



Organización
de las Naciones Unidas
para la Educación
la Ciencia y la Cultura



Cátedra UNESCO en Hidrología de Superficie:
Investigación, Conocimiento y Difusión en
Escenarios de Incertidumbre Climática
Universidad de Talca, Chile.



FACULTAD DE DERECHO
UNIVERSIDAD DE CHILE



Regulación ambiental de aguas en escenarios de crisis hídrica y climática

"Los desafíos de la gestión del agua en escenarios de incertidumbre"

Dr. Roberto Pizarro Tapia

Dra. Claudia Sangüesa Pool

Ing. Carlos Vallejos Carrera

Ing. Romina Mendoza Mendoza

Ing. Alfredo Ibáñez Córdova



Centro Tecnológico de Hidrología Ambiental
Cátedra Unesco en Hidrología de Superficie

Universidad de Talca
Septiembre de 2019

La disponibilidad de agua que posee Chile como país alcanza a los 57.000 m³/hab/año, muy por sobre los 6.500 m³/hab/año de la media mundial

Pero, si se hace una evaluación del promedio ponderado en función de la población existente por las regiones administrativas del país, esa disponibilidad baja a 9.500 m³/hab/año

Según la Unesco, la mínima disponibilidad de agua para que exista sustentabilidad a las poblaciones humanas, es de 1.700 m³/hab/año



De Santiago al norte la disponibilidad del recurso hídrico es en promedio de 1.000 m³/hab/año

De Santiago al sur, se plantea que las ofertas de agua superan a las demandas

Esta deducción se ve claramente cuestionada por una realidad que señala que, en regiones como la de los Ríos y de los Lagos, existe carencia del recurso hídrico.



Según cifras de la Dirección General de Aguas, entre 1992 y 2006, se verificó un incremento del consumo en un 160%. Al 2016 esa cifra era de 200%, es decir casi 3 veces

El crecimiento económico de Chile se ha incrementado en casi 3 veces desde el año 1990 a la fecha.

Por tanto, se tiene acoplado el crecimiento económico con el consumo de agua, en una ecuación no sustentable



El agua es el recurso natural más importante en que descansa la estructura productiva, ambiental, económica y social de Chile

Según cifras de la Ex-Delegación Presidencial de Recursos Hídricos, al menos el 60% del Producto Interno Bruto de Chile es explicado por el rol que juega el agua

Dadas las características geográficas del país, el agua en muchos casos se transforma en un elemento de devastación y de destrucción de bienes físicos y, principalmente, de pérdida de vidas humanas



CAMBIO CLIMÁTICO



CAMBIO CLIMÁTICO: “es un cambio en el clima, atribuible directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad climática natural observada durante períodos de tiempo comparables”
(Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático).

CONSECUENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

No te vi por culpa
del cambio
climático



CAMBIO CLIMÁTICO...

...O CARENCIA EN LA GESTIÓN TERRITORIAL??

SUIZA 2005



PROBLEMÁTICA

A NIVEL NACIONAL Y REGIONAL

1. Variabilidad y Cambio climático



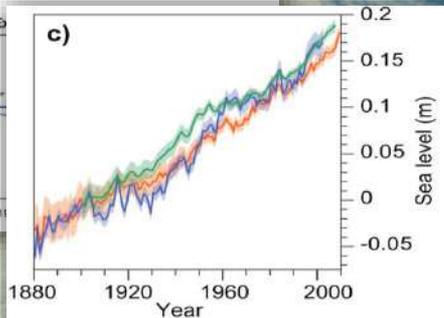
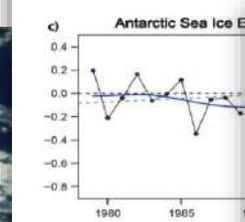
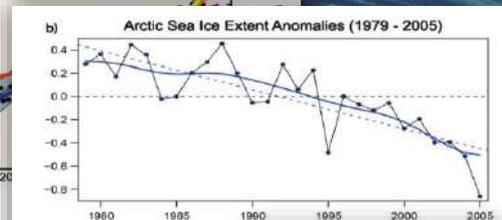
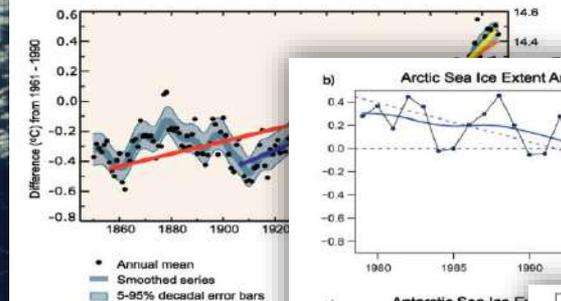
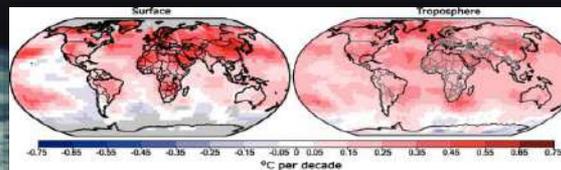
EVIDENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Principales
Evidencias del
Cambio Climático

