas son desaladoras y 2 corresponden a sistemas de impulsión de agua de mar, los que en conjunto representan el 33% del agua fresca no recirculada que usa la industria del cobre.

Fuente: Proyecciones de demanda de agua en la minería del cobre 2022-2033.
<https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Proyección%20de%20demanda%20de%20agua%20en%20la%20minería%20del%20cobre.pdf>

Tabla 17. Catastro de operaciones con agua de mar en minería.

Año puesta en marcha	Propietario	Mina	Región	Etapa de desarrollo	Tipo	Capacidad de desalación (L/s)	Capacidad uso de agua de mar (L/s)	Longitud tuberías de transporte de agua (km)
1994	ANTOFAGASTA MINERALS	Michilla	Antofagasta	Detenida	Detenida	-	-	-
ND	ENAMI	Planta J.A. Moreno (Taltal)	Antofagasta	Operando	Operación	-	15	0,5
1996	LAS CENIZAS	Las Cenizas Taltal	Antofagasta	Operando	Operación	9	12	7
2005	MANTOS DE LA LUNA	Mantos de Luna	Antofagasta	Operando	Operación	5	20	8
2006	BHP BILLITON	Escondida-Planta Coloso	Antofagasta	Operando	Operación	525	-	180
2010	ANTOFAGASTA MINERALS	Distrito Centinela (Esperanza + El Tesoro)	Antofagasta	Operando	Operación	50	1500	145
2013	LUNDIN MINING	Candelaria	Atacama	Operando	Operación	500	-	110
2014	MANTOS COPPER	Mantoverde	Atacama	Operando	Operación	120	-	42
2014	KGHM. INT.	Sierra Gorda	Antofagasta	Operando	Operación	-	1315	142
2015	CAP MINERÍA	Cap Minería y otros clientes	Atacama	Operando	Operación	600	-	120
2015	PAMPA CAMARONES	Pampa Camarones	Arica y Parinac.	Detenida	Detenida	-	25	12
2017	ANTOFAGASTA MINERALS	Antucoya	Antofagasta	Operando	Operación	30	280	145
2018	BHP BILLITON	Escondida EWS	Antofagasta	Operando	Operación	2500	-	180
2019	HALDEMAN	Continuidad operacional faena minera Michilla	Antofagasta	Reapertura planta exist.	Reapertura	15	70	15
2021	BHP BILLITON	Spence Growth Option (SGO)	Antofagasta	Operando	Operación	1000	-	154

Fuente: Cochilco 2021.



Si bien la industria minera es la que está usando de forma creciente la desalación para incorporar agua de mar a sus faenas, también tiene aplicaciones para la transformación en agua potable para consumo humano y, en forma incipiente, de forma tal de extrapolar esta experiencia en el campo de la agricultura.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE AGUA DE MAR EN MINERÍA

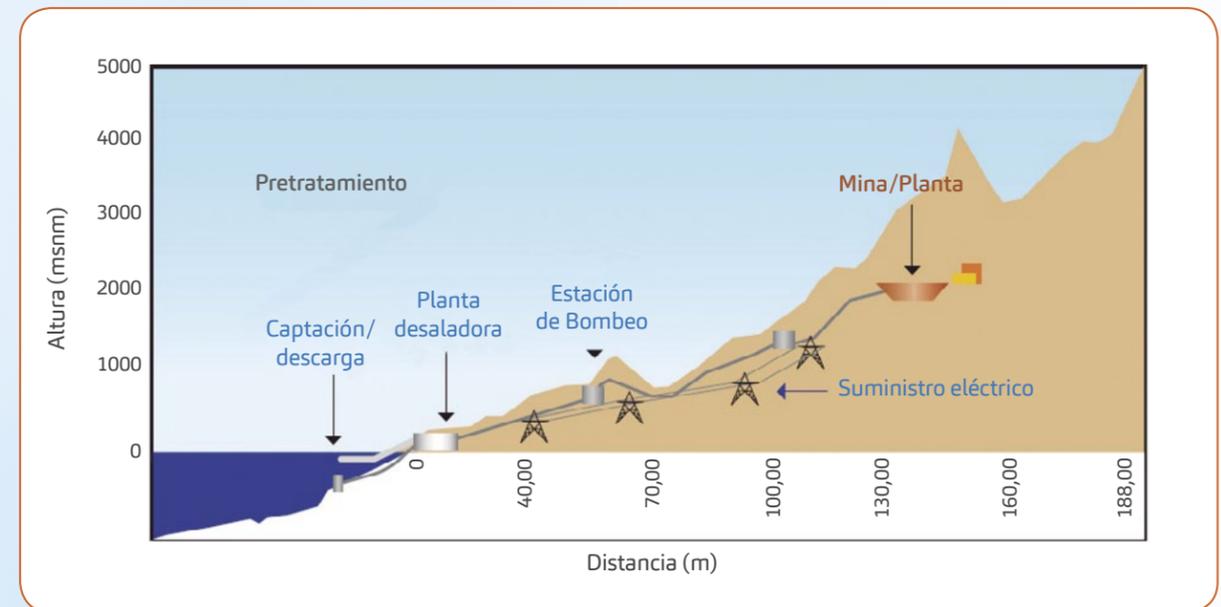


Figura 65. Suministro de agua desalada en una faena minera. Fuente: Hatch Ingenieros y Consultores, Chile.

TRATAMIENTOS AGUA DE MAR

1 Pre-tratamiento (agua de mar + cal)

La salinidad por iones cloruro no es problema para la flotación, el efecto negativo proviene de los iones magnesio y calcio, eliminarlos antes de la flotación generan agua de buena calidad metalúrgica. La remoción de iones, que da origen a agua de mar pretratada, se puede lograr mediante tecnologías como las siguientes:



Reactivos de aumento del pH, como carbonato de calcio y cal, se pueden precipitar algunos iones del agua de mar (como magnesio y calcio) produciendo sólidos que son descartados mediante filtración (Castro, 2010).



Actúa como precipitador, y una solución de hidróxido de sodio, como agente alcalinizante.



Se basa en el uso de un biorreactor de lecho fluidizado (FBB) relleno con bacterias ureolíticas Bacillus subtilis LN8B que aumentan el pH de la solución por la liberación de amonio promoviendo la precipitación de los cationes de magnesio y calcio (Arias et al., 2020).

2 Desalación (osmosis inversa)

Se utiliza una membrana semipermeable obteniéndose como producto agua desalada libre de iones, moléculas y partículas de mayor tamaño. Se utiliza para el control de incrustaciones en minería y en comunidades e industria.

3 Agua de mar cruda

Se puede utilizar en minerales sulfurados de cobre con menos de 5% de pirita utilizando reactivo metabisulfito de sodio para deprimir la pirita (Minera Centinela) al pH natural del agua de mar (6.5-8). En procesos hidrometalúrgicos no es problema.



Figura 66: Planta desaladora Punta de Zorro.

Datos de Cochilco para 2033



Figura 67. Proyecciones de agua de mar en la minería para el 2023.

El aumento acelerado y progresivo del uso de agua de mar, se debe a que al paso del tiempo la producción se centrara en los minerales sulfurados, que deben ser procesados a través de flotación, proceso mucho más intensivo en el uso de agua. La caída de las leyes hace necesaria una mayor cantidad de agua para obtener una tonelada de metal, ya que es necesario procesar una mayor cantidad de mineral.

4.4.1.3. Espesamiento de relaves mineros

AGUA FRESCA EN LA MINERÍA DEL COBRE

La retención de esta agua en los relaves y su posterior evaporación o infiltración es una de las mayores razones de este consumo.



MATERIAL EXTRAÍDO EN LA MINERÍA

Sólo una pequeña fracción del material extraído corresponde al elemento de interés económico principal que se desea recuperar. Una vez el mineral es procesado y se han extraído los elementos de interés, se generan residuos denominados "relaves", los cuales representan más del 99% del mineral procesado y deben depositarse de forma segura y ambientalmente responsable.



Para recuperar la mayor cantidad de agua en la pulpa de descarte de la flotación, conocida como relave, esta se somete al proceso de separación sólido-líquido en grandes espesadores. Con la ayuda de reactivos químicos, conocidos como floculantes, se logra separar una cantidad de agua importante, junto con aumentar el tamaño de los flóculos de los relaves, facilitando su transporte y depositación definitiva en tranques de relave.

RELAVE

Contiene toda la ganga del mineral inicial y algunos arrastres de mineral valioso junto con un 70% de agua.



i Para más información:
Serie comunicacional Crhiam N°46: Relaves mineros y su relación con el recurso hídrico.
https://www.crhiam.cl/wp-content/uploads/2023/01/N%C2%BA46_Serie-comunicacional-CRHIAM-Relaves-mineros-y-su-relaci%C3%B3n-con-el-recurso-h%C3%ADrico.pdf



Figura 68: Relaves en minería 2022.

Procesar el material de los relaves ofrece la oportunidad de recuperar el agua para su reincorporación al proceso de la planta o bien ser utilizada para otros fines. Es por esto que se requiere de una compresión acabada de la etapa de espesamiento.

Para que ocurra efectivamente el proceso de espesamiento se deben considerar diversos factores que afectan la floculación de las partículas.

Fuente: Monitoreo del estado de los relaves mineros en Chile, Cochilco.

Fuente: Serie Comunicacional "Uso de agua de mar en minería, avances en el espesamiento de relaves ricos en arcilla".
https://www.crhiam.cl/wp-content/uploads/2022/05/N%C2%BA36_Serie-comunicacional-CRHIAM-Uso-de-agua-de-mar-en-miner%C3%ADa.pdf

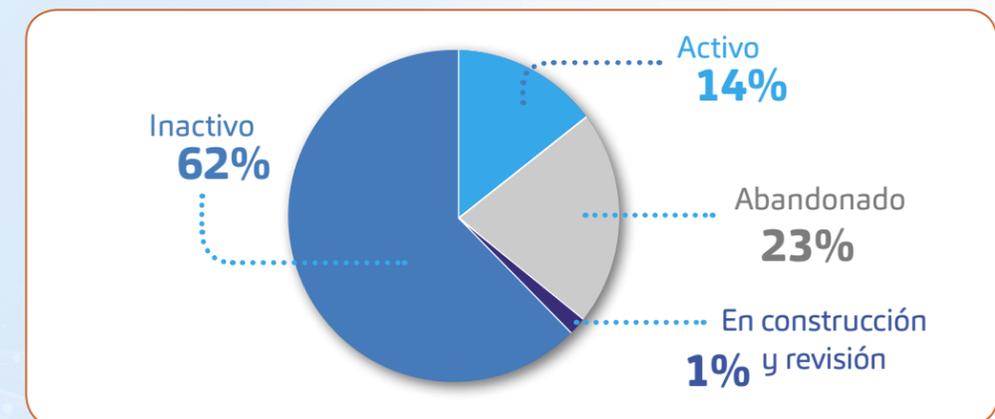


Figura 69: Distribución del castro de depósitos de relave en Chile. Fuente: SERNAGEOMIN 2022.

Tabla 18. Factores que afectan el proceso de flotación.

Físicos	Químicos	Externos
<ul style="list-style-type: none"> Características del mineral en suspensión. Floculante utilizado (peso molecular, estructura, densidad de carga, dosificación, pH pulpa, contenido de sólido) Características de las partículas (porcentaje de sólidos, distribución granulométrica, densidad). 	<ul style="list-style-type: none"> Composición mineralógica de la pulpa (existencia de arcillas en la pulpa). Condiciones del medio (pH y especies disueltas). 	<ul style="list-style-type: none"> Agitación del sistema.



Figura 70: Observables macroscópicos de la fisicoquímica.

Actualmente para enfrentar la escasez hídrica, se deben generar alternativas para el uso eficiente de agua, que en el caso de los relaves es aumentar la densidad de pulpa de estos mediante métodos de depósitos de relaves filtrados o espesados, desarrollar procesos de concentración en seco, considerar el retorno de los relaves a la mina o realizar una minería sin relaves.



Finalmente se estima en esta línea el uso de otras fuentes hídricas, como el agua de mar o aguas de menor calidad para ser usadas en el proceso de flotación, considerando el impacto que esto pudiera traer en la operación, en el transporte del agua y en la disposición final del relave (Corporación Alta Ley, 2019).

TIPOS DE RELAVE



RELAVES ESPESADOS

Depósitos de relaves donde, antes de ser depositados, son sometidos a un proceso de sedimentación en un Espesador, con el objetivo de retirar parte importante del agua contenida. El depósito de relave espesado se construye de forma tal que impida que el relave fluya hacia otras áreas distintas a las del sitio autorizado.



RELAVES FILTRADOS

Depósitos de relave donde, antes de ser depositados, son sometidos a un proceso de filtración en donde se logra un porcentaje de humedad en el sólido menor a un 20%. El relave una vez filtrado se transporta al lugar de depósito mediante cintas transportadoras o por equipos de movimiento de tierra y/o camiones. El material filtrado se deposita en forma de cono, y posteriormente, se construyen módulos de material compactado, los cuales permiten conformar un depósito aterrazado de gran volumen.



RELAVES EN PASTA

Depósitos de relave que corresponden a una mezcla de agua con sólido (entre 10-25% de agua), que contiene abundantes partículas finas (< 20 µm) en una concentración en peso del 15%, de modo que la mezcla tenga una consistencia espesa, similar a una pulpa de alta densidad. Su depósito se efectúa en forma similar al relave filtrado, sin necesidad de compactación.

Fuente: Ministerio de Minería (2021).

4.4.1.4. Manejo de arcillas

La palabra arcilla (filosilicatos) se emplea con referencia a un mineral de grano fino (menor a 2 micrones), terroso, que se hace plástico al ser mezclado con algo de agua.

La floculación de arcillas presentes en la mayoría de los yacimientos, y con gran presencia en los relaves, es difícil debido a que las partículas son muy pequeñas (tamaño coloidal), asimétricas en sus caras y bordes, y con distribución de carga distinta dependiendo de cada plano cristalino. Es por ello que es importante reducir la generación de arcillas finas durante la molienda para así disminuir la retención de agua en los relaves.



Figura 71: Arcilla caolinita.

Una característica importante de las arcillas es la hinchabilidad o capacidad de absorber agua que depende de la estructura de la partícula. Arcillas del tipo **caolinita** (más estudiada) no son hinchables debido a los fuertes enlaces que la conforman, impidiendo que moléculas de agua puedan penetrar dentro de la estructura cristalina. En tanto, la esmectita absorbe agua y se hincha producto de sus enlaces más débiles. En términos prácticos, comprender la interacción entre las partículas de arcilla y los polímeros floculantes es fundamental para el éxito de los procesos de clarificación de agua.

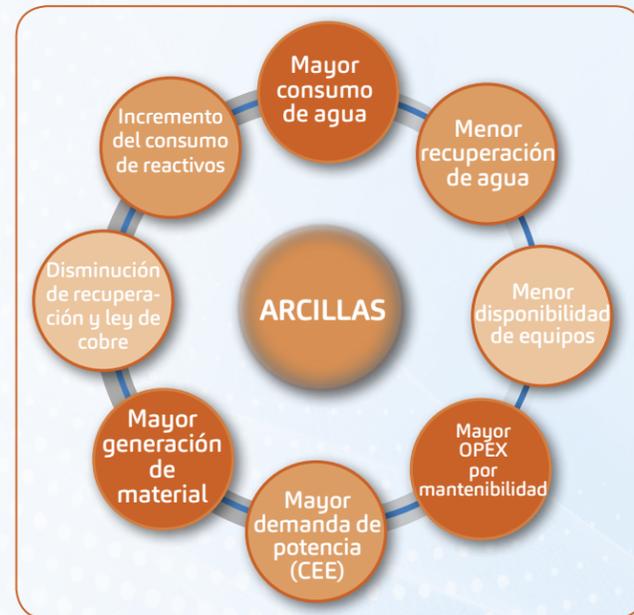


Figura 72: Efectos de las arcillas en la minería.

i Para más información:
Serie Comunicacional N° 36 "Uso de agua de mar en minería, avances en el espesamiento de relaves ricos en arcilla".
https://www.crhiam.cl/wp-content/uploads/2022/05/N%C2%BA36_Serie-comunicacional-CRHAM-Uso-de-agua-de-mar-en-miner%C3%ADa.pdf

EFFECTOS DE LAS ARCILLAS EN LOS PROCESOS METALÚRGICOS

COMINUCIÓN (Chancado/molienda)

Disminuye la eficiencia del circuito de chancado, debido a su adherencia en las placas del chancador de mandíbula y en las paredes del chancador de cono. Como alternativa se ha recomendado clasificar los finos, y alimentarlos directamente a los molinos de bolas. Modifica la reología de la pulpa, incrementando la viscosidad aparente y esfuerzo de fluencia. El aumento de la tensión de fluencia en la pulpa aumenta el consumo de energía y dificulta la tasa de fractura para mecanismos de compresión e impacto de partículas. Debido a la mayor viscosidad causada por las arcillas, los molinos deben operar con un menor porcentaje de sólidos, que disminuye la eficiencia de molienda y la capacidad de tratamiento de mineral.

