



| 2013

Informe “Programa de
Estimulación de Precipitaciones”

Comisión Nacional de Riego.

Índice.

Resumen	4
Antecedentes	6
Principio Físico.....	6
Método de Siembra	7
Aspectos destacados de un Programa de Incremento de las Precipitaciones	9
El clima y el sector	9
Factores económicos	9
Experiencias de programas	10
En Chile	10
Programa Río Copiapó	10
Programa de estimulación de precipitaciones en Cuenca del río Cachapoal.....	10
Período (2000-2004).....	10
Período 2008-2010	11
En el extranjero	12
Programas permanentes en Estados Unidos	12
Texas.....	12
North Dakota.....	12
Utah.....	13
Cuba: Cuenca del río Cauto (2005-2010)	13
Programas Cuenca del río Uribante y Cuenca del río Tuy (2010) Venezuela.....	13
Operación del Programa Chile	15
Región de Atacama	15
Región de Coquimbo:.....	16
Región de Valparaíso:.....	16
Región de O'Higgins:.....	18
Evaluación de los resultados en Chile	20
Metodología.....	20
Definición del Clima.....	20
Eliminación de datos Atípicos	22
Tratamiento base de datos	24
Análisis.....	25
Resultados	26
Comportamiento de las Precipitaciones.....	26
Comportamiento de los Caudales.....	27
Análisis Razón de Precipitaciones.	29
Análisis Razón de Caudales.	30
Discusiones y Conclusión	31
Anexo 1 “Registro de vuelos”	32
Región de Atacama.....	32
Región de Coquimbo.....	33
Región de Valparaíso.....	34
Anexo 2 “Definición de los climas en las regiones analizadas”	35
Región de Atacama	35
Región de Coquimbo.....	35
Región de Valparaíso.....	36
Región del Libertador Bernardo O'Higgins	37
Región del Maule.....	37



Anexo 3 “Prueba de Hipótesis Precipitaciones”	38
Región de Coquimbo.....	38
Región de Valparaiso.....	38
Región del Libertador Bernardo O´Higgins	38
Región del Maule.....	38
Anexo 4 “Tendencia Caudales”	39
Anexo 5 “Prueba de Hipótesis Caudales”	43
Region de Atacama	43
Region de Coquimbo.....	43
Region de Valparaiso.....	43
Región del Libertador Bernardo O´Higgins	44

Informe – Estimulación de precipitaciones

RESUMEN

El Programa de Estimulación de Precipitaciones (PEP) comenzó en mayo del 2012. En particular en la región de Atacama, el programa comenzó en junio de 2012, finalizando en el mes de septiembre 2012, período en el cual se realizaron 13 vuelos en total, 9 de los cuales fueron efectivos de siembra. Entre los meses de diciembre a marzo del 2013, durante el Verano Altiplánico, operó también.

En la región de Coquimbo, el PEP comenzó a operar en junio de 2012 y se extendió hasta octubre, con 40 vuelos. Adicionalmente, se realizaron 2 vuelos en enero y febrero de 2013. Actualmente para el año 2013 se encuentra aprobado por el Gobierno Regional los fondos para un programa terrestre y aéreo con 50 horas de vuelo y 18 generadores, además de considerar vuelos en el invierno boliviano si se presenta alguna oportunidad.

En Valparaíso, el PEP se desarrolló entre mayo y octubre, con 546 horas de operación terrestre en 19 frentes, y 6 vuelos de siembra entre junio y octubre. Sólo operaron 9 equipos terrestres; los 18 equipos faltantes fueron instalados en el primer trimestre 2013.

En la región de O'Higgins, el PEP operó de manera terrestre entre mayo y octubre, durante 585 horas. En dicho periodo, se instalaron 22 de los 25 equipos que dispondrá la región durante el 2013.

Metodología

Se utilizó un análisis de correlación, con el fin de comparar el comportamiento de las precipitaciones y caudales de una cuenca de control - la del Maipo-, con las de las cuencas donde se implementó el PEP. Una vez identificada la correlación se creó un índice para eliminar la diferencia de magnitud existente entre las precipitaciones y los caudales. Una vez establecido la correlación y definido el índice se realizó una prueba de hipótesis de medias al parámetro estimado (índice de precipitaciones y de caudales).

El análisis de los caudales indican que existe una tendencia a la baja en el periodo de tiempo analizado (2005-2012) Los caudales medios anuales son cada vez menores.

Los datos observados permiten concluir que existe correlación entre las lluvias de la región Metropolitana con las regiones de Coquimbo, Valparaíso, O'Higgins y del Maule. Lo mismo se constata entre los caudales de los ríos Copiapó, Elqui, Choapa, Aconcagua, Cachapoal, Tinguiririca y Teno con el caudal del río Maipo. Lo anterior permitió definir un parámetro para las precipitaciones y otro para los caudales, con el fin de poder realizar una comparación con la ciudad o la cuenca de control como es la región Metropolitana.

Resumen de los resultados

Se concluye que existe un aumento de las precipitaciones para las regiones de Valparaíso y O'Higgins. En cambio, para la región de Coquimbo no hay diferencia en las lluvias.

En relación a los caudales, se observa un aumento para los ríos Aconcagua, Cachapoal y Tinguiririca. En cambio, para los ríos de Atacama (Copiapó) y Coquimbo (Elqui y Choapa) no existe diferencia entre sus caudales, lo que es consistente con los resultados de las precipitaciones.

Por ejemplo, para la provincia de Petorca, el diferencial de precipitaciones por sobre lo esperado es equivalente a casi un embalse La Paloma (685 millones m³), y para el Valle Aconcagua es equivalente al volumen utilizado para riego de la Laguna Laja (1.045 millones de m³). Si se pudiera hacer uso completo de estos recursos, se generarían beneficios del orden de US\$ 200 millones¹, sin embargo sabemos que mucho de estos recursos son absorbidos por el medio ambiente y otros tantos se van a las napas subterráneas sin considerar pérdidas por infiltración y evaporación. No obstante se debe considerar que los recursos potencialmente aprovechables superficialmente, son vertidos al mar en aproximadamente 48 horas.

En ese sentido se debe recalcar la importancia de fortalecer la infraestructura y la gestión del recurso que nos permitan hacer un buen uso de esta nueva disponibilidad. Por ejemplo el volumen adicional que este año pasó producto de las precipitaciones por el río Aconcagua fue de 30 millones de m³, la estadística indica que el 2012 existió un incremento de los caudales del orden de un 10%, lo que valorizado arroja US\$210 mil que se han vertido al mar ya que no cuenta con infraestructura que pudiera almacenar dicho recurso. Distinta es la situación en la región de O'Higgins en donde por ejemplo por el río Tinguiririca pasaron 128 millones de m³, el mismo análisis indica que el incremento en esta zona es de un 54%, por lo que al valorizar este incremento, se estima un adicional de US\$ 50 millones, los que al existir infraestructura, realmente generaron un beneficio país.

Alcance y desafíos futuros

Se realizaron diferentes transformaciones de los datos, las cuales demostraron consistencia en las tendencias. Sin embargo, el análisis es sensible al número de observaciones, es decir, la incorporación o eliminación de datos puede cambiar las tendencias, esto se debe, ya que se cuenta con 5 observaciones o 5 meses donde el programa está operativo.