Aumento de la
temperatura

Disminución
de la
Criósfera

Aumento
del Nivel del
Mar



Fuente: IPCC

Antofagasta 2015



Copiapó 2015



Copiapó 2015



Copiapó 2015



Los Lagos 2019



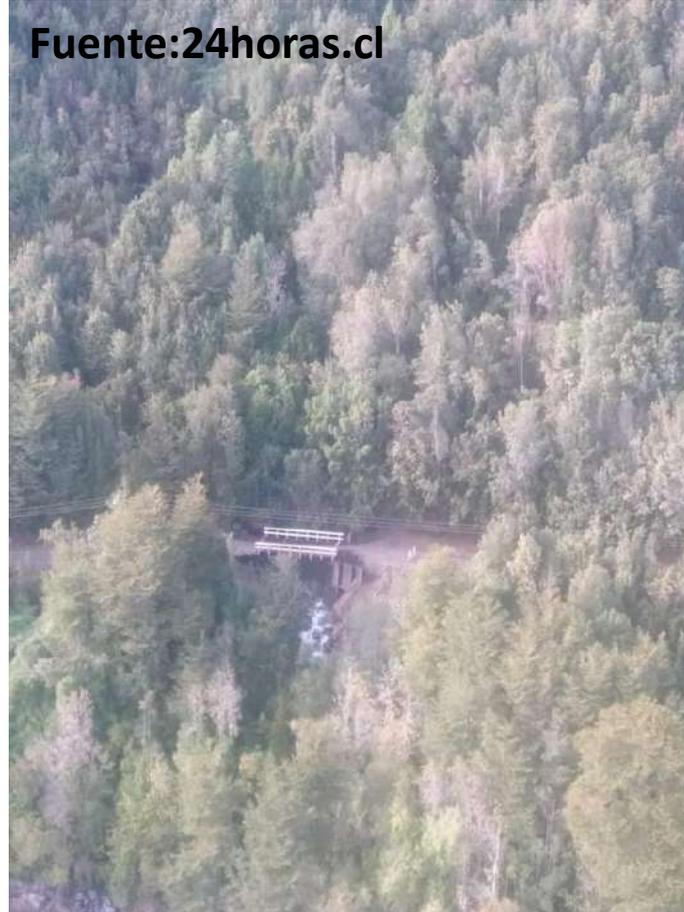
Fuente: 24horas.cl

Los Lagos 2019

Fuente:24horas.cl



Fuente:24horas.cl



Los Lagos 2019

Estación Puerto Montt

Periodo de retorno (años)	1973-2000 (mm/año)	2001-2018 (mm/año)	1973-2018 (mm/año)
2	1787	1862	1820
10	2313	2598	2451
100	2970	3517	3238

CAMBIO CLIMÁTICO...

...O CARENCIA EN LA GESTIÓN TERRITORIAL??

SUIZA 2005



CAMBIO CLIMÁTICO...

...¿O CARENCIA EN LA GESTIÓN TERRITORIAL?



Desplazamiento Altitudinal de la Isotherma

<0° Celsius

=0° Celsius

>0° Celsius

Mayor Aporte Volumétrico

Mayor Caudal Aguas Abajo

CRECIDAS

EVENTOS EXTREMOS: CAUDALES MÁXIMOS

Comportamiento de las Crecidas

Fuente: Jelehidalgo, Google Earth



Fuente: cooperativa.cl

NIVEL FREÁTICO

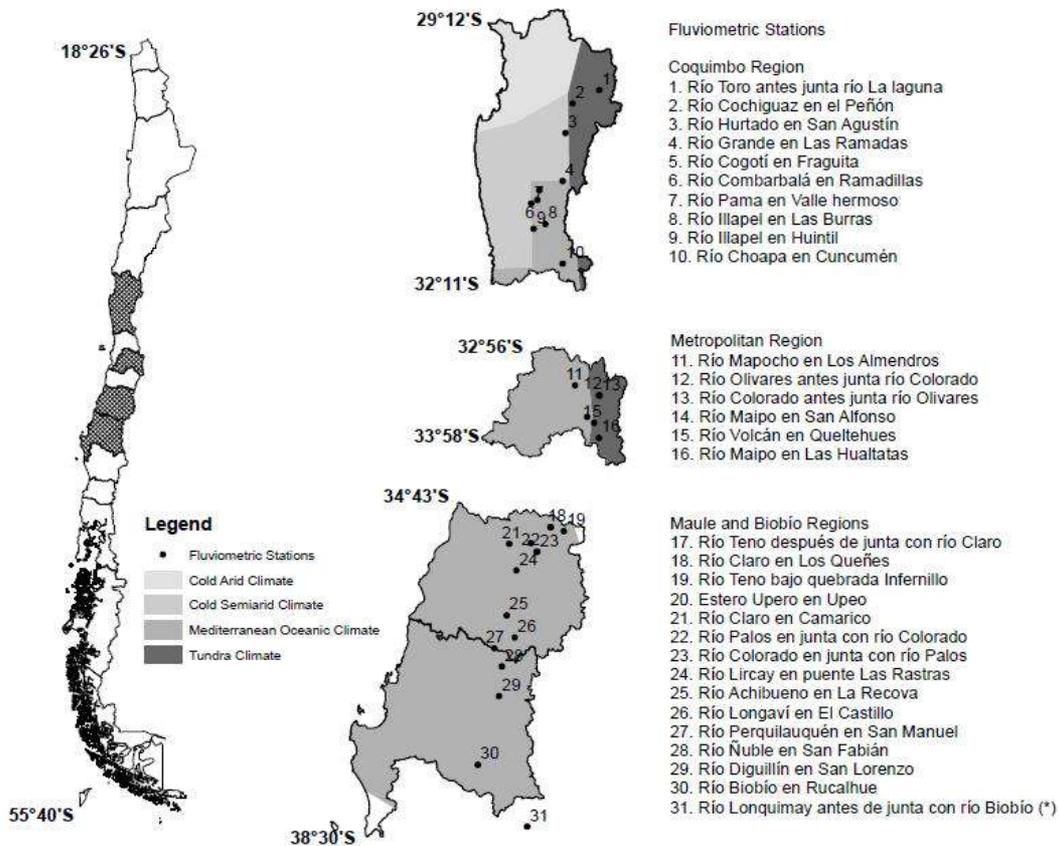
Agotamiento de los pozos



Estudio de los caudales máximos (Coquimbo-Biobío)