FLOTACIÓN

Recubrimiento superficial de las partículas y formación de redes estructurales en la pulpa, incrementando la viscosidad y atrapamiento de ganga que reduce la recuperación y ley de concentrado. La mayoría de las arcillas tiene como base compuestos que son tipo óxidos, por lo tanto, tienen propiedades hidrofílicas y al recubrir la superficie de minerales hidrofóbicos, disminuye la probabilidad de estas de adherirse a las burbujas, disminuyendo la recuperación y ley de concentrado.

- Grupo de la esmectita aumenta la viscosidad de la pulpa aun a bajas concentraciones (4% de sólidos).

LIXIVIACIÓN PILAS

En el proceso de lixiviación, debido a su pequeño tamaño, una cantidad considerable de arcillas en el material va a producir un exceso de partículas finas y cuando este material se deposita en pilas, la porosidad se ve reducida, se generan zonas impermeables, promoviendo la disminución de la dinámica de las soluciones. La capacidad de hinchamiento de las arcillas produce un mayor consumo de ácido sulfúrico, ya que, este disuelto en agua, es incorporado a la estructura en capas de la arcilla.

ESPESAMIENTO RELAVES

Debido a la alta superficie específica de las arcillas y la presencia de gran superficie activa, con enlaces no saturados, las arcillas pueden interaccionar con diversas sustancias, en especial con compuestos polares como el agua. Las consecuencias inmediatas son el comportamiento plástico en mezclas arcilla – agua con elevada proporción sólido/ líquido y el hinchamiento o "swelling" con el desarrollo de propiedades reológicas en suspensiones acuosas. A su vez las arcillas, producto de su pequeño tamaño de partículas inciden notoriamente en la disminución de la tasa de sedimentación afectando notoriamente las recuperaciones de agua.

Fuente: <https://empiricaconsultores.cl/arcillas-en-la-industria-minera/#:~:text=La%20presencia%20de%20arcilla%20en,a%20los%20molinos%20de%20bolas.>

Recomendaciones

Separación temprana de arcillas

- Flotación selectiva de arcillas de finos antes del SAG. Aumentar la capacidad de tratamiento del SAG y mejorar las conductas de feed-back.
- Flotación selectiva de arcillas de finos en over del ciclón. Aumentar la capacidad de tratamiento de los molinos de bola y mejorar las conductas de flotación.
- Flotación selectiva de arcillas de relave antes del espesamiento de relave para mejorar la conducta de sedimentación y aumentar la altura de agua clara. (Cruz & Ipinza, 2016).

4.4.1.5. Monitoreos

Algunas actividades que deben ser consideradas dentro de los planes de monitoreo del recurso hídrico son:

- Monitoreo de las fuentes de abastecimiento, pozos, cuencas, etc. Registros fotográficos o fílmicos del estado de ellas durante toda su vida útil, medición y registro de los caudales y calidades extraídos, monitoreo de los ecosistemas asociados, etc.
- Monitoreo constante de cuencas y subcuencas, pozos, norias y vertientes para controlar disponibilidades.
- Monitoreo del nivel de las piscinas de soluciones para evitar derrames, infiltraciones y pérdidas de agua.
- Monitoreo del acuífero desde el cual se extrae el recurso, mediante el control de niveles de agua subterránea en pozos de observación, muestreo de aguas subterráneas y modelación del funcionamiento del acuífero.
- Monitoreo de las entradas y salidas de las plantas que tratan agua, tanto para su uso interno, como para su disposición final.
- Monitoreo de la estabilidad sísmica de tranques de relaves, ripios, etc.
- Monitoreo de napas subterráneas para controlar la filtración de soluciones provenientes de diferentes acumulaciones de material (depósitos de relaves, pilas de lixiviación, botaderos, etc.).

Fuente: Buenas prácticas y uso eficiente de agua en la industria minera. Comisión chilena de cobre (Cochilco).

4.4.1.6. Manejo de fuentes de recurso hídrico

En la zona donde se concentra la mayor parte de las faenas mineras en Chile, la escasez del recurso hídrico constituye una limitante para el desarrollo regional, por lo tanto, un manejo adecuado de las fuentes de abastecimiento del recurso, sean éstas superficiales o subterráneas, resulta tan significativo como una reducción en el consumo.



Dentro de las mejores prácticas relacionadas con el manejo de fuentes del recurso hídrico se encuentran las siguientes:

- Reconocer que el recurso hídrico de la escorrentía superficial puede ser muy variable y debe ser reforzado con pozos y/o embalses interanuales.
- Tener en consideración que el recurso hídrico subterráneo tiene una capacidad de recarga limitada y debe ser monitoreado permanentemente para asegurar que se mantienen las tasas de extracción establecidas, los niveles adecuados para el acuífero y la calidad propia del mismo.
- Buscar nuevas fuentes de agua fresca, como agua del mar, aguas mina, recursos hídricos eventuales, etc., privilegiando la obtención del recurso en las fuentes que sean menos impactadas.
- Controlar permanentemente el estado de los ecosistemas que se abastecen de las mismas fuentes. Un manejo responsable de ellas permitirá la conservación de los hábitats y de las especies que los habitan.
- Administrar y mantener adecuadamente los sistemas de extracción de agua desde pozos subterráneos, implementando sensores para monitorear los caudales succionados y controlar la cantidad de agua de pozos solicitada, dependiendo de las necesidades reales de abastecimiento.
- Trabajar en forma conjunta con las autoridades y la comunidad en el control y fiscalización del uso de los derechos constituidos de las aguas.

Fuente: Buenas prácticas y uso eficiente de agua en la industria minera. Comisión chilena de cobre (Cochilco).

4.4.1.7. Extracción, transporte, almacenamiento y distribución

El recurso hídrico a utilizar en la faena se dispone en piscinas o en estanques de almacenamiento y el agua se distribuye a través de bombas, válvulas y cañerías dentro de la faena.

Las pérdidas más significativas de esta etapa están dadas por la evaporación en superficies descubiertas y las fugas asociadas a roturas o mantenimientos inadecuadas de estos mecanismos.



Dentro de las mejores prácticas se destacan:

- Evaluar y planificar correctamente las instalaciones asociadas, considerando la capacidad y el potencial de ruptura de las mismas, la probabilidad y frecuencia con que se presentan flujos diferentes a los de diseño y el impacto de una emergencia sobre el recurso hídrico, dentro y fuera de la faena.
- Realizar mantenimientos preventivos adecuados a las instalaciones.
- Instalar mecanismos de detección oportuna de fugas en las líneas de agua del proceso.
- Monitorear y registrar permanentemente el nivel, calidad y caudal de los flujos distribuidos.

Fuente: Buenas prácticas y uso eficiente de agua en la industria minera. Comisión chilena de cobre (Cochilco).

4.4.1.8. Prácticas generales

PLANTA CONCENTRADORA



- Instalar espesadores de alta densidad para las colas del concentrado.
- Instalar filtros a presión en planta concentradora.
- Privilegiar el transporte hidráulico del concentrado.

TRANQUES DE RELAVE (Recirculación)



- Mejorar el diseño para obtener un mayor nivel de recuperación de aguas, ya que las mayores pérdidas en el tranque son por evaporación, infiltración y retención.
- Cubrir el fondo y muro del tranque con material impermeable como grava, arcilla o rípios de lixiviación.
- Acumular los finos en el fondo del tranque para impermeabilizarlo y evitar infiltración.
- Instalar un dren basal en los tranques para disminuir las pérdidas por infiltración.
- Instalar espesadores de relaves para aumentar la concentración en peso de la pulpa de relave a transportar.
- Realizar filtrado de relaves.

PILAS DE LIXIVIACIÓN



- Instalar un sistema de riego inmediatamente bajo superficie para evitar evaporación.
- Asegurar la estabilidad sísmica de las pilas.
- Realizar controles de drenaje en las pilas de lixiviación.
- Construir drenes basales, drenes intermedios y tuberías drenantes.

OTRAS



- Cubrir las piscinas de soluciones de proceso con cubiertas flotantes para evitar la evaporación.
- Automatizar las salas de bombas y los molinos.
- Instalar sistemas de detección de fugas.
- Realizar la carga a estanques, camiones aljibes e instalaciones, con procedimientos adecuados para evitar derrames.
- Utilizar válvulas para interrupción de suministro, con el objeto de evitar pérdidas de agua en caso de emergencias.
- Optimizar el riego de caminos.
- Optimizar el riego de áreas verdes. El riego por goteo es una de las alternativas de menor consumo del recurso.
- Incentivar el ahorro en la utilización del agua para consumo doméstico
- Compartir datos fidedignos y actualizados de consumo de agua en minería. En 2014 el consejo minero reunió información que ya era pública pero que estaba dispersa, la organizó y consolidó en una plataforma que se actualiza año a año y que muestra las cifras del consumo de agua en la gran minería por región, por cuenca y por empresa.

i Para más información: Web del Consejo Minero. Plataforma de aguas. <https://consejominero.cl/agua/>

Fuente: Buenas prácticas y uso eficiente de agua en la industria minera. Comisión chilena de cobre (Cochilco).

5. USO DEL AGUA PARA AGRICULTURA Y MINERÍA A TRAVÉS DE LAS CUENCAS



5.1. DISPONIBILIDAD CUENCAS HIDROGRÁFICAS

La cuenca hidrográfica es un territorio cuyo escurrimiento de las aguas superficiales confluyen hacia el mismo punto de salida y constituyen una red de drenaje común (Parra et al., 2004).

i Para mayor información: Serie comunicacional CRHIAM N° 39: "Vulnerabilidad de cuencas", Estresores y desafíos. https://www.crhiam.cl/wp-content/uploads/2022/08/N%C2%BA39_Serie-comunicacional-CRHIAM-Vulnerabilidad-de-cuenca-estresores-y-desaf%C3%ADos-final.pdf

Esta extensión de terreno la conforman tanto los cuerpos de agua, ríos, lagos, arroyos, humedales como los suelos, sean estos de cultivos, bosques, ciudades, etc. Incluye tanto las aguas superficiales como subterráneas.

Así, todos vivimos en una cuenca hidrográfica y es allí donde se desarrollan las actividades humanas. La cuenca suministra el agua para beber, para riego, industria, recreación, entre otros usos, al tiempo que proporciona hábitats para la vida.



Fuente: <https://escenarioshidricos.cl/noticia/cuenca-hidrografica-la-unidad-territorial-optima-para-gestionar-recursos-hidricos/>

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), las cuencas hidrográficas cumplen importantes funciones y aportan con múltiples servicios como:

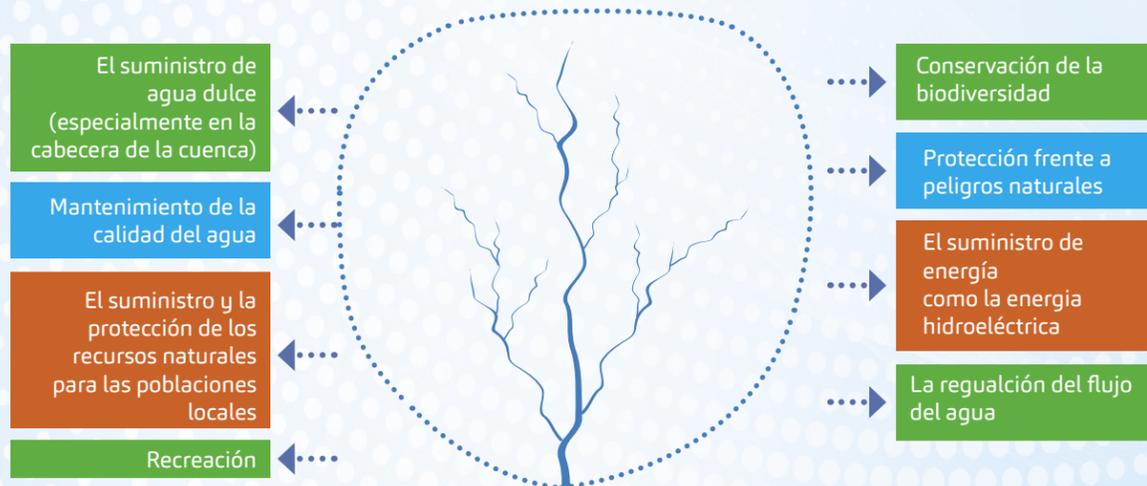


Figura 73: Diagrama cuenca hidrográfica.

Cuencas existentes en Chile

En Chile existen 101 cuencas hidrográficas y la mayoría de ellas va desde la cordillera al mar.

Cada cuenca posee sus propias características hidrológicas, hidrogeológicas, ambientales, así como económicas, sociales y culturales. Por ejemplo, acá vemos la representación de tres cuencas chilenas del norte, centro y sur donde se puede apreciar sus diferencias.



Tabla 19. Las 15 cuencas de mayor tamaño en Chile.

Macrozona	Región	N° Mapa	Nombre	Superficie (km²)
Norte	I	1	Pampa del Tamarugal	17.353
	II	2	Río Loa	33.081
	II	3	Salas de Atacama	15.576
	III	4	Río Copiapó	18.703
Centro	IV	5	Río Limarí	11.696
	RM	6	Río Maipo	15.273
	VI	7	Río Rapel	13.766
	VII	8	Río Maule	21.052
Sur	VIII	9	Río Itata	11.326
	VIII	10	Río Biobío	24.369
	XI	11	Río Imperial	12.668
	XIV	12	Río Valdivia	10.244
	XIV	13	Río Bueno	15.366
Austral	XI	14	Río Aysén	11.456
	XI	15	Río Baker	20.945

Fuente: DGA 2015



Figura 74: Mapa con las 15 cuencas de mayor tamaño en Chile.

REPRESENTACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE ACUERDO A CADA ZONA DEL PAÍS

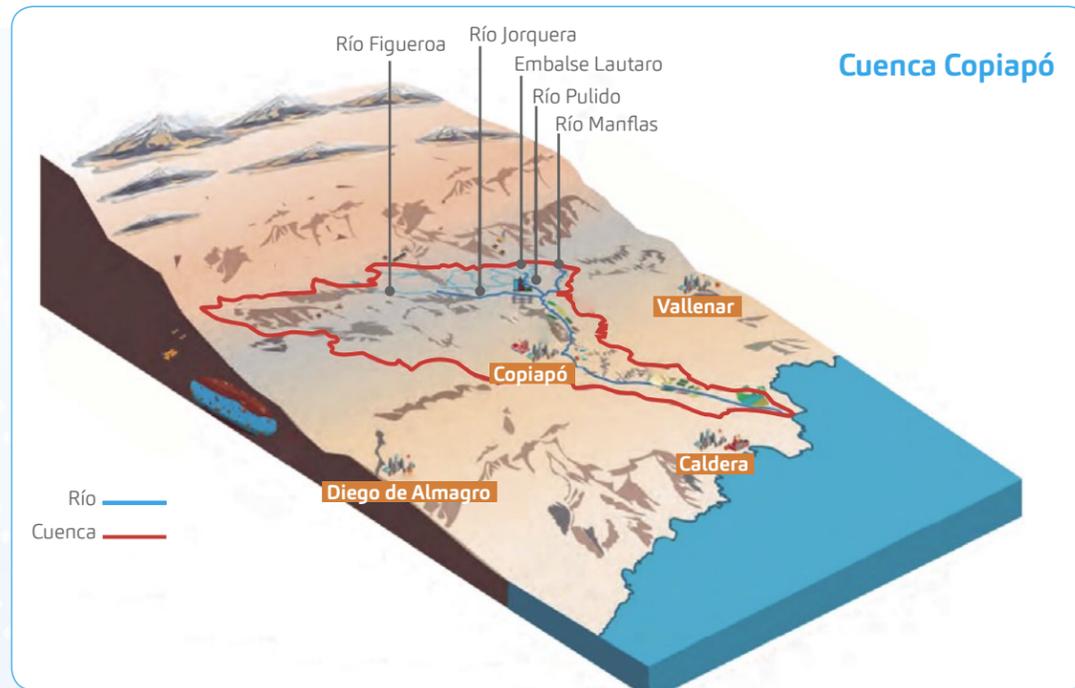


Figura 75: Cuenca hidrográfica zona norte.
Fuente: Escenarios Hídricos 2030 Chile.