Respecto a las causalidades que explicarían esta diferencia o igualdad de promedio, no es posible atribuirlo a ningún fenómeno, dado por la metodología empleada sumado a la baja información que se cuenta desde la puesta en marcha del programa. En consecuencia se recomienda para medir causalidad la metodología de un modelo de regresión, para ello es necesario recopilar más información de la aplicación del programa, lo que se traduce en esperar al menos otro periodo de aplicación.

¹ EMG Consultoría en Economía Gestión y Medio Ambiental. "[Estimación del Precio de Mercado y Precio Social de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas](#)". Informe final para la Subsecretaría de Agricultura, julio de 2011



Para nuevos análisis es necesario la incorporación de variables, como el número de frentes en el año y las condiciones climáticas (humedad relativa, temperatura, isoterma de precipitación sólida, etc).

ANTECEDENTES

El principal método para generar lluvia artificial es empleando yoduro de plata como reactivo, el que se presenta en dos métodos:

- **Aéreo:** un generador de yoduro de plata adosado a un avión.
- **Terrestre** instalación de una red de generadores en tierra.

La evidencia internacional indica que es posible aumentar el nivel de precipitaciones en un orden de un 10 a un 15%, con repercusiones de orden similar en los caudales de los ríos. Estos resultados son medidos sobre la base de programas aplicados en forma ininterrumpida por periodos de 4 a 5 años, permitiendo acrecentar las reservas de aguas superficiales, subterráneas e incrementar las nieves en la cordillera, asegurando las temporadas de riego futuras. Por ejemplo, en Dakota del Norte (EE.UU.) se constatan aumentos de un 15%, y en Utah un aumento del 14% en las primeras mediciones y de un 18% en las más recientes. En Texas, se alcanza un aumento promedio del 4%. Para los programas que se están impulsando en nuestro país, se ha considerado un aumento de los caudales de un 10%.

PRINCIPIO FÍSICO

La tecnología actual permite modificar las variables atmosféricas que determinan la formación de la lluvia, interviniendo el ciclo del agua en la fase de la precipitación.

Las nubes están formadas por gotas microscópicas de agua y cristales de hielo, los que no pueden condensar y caer a la tierra si no se dan las condiciones adecuadas. Es posible catalizar dicho proceso a través de la inclusión de partículas sólidas, alrededor de las cuales las gotas microscópicas comienzan adherirse formando una gota de lluvia, fenómeno llamado “coalescencia”. Estas partículas están presentes en forma natural en la atmósfera, en forma de sales, polvo, humo, etc. Son conocidos como “núcleos de condensación”.

La estimulación de precipitaciones interviene en este punto del ciclo del agua, aumentando artificialmente la cantidad de “núcleos de condensación” al interior de la nubosidad. Con ello se logra aumentar la cantidad de gotas de lluvia, y por consiguiente incrementar la cantidad de precipitación que llegue a tierra.

El núcleo de condensación “nucleante” más utilizado es el yoduro de plata (AgI), el que además de servir para multiplicar el proceso de coalescencia, cumple con otra importante función: el congelamiento de partículas de agua “sobreenfriadas”. Es decir, partículas que se mantienen en estado líquido a pesar de estar a temperaturas bajo los 0°C, lo que provoca una liberación del calor latente.

La liberación de calor latente inicia una reacción que comienza con un calentamiento de la nube del orden de 1 a 2°C, lo que genera a su vez mayor inestabilidad y un incremento de las corrientes internas. Todo esto conlleva a una intensificación general de la actividad



tormentosa de la nubosidad, lográndose finalmente un aumento de la cantidad de precipitación.

La mayor u óptima efectividad la logra el yoduro de plata a partir de -5°C . A esta temperatura, cada gramo de AgI introduce en la nubosidad 10^{14} núcleos de condensación extra. A temperaturas mayores, la cantidad de núcleos por gramo de AgI disminuye, aunque siempre dentro del rango de varios miles de millones.

MÉTODO DE SIEMBRA

Método aéreo:

Se adosa un generador de yoduro de plata a un avión, el que cada vez que se encuentren las condiciones nubosas apropiadas vuela por la base, tope o dentro de la nube, inyectando el producto.

El sistema aéreo asegura en un 100% la introducción del yoduro de plata en la nubosidad. Sus principales desventajas son el alto costo, el riesgo de la operación y la restringida superficie que puede abarcar. Lo encarece el utilizar material aéreo, por una parte, y la necesidad de apoyo de un radar meteorológico, por otra, para determinar qué áreas dentro de la nubosidad contienen adecuada cantidad de agua sobre enfriada.

Método terrestre

Consiste en la instalación de una red de generadores terrestres de yoduro de plata, los que se activan cuando transita sobre el área del equipo la nubosidad en condiciones de ser estimulada. Con ello, se logra un incremento de la actividad tormentosa, aumentando en un porcentaje extra el nivel de precipitaciones.

Una de las características más relevantes y positivas que posee el sistema de generadores terrestres, y es que, una vez instalada la red en una región, entra en operación “permanente”; es decir, es utilizable en todas y cada una de las situaciones atmosféricas que reúnan las condiciones para ser estimuladas dentro de la temporada de lluvias. También, si se estima necesario, dada la gravedad de una situación de escasez de precipitación, puede operar en cualquier momento del año, no necesariamente en la temporada lluviosa, cuando ocurra una condición atmosférica apropiada de ser estimulada. Por el contrario, los elevados costos del sistema aéreos siempre obligan a contratarlo por cortos períodos, dejando fuera importantes eventos lluviosos.

Por otra parte, el sistema terrestre no asegura que la totalidad del yoduro de plata ingrese a la nubosidad, pudiendo perderse un pequeño porcentaje en el trayecto. Si bien requiere de un costo inicial de implementación de la red, cuando ésta se instala en forma definitiva, el costo de operación es varias órdenes más bajo que el sistema aéreo. Es útil tanto para superficies extensas como reducidas y no requiere equipamiento tan sofisticado como un radar, pues no es necesario determinar cuáles sectores dentro de la banda nubosa son los más apropiados, ya que se siembra y estimula la totalidad de la banda nubosa, ya sea asociada a un sistema frontal u otro fenómeno atmosférico que genere precipitación.

Los resultados obtenidos en los programas realizados con este método, tanto en Chile como en Cuba y Venezuela, han sido positivos, con incrementos observados en torno al 15% de la

pluviometría. Estos resultados se enmarcan en los rangos de incremento obtenidos a nivel mundial en cientos de programas desarrollados en el mundo entero con esta técnica. Este método, ha sido validado por la Organización Meteorológica Mundial como un medio científicamente probado, el cual dice

“De acuerdo con nuestros conocimientos actuales, se considera que la siembra glaciogénica de nubes formadas por el aire que circula sobre las montañas ofrece las mejores posibilidades de aumentar la precipitación de una manera económicamente viable. La modificación de estos tipos de nubes fue objeto de gran interés por su potencial en términos de gestión de agua; es decir, la posibilidad de almacenar agua en reservorios o en el manto de nieve en mayores alturas. Existen pruebas estadísticas que indican que, en determinadas circunstancias, se puede aumentar la precipitación de nubes orográficas subfundidas mediante la utilización de las técnicas existentes. Los análisis estadísticos de los registros de caudales de algunos proyectos a largo plazo sugieren que se ha aumentado la eficacia en función de los costos”.(OMG,Noruega,2007)

También dichos documentos confirman la efectividad de la aplicación de la variante de esta metodología para la supresión de granizo.