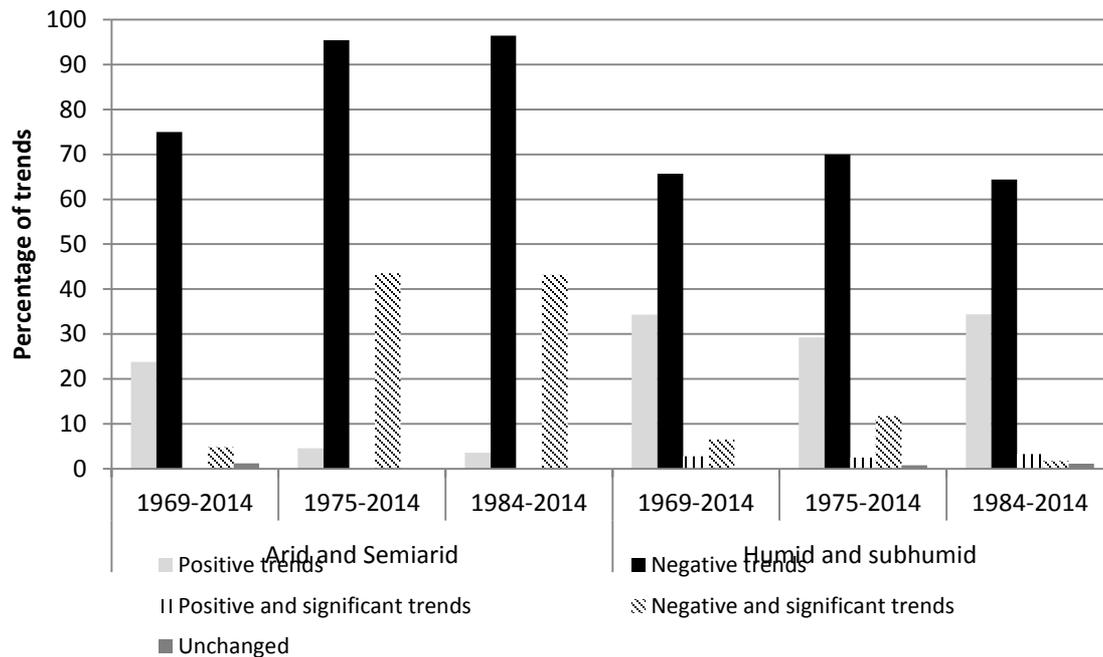
CAUDALES

COMPORTAMIENTO DE LOS CAUDALES PUNTA



CAUDALES

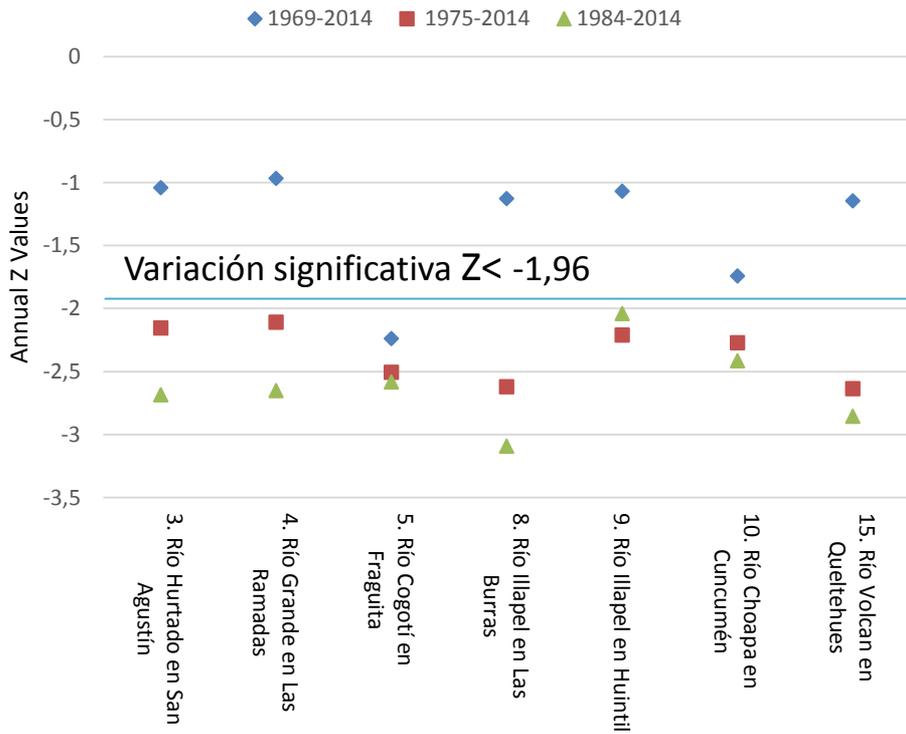
COMPORTAMIENTO DE LOS CAUDALES PUNTA



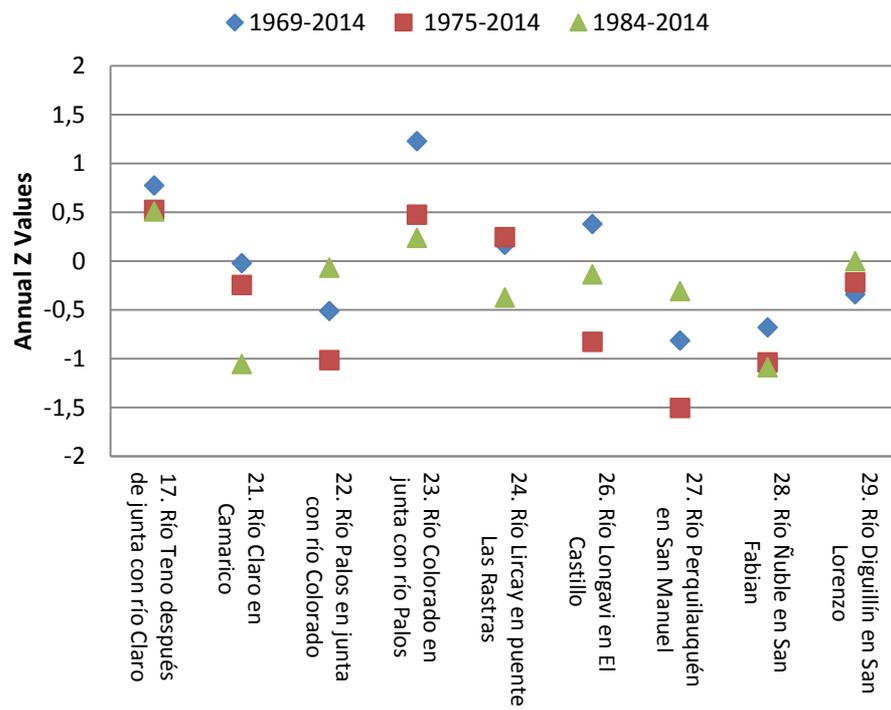
CAUDALES

COMPORTAMIENTO DE LOS CAUDALES PUNTA

Zona árida y semi-árida



Zona húmeda y semi-húmeda



Situación hídrica de la Región de Coquimbo

Prueba de Mann-Kendall

- El test estadístico Mann-Kendall ha sido utilizado frecuentemente para calcular la significancia de tendencias en las series de tiempo hidrometeorológicas.
- **Ventajas:**
 - No requiere que los datos provengan de una distribución normal.
