



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



RIESGOS EN ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Dr. Roberto Pizarro Tapia
Ing. Alfredo Ibáñez Córdova
Dra. Claudia Sangüesa Pool
Ing. Carlos Vallejos Carrera
Ing. Romina Mendoza Mendoza



Centro Tecnológico de Hidrología Ambiental
Universidad de Talca
9 de mayo de 2019

Antecedentes de Contexto-Diagnóstico

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.

Antecedentes de Contexto-Diagnóstico

→ 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, donde se superan los 2.000 mm al año, se están verificando hechos crecientes de carencia del recurso hídrico, lo que no solo afecta a los sectores productivos, sino que al consumo humano.

Antecedentes de Contexto-Diagnóstico

Según cifras de la Dirección General de Aguas, entre el año 1992 y el 2006, se verificó en el país un incremento del consumo que ascendió a un 160%. Al 2016 esa cifra ha ascendido casi al 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. Este se ha basado en los sectores tradicionales consumidores de agua, agricultura, minería, turismo, forestal, industria, etc.

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

Antecedentes de Contexto-Diagnóstico

El agua se constituye en la actualidad en **el recurso natural más importante** en que descansa la estructura productiva, ambiental y de desarrollo económico y social de Chile.

Según cifras de la 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



PROBLEMÁTICA

A NIVEL NACIONAL Y REGIONAL

1. Variabilidad y Cambio climático



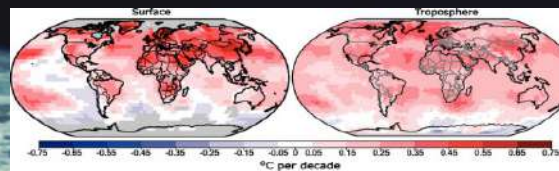
EVIDENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Principales Evidencias del Cambio Climático

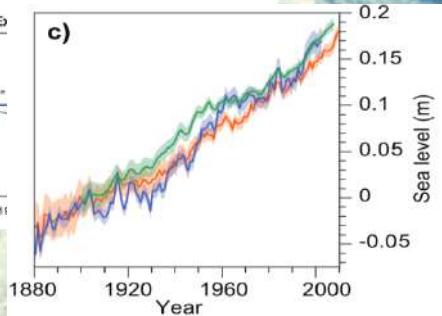
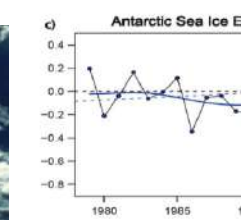
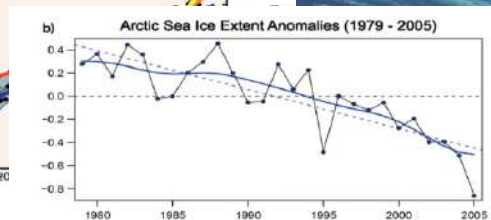
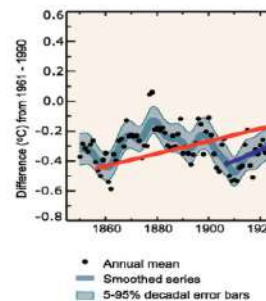
Aumento de la temperatura