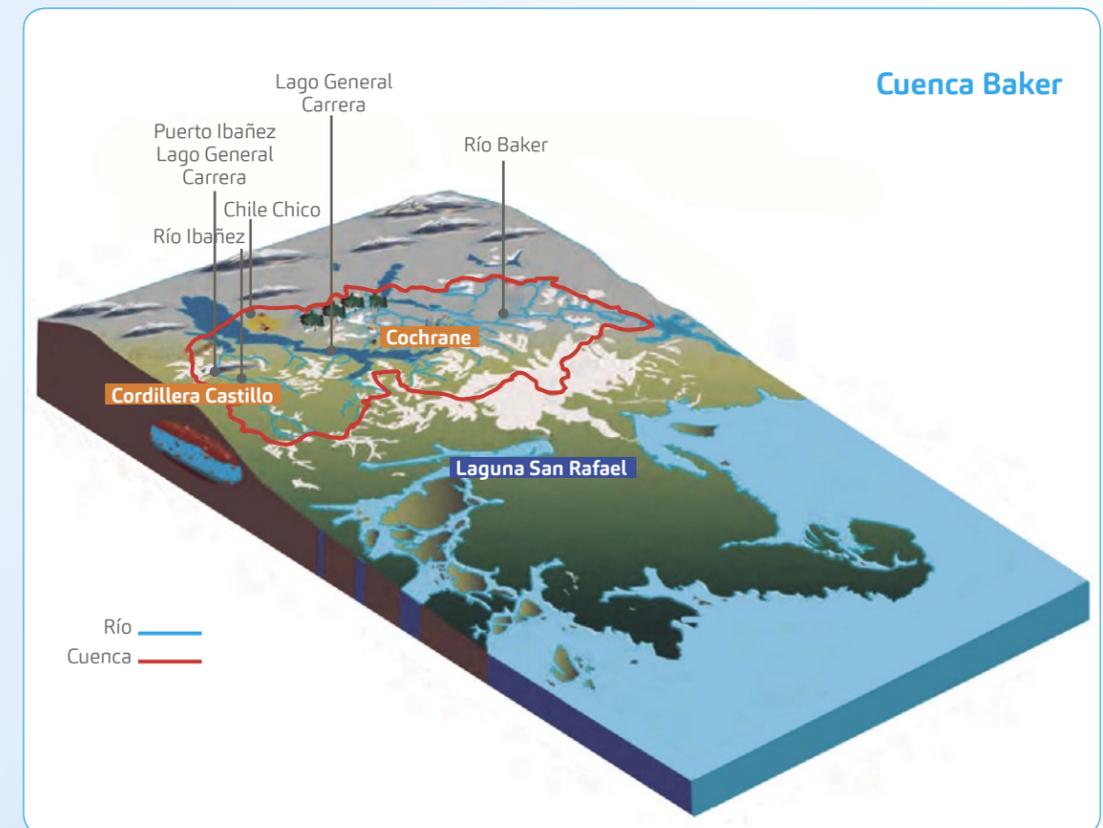


Figura 77: Cuenca hidrográfica zona sur.
Fuente: Escenarios Hídricos 2030 Chile.

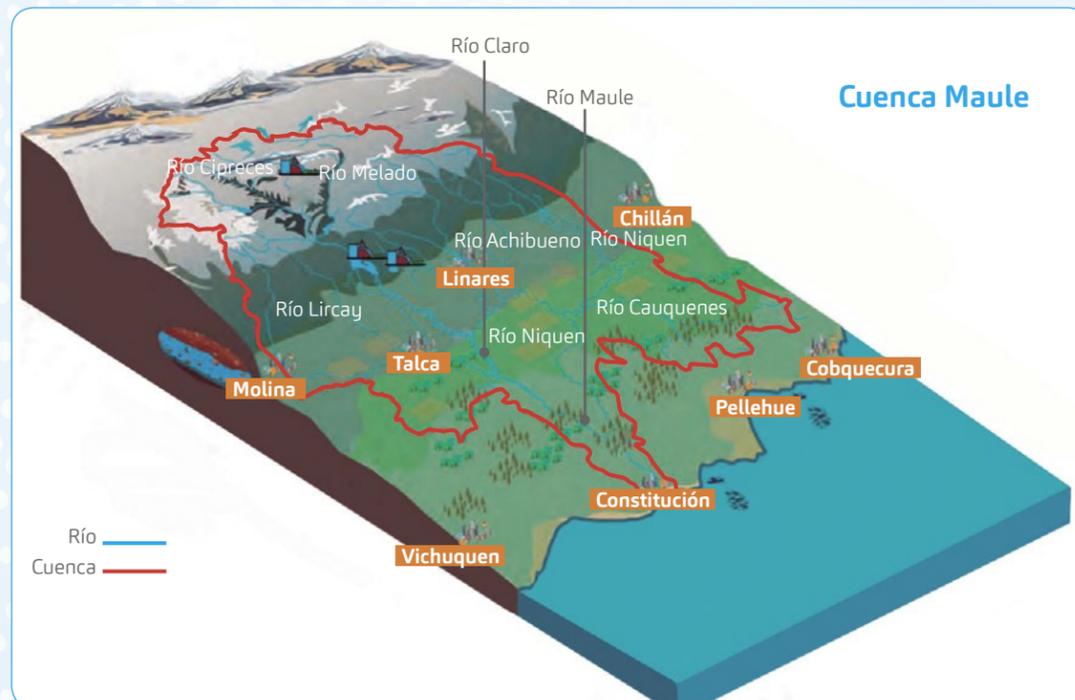


Figura 76: Cuenca hidrográfica zona centro.
Fuente: Escenarios Hídricos 2030 Chile.

Riesgo hídrico de las cuencas de Chile

Durante 2018 La Fundación Chile dio a conocer un libro titulado "Radiografía del Agua: Brecha y Riesgo Hídrico en Chile" que midió 25 cuencas hidrográficas de las 101 existentes en el país. Los nueve cursos de agua sobreexplotados son los siguientes: Río Elqui (43%); Costeras entre Aconcagua y Maipo (44%); Río Quilimarí (52%); Río Copiapó (62%); Río Limarí (87%); Río Petorca (87%); Río San José (87%); Río La Ligua (129%) y Río Los Choros (824%). Además el Balance hídrico Nacional muestra un alza en la temperatura del país y por tanto un grave retroceso en la principales cuencas a lo largo del territorio siendo los principales motivos de este último.

Fuente: Radiografía del Agua: Brecha y Riesgo Hídrico en Chile. <https://fch.cl/wp-content/uploads/2019/05/radiografia-del-agua.pdf>



Nueve cursos de agua sobreexplotados



SECTORES AGRÍCOLAS Y GENERACIÓN ELÉCTRICA

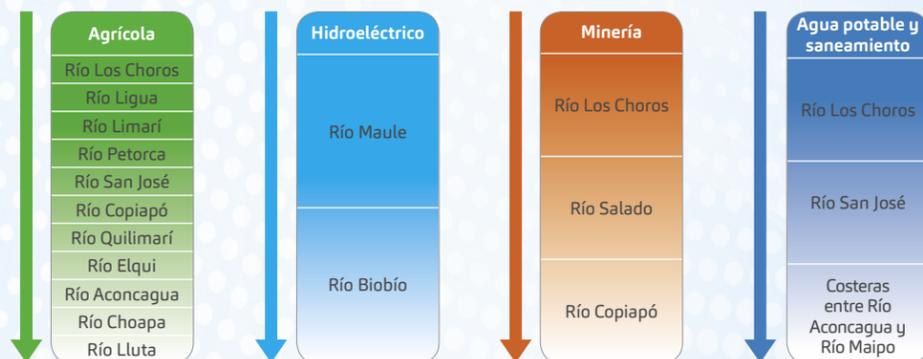
más vulnerables debido a la gran demanda de agua y la sobreexplotación de las cuencas



Cuando se analiza en el territorio la demanda de agua de los diferentes sectores, se puede apreciar que los sectores agrícolas y de generación eléctrica (hidroelectricidad) presentan la mayor vulnerabilidad para sostener su actual producción, debido a la limitada disponibilidad de oferta referencial de agua superficial y subterránea. Es decir, estos sectores frente a una reducción o cambio en disponibilidad de agua no lograrían satisfacer su requerimiento actual de agua, por lo que tendrían que reducir su nivel de producción, demanda de agua o buscar fuentes alternativas del recurso. Según la siguiente tabla se puede apreciar las cuencas con mayor criticidad por sector y por ende las que se deben evitar sobreexplotar.

Fuente: Radiografía del Agua: Brecha y Riesgo Hídrico en Chile. <https://fch.cl/wp-content/uploads/2019/05/radiografia-del-agua.pdf>

Tabla 20: Cuencas más críticas por sector en orden decreciente.



Fuente: Escenarios Hídricos 2030 Chile, 2019.

5.2. MORFOLOGÍA, TOPOGRAFÍA E HIDROGRAFÍA

Chile presenta una geografía muy particular, donde es posible encontrar un relieve conformado por cuatro unidades de planicies litorales, Cordillera de la Costa, Depresión Intermedia y Cordillera de los Andes, que estructuran las características fisiográficas de las zonas del país.

Las planicies litorales se localizan entre el Océano Pacífico por el oeste y la cordillera de la Costa por el este, entre el límite norte del país hasta la isla de Chiloé al sur. Son elevadas, muy estrechas y cortadas por acantilados en el norte; anchas en el norte chico e interrumpidas por acantilados en la Zona Central y muy anchas al sur del país.

La Cordillera de la Costa se inicia al norte del país, sur de Arica. Forma una cadena montañosa alta y continua en el norte, confundiéndose con encadenamientos transversales; en la Zona Central es longitudinal y comienza a declinar en altitud; al sur del Biobío vuelve a aumentar levemente sus cimas, e incluso recibe el nombre de Cordillera de Nahuelbuta. A medida que va avanzando en latitud, comienza a perder su homogeneidad como unidad orográfica, desmembrándose, hasta que finalmente se hunde en los canales australes.

La Depresión Intermedia se extiende entre la Cordillera de la Costa por el oeste y la Cordillera de los Andes por el este desde el extremo norte hasta el seno de Reloncaví. Es árida en el norte y más fértil en el área austral. Su extensión como rasgo continuo facilita el asentamiento de gran parte de la población nacional.

A lo largo de todo el país se presenta la Cordillera de los Andes, principal forma del relieve chileno. Sus características cambian según el área observada: en el norte dominan las depresiones de los salares, donde se presenta la cumbre más alta del país: el Nevado Ojos del Salado, con 6.893 metros de altura. La proyección como rasgo permanente la perfila incluso en el territorio antártico, donde se conoce como Antartandes.

Fuente: Relieve Chile nuestro país. <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/relieve.htm>

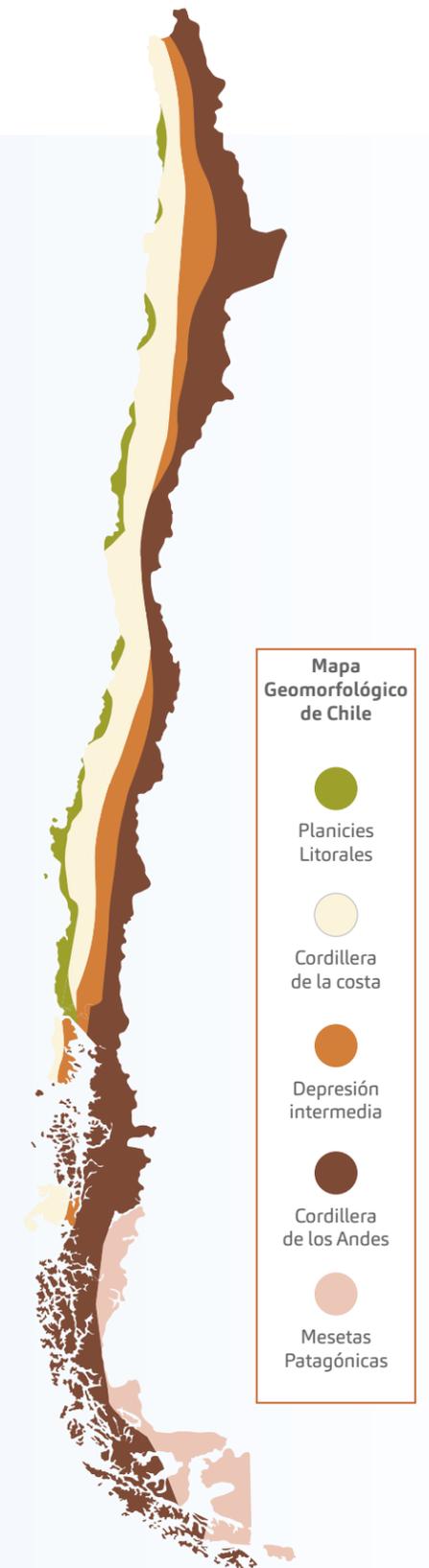


Figura 78: Mapa geomorfológico de Chile.

Hidrografía

La hidrografía chilena presenta características singulares según la región natural que se estudie. Estas condiciones se relacionan principalmente con factores como clima y relieve, los cuales influyen en aspectos como régimen y caudal.

De acuerdo con las características del escurrimiento superficial en el país, se puede señalar que existen tres situaciones distintas según el destino de las aguas y de forma general.



A pesar de lo anterior, en muchos casos, esta clasificación no resulta suficiente para caracterizar la hidrografía nacional. También resulta apropiado describir la conducta de los caudales según el tipo de régimen de alimentación.
Fuente: Hidrografía Chile nuestro país. <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/hidrografia.htm>

5.3. HERRAMIENTAS DE GESTIÓN

5.3.1. Gestión de Cuencas

Para abordar la gestión hídrica de forma sustentable hay que considerar todo el ciclo natural del agua, que en gran medida se desarrolla en la cuenca hidrográfica. Esto se debe a que las características físicas del agua generan en ese ámbito territorial un grado alto de interdependencia entre usos y usuarios. Por esta razón, la cuenca hidrográfica es la unidad donde se pueden ver y medir los efectos de las intervenciones en el ciclo del agua, y donde se puede tener mayor control de dichas intervenciones.

Cabe destacar que en una cuenca existen 3 zonas que se distinguen entre sí por la naturaleza de los procesos que ahí ocurren.



Figura 79: Diagrama usos del agua de una cuenca hidrográfica.



La creación de entidades de gestión del agua en el ámbito de cuencas, implica la ejecución de una serie de procesos que se pueden llevar a cabo en forma paralela y que son continuos en el tiempo. Estos procesos se pueden ordenar en tres grupos:

- Proceso de comunicación, concientización y sensibilización.
- Proceso de formación de alianzas y acuerdos.
- Proceso de legalización de funciones.

Fuente: Gestión del agua a nivel de cuencas (Teoría y práctica). https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6407/1/S028593_es.pdf

GESTIÓN EFICIENTE Y SUSTENTABLE

Una gestión eficiente debe propender a evitar los efectos negativos que se puedan presentar por el uso inadecuado del agua. Asimismo, la gestión sustentable debe considerar el aprovechamiento de los recursos existentes para satisfacer la demanda, asegurando el acceso al recurso hídrico por parte de la población y la satisfacción de todos los otros usos.

En este escenario, es primordial la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) y la gestión integrada de cuencas, en el entendido que cada cuenca es un territorio particular y único. En este marco las Organizaciones de Usuarios de Agua (OUA) cobran vital importancia.

Dentro de este eje también se incorpora la protección de la calidad de los recursos hídricos reduciendo al máximo posible la contaminación de éstos, ya sea a través de la implementación de instrumentos para el control de la contaminación como por ejemplo, elaboración de normas secundarias de calidad ambiental, de planes de prevención y de descontaminación asociados. Asimismo, constituye un objetivo prioritario prevenir la contaminación difusa de las aguas superficiales y subterráneas.

En lo que dice relación con la protección de la cantidad de los recursos hídricos se fija como meta aumentar la eficiencia en el uso del agua mediante el incentivo a la inversión privada en la tecnificación de riego y recuperación de flujos mínimos, por la vía de destinar estos ahorros a caudales ecológicos.

Fuente: Manual del regante. https://www.scmaipo.cl/canalistas/wp-content/uploads/2021/08/manual_regante.pdf

5.3.2. Relación con la Sociedad y Conflictos

Los principalmente cuerpos reguladores de agua en Chile son:

El Decreto de Ley 2.603 de 1979: Consiste en considerar que los usos consuetudinarios de aguas ajustados a los requisitos se constituyen como un derecho real y efectivo que merece protección constitucional.

La Constitución Política de 1980: Incorpora tres temáticas sobre el derecho de aguas (Rivera, 2020): (i) la protección de la propiedad sobre los derechos de aprovechamiento de aguas, (ii) la clasificación originaria de los derechos de aprovechamiento de aguas y (iii) establece a las aguas, de manera implícita, como bienes públicos.

El Código de Agua de 2022: En el cual el agua se constituye, como un bien nacional de uso público, pero asignado a través de derechos de aprovechamiento, que mediante la compra y venta, el recurso se distribuiría de manera eficiente.

La administración del agua es de dos tipos. La primera es ejercida por la DGA dependiente del Ministerio de Obras Públicas, cuyas funciones están relacionadas con la entrega del derecho de aprovechamiento, con el catastro y con el control de los recursos hídricos. Por otra parte, la administración descentralizada es ejecutada mediante diferentes formas de reunión y coordinación de quienes cuentan con los derechos de aprovechamiento del recurso.

Los principalmente cuerpos normativos en materias de aguas (2020):



Figura 81: Cuerpos normativos del agua en Chile (2022).