 - Puede emplearse aunque falten datos.
- **Desventajas:**
 - Su cálculo es más complejo.

Mann-Kendall

Cálculo de los estadísticos

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{signo}(x_j - x_k)$$

Con

$$\text{signo}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & \text{si } x_j - x_k > 0 \\ 0 & \text{si } x_j - x_k = 0 \\ -1 & \text{si } x_j - x_k < 0 \end{cases}$$

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right]$$

Con

X_j y X_k : Variable estudiada.

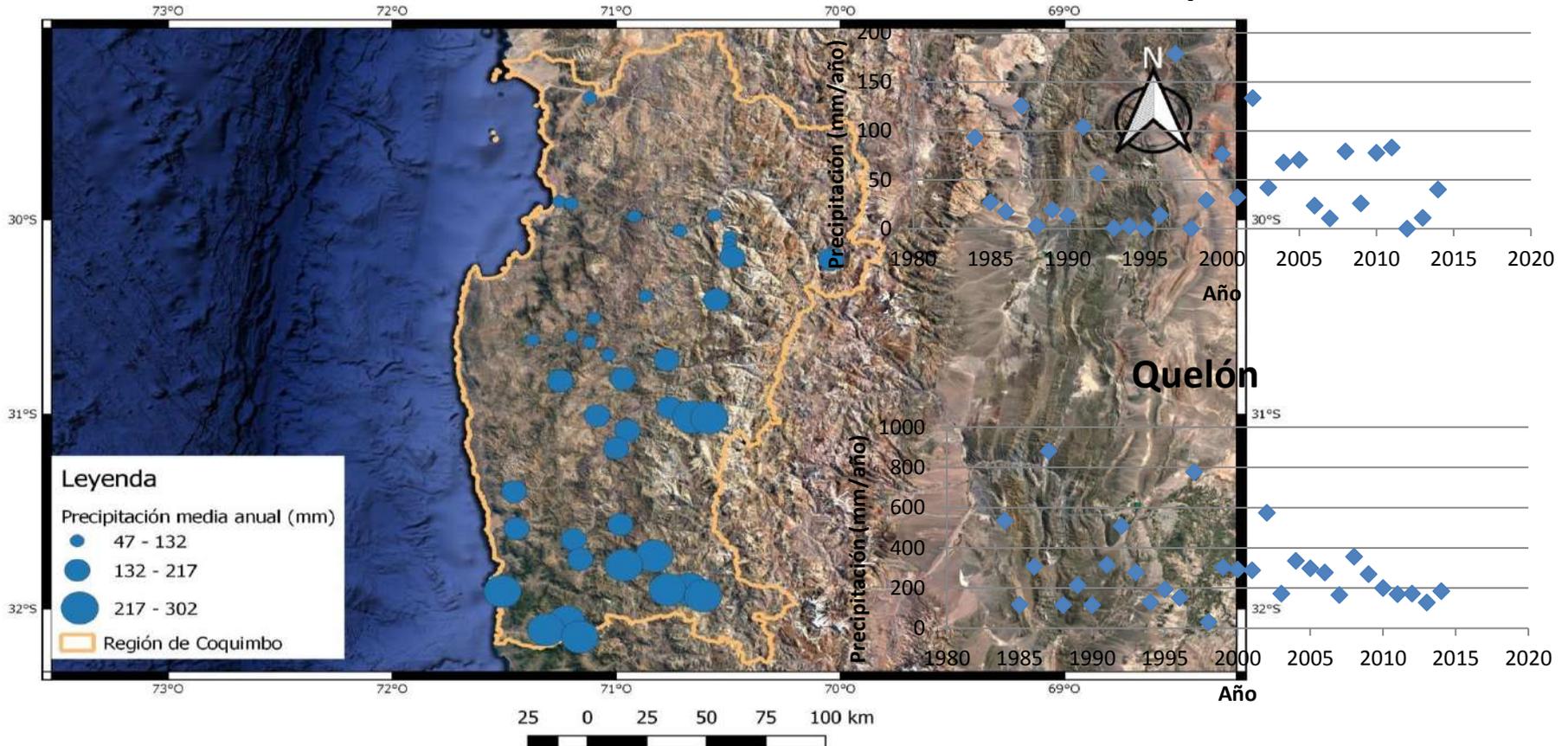
n : Tamaño de la muestra.

t_p : tamaño del grupo (q_i).