En el caso del Norte Chico en Chile, un programa terrestre debe estar preparado para operar los 365 días del año, con la finalidad de aprovechar toda condición atmosférica propicia de ser estimulada, tanto los sistemas frontales en la temporada invernal, como las precipitaciones estivales asociadas al “invierno altiplánico”.

Programas mixtos

Ambas modalidades anteriores en forma combinada

Otros métodos

La artillería antiaérea o tipo proyectil están más orientados a la supresión de granizo y no al aumento de la precipitación, por lo que no son consideradas como alternativa en este informe.

De acuerdo a la revisión de la literatura de la experiencia internacional, el incremento promedio con cualquiera de las modalidades es del orden del 10 al 15% por sobre la cantidad de precipitación que hubiese caído sin siembra. Estas cifras presentan una enorme variabilidad, ya que la actividad interna de las nubes es muy variable. Si el sistema tormentoso está en desarrollo o en su máximo nivel de intensidad, es posible obtener incrementos por sobre el 25% y hasta el 30%. Por el contrario, si el sistema nuboso está en decadencia o en estado de disipación, el incremento a obtener no superará el 5% u 8 %. Para una estimación robusta de los resultados, deben considerarse períodos prolongados de aplicación.. El incremento llega a un 20% a 25% cuando se aplican de manera correcta ambas modalidades en forma combinada (aérea y terrestre), lo que se llaman **programas mixtos**, la forma más eficiente de lograr agua dulce.

ASPECTOS DESTACADOS DE UN PROGRAMA DE INCREMENTO DE LAS PRECIPITACIONES

EL CLIMA Y EL SECTOR

La mayor parte de los programas con Generadores Terrestres en el mundo han sido aplicados en climas templados o fríos, siempre intentando ubicar los equipos en lugares cercanos a montañas o bien en altura, con el fin de que el reactivo recorra la menor distancia posible hasta la nube, lugar donde alcanza los niveles de temperatura necesarios para surgir su efecto.

Sin embargo, en Cuba donde la orografía es de escasa altura y la mayor parte de los equipos fueron instalados en terrenos llanos, los resultados han sido igualmente muy exitosos. Un análisis realizado por especialistas cubanos, muestra que la eficacia se debe, por un lado, al fuerte calentamiento diurno producto de la alta temperatura ambiental del lugar, por otro, por las fuertes corrientes convectivas y de formación de la nubosidad cumuliforme. Estas condiciones han reemplazado en forma efectiva la ausencia de elevaciones orográficas.

FACTORES ECONÓMICOS

De acuerdo a los diversos programas efectuados a lo largo del globo por países pioneros (China y EEUU, entre otros) no se han detectado diferencias significativas entre la eficacia del sistema aéreo y del terrestre. No obstante, existe una significativa diferencia en el costo de cada uno. En términos gruesos, el sistema aéreo es 3 a 5 veces más caro que el terrestre, por lo cual la razón costo/beneficio es claramente favorable al sistema terrestre. Por esto, muchas empresas dedicadas a este rubro han derivado al desarrollo de generadores terrestres

Al respecto, el objetivo de la implementación del programa es clave. En el caso de los programas cuyo objetivo principal es el desarrollo científico o de investigación, es mejor el sistema aéreo, ya que obligadamente deben definirse con mayor exactitud las características de cada grupo nuboso y la siembra es más dirigida y controlada. Adicionalmente, el uso obligado de radares aporta mayores antecedentes para la investigación y el estudio. En cambio, si el objetivo único es incrementar las precipitaciones, el sistema con generadores terrestres es el que ofrece la mejor alternativa y la relación costo/beneficio más conveniente.

EXPERIENCIAS DE PROGRAMAS

EN CHILE

PROGRAMA RÍO COPIAPÓ

Los estudios del INIA muestran que los caudales del río Copiapó –cuya cuenca ha recibido estimulación desde los años 90– han crecido en cerca de un 40% en comparación con los del cercano río El Tránsito –en donde no se ha efectuado similar tratamiento.

PROGRAMA DE ESTIMULACIÓN DE PRECIPITACIONES EN CUENCA DEL RÍO CACHAPOAL PERÍODO (2000-2004)

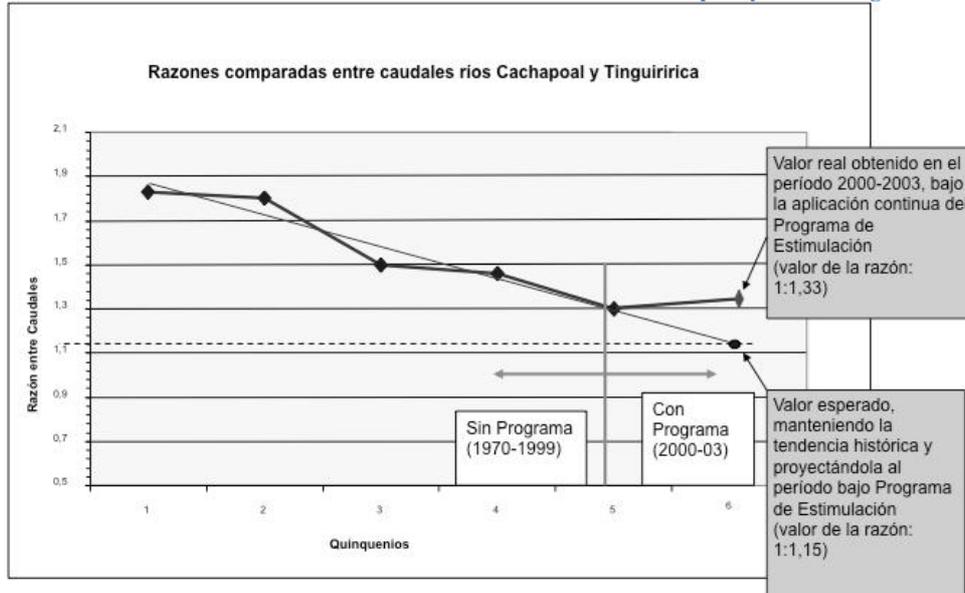
La ejecución del proyecto se desarrolló en la cuenca del Río Cachapoal ubicada en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, desde marzo del año 2000, culminando en febrero del 2004. Se instalaron ocho equipos generadores, cubriendo la totalidad de la cuenca y se operó en la temporada lluviosa, desde marzo a octubre de cada año, sin interrupción alguna.

En esos cuatro años de programa se observó un incremento de 15,6% de las precipitaciones, que se reflejaron en el aumento del caudal del río Cachapoal, en comparación con el río Tinguiririca, de la cuenca inmediatamente vecina hacia el sur.