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



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

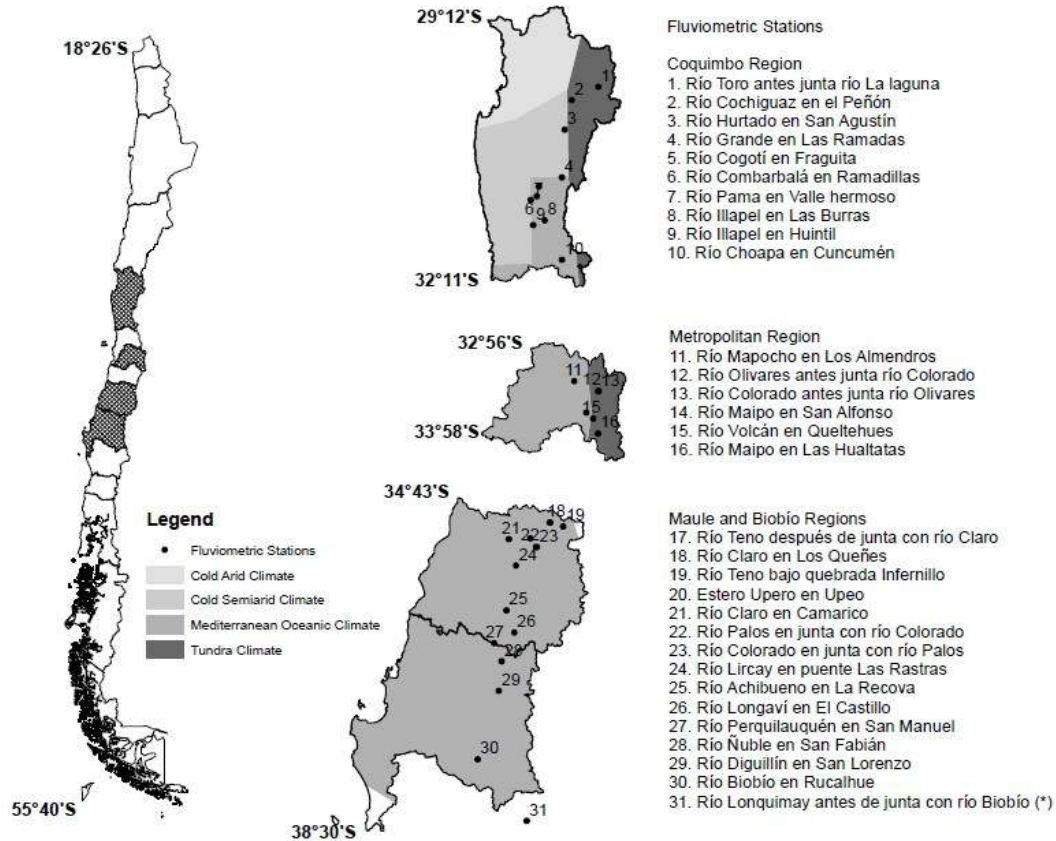
Agotamiento de los pozos



Estudio de los caudales máximos (Coquimbo-Biobío)