Precipitaciones

Precipitaciones

El Trapiche

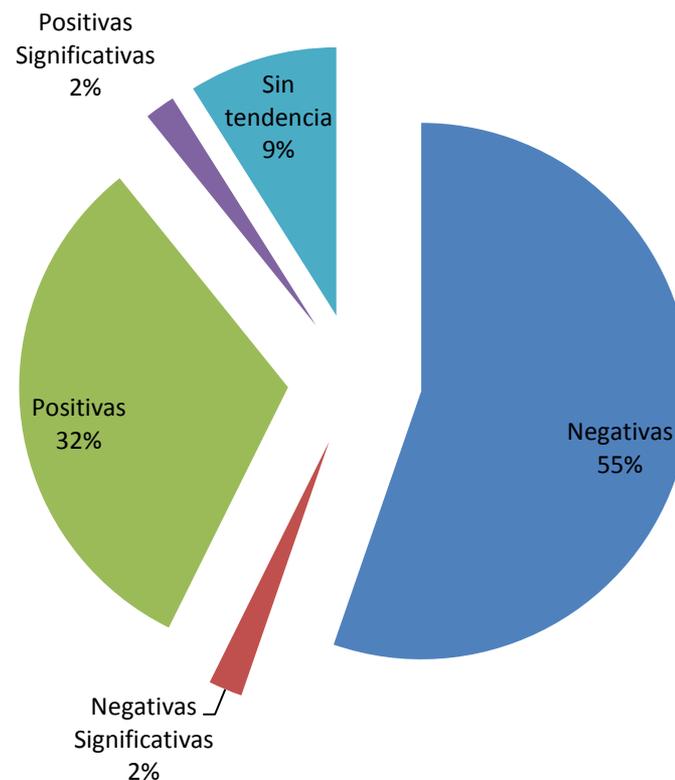


Precipitaciones

Tendencias

- Las precipitaciones fueron analizadas en base a 41 estaciones de la Región de Coquimbo, todas controladas por la DGA.
- ↓ En términos generales, se aprecia que las tendencias en las precipitaciones mensuales tienden a disminuir.
- ↓ Aunque la mayoría de las tendencias son negativas, no se verifica la significancia de las mismas. Dicho de otra forma, la variación de las precipitaciones se encuentra dentro del rango esperado.
- ↑ Aproximadamente un tercio de las precipitaciones son positivas pero al igual que las tendencias negativas estas no son significativas.

Tendencias precipitaciones (mensuales)



Precipitaciones

Tendencias

- Los resultados encontrados al analizar las tendencias en las precipitaciones, no permiten visualizar un cambio significativo en su comportamiento.

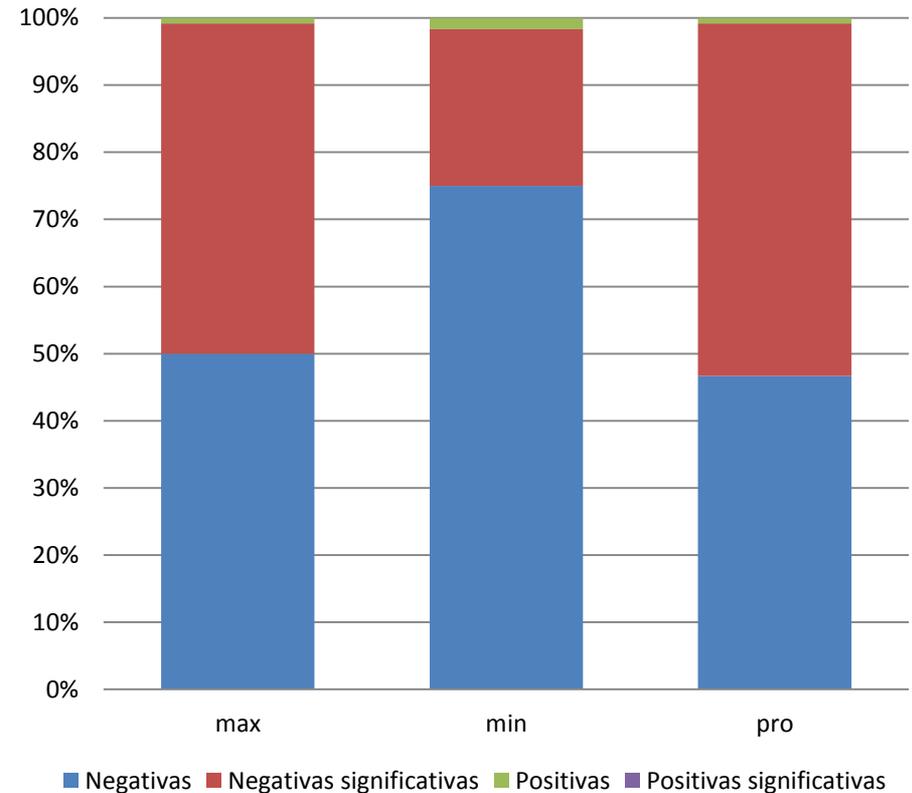
Componente	Tendencias	Totales	Totales (%)
Mensual	Negativas	282	57,3
	Negativas Significativas	10	2
	Positivas	166	33,7
	Positivas Significativas	9	1,8
	Sin tendencia	44	8,9
Anual	Negativas	33	80,5
	Negativas Significativas	0	0
	Positivas	8	19,5
	Positivas Significativas	0	0
	Sin tendencia	0	0

Caudales

Tendencias

- Los caudales fueron estudiados a nivel de valores anuales y mensuales en 10 estaciones fluviométricas de la Región de Coquimbo, controladas por la DGA.
- ↓ Los caudales para el periodo 1984-2014, en su componente mensual, presentan tendencia a la baja, concentrándose la mayoría de las tendencias significativas en los caudales medios (pro) y máximos (max).
- ↑ Las tendencias positivas son ínfimas.