Administración del agua



Figura 82: Esquema de la administración del agua en Chile.

Organización de Usuarios de Agua (OUA)

Las podemos definir como: "Entidades con o sin personalidad jurídica, reglamentadas en el Código de Aguas, que tienen por objeto principal administrar las fuentes de agua y las obras a través de las cuales éstas son extraídas, captadas o conducidas, y distribuir las aguas entre sus miembros y resolver conflictos entre éstos y la organización".

Las principales funciones de las OUA son:

Administrar los cauces naturales o artificiales, en caso de aguas superficiales; o del acuífero, tratándose de aguas subterráneas, sobre los cuales ejerce jurisdicción.

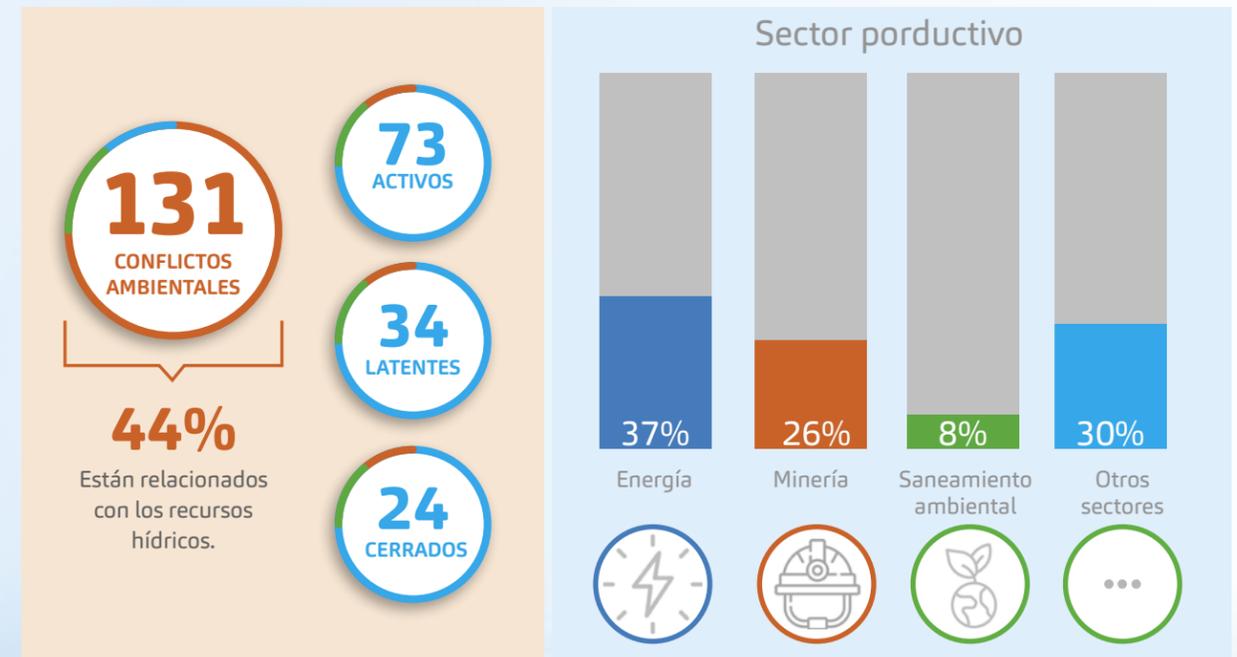
Distribuir las aguas entre los miembros de la respectiva organización.

Resolver conflictos que se susciten entre los distintos miembros de la organización o entre ésta y algún miembro, relativas a la repartición de las aguas o el ejercicio de los derechos que tengan sus integrantes.

Fuente: Manual del regante. https://www.scmaipo.cl/canalistas/wp-content/uploads/2021/08/manual_regante.pdf

CONFLICTOS POR EL AGUA EN CHILE

La conflictividad hídrica en Chile ha aumentado durante los últimos años. En la actualidad, el mapa de conflictos ambientales del Instituto Nacional de Derechos Humanos (INDH) registra 131 conflictos ambientales, de los cuales un 44% están relacionados con los recursos hídricos. Por otro lado, según el sector productivo se tiene que un 37% de estos conflictos están asociados a energía, un 26% a minería, un 8% a saneamiento ambiental y un 30% a otros sectores.



Fuente: Mapa de conflictos socioambientales en Chile. <https://mapaconFLICTOS.indh.cl/#/>
 Conflictos por agua en Chile. https://mapa.conflictosmineros.net/ocma_db-v2/agua/index/02032300?page=2

Figura 83: Conflictos ambientales en Chile.

Los conflictos por el agua en Chile, de acuerdo a Larraín (2012) están vinculados al modelo de gestión del Código de Aguas, que genera una presión importante del recurso, sobre todo en las zonas donde es más escaso. En línea con aquello, el fuerte rol del mercado y la promoción de políticas económicas de exportación basadas en la producción de cobre, fruta, madera, salmón y vino, ha incrementado el uso del agua, principalmente en el norte y centro del país (Chile Sustentable, 2004; Donoso, 2014).

CONFLICTOS DE AGUA POR ZONAS

ZONA NORTE

La escasez del agua en el norte ha confrontado a las comunidades indígenas y campesinas con empresas mineras (Larraín, 2012).

ZONA CENTRO

La explotación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos por empresas agroindustriales, hidroeléctricas y empresas mineras ha generado conflictos crecientes con los pequeños agricultores, el sector turístico y los poblados rurales.

ZONA SUR

La presencia de empresas hidroeléctricas y la contaminación que se genera por las empresas de celulosa han conflictuado la zona, particularmente con las comunidades cordilleranas, mapuches y urbanas costeras, que han visto sus actividades económicas afectadas por los monocultivos y la contaminación (Larraín, 2012).



Fuente: Conflictos por el agua en Chile: propuestas para un modelo de diálogo desde los territorios. https://politicaspublicas.uc.cl/content/uploads/2022/01/Conflictos-por-el-agua_V_5enero-1.pdf

SOLUCIÓN DE CONFLICTOS

Las OUAs tienen la facultad de resolver conflictos, como posibles discrepancias que se susciten entre los comuneros relacionadas con la organización, como el uso de las aguas, los derechos y obligaciones, reconociendo que es imposible que la legislación anticipe todas las controversias posibles de suceder en la realidad.

Reclamos de comuneros en contra de los delegados del directorio en terreno por las acciones que realizan para hacer cumplir las resoluciones adoptadas por el directorio: Situaciones tales como establecer turnos para el uso de las aguas, fiscalizar el uso que cada comunero realiza, suspender el suministro a usuarios atrasados en el pago de las cuotas, ingresar a los canales para realizar limpiezas, entre otras.

Conflictos entre asociados sobre la repartición de aguas o ejercicio de sus derechos: Se refiere a cuando dos o más comuneros se disputan el uso del agua o a cualquier controversia relativa al ejercicio de sus derechos de aprovechamiento, como que dos comuneros se peleen porque uno usa más agua que la correspondiente según su título o bien porque no respeta el turno que le corresponde. Frente a esta situación serán los propios interesados quienes pueden requerir que el directorio resuelva la controversia.

Aplicación de sanciones a los comuneros o asociados que cometan infracciones, de acuerdo con los estatutos: El directorio puede aplicar multas o sancionar con el corte del suministro de agua a aquellos que no paguen las cuotas pactadas o que falten a las juntas generales, entre otras.

Fuente: Manual intermedio para dirigentes de organizaciones de usuarios de aguas. <https://www.cnr.gob.cl/wp-content/uploads/2019/03/Manual-dirigentes-2018.pdf>

5.4. ELEMENTOS DE CAPTACIÓN, CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AGUAS

5.4.1. Captación

La captación es el proceso de obtención del agua de la fuente natural. De acuerdo con la RAE es la toma, derivación o extracción, directa o indirecta, de un caudal de agua en dominio público hidráulico que podrá tener procedencia superficial o subterránea y que se lleva a cabo en un lugar denominado punto de captación.

TIPOS DE CAPTACIONES

Aguas superficiales

Se deben ubicar de manera que no modifiquen el flujo de la fuente, ya que, cualquier cambio forzado puede causar desbordes e inundaciones aguas arriba de la captación. Tipos de captación más comunes son captación lateral, captación en lagos, lagunas y embalses, captación flotante, captación móvil, captación de manantiales, captación de alta montaña, captación de agua de mar, captación de aguas lluvia.

Fuente: Agua potable, fuentes de abastecimiento y obras de captación http://www.siss.gob.cl/586/articles-6083_recurso_1.pdf



Dentro de estas captaciones una de las más relevantes con respecto a la escasez hídrica son los embalses.



Los Embalses

Un embalse es un conjunto de estructuras construidas por el ser humano con el propósito de crear un lago artificial llamado también reservorio, para acumular agua y usarla posteriormente. La principal estructura es el muro (presa o represa) que cierra el cauce y genera el depósito de agua.

En Chile según información de la DGA se registran 1.387 embalses a lo largo del territorio nacional y sólo 41% (566) de ellos posee información técnica. De acuerdo a su uso 78,4 % son para riego, 16,9% para almacenamiento de relaves, 1,8% para fines energéticos y 2,7% para agua potable.

Fuente: Serie comunicacional CRHIAM N°13: "Los embalses y su gestión sustentable bajo el escenario de escasez hídrica" https://drive.google.com/file/d/1f2o5f0Pm--F_3aq0Dh1zLP2OUz2oheb/view

La Dirección General de Aguas (DGA) tiene el registro mensual de 25 principales embalses en 9 regiones del país, que son usados exclusivamente para riego (19), riego y generación eléctrica (6) o proveer agua potable (3).

Los embalses del país, al 08 de mayo de 2023 presentan una acumulación de **3.297 millones de m³** de agua y a la misma fecha del año pasado había **4.074 millones de m³**, por lo que el volumen almacenado presenta un **déficit de 19%** respecto a mayo 2022. Hay 12 embalses cuyo volumen actual es menor al 20% respecto a su capacidad.

Fuente: Dirección General de Aguas. Informe hidrológico semanal (08 de mayo 2023) https://dga.mop.gob.cl/productosyservicios/informacionhidrologica/Informe%20HidroMeteorolgico%20Semanal/Informe_semanal_08_05_2023.pdf

Figura 84: Embalses en Chile.

Aguas subterráneas

En la actualidad el mayor número de captaciones de aguas subterráneas se realiza mediante pozos profundos. Sin embargo, bajo condiciones de sequía en nuestro país existe otro tipo de captaciones de menor envergadura, pero no menos importantes, como norias (pozo somero), vertientes, drenes y punteras.

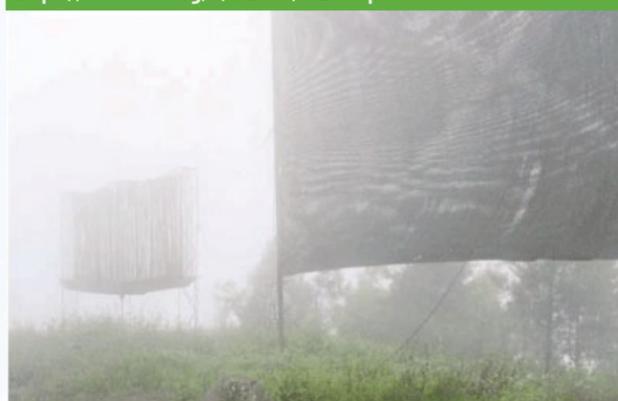
Fuente: Pozos profundos. <https://snia.mop.gob.cl/sad/SUB3094.pdf>



Agua en suspensión

La captación de niebla con fines de cosecha de agua es una modalidad que requiere condiciones climáticas y orográficas muy particulares. Básicamente, debe existir niebla densa, constante y desplazándose al ras de la superficie del terreno para que pueda ser captada con eficiencia (Cereceda, 2011). Un aspecto importante es la persistencia de la niebla. Para la factibilidad de un proyecto, debe estar presente, en condiciones de producción de agua, por un tiempo razonable durante el año. El agua en suspensión, al chocar con la malla, queda atrapada.

Fuente: Captación y almacenamiento de agua de lluvia. <https://www.fao.org/3/i3247s/i3247s.pdf>



5.4.2. Sistemas Conducción y de Distribución de Agua



Corresponden al conjunto de obras que permiten conducir las aguas, principalmente a nivel extrapredial, desde el punto de captación (bocatoma) hasta el área de riego, algunas de estas obras son: canales matrices, canoas, sifones, tuberías a presión, túneles entre otras. De manera complementaria se utilizan sistemas de distribución que permiten distribuir las aguas de acuerdo con los derechos de cada regante o según las Organizaciones de Usuarios de Aguas (OUA) existentes en el área de riego, siendo las obras más comunes: red secundaria o terciaria de canales, tuberías a presión, marcos partidores, cajas de distribución y compuertas.

Para más información: <https://www.cnr.gob.cl/agricultores/infraestructura/infraestructura/distribucion/#:~:text=Corresponden%20al%20conjunto%20de%20obras,a%20presi%C3%B3n%20t%C3%BAneles%20entre%20otras.>

<p>CANALES</p> <p>Los canales son conductos que transportan el agua desde la obra de captación hacia el área de riego y dentro del agua de riego hacia distintas zonas. Existen canales de distintos materiales como tierra, pasto o sin pasto, roca, revestido con cemento, hormigón, mampostería, tuberías, etc.</p>	<p>ENTUBAMIENTOS</p> <p>Sucesión de tuberías y piezas especiales, que unidas pueden formar una estructura de conducción de agua para riego. (Link libro obras de riego para zonas montañosas, Alfonso bottega-paul hoo-gendam, 2004, libro apunte hidráulica)</p>	<p>MARCO PARTIDOR</p> <p>Son estructuras que dividen, parten o fraccionan las aguas de un canal en proporción a las acciones de los regantes, que entran y pasan por la obra. Pueden ser de ladrillo, madera o concreto armado.</p>
<p>CAJA DE DISTRIBUCIÓN</p> <p>Estructuras de división y distribución del agua desde una acequia principal a distintos potreros o sectores del campo. Estas estructuras pueden ser realizadas en madera o albañilería según la duración que se le quiera dar a la obra.</p>	<p>COMPUERTAS</p> <p>Son dispositivos hidráulicos-mecánicos que regulan el flujo de agua en una conducción, obra hidráulica, etc. Hay diferentes tipos de compuertas según su diseño, sistema de accionamiento, presiones que pueden soportar, etc. Se suelen instalar al inicio del canal de derivación. La limitación del caudal se consigue regulando su grado de apertura que debe ser variable según la velocidad del flujo, la estacionalidad, el nivel del río, etc.</p>	<p>BOCATOMA</p> <p>Es una estructura, provisoria o permanente, que se utiliza para desviar el agua desde el río a un canal. Hay bocatoma provisoria o rústicas, como las denominadas "patas de cabra", y bocatoma permanentes consistentes en estructuras hidráulicas definitivas con dispositivos de control y medición.</p>

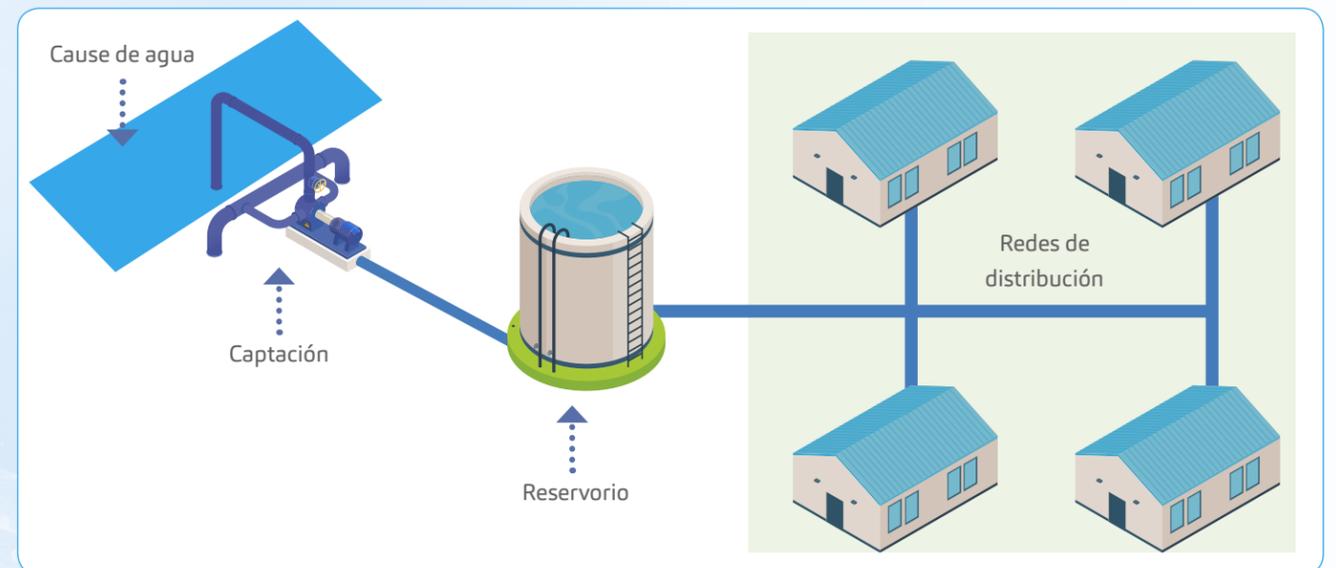


Figura 85: Sistemas captación, conducción y de distribución de agua.