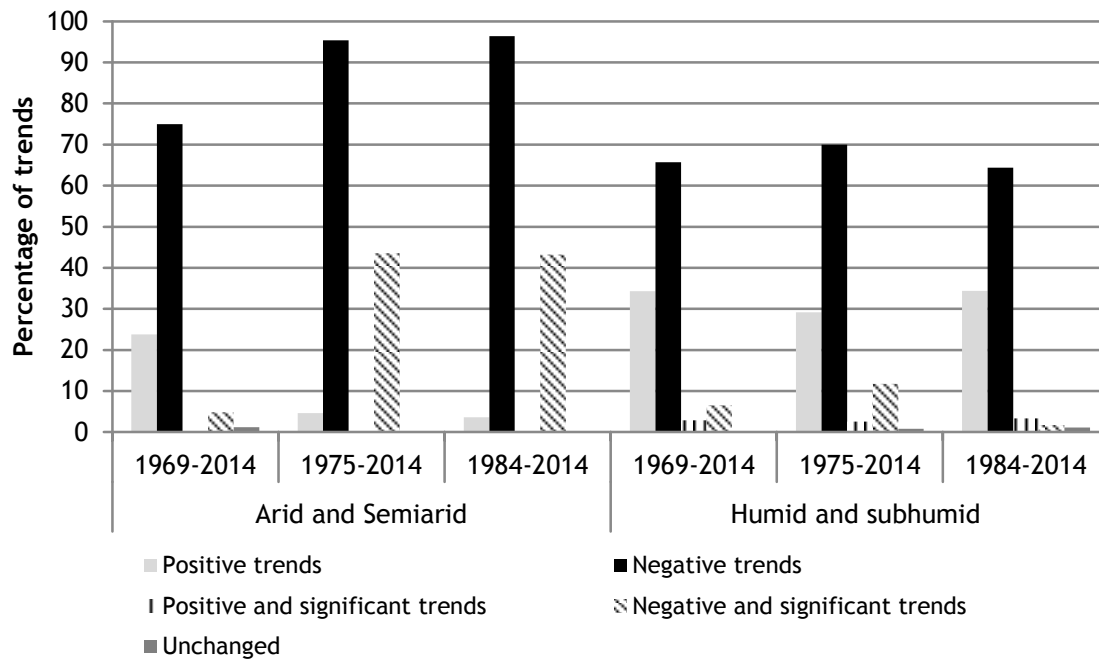
CAUDALES

COMPORTAMIENTO DE LOS CAUDALES PUNTA



CAUDALES

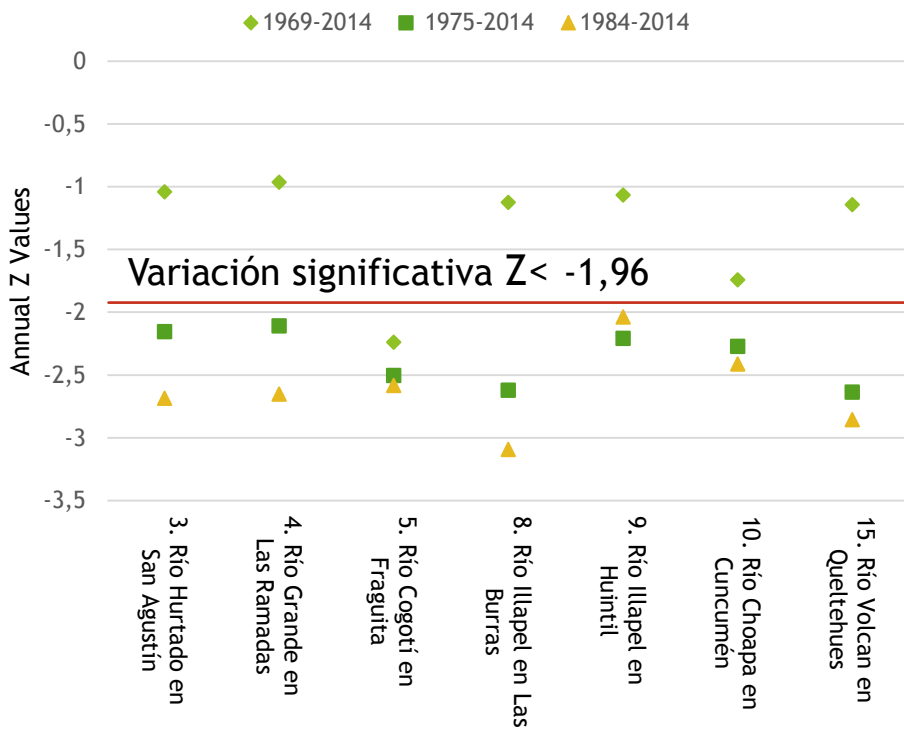
COMPORTAMIENTO DE LOS CAUDALES PUNTA



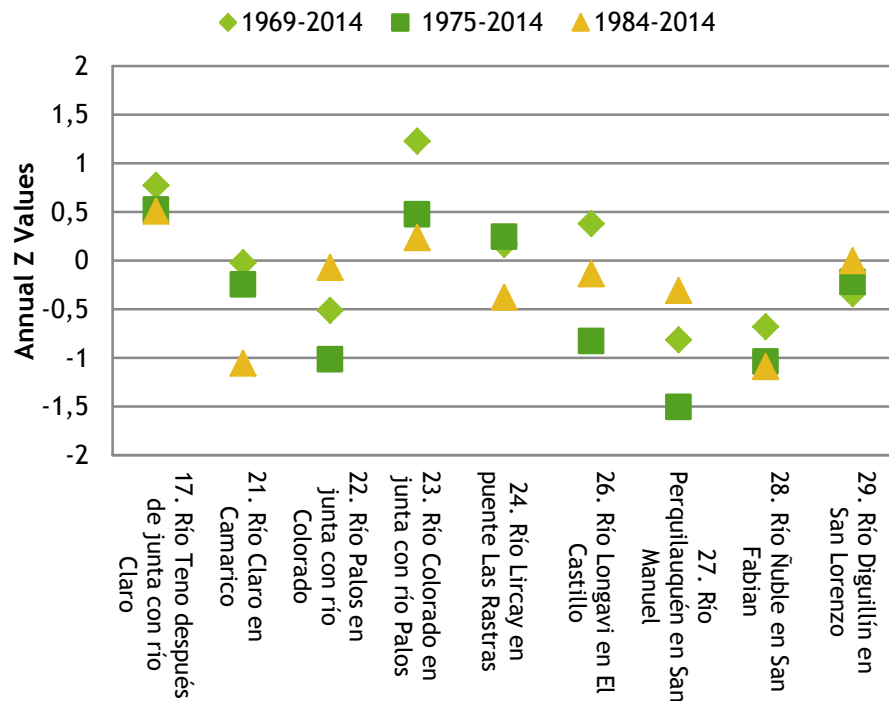
CAUDALES

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.