Es importante mencionar que no se contaba con información pluviométrica en el área, por lo que se optó por la variante de información fluviométrica. Se determinó, entonces, la relación histórica entre el Río Cachapoal (zona objetivo) y el Río Tinguiririca (zona de control) ubicado 40 km al sur, con una orografía y climatología muy similar.

En el período 1970 - 1999, se constató que el caudal del Cachapoal presentaba una continua y sostenida baja respecto del Tinguiririca. Durante el primer periodo de aplicación del programa esta tendencia fue modificada, registrando un leve aumento del caudal del Cachapoal en relación al Tinguiririca, el cual se mantuvo sin variación. Ello significó una recuperación del Cachapoal de un 15,6%, tal como se muestra en la Ilustración 1:

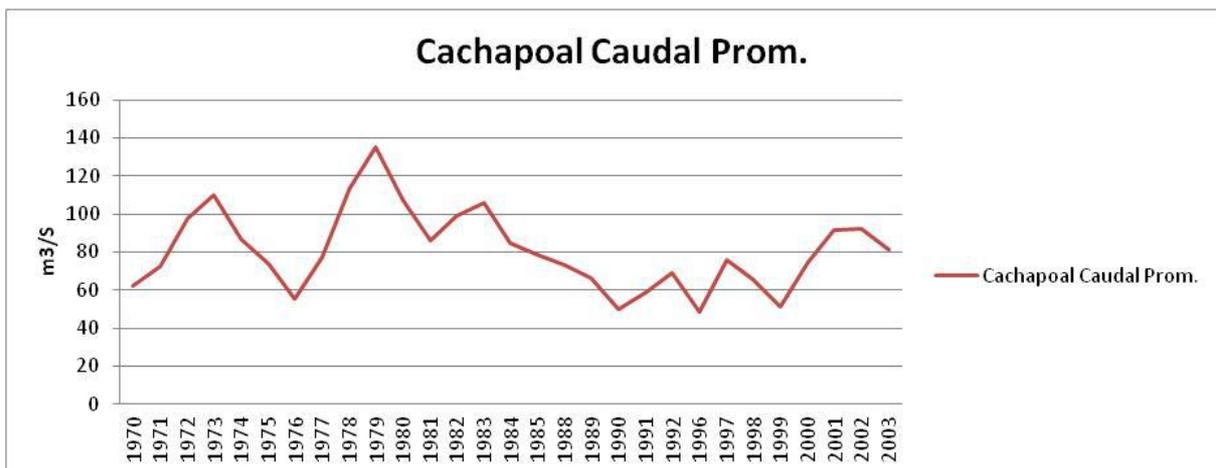
Ilustración 1: Tendencia de la variable caudal entre el Río Cachapoal y el Río Tinguiririca



Fuente: Informe final Programa de Estimulación de precipitación

A partir del quinquenio 6 (2000 al 2004), período bajo la aplicación del programa se observa, por primera vez, un repunte *positivo* de la relación del caudal del Cachapoal. Hubo un *aumento estadístico significativo* de un 15.6% del caudal promedio del río Cachapoal (zona objetivo) con respecto al caudal del río Tinguiririca (zona control), durante los 4 años de Programa.

En términos absolutos, los caudales han seguido la siguiente tendencia, observándose un alza en el último período.



PERÍODO 2008-2010

En junio de 2008 se reinició el programa, finalizando el año con resultados preliminares positivos, constatándose incrementos de entre un 10 y un 16% empleando la misma metodología, aún cuando el período de evaluación es demasiado breve para permitir



márgenes de error razonables. El 2009, se aplicó el programa durante 5 meses, y los resultados fluctuaron en torno al 14% de incremento.

EN EL EXTRANJERO

PROGRAMAS PERMANENTES EN ESTADOS UNIDOS

TEXAS

En 1967, se aprobó la ley que rige el uso de las tecnologías de modificación del clima en Texas. Desde entonces, tanto los gobiernos estatales como federales han proporcionado fondos para la investigación destinados a la siembra de nubes y a la evaluación del impacto de la modificación del clima en los proyectos comerciales. En la actualidad, los siete proyectos existentes recurren al método aéreo, y abarcan cerca de 12 millones de hectáreas. Cada uno de los proyectos de siembra de nubes utiliza aviones diseñados para colocar los materiales de siembra (en forma de dispositivos que contienen yoduro de plata y otros compuestos). El análisis de las operaciones de siembra de nubes llevadas a cabo por estos proyectos efectuado en 2010 mostró que, en promedio, las tormentas sembradas duraban un 44% más que las tormentas no tratadas. Asimismo, la lluvia promedio generada por las tormentas sembradas fue un 110% superior al de las no tratadas.

Para cada proyecto se estableció en los últimos años un programa de financiamiento mixto entre el Estado y grupos patrocinadores privados, con el fin de adquirir la infraestructura necesaria, tales como aviones especialmente equipados y sistemas de radares. Inicialmente, cada proyecto, incluyendo el alquiler o compra de aviones, tenía un costo de 8 a 9 centavos de dólar por cada media hectárea, del cual el Estado asumía hasta un máximo 4,5 centavos. A medida que el programa avanza en años de aplicación, la participación del Estado se ha reducido, *y actualmente el programa se sustenta principalmente con recursos privados.*

NORTH DAKOTA

El North Dakota Cloud Modification Project (NDCMP) es un programa de siembra de nubes en la zona oeste de dicho estado. La siembra de nubes tiene su inicio en este estado en la década de 1950, forma través del método terrestre. Con el correr de los años, se comenzó a realizar la siembra por vía aérea. En 1975, se solicitó el apoyo del Estado y se creó el North Dakota Weather Modification Board. Desde la creación de ese Consejo (ahora llamado el Atmospheric Resource Board), se han realizado una serie de evaluaciones para analizar los efectos del programa.

Los beneficios de mejora alcanzados por el programa han sido evaluados en dos escenarios de largo plazo: aumentos de 5% y de 10%. En el primer escenario, el incremento de la producción agrícola se estimó en US\$ 8,4 millones anuales, o US\$ 3,58 por hectárea plantada. En segundo escenario, el aumento de la producción se estimó en US\$ 16 millones al año, o US\$ 6,84 por hectárea plantada.

La evidencia muestra que el aumento general de la precipitación es especialmente significativa en julio, con un 15%. Ahora bien, el aumento en las áreas de estudio en los días con lluvias más intensas es de un 14%.

UTAH

A través de los años, los patrocinadores locales, junto con la Utah Division of Water Resources, se han involucrado en numerosos programas de siembra de nubes diseñados para aumentar la precipitación invernal en diferentes zonas del estado. Los estudios indican que estos proyectos aumentan la precipitación en un 14 a 20%. En la actualidad, existen 3 proyectos que utilizan yoduro de plata y un proyecto que utiliza propano.

El proyecto de centro / sur de Utah ha operado continuamente desde 1974, con la excepción del período de años de lluviosos de 1984-87. El área del proyecto cuenta con 66 generadores terrestres, los que operan de diciembre a marzo. Los resultados muestran un aumento del 14% promedio en las precipitaciones para los tres meses de operación.