5.5. RELACIÓN DE AMBAS INDUSTRIAS

5.5.1. Lixiviación

La lixiviación es un proceso en el cual se extrae uno o varios solutos de un sólido, mediante la utilización de un disolvente líquido. Ambas fases entran en contacto íntimo y el soluto o los solutos pueden difundirse desde el sólido a la fase líquida, lo que produce una separación de los componentes originales del sólido.

Tabla 21: Comparación de la industria agrícola y minera con respecto a la lixiviación.

Industria	Lixiviación (Usos y objetivo)	Productos
Agrícola	Se utiliza para extraer las sales no deseables. Cuando hablamos de lixiviación en agricultura, nos referimos a la pérdida de nutrientes vegetales solubles en agua del suelo a consecuencia de la lluvia y el riego. Para evitar esa pérdida de nutrientes, debemos tener en cuenta factores como la estructura del suelo, la siembra de cultivos o la aplicación de fertilizantes. La lixiviación se produce cuando la parte móvil de la reserva de nitrógeno mineral (nitrato) es arrastrado fuera de la zona de las raíces por una lluvia intensa o un riego excesivo. Estas altas concentraciones de nitratos son perjudiciales ya que contribuyen a la eutrofización de los cursos de agua.	La productividad del cultivo va a depender del nitrógeno, pero el ciclo del nitrógeno es permeable por naturaleza y siempre se van a producir pérdidas. Por ello, la agricultura de precisión y los fertilizantes a base de nitratos resultan esenciales para el control de la lixiviación. Con el tiempo, la lixiviación de nitratos provoca la contaminación de los acuíferos con altas concentraciones de nitrato. El consumo de agua contaminada con nitrato se encuentra asociado a graves riesgos para la salud, así como a la eutrofización de las aguas superficiales (ríos, lagos y aguas costeras) que resulta de la acumulación de altas concentraciones de nitratos de origen agrícola.
Minera	Se utiliza mayormente en la extracción de algunos minerales como oro, plata y cobre. En los yacimientos de cobre, el objetivo de la Lixiviación es que permite obtener el cobre de los minerales oxidados que lo contienen, aplicando una disolución de ácido sulfúrico y agua. Este proceso se basa en que los minerales oxidados son sensibles al ataque de soluciones ácidas.	Se obtienen soluciones de sulfato de cobre (CuSO ₄) con concentraciones de hasta 9 gramos por litro g/L denominadas PLS que son llevadas a diversos estanques donde se limpian eliminándose las partículas sólidas que pudieran haber sido arrastradas.

Fuente: Elaboración propia 2023.

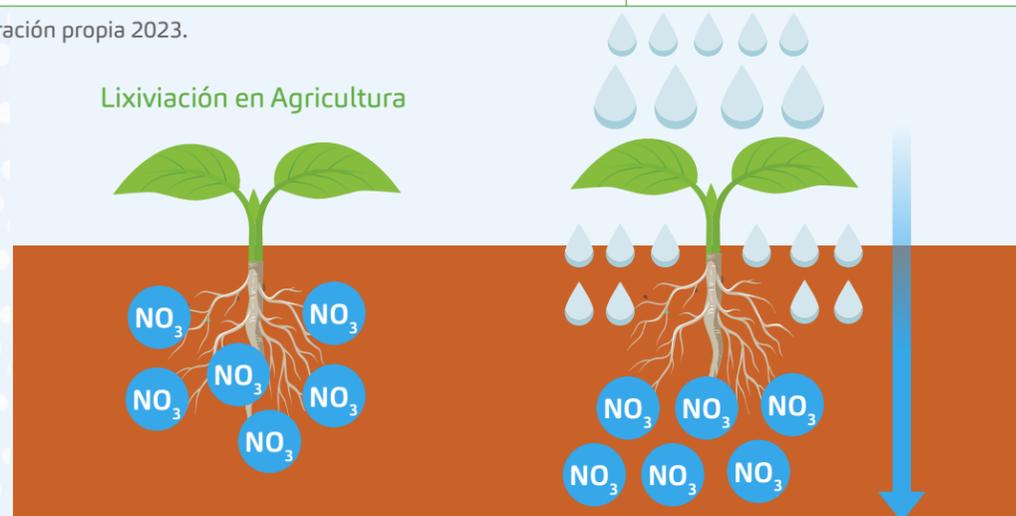


Figura 86: Lixiviación en agricultura.

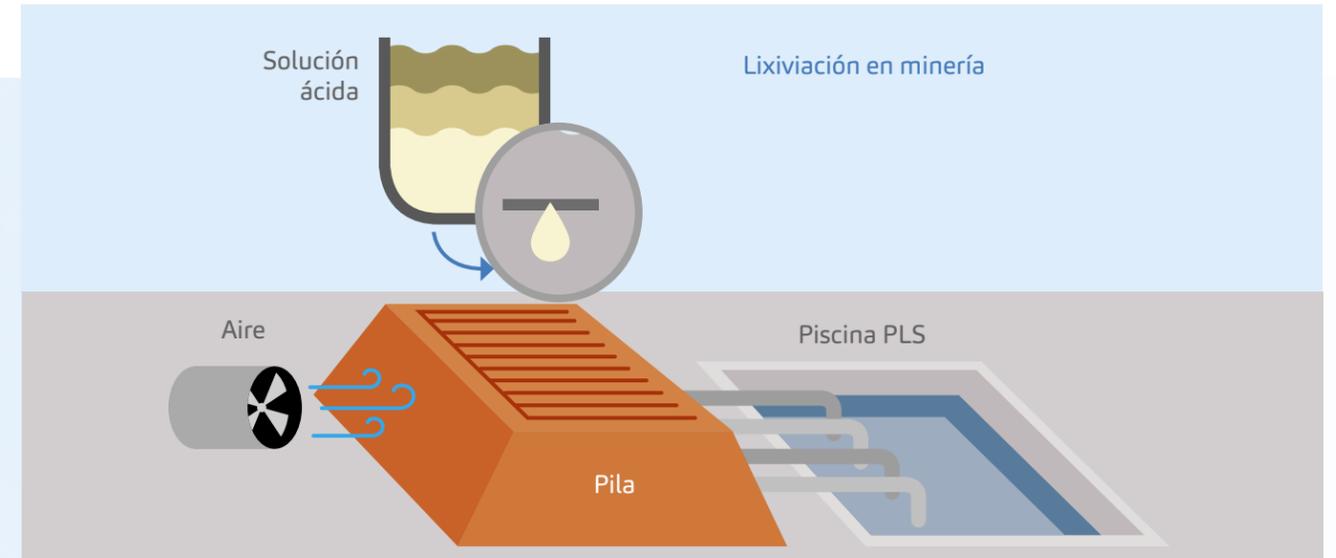


Figura 87: Lixiviación en minería. Pila de Lixiviación.

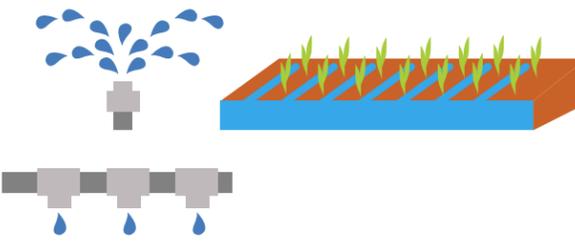
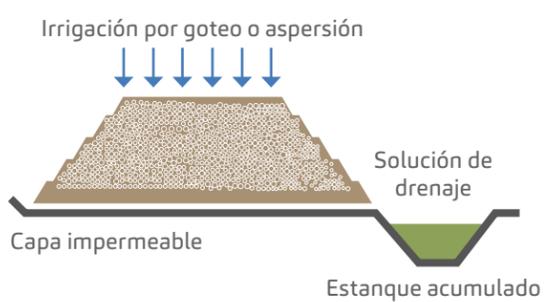
Tabla 22: Diferencias y similitudes entre la industria agrícola y minera.

Diferencias	Similitudes
La lixiviación es usada en agricultura para extraer las sales no deseables; en minería, se usa para recuperar metales.	Métodos y recursos encontrados para la lixiviación de tierras agrícolas son aplicables para la lixiviación de pilas en minería.
La toxicidad de la solución y los vientos no son problema en lixiviación en agricultura, pero en lixiviación de minerales, es un problema.	El agua es usada como el conductor básico y el eficiente uso de la solución es importante.
El químico usado en la solución de lixiviación y su efecto potencial en la seguridad y el medio ambiente. En minería se utiliza agua y ácido sulfúrico como solución lixivante.	En la agricultura y en la minería, la solución se mueve como respuesta a las mismas leyes físicas.
Las partículas y el tamaño de los espacios porosos del medio son también diferentes, y esto afecta la forma como el agua se mueve en este medio.	

Fuente: Elaboración propia 2023.

5.5.2. Sistemas de Riego

Tabla 23: Sistemas de riego utilizado en la industria agrícola y minera.

Industria	Sistemas de riego utilizados
<p>Agrícola</p> 	<p>Existen distintos sistemas de riego en la industria agrícola, que se clasifican en riego superficial, riego presurizado, riego exudante y riego por aspersión. De los cuales se eligen mediante la necesidad del cultivo, el tipo de suelo, condiciones ambientales, etc.</p>
<p>Minera</p> <p>Diagrama de sistema de lixiviación típico</p> 	<p>La lixiviación en minería se lleva a cabo gracias a la instalación de sistemas de riego, que pueden ser de dos tipos: riego por goteo o riego por aspersión. Se utiliza generalmente una tasa de riego del orden de 10-20 L/hm² y para la recolección de las soluciones se utilizan cañerías de drenaje perforadas y canaletas abiertas.</p>

Fuente: Elaboración propia 2023.



SISTEMAS DE RIEGO UTILIZADOS POR LA INDUSTRIA AGRÍCOLA Y MINERA CON DISTINTO USO.

AGRÍCOLA

SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO

Este sistema de riego presurizado, es considerado para suelos de lento drenaje, mantiene por mayor tiempo la humedad del suelo.

Material: Tuberías de PVC, polietileno, aluminio. Goteros.



SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN

Este sistema de riego, que tiene caída en forma de lluvia, es usado en suelos que tengan un drenaje rápido, en plantaciones que se encuentren en topografía irregular y a grandes distancias.

Material: Tuberías de PVC, polietileno, aluminio. Aspersores.



MINERA

SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO

Se opta por este tipo de instalación en lugares donde exista gran cantidad de corrientes de aire o haya tráfico de vehículos para evitar que los camiones se impregnen de ácido y generen contaminación cruzada en las áreas circundantes. Además, se evita que la carrocería de los vehículos se corra por efecto de estos químicos.

Materiales: Se requiere de tuberías delgadas fabricadas de un material de alta densidad. (Troncales de tuberías de HDPE o Yellomine, Líneas de goteo de 1/2" o 16mm, Conectores de línea a línea o línea a troncal de 1/2", Ochos para cerrar los terminales de las líneas y Gobernadores de presión).

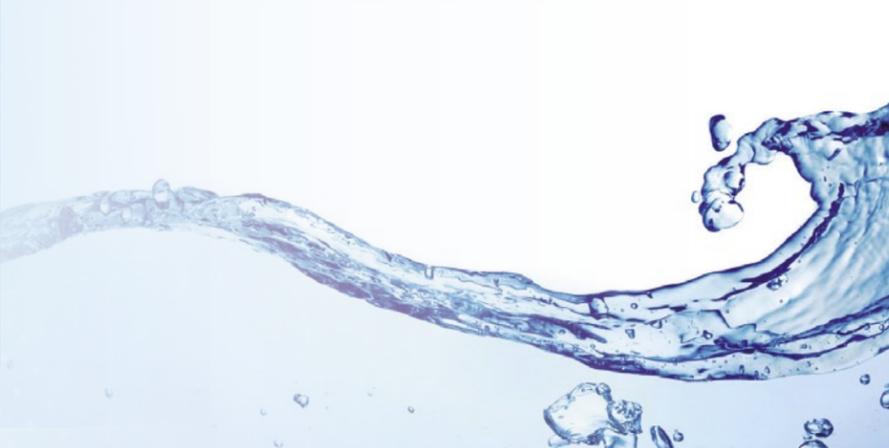
Fuente: Minería: Sistemas de riego automatizado según el uso del terreno.



SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN

Se recomienda la instalación de este tipo de soluciones de irrigación para el centro de las pilas de lixiviación. Abarcan una mayor cobertura y tienen un gran desempeño si se les da el mantenimiento adecuado, pero evaporan más agua.

Materiales: Los aspersores se encuentran distribuidos sobre una tubería, que provee su alimentación y dispersan pequeños chorros de solución en múltiples gotitas. En este sistema se usan: (Troncales de Yellomine 8", Ramales de Yellomine 2" con sus acoples, tapones y pasadores, Aspersores que pueden ser, miniwobler, nebulizadores, etc y Válvulas de globo de 2".)



5.5.3. Tipos de Fuentes y Calidad de Agua



INDUSTRIA AGRÍCOLA

- Agua dulce: Agua de lluvia, agua superficial, agua subterránea, agua de la red, agua comunitaria, aguas residuales urbanas depuradas.
- Agua de mar: Agua desalada.
- Agua reciclada: Agua de drenaje, agua de lixiviado en cultivos en suelo.

Fuente: Fuentes de agua.

<https://agroambient.gva.es/documents/163228750/167915616/Fuentes+de+agua+%28compat+Ecológi+co%29.pdf/58e15310-e2e0-4dfe-ab44-75ed0634f14c>



INDUSTRIA MINERA

- Agua continental: Agua superficial (río, esteros vertientes, lagos, embalses), Agua subterránea (Acuíferos, embalses, agua de mina) y Agua de terceros.
- Agua de mar: Agua salada y agua desalinizada.
- Agua reciclada y recuperada: Agua refino hacia lixiviación, agua espesadores, drenes, agua planta de tratamiento de aguas, agua relaves.

Fuente: Cochilco 2021.

CALIDAD DE AGUA AGRÍCOLA

En Chile, la norma NCh 1.333 fija un criterio de calidad del agua de acuerdo a requerimientos científicos referidos a aspectos físicos, químicos y biológicos, según el uso determinado: consumo humano, agua para animales, riego, recreación y estética y vida acuática.

Los principales problemas de calidad de aguas en el país se refieren a aspectos de eutroficación, salinidad, contaminantes no convencionales (metales y metaloides) y contaminantes emergentes (fármacos, antibióticos, productos de limpieza de hogares, etc.).

NORMA NCh
1.333

Fuente: Calidad de agua. <https://www.cnr.gob.cl/temas-transversales/calidad-de-aguas/>

SOLUCIONES

La CNR a través de sus instrumentos de fomento e inversiones, ayuda a los agricultores y a sus Organizaciones de Usuarios de Aguas (OUA) a hacer frente a los problemas de calidad de aguas bajo su jurisdicción, tanto sea a nivel de río o canal.

La ley N° 18.450 de Fomento al Riego permite la inversión en obras o equipos que, mediante procesos físicos, químicos y/o biológicos permitan prevenir o mitigar la contaminación del agua en riego o mejorar la calidad de ésta.

Se capacita tanto a las OUA como a agricultores en temáticas relacionadas con la medición y prevención.

Dependiendo del tipo de contaminación presente en el agua, existen instrumentos que permiten el abatimiento y/o disminución de su concentración a niveles permitidos.

Para la remoción de la Contaminación Microbiológica de origen intradomiciliario o animal (coliformes fecales), existe instrumentación basada en la utilización de Luz Ultravioleta, Microfiltros y procesos de Osmosis Inversa.

Existen equipos que mediante sistemas de aplicación de tecnología permiten reducir la fitotoxicidad del boro o la toxicidad del arsénico.

Fuente: Manual del regante. https://www.scmaipo.cl/canalistas/wp-content/uploads/2021/08/manual_regante.pdf

CALIDAD DE AGUA MINERA

Para el caso de la calidad del agua en la minería **no existe una normativa que especifique la calidad del recurso hídrico que se deba utilizar para el proceso industrial**, teniendo sólo como limitante para la aplicación las condiciones de procesamiento que implique la presencia iones y reactivos que pueden afectar el rendimiento del proceso. Por otro lado, el usar cualquier tipo de agua sin evaluar detalles relacionados con iones presentes, tiene un riesgo alto porque puede afectar la recuperación del mineral, lo que va directamente asociado a la necesidad de procesar mayor cantidad de toneladas para obtener la misma cantidad de concentrado y, por ende, a un mayor consumo de agua.