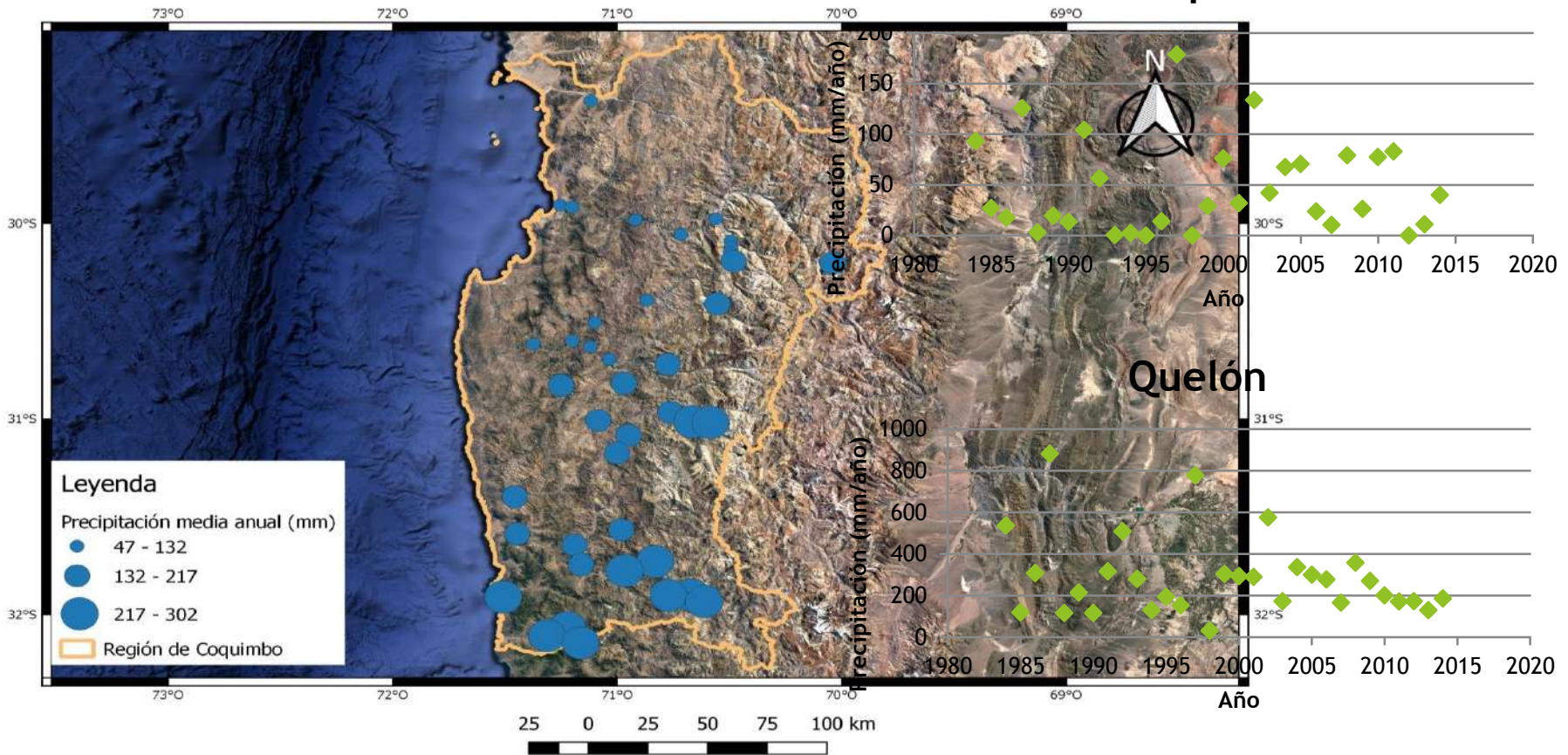
n : Tamaño de la muestra.

t_p : tamaño del grupo (q_i).