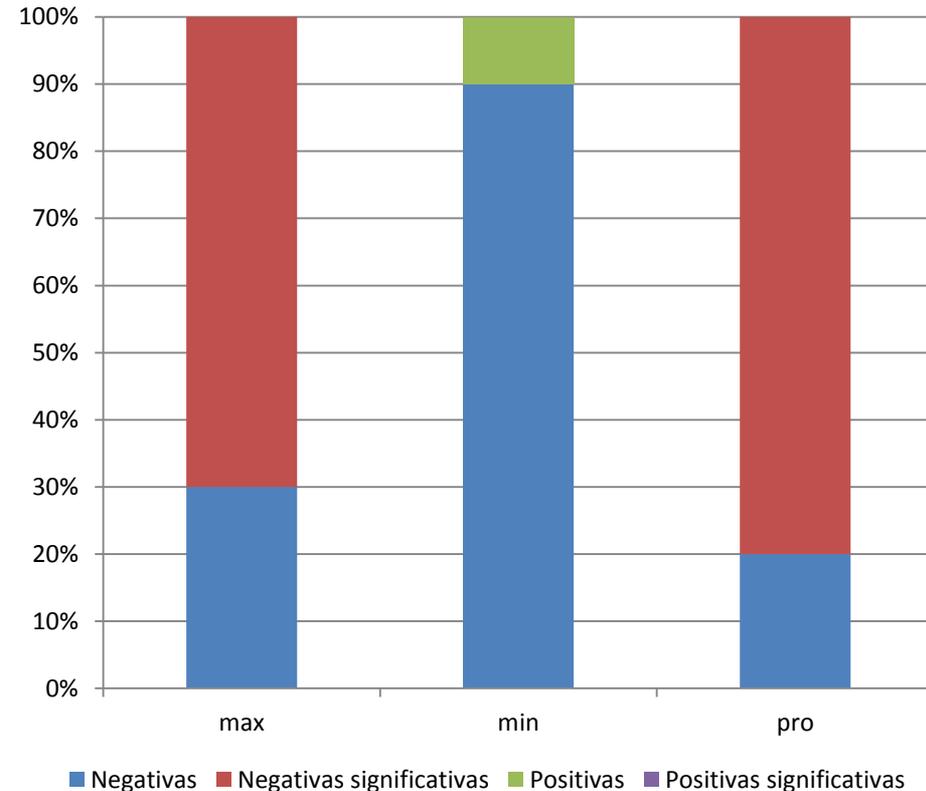
Tendencias caudales (mensuales)



Tendencias

- ↓ En el ámbito anual se aprecia que tanto en los caudales máximos como en los promedios, la totalidad de las series son negativas.
- ↓ La mayoría de las tendencias negativas, presentes en los caudales máximos y promedios son significativas.
- ↓ En el caso de los caudales mínimos, el 90% de las series son negativas, pero ninguna es significativa.
- ↑ Los caudales mínimos presentan un 10% de tendencias positivas.

Tendencias caudales (anuales)



Desglose de los caudales máximos

- Un análisis más detallado de los caudales máximos muestra que:
- Las tendencias negativas y significativas varían en función de la amplitud de la serie.

~~1989~~-2014

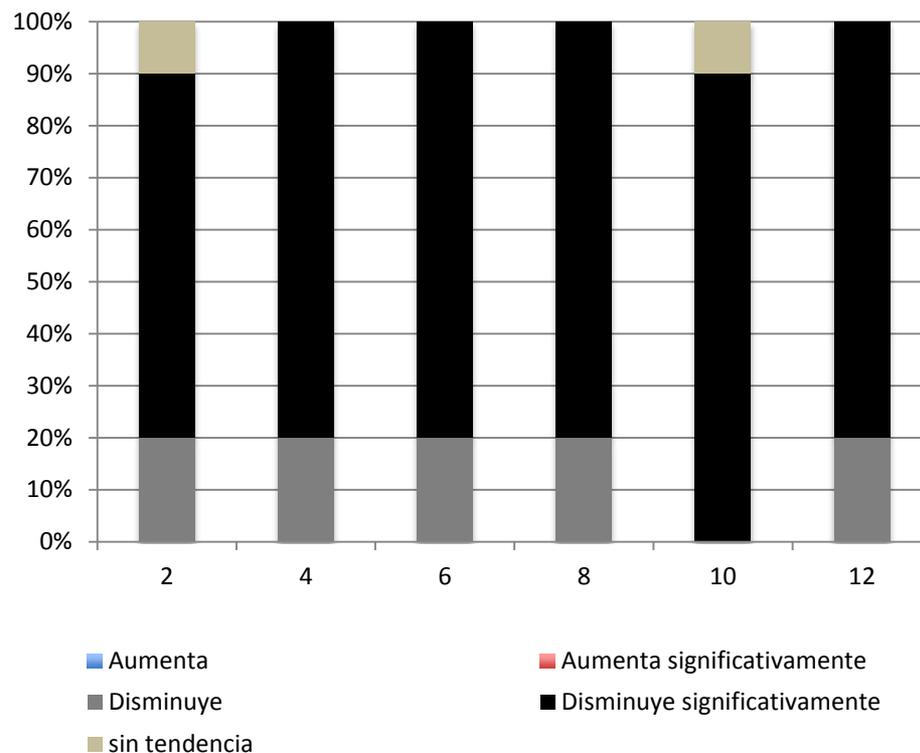
Zone	Total	Positive trends	Negative trends	Positive and significant trends	Negative and significant trends
Arid-Semiarid	7	0 (0%)	7 (100.0%)	0 (0%)	1(14.3%)
Humid-subhumid	9	4 (44.4%)	5 (55.6%)	0 (0%)	0 (0%)

Pozos

Tendencias

- El nivel de las aguas subterráneas fue estudiado en base a 10 pozos de la Región de Coquimbo, todos controlados por la DGA.
- ↓ A nivel mensual se aprecia que la totalidad de las tendencias muestran una disminución en el nivel de los pozos. Además, la mayoría de estas tendencias negativas, son significativas.
- ↑ No se encontraron tendencias que denoten un aumento en el nivel de los pozos.