NO SE HAN IMPLEMENTADO NORMAS

Fuente: Serie comunicacional CRHIAM N° 34: "Calidad de agua y su uso en la minería"

https://www.crhiam.cl/wp-content/uploads/2022/03/N°34_Serie-comunicacional-CRHIAM-Calidad-del-agua-y-su-uso-en-la-mineria.pdf

SOLUCIONES

El monitoreo de la calidad del agua para verificar el contenido de partículas.

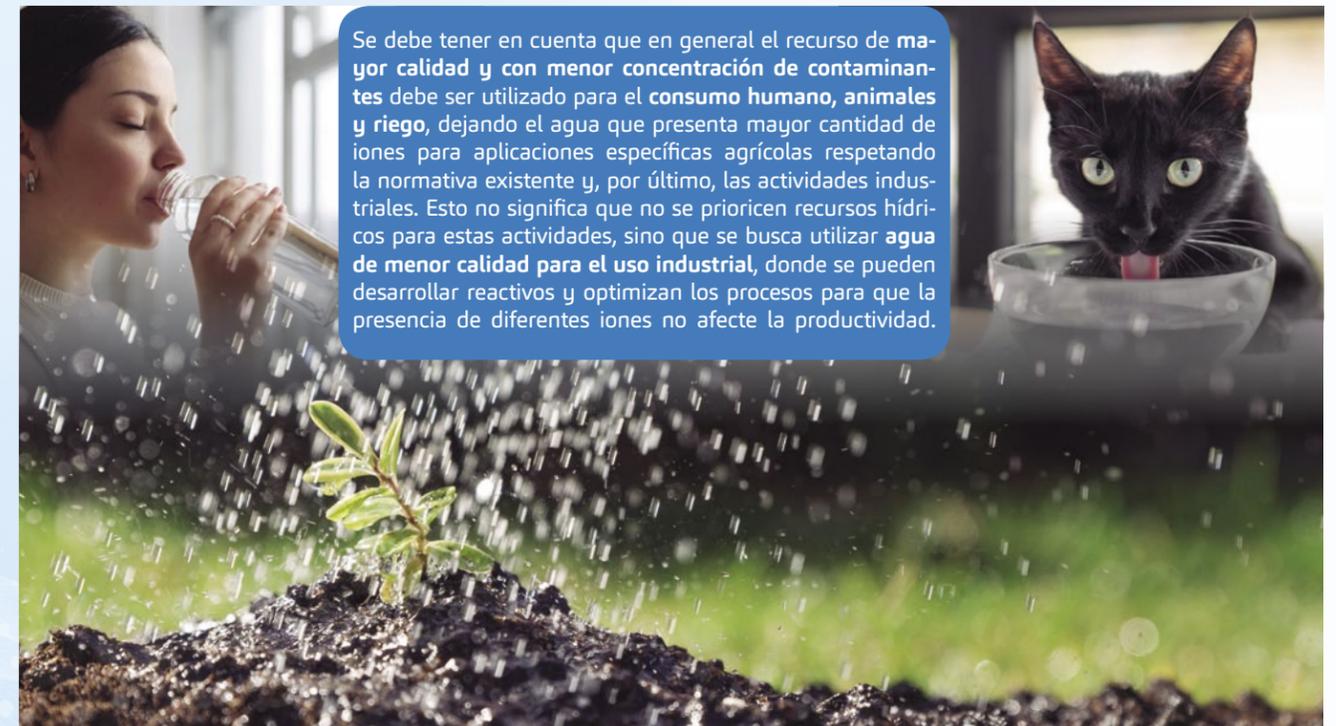
Hemicelulosas: Ayudan a la flotación de subproductos del cobre como la molibdenita.

Usar bacterias para generar precipitación selectiva de iones para tener agua reciclada de mayor calidad. Esto ocurre cuando hay minerales de arcilla (Sepúlveda et al., 2021).

Generar reactivos específicos, como es el caso de depresantes (disminuyen la flotabilidad de gangas) a partir de Rhodophyceae (Zhou et al., 2020).

Uso de microesferas de vidrio modificadas químicamente para capturar partículas finas que están presentes en el agua y mejorar la calidad del agua recuperada.

Fuente: Serie comunicacional CRHIAM N° 34: "Calidad de agua y su uso en la minería"



Se debe tener en cuenta que en general el recurso de **mayor calidad y con menor concentración de contaminantes** debe ser utilizado para el **consumo humano, animales y riego**, dejando el agua que presenta mayor cantidad de iones para aplicaciones específicas agrícolas respetando la normativa existente y, por último, las actividades industriales. Esto no significa que no se prioricen recursos hídricos para estas actividades, sino que se busca utilizar **agua de menor calidad para el uso industrial**, donde se pueden desarrollar reactivos y optimizan los procesos para que la presencia de diferentes iones no afecte la productividad.

5.5.4. Desechos ambas Industrias

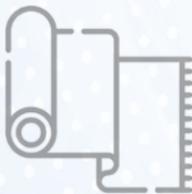
Desechos Agricultura

Principales desechos de Agricultura.



Residuos reciclables o de origen natural

Entran en la categoría de los residuos agrícolas menos problemáticos. Todos ellos se pueden aprovechar en la misma explotación o reciclar en plantas de reciclaje para volver a utilizarlos. Son ejemplo de ello todas las restas de poda o de cultivo, purines y estiércoles, restos de animales, sacos de cartón, palets de madera, sueros de queserías, etc.



Residuos no reciclables

Se utilizan como elementos de construcción, mecanización, transporte, elementos de protección del ganado, etc. Todos estos residuos son los más problemáticos y difíciles de gestionar ya que normalmente son de carácter voluminoso y no se pueden reutilizar ni reciclar. Son ejemplo de estos residuos las lonas de plástico para ensilar o de invernadero, todo tipo de mallas de sombreo o antipiedra, los neumáticos y la maquinaria, las estructuras metálicas para cercados o cubiertas, los aceites de taller, las mangueras de riego, etc.



Residuos peligrosos para el medio ambiente

Este tipo de residuos son todos aquellos relacionados con productos fitosanitarios o fertilizantes que pueden llegar a ser un problema muy grave si no se gestionan correctamente y se acaban quemando o filtrando en fuentes y ríos. Son ejemplo de ello todos los envases de productos fitosanitarios, de ácidos, abonos y fertilizantes, las aguas sucias de la limpieza de las máquinas que se utilizan para aplicar los productos químicos, y todos los envases de medicamentos, antibióticos o de detergentes que se utilizan para la limpieza de las instalaciones. En este sentido, es importante cumplir con la normativa y registrar las actuaciones fitosanitarias. Fuente: Residuos agrícolas: Qué hacer con ellos.



Para más información:

<https://www.agroptima.com/es/blog/residuos-agricolas-que-hacer-con-ellos/>

Desechos Minería

Principales y más peligrosos residuos de Minería.

Desechos sólidos (Residuos de Extracción)

Estéril: Son aquellos materiales sin valor económico por lo general roca, que sólo han sido removidos del yacimiento. Se transporta en camiones hasta los botaderos de estéril.
Minerales de baja ley: Mineral cuyo contenido de metal no hace rentable su procesamiento en la actualidad.



Figura 88: Residuos de extracción (estéril).

Desechos líquidos (Residuos de flotación, lixiviación y mina)

Relaves: Es la parte del mineral en forma de pulpa que se descarta por no tener valor económico en las plantas de concentración. Se conduce a obras denominadas embalses o depósitos conocidos como tranques.

Ripios: Una vez extraído el metal valioso de las pilas de lixiviación, el mineral "agotado" que queda recibe el nombre de ripio de lixiviación o cianuración. Estos pueden ser compactados y sobre ellos construir una nueva pila o bien pueden ser removidos y dispuestos en otro sitio que está preparado e impermeabilizado para evitar el escurrimiento de soluciones generalmente ácidas.

Agua de mina: El agua expuesta a los procesos mineros también es a menudo ácida y puede contaminar las fuentes de agua locales y superficiales en un proceso llamado drenaje ácido, por ello esta agua debe ser monitoreada y se deben utilizar estrategias de manejo.

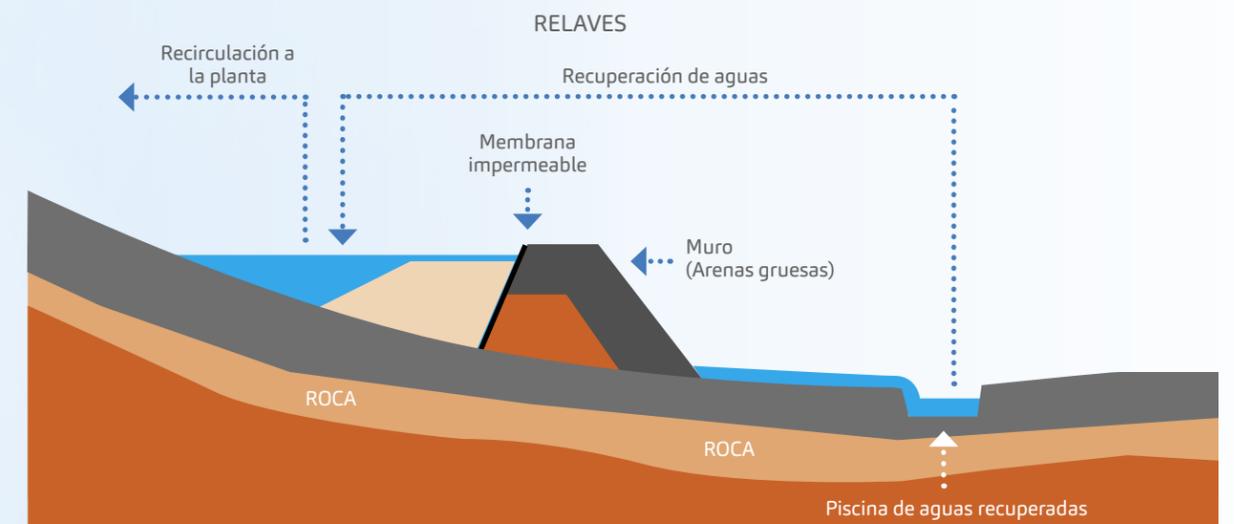


Figura 89: Residuos de flotación (relaves).



Figura 90: Residuos de lixiviación (ripios).



Dato Importante: Existen protocolos internos de cada minera que se sustentan en la Norma ISO 14000, ley ambiental 19.300, RCA (resolución calificación ambiental), y para residuos peligrosos DS-148. Un manejo adecuado de residuos en el ámbito minero debiese abarcar tanto los residuos peligrosos (DS-148), como también el tema de los relaves (DS-248) y el cierre de ellos (ley 20.551).

Fuente: Gestión y manejo adecuado de residuos en el sector minero. <https://www.hidronor.cl/gestion-manejo-adecuado-residuos-sector-minero/#:~:text=Los%20principales%20residuos%20de%20la,y%20aguas%20industriales%2C%20entre%20otros.> (2018)

5.5.5. Energía

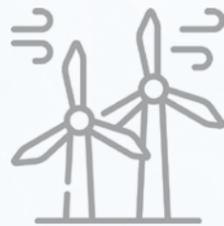
Energías en industria agrícola

Existen por lo menos tres fuentes de Energías Renovables No Convencionales (ERNC) que pueden ser utilizadas para la operación del riego tecnificado: Energía solar, energía eólica y energía minihidráulica.



Energía solar:

Tiene aplicación para la energización de los sistemas de riego tecnificado como goteo o micro aspersión. Consiste en paneles fotovoltaicos que transforman la luz del sol en corriente eléctrica y con ella se opera la bomba de riego y sus comandos.



Energía eólica:

A través de aspas giratorias se activan pequeños generadores eléctricos que se instalan en altura. Producen energía eléctrica para operar bombas de riego. Requieren estructuras de acumulación para regar en las horas en que no hay viento.



Energía mini-hidráulica:

Se utiliza para generar energía eléctrica en los canales o embalses que tienen un caudal y caída importante. La energía generada puede utilizarse para operar los sistemas de riego tecnificado o para dotar de energía para la agroindustria dentro del predio.

Según el ministerio de energía el subsector de agroindustria tuvo un consumo de energía de 4091,27 (Tcal) durante el año 2020. Este subsector forma parte del valor que demandó el sector industrial. Dentro de los procesos que demandan energía en la agricultura están el riego, los mecanismos de control de heladas, almacenamiento y los diferentes procesos agroindustriales.

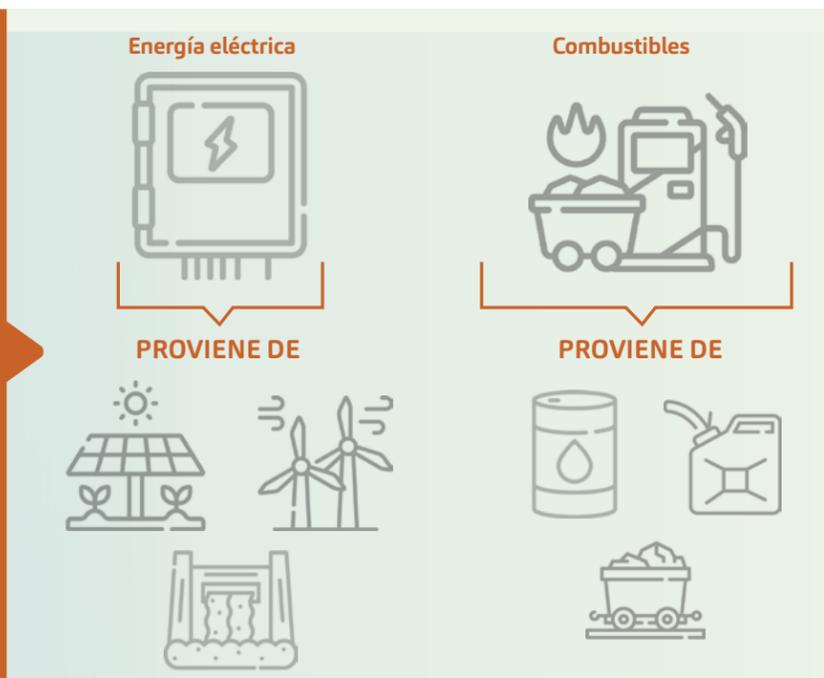
Fuente: Balance Nacional de Energía <https://energia.gob.cl/pelp/balance-nacional-de-energia>



Energía en industria minera

Las principales fuentes de abastecimiento energético de la minería son los combustibles y la electricidad. Cabe señalar, que el suministro de electricidad proviene del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), el que a su vez se alimenta por energía hidráulica y energía renovable no convencional (ERNC) como la energía solar, eólica y geotérmica. La energía utilizada en combustibles a través del uso es: Carbón, Gasolina, Diesel, Enap 6, Kerosene, Gas Licuado, Gas Natural, Leña, Butano y Escaid 110. Fuente: Consumo energético de la minería del cobre año 2021. Cochilco.

Fuente: Proyección del consumo de energía eléctrica en la minería del cobre 2022-2033.



Consumos totales de energía en la minería del cobre

Al 2021 la industria minera del cobre tuvo un consumo total de energía de 185.208 TJ, lo que representa alrededor del 15% del consumo agregado del país. De este total, 98.686 TJ son de la energía eléctrica y 86.522 TJ por consumo de combustibles.

Durante el año 2021, la participación de las ERNC en la generación total de la matriz del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) representó cerca del 22% del total y se estima que el porcentaje de uso de energías renovables en minería llegará al 49,20% en 2030.

Los tres procesos mineros más intensos en demanda energética son la mina rajo con 72.638 TJ que representa el 39% del consumo energético total, le sigue el proceso de concentración con 53.776 TJ (29%) y el proceso de Lixiviación con 23.221 TJ (13%).

Fuente: Consumo energético de la minería del cobre año 2021. Cochilco.



3 procesos mineros más intensos en demanda energética



6. ANEXOS



GLOSARIO

- **Acuífero:** Formación geológica saturada que almacena y transmite agua, como por ejemplo macizos cristalinos fracturados, formaciones arenosas o de gravas.
- **Afloramiento:** Zonas en las que el agua del fondo oceánico, rica en nutrientes, sube hacia la superficie.
- **Agglomeración:** Proceso que consiste en la unión de las partículas finas a otras de mayor tamaño, minimizando la presencia de partículas finas en el mineral que se envía a la lixiviación, de manera de asegurar un buen coeficiente de permeabilidad de la solución.
- **Agroclimas:** Zona con características interrelacionadas entre el clima y los sistemas de cultivos, el entendimiento de estas interrelaciones ayuda a tomar mejores decisiones en el manejo agronómico de los cultivos.
- **Agroindustria:** Serie de actividades de manufacturación mediante las cuales se elaboran materias primas y productos intermedios derivados del sector agrícola. La agroindustria significa así la transformación de productos procedentes de la agricultura, la actividad forestal y la pesca.
- **Agropecuario:** Sector que se dedica a la obtención de materia prima, principalmente de origen animal y vegetal, destinada a la industria alimentaria o manufacturera, esto abarca la agricultura y la ganadería.
- **Agroquímicos:** Sustancias químicas empleadas en la agricultura con el fin de mantener y conservar los cultivos vegetales y animales.
- **Aguas Halladas:** Son aquellas aguas que, por la naturaleza de la actividad minera, son subterráneas, que efectiva y materialmente se alumbran durante la realización de las labores mineras de exploración o explotación, y cuyo hallazgo requiere de una labor previa del minero, precisamente aquella que se inserte en las labores propias de su título concesional, sin el fin último de encontrar dichas aguas.
- **Arcilla:** Sustancia mineral en estado finamente dividido por medios naturales o por molienda que al ser mezclada con determinada cantidad de agua desarrolla plasticidad, pudiendo ser moldeada y retener su forma después del moldeado.
- **Arena silícea:** Es una materia prima muy importante en la composición de las fórmulas de detergentes, pinturas, hormigones y morteros especiales, y constituyen la materia prima básica para la obtención del silicio, así mismo son la base para la fabricación de refractarios de sílica y arenas de modelo, dado su alto punto de fusión.