Precipitaciones

Precipitaciones

El Trapiche

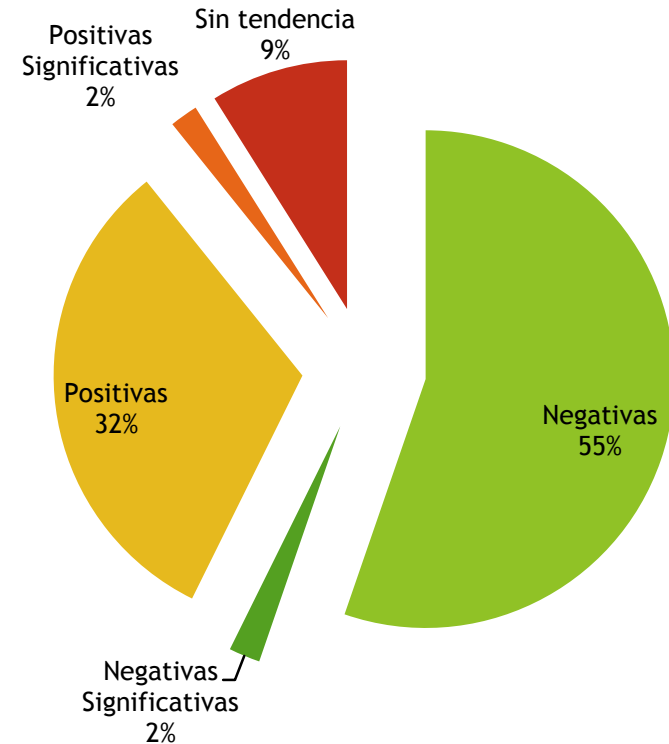


Precipitaciones

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 |

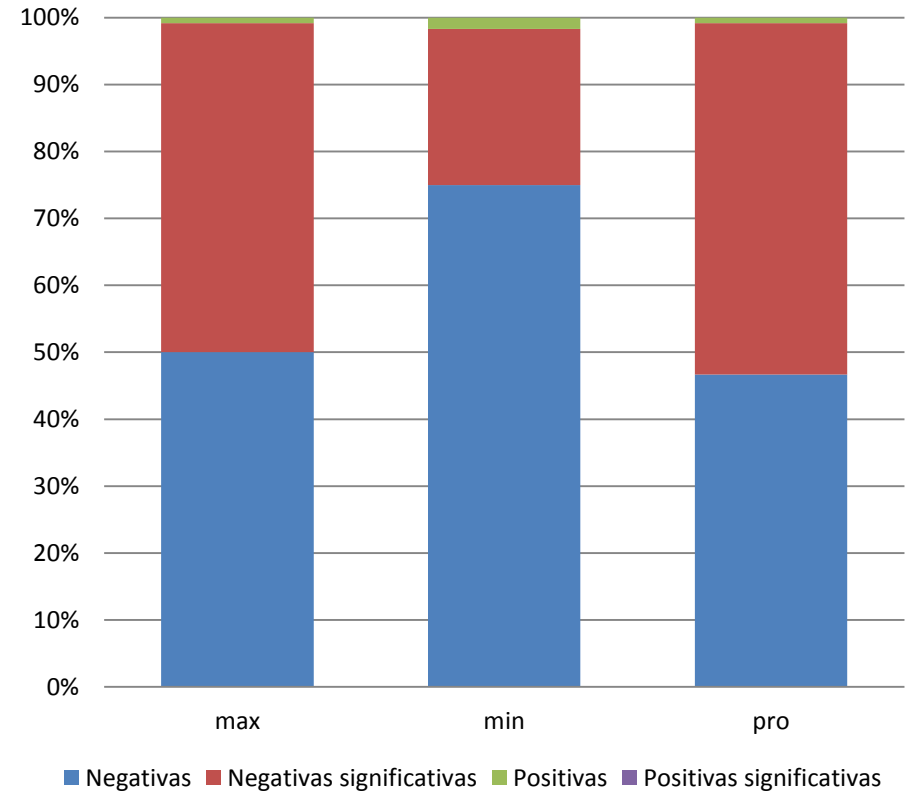
Caudales

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)