Una evaluación más reciente que considera las campañas de 2004 a 2011 muestra un aumento promedio de 18% de diciembre a febrero. *Es decir, mientras más tiempo se aplica el programa mayor es su efectividad.*

CUBA: CUENCA DEL RÍO CAUTO (2005-2010)

El programa se implementó en Cuba en 2005, dada la extrema sequía que venían presentando las provincias orientales de la isla desde hacía casi 10 años. La empresa chilena Hidromet S.A., junto a otras tres empresas extranjeras, fue seleccionada entre muchas que ofertaron sus servicios, para llevar adelante el programa, en una fase experimental y de prueba. Se aplicó en las provincias de Holguín y Santiago de Cuba, para beneficio de la cuenca del Río Cauto. Los contratos fueron inicialmente durante dos temporadas lluviosas: los veranos de 2005 y 2006. Al final de dicho período, se evaluaron los resultados de los diferentes métodos y se decidió continuar con el sistema de generadores terrestres a cargo de Hidromet S.A., y el sistema aéreo en la provincia de Camaguey, con tecnología rusa.

El sistema terrestre se aplicó primeramente de manera experimental, ya que no había muchas experiencias de su empleo en climas tropicales. Se esperaba resultados positivos, aunque su magnitud era incierta. Los resultados fueron mejores que cualquier expectativa previa, como es posible de apreciar en las evaluaciones efectuadas tanto por los especialistas cubanos. De los 3 programas en ejecución (dos aéreos y uno terrestre), el único que presentó un continuo incremento, tanto en la cantidad de equipos como en la cobertura de tiempo, fue el programa con generadores terrestres desarrollado por Hidromet S.A. El contrato inicial de dos años sólo para la temporada de verano, se ha mantenido, agregando su funcionamiento permanente hasta la fecha, es decir, en invierno y verano.

Las permanentes evaluaciones efectuadas por el Instituto de Meteorología de la República de Cuba (INSMET) arrojan entre un 15 y un 17% de aumento. Con ello, Holguín aparece como la mejor provincia a nivel nacional en cuanto a superávit pluviométrico y la que presenta los mejores índices de reservas de agua embalsada.

PROGRAMAS CUENCA DEL RÍO URIBANTE Y CUENCA DEL RÍO TUY (2010) VENEZUELA

Ante la sequía que afectó a Venezuela en 2009, se contrató a Hidromet para implementar el “Programa Incremento de las Precipitaciones”, bajo la coordinación de la Vicepresidencia Ejecutiva de la República Bolivariana de Venezuela, en cooperación con el Ministerio del



Poder Popular para el Ambiente a través del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH).

Se operó sólo con 8 generadores terrestres en la cuenca del Río Uribante, perteneciente al Estado de Táchira y Mérida, zona andina venezolana, para generación hidroeléctrica. Se operó también en la cuenca del río Tuy, perteneciente al Estado de Miranda, inmediatamente al sur de Caracas, con método mixto (12 equipos terrestres).

Los porcentajes de incremento promedio encontrados en los períodos de aplicación del programa (Marzo-Octubre, 2010) fueron del orden de 8 al 11,9 %.

OPERACIÓN DEL PROGRAMA CHILE

REGIÓN DE ATACAMA

El Programa operó entre junio y septiembre de 2012, período en el cual se realizaron 13 vuelos, 9 de ellos efectivos de siembra (ver anexo 1). Durante esta etapa, la empresa RG Aircraft dispuso de sólo 1 avión de manera permanente, compartiendo un segundo avión con la región de Coquimbo.

La etapa de verano altiplánico comenzó a operar en diciembre 2012, y terminó a mediados de marzo 2013. Se realizaron 21 vuelos, con 13 de ellos efectivos de siembra (ver anexo 1).

El programa de estimulación de precipitaciones se realizó en las cuencas del río Copiapó y Huasco cuyas características son:

- Cuenca del Río Copiapó (18.400 km²): Se extiende entre los paralelos 26°38' y 28°38' S. El río del mismo nombre se forma sobre los 1.200 msnm, en la confluencia de los ríos Jorquera y Pulido. 2,5 kilómetros aguas abajo, confluye el río Manflas, y aproximadamente seis kilómetros aguas abajo se sitúa el embalse Lautaro. Los ríos tributarios Jorquera, Pulido y Manflas nacen en el sector alto de la cuenca y están, conformados por quebradas que descienden de los nevados cordilleranos.
- Cuenca del Río Huasco (9.850 km²): Se extiende entre los paralelos 28°30' y los 29°40' S, . El río Huasco se forma en Junta del Carmen, a 90 km de su desembocadura en el mar, en la confluencia de los ríos del Tránsito, que viene del NE, y del Carmen, del SE,. En su límite norte se encuentra la sierra del Medio o Tatul, que disminuye paulatinamente de altura desde la frontera hasta la Junta del Carmen.

Ilustración 2: III región de Atacama, área estimulada

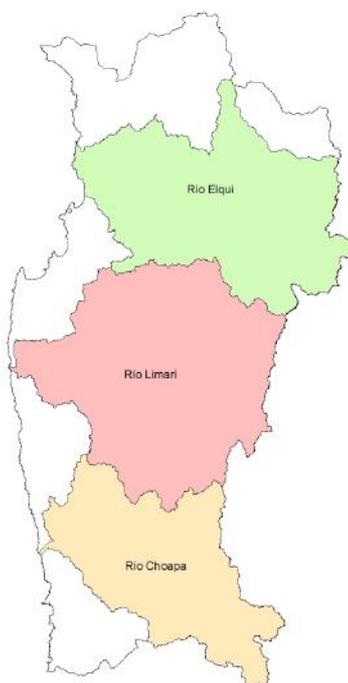


Actualmente el Gobierno Regional (GORE) ha definido la continuidad del programa para el 2013 para la cuenca del río Copiapo y Huasco destinando recursos por MM\$542, que incluye 2 aviones que se traducen en 200 hrs de vuelo.

REGIÓN DE COQUIMBO:

El programa comenzó a operar durante junio de 2012 y se extendió hasta octubre. Se realizaron 40 vuelos en invierno debido a que existieron 10 frentes en el periodo y 2 en enero y febrero del 2013 (ver anexo 1), El programa abarca las tres cuencas principales de la región: Elqui, Limarí y Choapa, que suman 40.579,9 km²

Ilustración 3: IV región de Coquimbo, área estimulada



El presupuesto para la operación del Programa durante el 2012, fue administrado por el INIA. Para la operación de la siembra de nubes en 2013 se utilizará el método mixto con un presupuesto de MM\$ 420, para lo cual se destinaron MM\$ 180 método terrestre y MM\$237 aéreo. Se instalarán 18 generadores (6 por cuenca) y 50 horas de vuelo.

REGIÓN DE VALPARAÍSO:

En 2012, el programa se desarrolló entre de mayo y octubre, con 546 horas de operación terrestre, en 19 frentes. Además, hubo 6 vuelos de siembra entre junio y octubre (Ver anexo 1). Hubo sólo 9 equipos instalados los 18 equipos faltantes ya se encuentran instalados y operativos.

El área estimulada por vuelos y la distribución de los equipos se muestran en las imágenes a continuación.