Tendencias del nivel de los pozos (mensual)

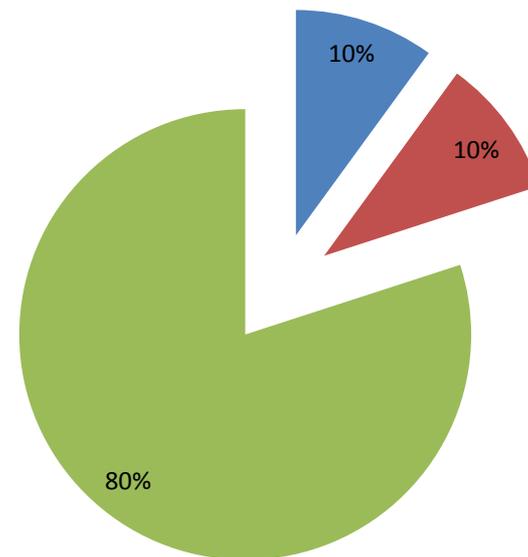


Tendencias

↓ Al verificar la componente anual de los pozos, se aprecia que un 90% de las tendencias analizadas son decrecientes, de las cuales el 80% son significativas.

↑ Se encontró que sólo un 10% de las tendencias anuales son crecientes. Es decir aumenta el nivel estático del pozo.

Tendencias del nivel de los pozos (anual)



■ Aumenta ■ Disminuye ■ Disminuye Significativamente

Tendencias

- De los resultados obtenidos, se desprende que el nivel freático de los pozos analizados ha disminuido constantemente en el tiempo.

Componente	Tendencias	Totales	Totales (%)
Mensual	Aumenta	0	0
	Aumenta Significativamente	0	0
	Disminuye	58	96,8
	Disminuye Significativamente	48	79,9
	Sin tendencia	2	3,4
Anual	Aumenta	1	10
	Aumenta Significativamente	0	0
	Disminuye	9	90
	Disminuye Significativamente	8	80
	Sin tendencia	0	0

Estrategias de adaptación frente al cambio climático

INVESTIGACIÓN SOBRE EMBALSES

ASCE (AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS)

ASCE You are not logged in. [Login](#) [About ASCE](#) [About Civil Engineering](#) [Donate Now](#) [My ASCE](#) [Shop ASCE](#) [View Cart](#)

Civil Engineering
THE MAGAZINE OF THE AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS

HOME ABOUT CE MAGAZINE SUBMISSION ADVERTISE ASCE NEWS BUYERS' GUIDE CAREER CONNECTIONS

Search Online CE Magazine (August to present) Search text... SEARCH

Reservoirs Impact Precipitation Intensity

By Kevin Wilcox

Researchers working in Chile discover that the intensity of rainfall increases dramatically in dry areas close to large reservoirs.

February 12, 2013—Researchers hoping to gather information about design storms and return periods to aid the planning of storm-water management in Chile recently made a discovery that surprised them and led their research in a different direction: they found that the presence of large reservoirs in dry areas of the country is correlated with higher intensity rainfall in that area.

"We didn't expect that, but we noticed that pattern and we wondered why this is," says Pablo Garcia-Chevesich, Ph.D., one of the authors of the resulting research entitled "Inland Water Bodies in Chile Can Locally Increase Rainfall Intensity," to be published in the February 25 issue of Elsevier's *Journal of Hydrology*. "We did a more serious analysis that separated the stations located near the reservoirs from those away from them and we saw stunning results."

The research was funded by a grant from the government of Chile. The research team was led by Roberto Pizarro, Ph.D., a professor in the forest sciences department at the University of Talca in Chile. Garcia-Chevesich is a researcher associated with the Department of Hydrology and Water Resources at the University of Arizona, and the Forest Institute, Chile.

The team placed 50 automatic rain gauges at various sites in Chile to collect data to develop intensity-duration-frequency curves to provide guidance in the design of storm-water collection systems. Pinpointing rainfall characteristics in Chile is difficult. Chile is a long, narrow country on the west coast of South America.



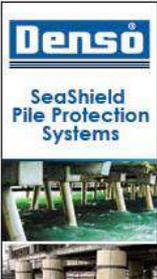
Reservoirs in arid regions, such as this one near Santiago, Chile, have a profound influence on local rainfall intensity, according to a new study. Wikimedia Commons/ Mauro_grade

RELATED PRODUCTS

In Situ Remediation of the Geoenvironment

GSP 71 contains 42 papers presented at sessions at the ASCE National Convention, held in Minneapolis, Minnesota, October 5-8, 1997.