- **BIAS:** Fracción neta de agua de lavado que fluye a través de la espuma. También se puede expresar como cm/s.
- **Buffer:** Son soluciones que pueden mantener su pH casi sin variar cuando se les agregan pequeñas cantidades de ácidos o bases.

- **Capilaridad:** La capilaridad es un fenómeno a través del cual los líquidos tienen la capacidad de subir o bajar a través de un tubo capilar. Por su parte, un tubo capilar es un objeto, con diferentes medidas de diámetro, a través del cual se conducen líquidos o fluidos y, es en estos donde ocurre el fenómeno de la capilaridad.
- **Casquetes polares:** También conocidos como capas de hielo, son unas grandes masas de hielo que se hayan principalmente en los polos de nuestro planeta Tierra.
- **Cátodo de cobre:** Son las placas de cobre de alta pureza que se obtienen en el proceso de electrorrefinación y de electroobtención. Estos cátodos también se llaman cátodos de cobre electrolítico de alta pureza y tienen una concentración de 99,99%.
- **Clasificación:** En minería del cobre existe etapas de clasificación en hidrociclones, donde se separan los sólidos suspendidos en un determinado flujo de alimentación, en dos fracciones, una gruesa llamada descarga (underflow) y otra fina denominada rebose (overflow).
- **Cobre electrolítico:** Cobre obtenido a partir de productos impuros de este metal o de sus compuestos mediante un proceso electrolítico de refinación. Debe tener una ley mínima de 99,99% de cobre.
- **Código de aguas:** Es la ley que regula el uso de los recursos hídricos del país.
- **Cola o relave:** Corriente pobre en mineral valioso, conformada principalmente por minerales de ganga.
- **Compuesto:** Mineral de valor económico que constituye una pequeña parte del volumen total de la roca del yacimiento.
- **Concentrado:** Corriente rica de partículas de mineral valioso, conformada principalmente por minerales de mena proveniente del proceso de flotación.
- **Cuerpos de agua:** Masa o extensión de agua que en asociación con el terreno genera nichos ecosistémicos con funciones únicas e imprescindibles para la vida humana.

- **Depósitos de relaves:** Son obras de ingeniería, diseñadas para satisfacer las exigencias legales nacionales, de modo que se aisle completamente los relaves depositados del ecosistema circundante (SERNAGEOMIN, 2018). Su función principal es la de servir como depósito, generalmente, definitivo de los materiales sólidos proveniente del relave transportado desde la planta, permitiendo así la recuperación, en gran medida, del agua que transporta dichos sólidos.
- **Desalinización:** Proceso mediante el cual se elimina la sal del agua de mar.
- **Dren:** Es toda estructura, natural o artificial, que facilitan el escurrimiento y evita el almacenamiento del agua en una zona particular.
- **Drenaje:** Es el sistema de tuberías interconectadas que permite el desalojo de los líquidos pluviales o de otro tipo.
- **db:** Diámetro de burbuja (mm).

- **Ecosistema:** Conjunto de especies de un área determinada que interactúan entre ellas y con su ambiente abiótico; mediante procesos como la depredación, el parasitismo, la competencia y la simbiosis, y con su ambiente al desintegrarse y volver a ser parte del ciclo de energía y de nutrientes.
- **Edáficas:** Relativo al suelo, especialmente en lo que respecta a la vida de las plantas.
- **Elemento:** Se refiere a los elementos químicos. Sustancia que no puede separarse en sustancias más sencillas utilizando métodos químicos.
- **Escorrentía:** Escurrimiento del agua de lluvia por la red de drenaje hasta alcanzar la red fluvial. Generalmente se considera como la precipitación, menos la evapotranspiración real y la infiltración del agua al suelo.
- **Espesadores:** Son equipos de separación sólido-líquido en los que una suspensión de sólidos (formando una pulpa), se alimenta a un tanque provisto de un mecanismo interno que mediante la acción de la gravedad permite concentrar los sólidos en el fondo y hace fluir el agua clarificada hacia la superficie para ser recogida en el rebose del tanque.
- **Estéril:** Se refiere al material que no tiene cobre (su ley está bajo la ley de corte), el cual es enviado a botaderos.

- **Eutrofización:** Se refiere al aporte en exceso de nutrientes inorgánicos (procedentes de actividades humanas), principalmente Nitrógeno (N) y Fósforo (P), en un ecosistema acuático, produciendo una proliferación descontrolada de algas fitoplanctónicas y provocando efectos adversos en las masas de agua afectadas.
- **Exploración minera:** Es la primera etapa del ciclo minero y su objetivo es encontrar zonas donde exista mineral, es decir, donde haya un yacimiento.
- **Evapotranspiración:** Fenómeno por el que parte del agua pasa a la atmósfera por evaporación directa del agua del suelo y por transpiración de las plantas.
- **Ext.:** Extracción.
- **EW (electrowinning):** Proceso de electroobtención. Es la etapa final del cobre oxidado tiene por objetivo obtener cátodos de cobre de 99,99% de pureza mediante el uso de energía eléctrica.
- **Ëg:** Hold-up (%). Es la fracción volumétrica de aire en una zona de la celda de flotación.

- **Fisiografía:** Se refiere a geografía física: el área de geografía dedicada estudio de la disposición de mares y tierras.
- **Floculante:** Son polímeros solubles en agua que se utilizan para inducir procesos de clarificación y sedimentación a través de un proceso físico-químico que aglutina las partículas finas presentes en la pulpa mineral, las cuales se sedimentan en equipamientos denominados espesadores.
- **Fito sanitario:** Perteneciente o relativo a la prevención y curación de las enfermedades de las plantas.
- **Fito toxicidad:** Compuestos, de origen natural o antropogénico, que impiden el normal crecimiento y desarrollo de uno o más tipos de plantas cuando estas son expuestas a una dosis determinada de dicho compuesto, pudiendo llegar a provocar la muerte del vegetal.
- **FyR:** Fundición y refinería.

- **Ganga:** Minerales que se encuentran asociados a la mena en la roca extraída en un yacimiento y no poseen valor económico.

GLOSARIO

- **Herbicidas:** Dicho de un producto químico: Que destruye plantas herbáceas (herbáceas que tiene la naturaleza o cualidades de la hierba).
- **Hidrofilicidad:** Propiedad de un material que le otorga la capacidad de interactuar con las moléculas de agua. En este caso el material se moja. Una partícula de un material hidrofílico tiene más tendencia a adherirse a una gota de agua que a una burbuja de aire.
- **Hidrofobicidad:** Propiedad de un material que le impide interactuar con las moléculas de agua, es decir, no se moja. Una partícula de un material hidrofóbico tiene más tendencia a adherirse a una burbuja de aire que a una gota de agua.
- **Hidrografía:** Parte de la geografía que se encarga de la descripción de las aguas del planeta Tierra. El concepto se utiliza también para nombrar al conjunto de las aguas de una región o de un país.
- **Hidrometalurgia:** Rama de la metalurgia en la cual el elemento de interés es extraído desde una solución que lo contiene. En la metalurgia del cobre, esta metodología es aplicada a los minerales oxidados, mediante la lixiviación en pilas o en bateas.
- **Hidropónico:** Cultivo de plantas en soluciones acuosas, por lo general con algún soporte de arena, grava, etc.

- **Infiltración:** Proceso por el cual el agua en la superficie de la tierra entra en el suelo.

- **Jg:** Velocidad superficial de gas (cm/s).

- **Ley mineral:** Contenido del recurso de interés expresado en porcentaje respecto al total de material que lo contiene.
- **Lixiviación:** Operación unitaria que permite la separación de una o varias sustancias (solutos) contenidas en una matriz sólida.

- **Mena:** Mineral de valor económico que constituye una pequeña parte del volumen total de la roca del yacimiento.
- **Metal:** Los metales son los elementos químicos capaces de conducir la electricidad y el calor, que exhiben un brillo característico, son resistentes, deformables y sólidos a temperatura normal a excepción del mercurio.
- **Mineral:** Compuesto químico inorgánico de origen natural, que posee una estructura interna y una composición química definida, formado como resultado de procesos geológicos.
- **Minería:** Ciencia, técnica y actividades que tienen que ver con el descubrimiento y la explotación de yacimientos minerales. También conocido como minería primaria.
- **Molibdenita (MoS₂):** Es un mineral que pertenece al grupo de los sulfuros, que se caracteriza por ser una mena importante de molibdeno y a menudo se encuentra asociado a depósitos de cobre. Presenta una hidrofobicidad natural.
- **Molino SAG:** Molino semiautógeno más utilizado en minería, es un equipo usado en plantas mineras para moler rocas de mineral reduciendo su tamaño y haciéndolo apto para las etapas siguientes del procesamiento mineral.
- **Morfología de suelo:** es el estudio y descripción sistemática del tamaño, forma, disposición e interrelación de sus componentes, como así también de características tales como color, consistencia, estructura, etc. y su relación con el paisaje.
- **msnm:** Metros sobre el nivel del mar.

- **Nitratos:** Son iones naturales que forman parte del ciclo de nitrógeno de la tierra. Existen típicamente en el ambiente en formas solubles en agua, en asociación con otros iones tales como sodio y potasio.

- **Orográficas:** Parte de la geografía física que trata de la descripción de las montañas.
- **Osmosis inversa:** Proceso mediante el cual se purifica una muestra de agua eliminando las partículas en suspensión.

- **Pedregosidad:** Adjetivo para calificar a la superficie que se encuentra cubierta de piedras.
- **Percolación:** Movimiento del agua dentro del suelo.
- **pH:** Se refiere al grado de acidez o basicidad de una solución, el cual se mide por la concentración del ión hidrógeno en ésta. Se expresa en valores que van desde 0 a 14, siendo el valor medio (7) correspondiente a una solución neutra, en tanto que valores más bajos indican soluciones ácidas y valores altos, soluciones básicas.
- **PIB:** Producto Interno Bruto.
- **Pirita (FeS₂):** Es uno de los minerales más abundantes de la corteza terrestre. Es un sulfuro de hierro y la ganga que presenta más dificultades de separación selectiva en la flotación de minerales de cobre.
- **Pirometalurgia:** Rama de metalurgia en que la obtención y refinación de los metales se produce utilizando calor, como en el caso de la fundición.
- **PLS (Pregnant leaching solution):** Se refiere a la solución que sale de las instalaciones de lixiviación y que ha sido enriquecida por la disolución del cobre desde el mineral. Esta solución tiene una concentración de hasta 9 gramos por litro (gpl).
- **Purines:** Líquido formado por las orinas de los animales y lo que rezuma del estiércol.

- **Rajo:** Excavación en forma de surco profundo para extraer el mineral de cobre.
- **Recirculación:** Consiste en el uso de aguas residuales en operaciones y procesos unitarios dentro de la misma actividad económica que las genera y por parte del mismo usuario generador.
- **Recuperación:** Mide la eficiencia del proceso de flotación. Se puede definir como la razón entre el metal valioso en el concentrado y el metal valioso en la cabeza (alimentación).
- **Refino:** Es la solución empobrecida en cobre después del proceso de extracción por solvente y que es enviada de vuelta a las pilas para integrarse al proceso de lixiviación.
- **Reología:** Rama de la física que se estudia el modo en que los materiales se deforman o fluyen en respuesta a fuerzas o tensiones aplicadas.

- **Residuos Mineros:** Corresponden a materiales provenientes de las operaciones de extracción, beneficio o procesamiento de minerales, los cuales son generados en grandes volúmenes. Dentro de este grupo se encuentran los estériles, los minerales de baja ley, y los residuos de minerales tratados por lixiviación, relaves y escorias.
- **Roca:** Material sólido de origen natural formado por una asociación de minerales o por uno solo, que constituye una parte importante de la corteza terrestre.

- **Saneamiento:** Sistema de evacuación y tratamiento de los residuos urbanos e industriales de una ciudad.
- **Soluto:** Sustancia que está disuelta en otra.
- **SX (solvent extraction):** Proceso de extracción por solvente. Consiste en la extracción y/o concentración selectiva de soluciones generadas en la etapa de lixiviación.

- **Topografía:** Ciencia que determina las dimensiones y el contorno (características tridimensionales) de la superficie de la tierra a través de la medición de distancias, direcciones y elevaciones.
- **Transgénico:** Dicho de un organismo vivo: Que ha sido modificado mediante la adición de genes exógenos para lograr nuevas propiedades.

- **Yacimiento Mineral:** Concentración de elementos minerales, cuyo grado de concentración, composición química y características físicas lo hagan factible para su explotación.

- **Zoo sanitario:** Lo perteneciente a la limpieza de los animales o productos de origen animal.

SIGLAS

- **APR:** Agua Potable Rural
- **CC:** Capacidad de Campo
- **CCUS:** Clasificación de capacidad Uso de los Suelos
- **CH:** Conductividad Hidráulica
- **CNR:** Comisión Nacional de Riego
- **COCHILCO:** Comisión Chilena de Cobre
- **CONAF:** Corporación Nacional Forestal
- **DAA:** Derechos de Aprovechamiento de Aguas
- **DGA:** Dirección General de Aguas
- **ERNCC:** Energía Renovable No Convencional
- **ET:** Evapotranspiración
- **ETc:** Evapotranspiración de un cultivo
- **FAO:** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura
- **GIRH:** Gestión Integrada de Recursos Hídricos
- **HA:** Humedad Aprovechable
- **INDH:** Instituto Nacional de Derechos Humanos
- **INE:** Instituto Nacional de Estadísticas
- **MOP:** Ministerio de Obras Públicas
- **LMR:** límite máximo de residuos
- **ONU:** Organización de las Naciones Unidas
- **OUA:** Organizaciones de Usuarios de Aguas
- **PMP:** Punto de Marchitez Permanente
- **RAE:** Real Academia Española
- **RCA:** Resolución Calificación Ambiental
- **SEN:** Sistema Eléctrico Nacional
- **TDS:** Sólidos Totales Disueltos