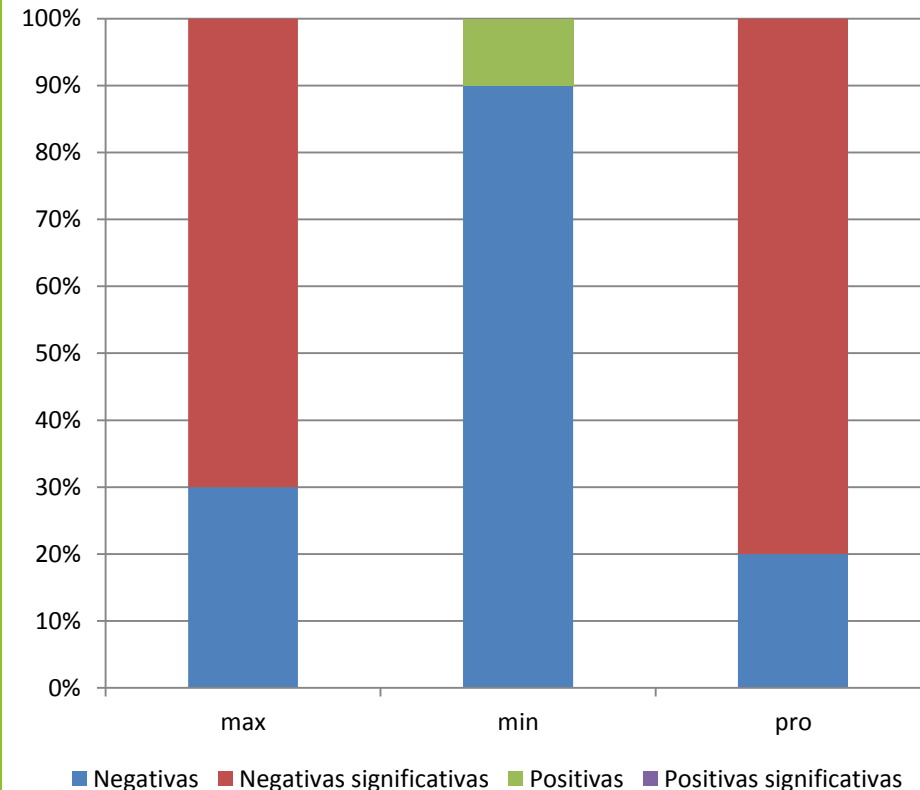


Caudales

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%) |

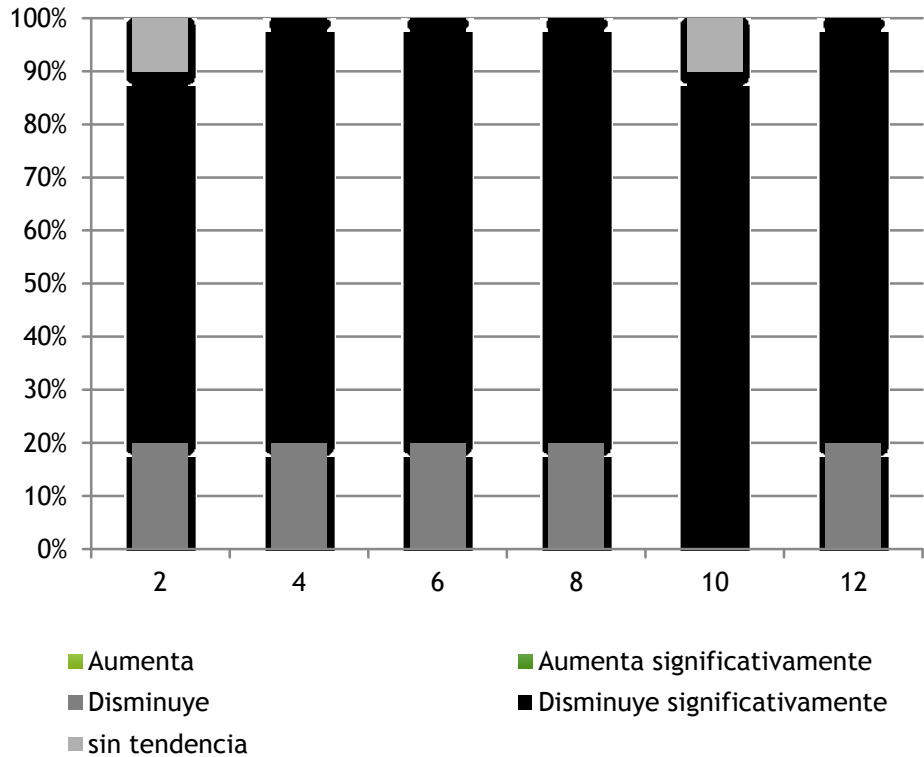
Pozos

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)