Ilustración 4: V región Ligua-Petorca, área volada y distribución de los equipos

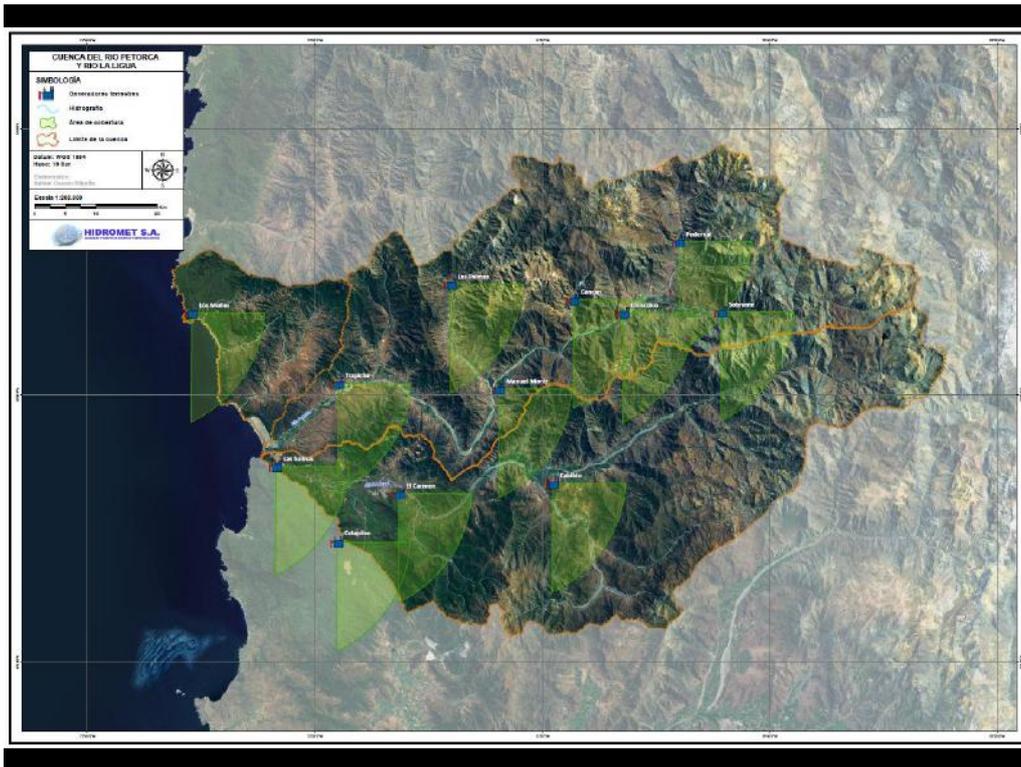


Ilustración 5: V región sector Los Andes

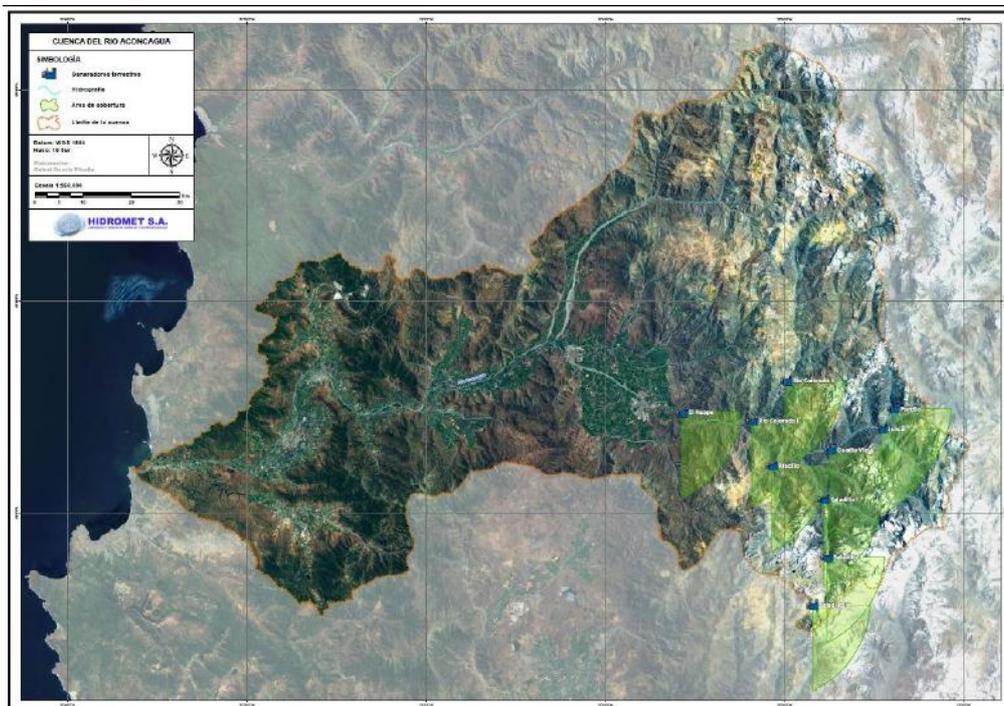


Ilustración 6: V región sector Casa Blanca y San Antonio



Los recursos del Programa en la Región, fueron administrados en parte por el INIA La Cruz, quienes recibieron los aportes de las mineras, la municipalidad de Cabildo y el Gobierno Regional. El financiamiento proporcionado por regantes y la empresa sanitaria fue entregado directamente a Hydromet.

Con respecto al financiamiento del Programa, la operación 2012 generó un saldo positivo de \$33.497.000, que serán aporte para el año 2013. Para el 2013 se continua con el programa con un total de 27 generadores, los recursos destinados para este año es de MM\$118

REGIÓN DE O'HIGGINS:

Entre mayo y octubre se desarrolló el programa, operando de manera terrestre durante 585 horas. En 2012 se instalaron 22 de los 25 equipos que dispondrá la región durante el 2013.

Ilustración 7: Distribución de los equipos en la VI región



Nº	NOMBRE	ESTADO	CUENCA
1	Clarillo	Instalado	Peuco
2	San Alfonso	Instalado	Peuco
3	Peuco	Instalado	Codegua
4	Rio Blanco	Por instalar 11/2012	Cachapoal
5	Paredones	Por instalar 11/2012	Cachapoal
6	Central Chacayes	Instalado	Cachapoal
7	Camp. Chacayes	Instalado	Cachapoal
8	Claro Cauquenes	Instalado	Cachapoal
9	Est. Los Leones Int.	Por instalar 11/2012	Cachapoal
10	Retén Las Lefías	Instalado	Cachapoal
11	Laguna Pejerreyes	Instalado	Cachapoal
12	Laguna El Yeso	Instalado	Cachapoal
13	Roque	Instalado	Cachapoal
14	Cachapoal	Instalado	Cachapoal
15	Pimpinela	Instalado	Claro de Rengo
16	La Iglesia	Instalado	Tinguiririca
17	Bocat. La Pulla	Instalado	Tinguiririca
18	Campamento Arboleda	Instalado	Tinguiririca
19	Bocat. Portillo	Instalado	Tinguiririca
20	Sierra Bellavista	Instalado	Tinguiririca
21	Antivero	Instalado	Tinguiririca
22	Bocat. Tinguiririca	Instalado	Tinguiririca
23	Bocat. Tricahue	Instalado	Tinguiririca
24	Los Maquis	Instalado	Zamorano
25	Pudihuiuco	Instalado	Chimbarongo

En cuanto al financiamiento del Programa, si bien durante el 2012 se realizaron aportes tanto del sector público como del privado, la totalidad de los pagos que recibió la empresa Hydromet, corresponden a recursos proporcionados por el GORE. Los aportes provenientes del sector privado financiarán parte de los costos de operación 2013.

EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS EN CHILE METODOLOGÍA.

Con el objetivo de establecer un aumento de las precipitaciones y en los caudales de los ríos, producto de la puesta en marcha del programa de estimulación de precipitaciones, en las regiones de Atacama, Coquimbo, Valparaíso y O'Higgins para la temporada agrícola 2012 - 2013, es decir los meses de abril del 2012 a febrero del 2013. Específicamente para el análisis de las precipitaciones se analizó el periodo mayo - septiembre del 2012. Para los caudales, se analizó el periodo abril 2012 - febrero 2013.

El análisis se realizó, considerando las principales ciudades para las precipitaciones y para los caudales los principales ríos de las regiones anteriormente mencionadas, como se presenta en la tabla 1.

Tabla 1 "Ciudades Analizadas."

Región	Ciudad	Ríos
Atacama	Caldera	Copiapó
		Huasco
Coquimbo	Serena	Elqui
		Cogotí
		Choapa
Valparaíso	Valparaíso	Aconcagua
Metropolitana	Santiago	Maipo
Libertador Bernardo O'Higgins	Rancagua	Cachapoal Tinguiririca
Maule	Curicó	Teno

DEFINICIÓN DEL CLIMA².

Región de Atacama.

Presenta climas desérticos, pero el incremento de las precipitaciones hace que la condición de desierto no sea tan rigurosa, destacándose 3 condiciones climáticas: una en el sector costero, con influencias marítimas, otra en la pampa intermedia y por último el sector cordillerano, con incremento de las precipitaciones y régimen térmico frío. La precipitaciones se producen casi exclusivamente en los meses de invierno, de mayo a agosto. Estas son de origen frontal y muchas veces son nivosas. La descripción de las 3 condiciones climáticas se presenta en el anexo 1.

Región de Coquimbo.

Presenta una zona de transición entre los climas desérticos con aquellos donde la mayor humedad se asocia a la aparición de vegetación. Esta condición permite distinguir en la parte

²Fuente de información: Dirección Meteorológica de Chile.



litoral una continuación del clima desértico con nublados abundantes hasta las proximidades de los 29° S y de ahí en adelante se puede distinguir un clima de estepa, también con nublados abundantes; la zona intermedia de la Región presenta similitud con respecto a lo que sucede en el litoral, observándose una zona de transición entre el clima desértico marginal bajo con el de características de estepa con gran sequedad atmosférica. Esta zona intermedia se produce aproximadamente a los 30° S y está determinada por la variación anual de precipitaciones registradas entre una zona y otra. Las precipitaciones se concentran principalmente entre los meses de mayo a agosto.

Región de Valparaíso.

Se distinguen cuatro tipos de clima: uno seco de estepa que es la continuación del existente en Coquimbo, y tres templados que se diferencian entre sí por las características de la nubosidad y la duración del período seco, las cuales van entre 8 a 5 meses secos. El 80% de las precipitaciones se concentra en los meses de mayo a agosto.

Región Metropolitana.

Clima templado cálido, con lluvias invernales, pudiéndose distinguir dos subtipos que se diferencian entre sí por la duración de la estación seca.

- Valles: Estación seca prolongada de 7 a 8 meses
- Cordillera (sobre los 2.000 msnm): Estación seca más corta, de 4 a 5 meses .

Región de O'Higgins.

La orientación del relieve influye también en la distribución de las precipitaciones, observándose que aumentan en las laderas occidentales de ambas cordilleras en relación a sus áreas contiguas. 3 subtipos de climas, los cuales son (a) Clima templado cálido con estación seca prolongada (7 a 8 meses) y gran nubosidad; (b) Clima templado cálido con estación seca prolongada (7 a 8 meses) y (c) Clima templado cálido con estación seca (4 a 5 meses)

Región del Maule.

Debido a la menor elevación que alcanzan en esta Región ambas cordilleras, que no son suficientes para definir climas claramente diferentes en las zonas que ocupan, en la VII Región se ha identificado un solo tipo climático, que corresponde al templado cálido con estación seca de 4 a 5 meses. Sin embargo, las diferencias de relieve y de latitud en la Región definen diferencias apreciables en los montos anuales de agua caída y en la duración de estación seca.

ELIMINACIÓN DE DATOS ATÍPICOS

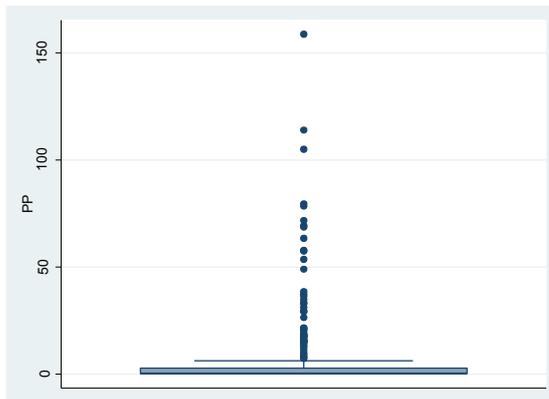
Precipitaciones

Para el análisis de las precipitaciones se utilizó las bases de datos disponibles en la Dirección Meteorológica de Chile entre los años 1990 al 2012. La selección de meses se realizó en base a la caracterización de los climas para cada región abordados en el punto anterior. Con la finalidad de abarcar al menos el 70% de las precipitaciones en cada una de las regiones, se estableció como unidad de análisis las precipitaciones acumuladas por cada mes entre los meses de mayo a octubre.

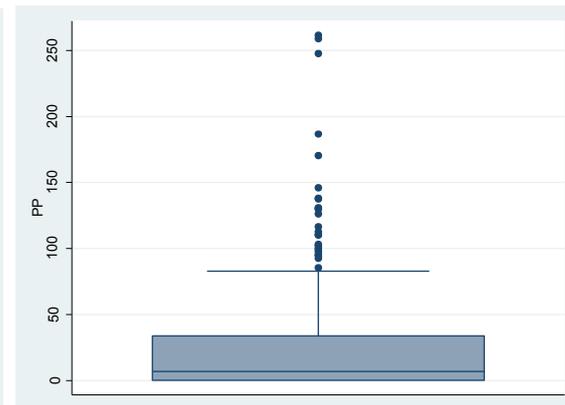
Una vez establecida la base de datos, se realizó un análisis de consistencia en las mediciones de las precipitaciones, a través de gráficos Box Cox. De esa manera, se pudo identificar si la base de datos presentaba datos anómalos. Se observa para cada región que los puntos sobre el bigote de las cajas indican las observaciones anormales, que fueron eliminados.