UNIDADES DE MEDIDA

MASA

g/L: gramos por litro

kg: kilogramo

Oz: Onza

t: tonelada

TM: tonelada métrica

VOLUMEN

m³: metro cúbico

L: litro

Mkm³: millones de kilómetros cúbicos

m³/t: metro cúbico por tonelada

CAUDAL

m³/s: metro cúbico por segundo

L/h: Litro por hora

CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (K)

m/día: metro por día

DISTANCIA/SUPERFICIE

ha: hectárea

km: kilómetro

km²: kilómetro cuadrado

m: metro

mm: milímetro

µm: micrón

ENERGÍA

Tcal: teracaloría

TJ: terajoule

PRESIÓN

Atm: Atmosfera

Bar: Barométrica

TIPO MONEDA

US\$: dólar estadounidense

REFERENCIAS

- Agua.org.mx. Agua en el planeta. Disponible en: <https://agua.org.mx/en-el-planeta/#cuanta-hay>
- AFIPA.cl. 2023. Buenas Prácticas Agrícola. Disponible en: <https://www.afipa.cl/buenas-practicas-agricolas/>
- Allen, R. Pereira, L. Raes, D. Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Disponible en: <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.pdf>
- Alvez, A., Concha, F., Vergara, M. Serie Comunicacional CRHIAM N°4: Minería, Energía y Agua, Situación Actual. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/1CKS82VjL2H7CQw4GY2RRHxdcUDWSfhkg/view>
- Antunez, A. Felmer, S. Mora, D. Eficiencia de riego en sistemas localizados. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/7272/NR36474.pdf?sequence=9&isAllowed=y>
- Arriagada, L., Munizaga, J., Ponce, R., Rivera, D. 2022. Serie Comunicacional CRHIAM N°39: Vulnerabilidad de cuencas: Estresores y desafíos. Disponible en: https://www.crhiam.cl/wp-content/uploads/2022/08/N%C2%BA39_Serie-comunicacional-CRHIAM-Vulnerabilidad-de-cuenca-estresores-y-desaf%C3%ADos-final.pdf
- Arumí, J., Barra, R., Gutiérrez, L., Sáez, E., Jerez, O., Kelm, U., Rivera, D. Serie Comunicacional CRHIAM N°11: Radiografía de la Minería Chilena: Presente y Futuro. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/1Fw5Swiuh3dt0DTE1QNsbRZ81quOQAdqr/view>
- Arumí, J., Delgado, V., Sandoval, M., Stehr, A., Urrutia, R. 2020. Serie Comunicacional CRHIAM N°13: Los embalses y su gestión sustentable bajo el escenario de escasez hídrica. Disponible en: https://drive.google.com/file/d/1f2o5f0Pm--F_3aq0Dh1zLP2OUZz2oheb/view
- Arumí, J., Gutiérrez, L., Ramírez, A. 2022. Serie Comunicacional CRHIAM N°34: Calidad del agua y su uso en la minería. Disponible en: https://www.crhiam.cl/wp-content/uploads/2022/03/N%C2%B034_Serie-comunicacional-CRHIAM-Calidad-del-agua-y-su-uso-en-la-miner%C3%ADa.pdf
- Asociación internacional de la industria de los fertilizantes. Los Fertilizantes y su Uso. Disponible en: <https://www.fao.org/3/x4781s/x4781s.pdf>
- Baeza, E., Torres, R. 2020. Situación de la demanda de recursos hídricos en Chile por parte de los principales usuarios. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Disponible en: https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/30306/1/Situacion_Demanda_Agua.pdf
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Hidrografía Chile nuestro país. Disponible en: <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/hidrografia.htm>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Relieve Chile nuestro país. Disponible en: <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/relieve.htm>
- Briceño, M., Álvarez, F., Barahona, U. 2012. Manual de Riego y Drenaje. Disponible en: https://www.se.gob.hn/media/files/media/Modulo_5_Manual_de_Riego_y_Drenaje..pdf
- Caballero, A., Casas, Y., Gutiérrez, L., Sandoval, M., Uribe, L. 2023. Serie Comunicacional CRHIAM N°46: Relaves mineros y su relación con el recurso hídrico. Disponible en: https://www.crhiam.cl/wp-content/uploads/2023/01/N°46_Serie-comunicacional-CRHIAM-Relaves-mineros-y-su-relación-con-el-recurso-hídrico.pdf
- Calvo, A. 2021. Residuos Agrícolas: ¿Qué hacer con ellos? Disponible en: <https://www.agroptima.com/es/blog/residuos-agricolas-que-hacer-con-ellos/>
- Centro de políticas públicas. 2021. Conflictos por el agua en Chile: propuestas para un modelo de diálogo desde los territorios. Disponible en: https://politicaspubblicas.uc.cl/content/uploads/2022/01/Conflictos-por-el-agua_V_5enero-1.pdf
- Codelco. Codelco Educa (Todo sobre la minería del cobre). Disponible en: <https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/edic/base/port/inicio.html>
- Cochilco. Producción Mundial de Metales. Disponible en: <https://www.cochilco.cl:4040/boletin-web/pages/index/index.jsf?jsessionid=-gBew1s-5F2WPKBGUH9uHvzrjpk4ehl6awj3UsQ8.srvbdoletuin>
- Cochilco. 2008. Buenas prácticas y uso eficiente del agua en la industria minera. Disponible en: https://www.academia.edu/30924783/BUENAS_PR%C3%81CTICAS_Y_USO_EFICIENTE_DE_AGUA_EN_LA_INDUSTRIA_MINERA

REFERENCIAS

- Cochilco. 2021. Consumo de agua en la minería del cobre. Disponible en: <https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Consumo%20de%20agua%20en%20la%20mineria%20del%20cobre%202021.pdf>
- Cochilco. 2022. Monitoreo del estado de los relaves mineros en Chile. Disponible en: <https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Informe%20Monitoreo%20del%20estado%20relaves%20mineros%20en%20Chile.pdf>
- Cochilco. 2022. Proyección de la demanda de agua en la minería del cobre. Periodo 2022-2033. Disponible en: <https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Proyección%20de%20demanda%20de%20agua%20en%20la%20mineria%20del%20cobre.pdf>
- Cochilco. 2023. Proyección del consumo de energía eléctrica en la minería del cobre 2022-2033. <https://www.cochilco.cl/Mercado%20de%20Metales/Proyección%20de%20Consumo%20EE%202022-2033%20Final%20con%20rpi.pdf>
- Comisión Nacional de Riego. 2013. Manual del regante. Disponible en: https://www.scmaipo.cl/canalistas/wp-content/uploads/2021/08/manual_regante.pdf
- CONADI. 2017. El Riego Superficial Tecnificado. Disponible en: http://www.gea.uchile.cl/archivos/Riego_superficial_tecnificado_Conadi.pdf
- Concha, F., Jeldres, R., Pulgar, F., Toledo, P. 2022. Serie Comunicacional CRHIAM N°36: Uso de agua de mar en minería. Avances en el espesamiento de relaves ricos en arcillas. Disponible en: https://www.crhiam.cl/wp-content/uploads/2022/05/N°36_Serie-comunicacional-CRHIAM-Uso-de-agua-de-mar-en-mineria.pdf
- Contreras, F. Osorio, A. 1999. Conceptos sobre diseño y manejo de riego presurizado. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/39967/NR29539.pdf?sequence=1>
- CNR. Ministerio de agricultura. Infraestructura, Tecnología y Gestión. Disponible en: <https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/bitstream/handle/20.500.12650/71294/ArtRecursosHidricos202201.pdf>
- Consejo Minero. Mapa Minero. Disponible en: <https://consejominero.cl/nosotros/mapa-minero/>
- Consejo Minero. Plataforma de aguas. Extracciones de agua de empresas asociadas al Consejo Minero. Disponible en: <https://consejominero.cl/agua/>
- Consejo Minero. 2023. Cifras actualizadas de la minería. Disponible en: <https://consejominero.cl/mineria-en-chile/cifras-actualizadas-de-la-mineria/>
- Delgado, V. Arumí, J. 2021. El modelo chileno de regulación de las aguas subterráneas: críticas desde el derecho y las ciencias ambientales.
- Dirección General de Aguas. Atlas del Agua: Chile 2016. Disponible en: <https://snia.mop.gob.cl/repositoriodga/handle/20.500.13000/4371>
- Economía. 2023. Agricultura extensiva. Disponible en: <https://economipedia.com/definiciones/agricultura-extensiva.html>
- Economía3. 2023. Agricultura Intensiva: ¿Cuáles son sus principales ventajas y desventajas?. Disponible en: <https://economia3.com/agricultura-intensiva/>
- Escenario Hídrico 2030 Chile. 2018. Radiografía del agua. Brecha y riesgo hídrico en Chile. Disponible en: <https://fch.cl/wp-content/uploads/2019/05/radiografia-del-agua.pdf>
- Escenario Hídrico 2030 Chile. 2021. ¿Qué entendemos por cuenca hidrográfica y por qué es la unidad territorial óptima para gestionar los recursos hídricos? Disponible en: <https://escenarioshidricos.cl/noticia/cuenca-hidrografica-la-unidad-territorial-optima-para-gestionar-recursos-hidricos/>
- Escenario Hídrico 2030. 2020. Consejos hídricos. Disponible en: <https://escenarioshidricos.cl/actualidad/consejos-hidricos-sobre-uso-del-agua-en-chile/>
- FAO. Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Disponible en: <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.pdf>
- Fertilab.com.mx. La conductividad hidráulica y la humedad del suelo. Disponible en: <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/NTF-19-021-La-CH-y-la-humedad-del-suelo.pdf>
- Ficha Técnica FERTINNOWA. 2018. Fuentes de agua. Disponible en: <https://agroambient.gva.es/documents/163228750/167915616/Fuentes+de+agua+%28compat+Ecol%C3%B3gico%29.pdf/58e15310-e2e0-4dfe-ab44-75ed0634f14c>
- Foster, I. 2008. Evaluación de Riego Subterráneo con Tubería Exudante. Chillan, Chile. Disponible en: <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/8449>
- Giraldo, A., Bañados, N., Leiva, F. 2019. Guía para prevenir y reducir la pérdida de frutas y hortalizas. Disponible en: <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2019/11/Guia-para-prevenir-y-reducir-la-perdida-de-frutas-y-hortalizas.pdf>
- Gobierno de Chile. Plan Sequía. Disponible en: <https://www.gob.cl/plansequia/>
- Gutiérrez, L., Salinas, K., Toledo, P., Valenzuela, R. 2022. Serie Comunicacional CRHIAM N°37: Calidad del agua recirculada en operaciones mineras. Mejoramiento mediante microesferas de vidrio químicamente funcionalizadas. Disponible en: https://www.crhiam.cl/wp-content/uploads/2022/06/N%C2%B037_Serie-comunicacional-CRHIAM-Calidad-del-agua-recirculada-en-operaciones-mineras.pdf
- Henseleit, a. 2014. Cambios en los niveles de aguas subterráneas y su efecto sobre la zona no saturada y la vegetación. enfoque conceptual y numérico. Santiago, Chile. Disponible en: https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/115577/cf-henseleit_ai.pdf?sequence=1
- Holzapfel, E., Rivera, D., Arumí, J. 2020. Tecnología de Manejo de Agua para una agricultura intensiva sustentable. Disponible en: https://drive.google.com/file/d/1gQyWLMCqUQq_tT45d5TEgLBfYFZ7_xe/view
- Holzapfel, E., Orrego, X., Jara, J., Salgado, L. Souto, C. 2021. Manual Riego y Drenaje en Frutales. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/138S15NkeQLm4mO12ZGQF4Obo9gB1HvrK/view>
- Icochea, S. 2019. Minería: Sistemas de riego automatizado según el uso del terreno. Disponible en: <https://igc.com.pe/mineria-sistemas-de-riego-automatizado-uso-terreno/>
- Icochea, S. 2020. ¿Qué materiales para sistemas de riego se usan en minería? Disponible en: <https://igc.com.pe/materiales-para-sistemas-de-riego-mineria/>
- Instituto de Asuntos Públicos. Centro de análisis de políticas públicas. 2018. Informe país estado del medio ambiente en Chile. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/179262/Capitulo5-Suelos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura, 2007 Biofiltros para mejorar la calidad del agua de riego. Santiago de Chile.
- Instituto Nacional de Derechos Humanos. Mapa de conflictos socioambientales en Chile. Disponible en: <https://mapaconflictos.indh.cl/#/>
- Instituto Nacional de Estadísticas. VIII Censo Nacional Agropecuario y Forestal. Resultados Finales. Disponible en: <https://www.ine.gob.cl/censoagropecuario/resultados-finales/graficas-nacionales>
- Maipo Adaptación. La Cuenca: Unidad territorial para la gestión y estudio de los recursos hídricos. Disponible en: <http://www.maipoadaptacion.cl/la-cuenca-unidad-territorial-para-la-gestion-y-estudio-de-los-recursos-hidricos/>
- Martínez, M. 2022. Agua y Recursos Hídricos: Agenda del Ministerio de Agricultura en el marco del desarrollo sustentable del sector silvoagropecuario. Disponible en: <https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/bitstream/handle/20.500.12650/71294/ArtRecursosHidricos202201.pdf>
- Ministerio de Agricultura. Sistemas de distribución. Disponible en: <https://www.cnr.gob.cl/agricultores/infraestructura/infraestructura-distribucion/#:~:text=Corresponden%20al%20conjunto%20de%20obras,a%20presi%C3%B3n%20t%C3%BAneles%20entre%20otras.>
- Ministerio de Agricultura. 2018. Manual intermedio para dirigentes de organizaciones de usuarios de aguas. Disponible en: <https://www.cnr.gob.cl/wp-content/uploads/2019/03/Manual-dirigentes-2018.pdf>

REFERENCIAS

- Ministerio de Energía. 2020. Balance Nacional de Energía. Disponible en: <https://energia.gob.cl/pelp/balance-nacional-de-energia>
- Ministerio de Obras Públicas. Dirección general de aguas. División de estudios y planificación. 2017. Chile. Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile. Disponible en: <https://snia.mop.gob.cl/sad/USO5795v1.pdf>
- Ministerio de Obras Públicas. 2020. Chile. Mesa Nacional del Agua, Primer Informe. Disponible en: https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/29307/Mesa_Nacional_del_Agua_2020_Primer_Informe_Enero.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- NOVAGRIC. Filtro para riego por goteo. Disponible en: <https://www.novagric.com/es/riego/materiales-de-riego/filtros-riego-por-goteo>
- ODEPA. 2019. Panorama de la Agricultura Chilena. Chile. Disponible en: <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2019/09/panorama2019Final.pdf>
- ODEPA. Agua para la agricultura. Disponible en: <https://www.odepa.gob.cl/sustentabilidad/agricultura-sustentable/agua>
- ODEPA. 2010. Estudio: Mapas de zonificación de aptitud productiva del territorio nacional de especies vegetales con potencial de producción de biocombustibles. Disponible en: https://www.odepa.gob.cl/files_mf/1369770910Mapas_produccion_biocombustibles.pdf
- ODEPA. 2016. Protocolo de Agricultura Sustentable. Disponible en: <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/3-Protocolo-Agricultura-Sustentable.pdf>
- ODEPA. 2017. Agricultura Chilena: Reflexiones y Desafíos al 2030. Disponible en: https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/01/ReflexDesaf_2030-1.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. 2013. Captación y almacenamiento de agua de lluvia opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. Chile. Disponible en: <https://www.fao.org/3/i3247s/i3247s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar. Disponible en: <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s02.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. 2021. Progreso del cambio en la eficiencia del uso del agua. Disponible en: <https://www.fao.org/3/cb6413es/cb6413es.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. 2023. Mecanización Agrícola Sostenible. Disponible en: <https://www.fao.org/sustainable-agricultural-mechanization/guidelinesoperations/cropproduction/es/>
- Peralta, J. Simpfendö, C. 2001. Riego por aspersión. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/40180/NR26419.pdf?sequence=1>
- Portalfruticola.com. 2017. Apuntes y conceptos básicos sobre riego y drenaje. Disponible en: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2017/08/24/apuntes-completos-de-la-materia-de-riego-y-drenaje-conceptos-basicos-libro-en-pdf/>
- Proyecto de norma en consulta pública. 2008. Agua potable - Fuentes de abastecimiento y obras de captación - Parte 1: Captación de aguas superficiales. Disponible en: http://www.siss.gob.cl/586/articles-6083_recurso_1.pdf
- Reckmann, O. 2000. Pozos Profundos. Santiago. Disponible en: <https://snia.mop.gob.cl/sad/SUB3094.pdf>
- Ruiz, M. 2013. Libro Hidrometalurgia. Departamento de Ingeniería Metalúrgica. Universidad de Concepción.
- Sabag, M., Leiva, A., 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. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/1h0TbOVeCiOp-OSg8248KG0ErtZLHwDT7/view>
- Salgado, L. 2000. Manual de Estándares Técnicos y Económicos para Obras de Drenaje. Disponible en: <https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/9598/CNR-0122.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sernageomin. 2022. Anuario de Minería de Chile. Disponible en: https://www.sernageomin.cl/pdf/Anuario_de_la_mineria_de_chile_2021_v_30062022.pdf
- Servicio Agrícola y Ganadero. 2011. Pauta para Estudio de Suelos. Chile. Disponible en: <https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/pauta-para-estudio-de-suelos--mod-2016.pdf>
- Servicio Nacional de Sanidad y Calidad agroalimentaria. 2023. Anexo 2 Guía de Buenas Prácticas de Higiene Agrícolas y de Manufactura para la producción primaria (cultivo-cosecha), acondicionamiento, empaque, almacenamiento y transporte de frutas frescas. Argentina. Disponible en: <https://www.fao.org/3/y4893s/y4893s0b.htm>
- Silva, M. 2022. Arcillas en la industria minera. Disponible en: <https://empiricaconsultores.cl/arcillas-en-la-industria-minera/#:~:text=La%20presencia%20de%20arcilla%20en,a%20los%20molinos%20de%20bolas.>
- Sociedad Nacional de Minería. 2014. Manejo de Minerales y Residuos Mineros. Disponible en: <https://www.sonami.cl/v2/publicaciones/guia-de-operacion-para-la-pequena-mineria-6/>
- Toledo, P., Rozas, R., Quezada, H., Saavedra, J., Gutiérrez, L. 2021. ¿Sal o no Sal? Esa es la cuestión en procesos con agua salada. <https://drive.google.com/file/d/17oE-4o7FqvbjZWL7Nj8ylVDy6I3g13ka/view>
- Velasco, J. 2009. Buenas prácticas para mejorar la eficiencia de riego. Disponible en: https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/21298/Chileriego_37_2009_RIEGO%20POR%20SURCOS%20Y%20CON%20ADUCCIÓN%20CALIFORNIANA.pdf?sequence=1

MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS

Para el uso eficiente del agua en la industria Agrícola y Minera



Proyecto Sequía ANID/FSEQ210002