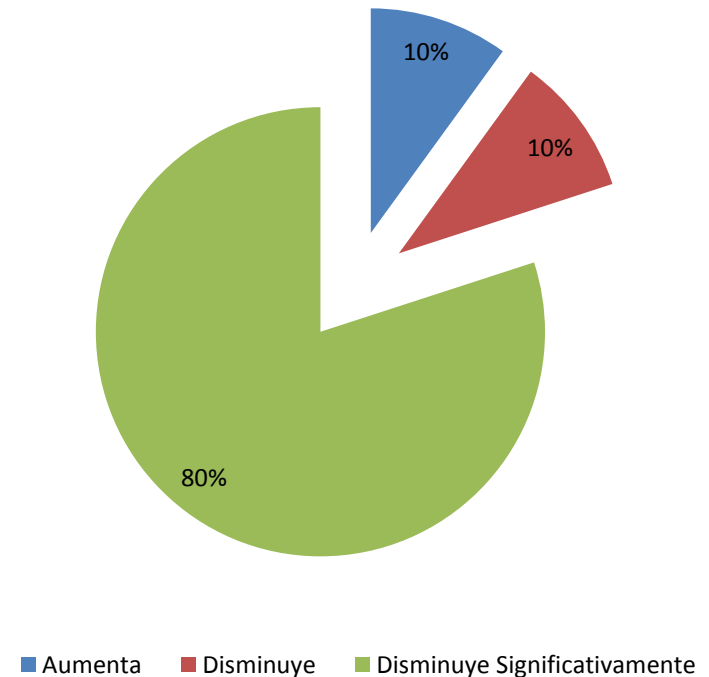


Tendencias

↓ 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)**



Pozos

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)

The screenshot shows the ASCE website interface. At the top, there is a navigation bar with the ASCE logo and links for 'You are not logged in.', 'Login', 'About ASCE', 'About Civil Engineering', 'Donate Now', 'My ASCE', 'Shop ASCE', and 'View Cart'. Below this is a header for the 'Civil Engineering' magazine, including a 'Current Print Issue' thumbnail and the magazine title. A secondary navigation bar contains links for 'HOME', 'ABOUT CE MAGAZINE', 'SUBMISSION', 'ADVERTISE', 'ASCE NEWS', 'BUYERS' GUIDE', and 'CAREER CONNECTIONS'. A search bar is located below the navigation. The main content area features an article titled 'Reservoirs Impact Precipitation Intensity' by Kevin Wilcox. The article text discusses research in Chile and includes a quote from Pablo García-Chevesich. A red circle highlights a sentence in the text: '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. García-Chevesich is a researcher associated with the Department of Hydrology and Water Resources at the University of Arizona, and the Forest Institute, Chile.' To the right of the article is a large image of a reservoir in a mountainous region, with a caption: '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'. Further right, there are sections for 'RELATED PRODUCTS' (featuring 'In Situ Remediation of the Geoenvironment') and 'ADVERTISEMENT' (featuring a Denso SeaShield Pile Protection Systems advertisement).