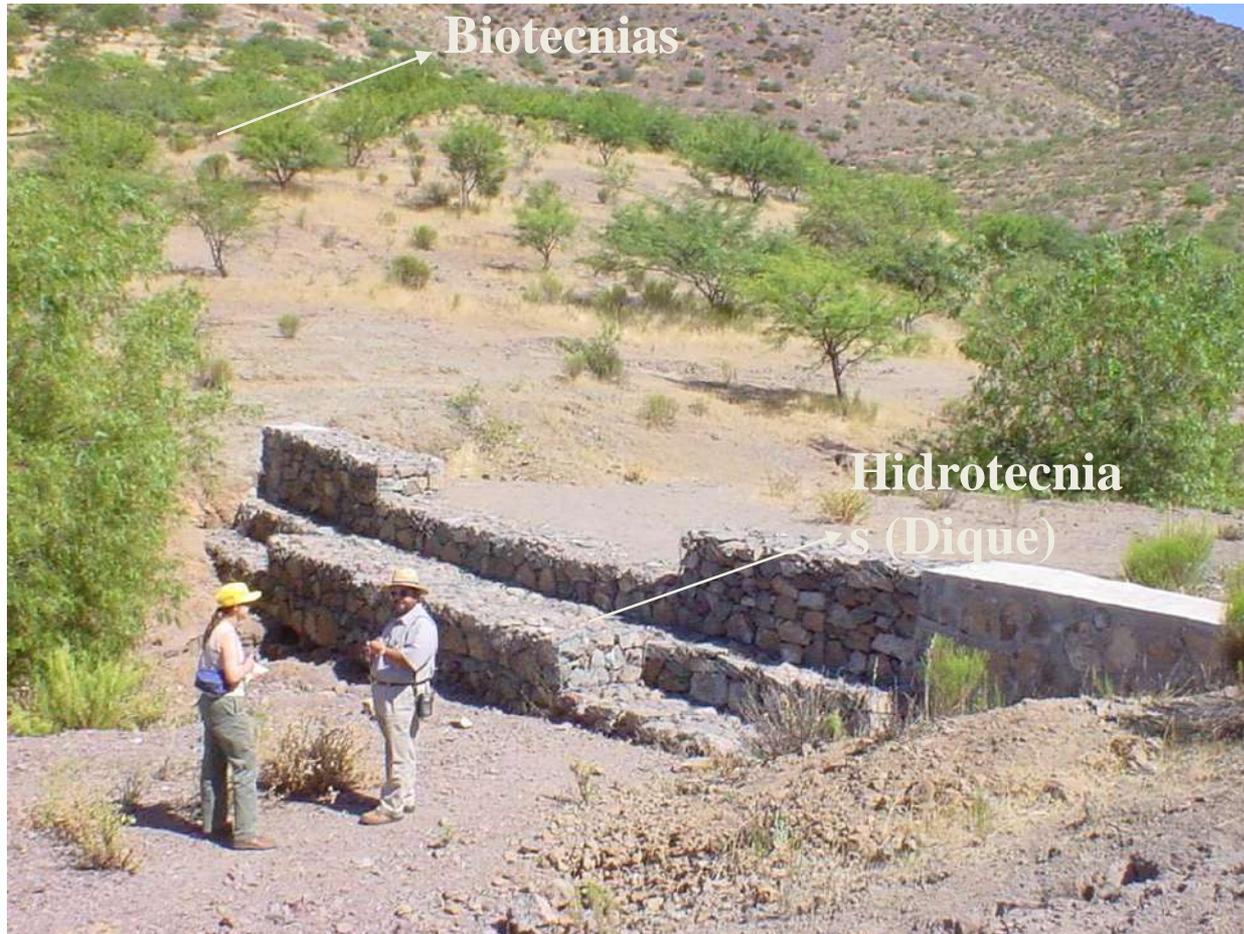
ADVERTISEMENT



¿QUÉ ES LA RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO- FORESTAL?

Es la planificación y actuación técnica en el territorio, con el fin de restaurar situaciones de degradación de aguas, tierras y ecosistemas en general, por medio de ingeniería dura (hidrotecnias) e ingeniería blanda (biotecnias), en buen acuerdo con la población y en el marco de políticas públicas coherentes en tiempo y espacio.

LA MUÑOZANA, IV REGIÓN, CHILE. 2003



EJEMPLOS DE RHFO EN CHILE

Cerro San Cristóbal, Santiago, Chile



EJEMPLOS DE RHFO EN CHILE

Viaducto Malleco, Collipulli, Chile



EJEMPLOS DE RHFO

EN CHILE

Desembocadura río Maule, Constitución, Chile



Desafíos pendientes en términos de la adaptación al cambio climático

DESAFÍOS ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Desafío

Alcanzar un uso sustentable del agua respetando las singularidades territoriales

Posible solución

- Fortalecer el conocimiento acerca del funcionamiento de los ecosistemas para la generación de políticas públicas
- Establecer propuestas para racionalizar las demandas de agua en base a las ofertas disponibles.

DESAFÍOS ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Desafío

Falta de inversión en torno a la investigación en recursos hídricos

Posible solución

- Sensibilizar a los tomadores de decisión acerca del rol del I + D en recursos hídricos
- Establecer sinergias de trabajo entre instituciones del Estado para optimizar recursos
- Establecimiento de redes de contacto con expertos internacionales

DESAFÍOS ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Desafío

Carencia de una cultura de uso y cuidado del agua ante un posible escenario de escasez

Posible solución

- Fomentar estrategias de transferencia y de sensibilización a la población
- Fortalecer los currículums de pre y post grado que fortalezcan una cultura hídrica.

DESAFÍOS ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Desafío

Asumir la realidad de un escenario de ofertas limitadas, con legislaciones insuficientes y conocimientos limitados.

Posible solución

- Establecer un paradigma dirigido hacia un nuevo óptimo, basado en la colaboración entre actores, que permita racionalizar las demandas de agua en base a las ofertas disponibles.

Concientización de la población

ESTRATEGIA DE CONCIENTIZACIÓN

Medios masivos

Incrementar difusión de conocimientos de hidrólogos, glaciólogos, climatólogos, entre otros.



Medios sociales

Las universidades, deben crear e implementar fanpage en los cuales se explique de manera simplificada sus investigaciones con respecto al cambio climático.





Organización
de las Naciones Unidas
para la Educación
la Ciencia y la Cultura



Cátedra UNESCO en Hidrología de Superficie:
Investigación, Conocimiento y Difusión en
Escenarios de Incertidumbre Climática
Universidad de Talca, Chile.



FACULTAD DE DERECHO
UNIVERSIDAD DE CHILE



Regulación ambiental de aguas en escenarios de crisis hídrica y climática

"Los desafíos de la gestión del agua en escenarios de incertidumbre"

Dr. Roberto Pizarro Tapia

Dra. Claudia Sangüesa Pool

Ing. Carlos Vallejos Carrera

Ing. Romina Mendoza Mendoza

Ing. Alfredo Ibáñez Córdova



Centro Tecnológico de Hidrología Ambiental
Cátedra Unesco en Hidrología de Superficie

Universidad de Talca
Septiembre de 2019