RESTAURACIÓN HIDROLÓGICA FORESTAL

Planes, trabajos y acciones necesarios para la conservación, defensa y recuperación de la estabilidad y fertilidad de los suelos, la regulación de las escorrentías, la consolidación de cauces fluviales y laderas, la contención de sedimentos y, en general, la defensa del suelo contra la erosión



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

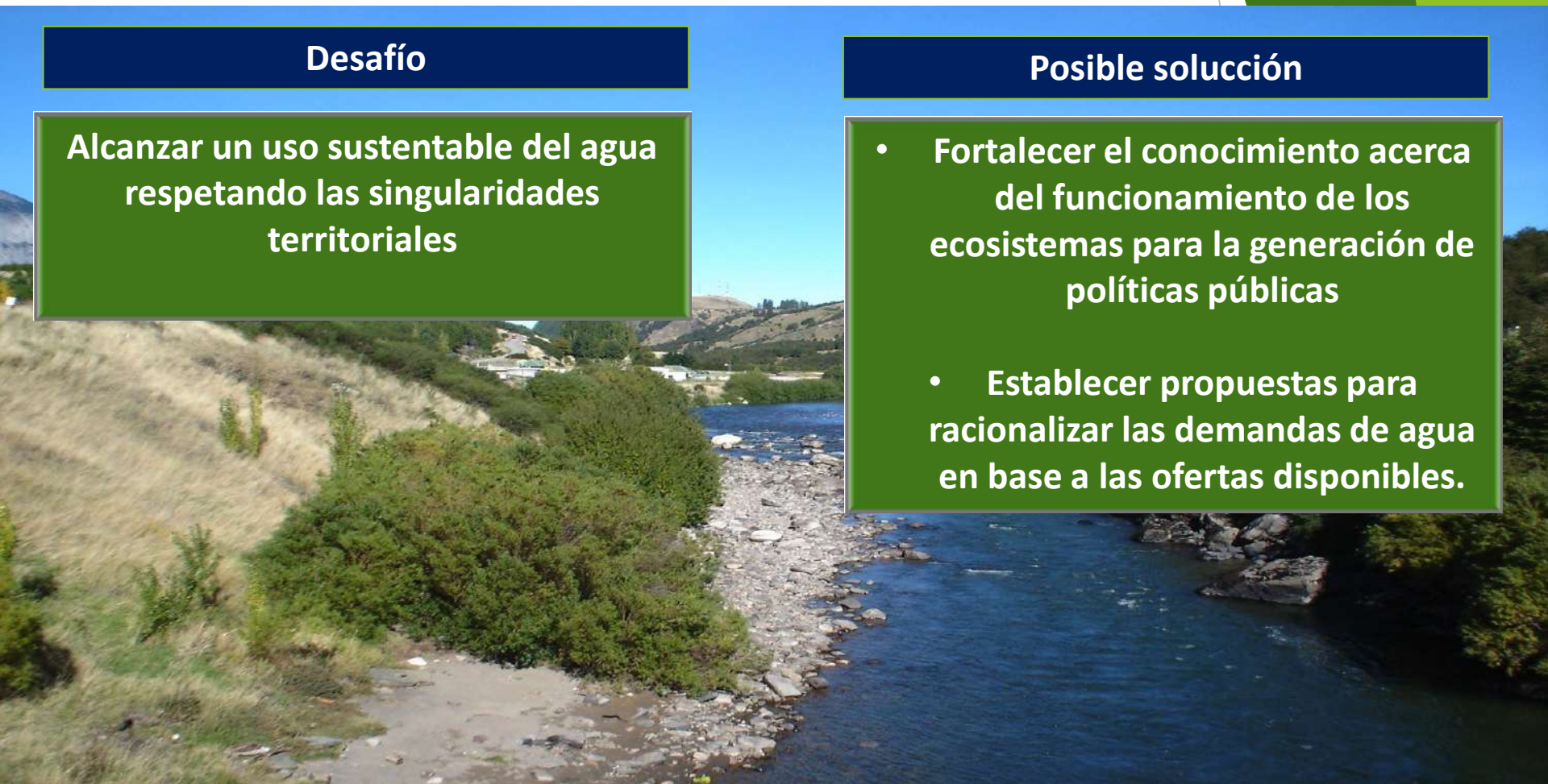
DESAFÍOS ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

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.

Concientización de la población

ESTRATEGIA DE CONCIENTIZACIÓN

Medios masivos

Incrementar las entrevistas a 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



RIESGOS EN ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Dr. Roberto Pizarro Tapia
Ing. Alfredo Ibáñez Córdova
Dra. Claudia Sangüesa Pool
Ing. Carlos Vallejos Carrera
Ing. Romina Mendoza Mendoza



Centro Tecnológico de Hidrología Ambiental
Universidad de Talca
9 de mayo de 2019