Gráfico 1 “Distribución de Precipitaciones”

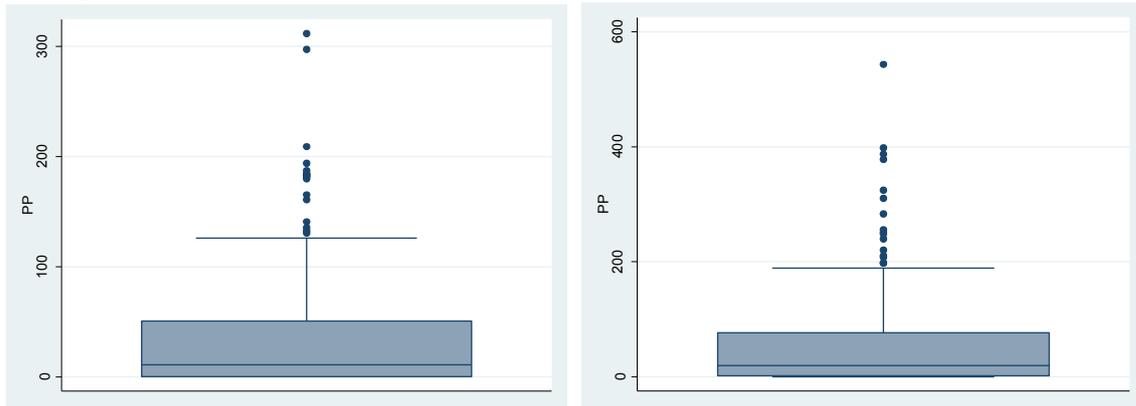
Caldera Serena



Santiago Valparaíso



Rancagua Curicó



Fuente: elaboración propia.

Caudales.

Para el análisis de los caudales se utilizó la base de datos disponible en la Dirección General de Agua (DGA) entre los años 2006 al 2013. Se definió el periodo agrícola (abril –marzo), ya que este sector de la economía es el mayor consumidor de agua (78% de los derechos consuntivos), en consecuencia los ríos varían en función de su demanda. Se estableció como unidad de análisis el caudal medio diario entre los meses de abril a marzo de cada año.

Una vez establecido la base de dato, se repitió el análisis de consistencia en las mediciones de los caudales a través de gráficos Box Cox, para eliminar eventuales datos anómalos. De nuevo, se eliminaron las observaciones anormales.

Gráfico 2 “Distribución de los caudales zona centro norte”

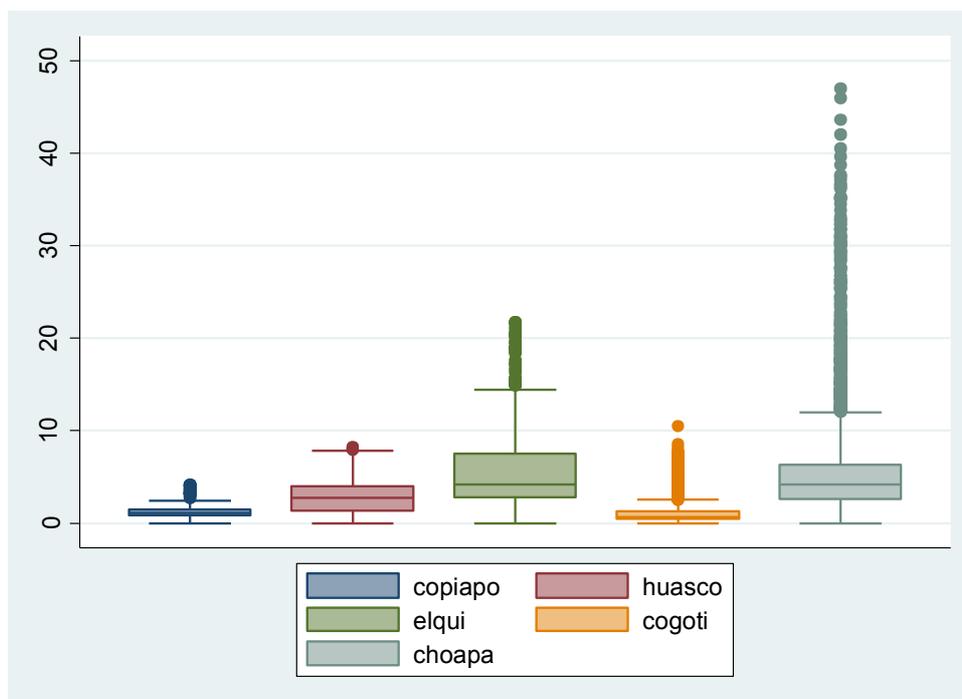
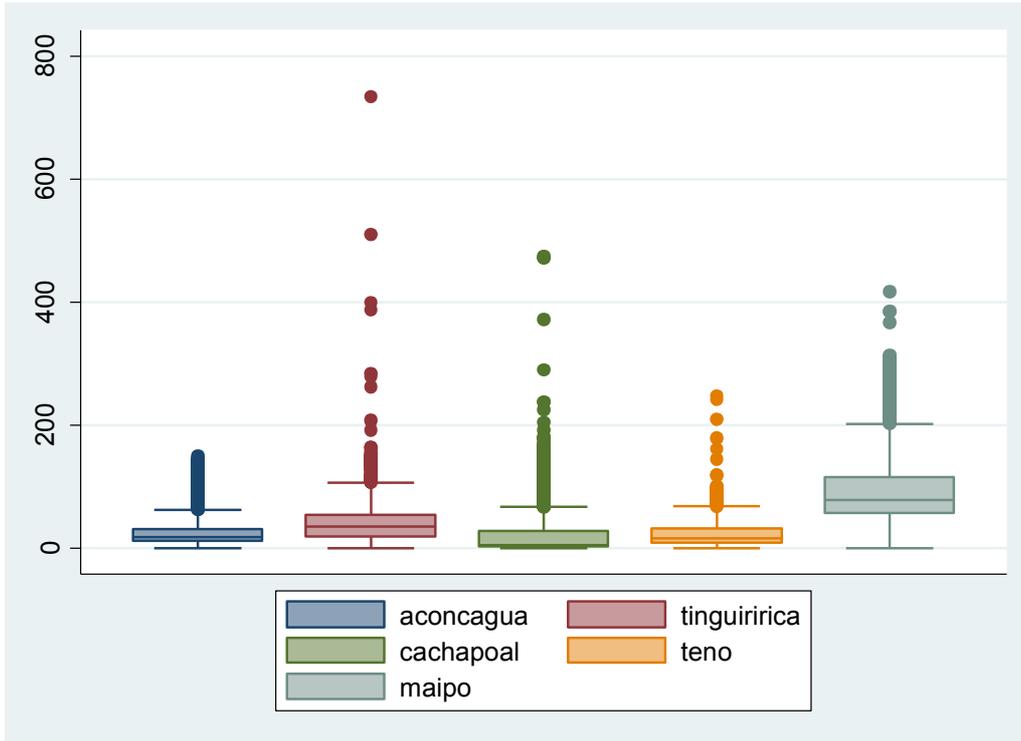


Gráfico 3 “Distribución de los caudales zona centro sur”



TRATAMIENTO BASE DE DATOS

Existen diferentes métodos estadísticos para la eliminación de datos atípicos, los cuales se basan en la existencia de una distribución muestral subyacente que no es posible verificar por la presencia de estas observaciones. Dado que estos métodos trabajan con una distribución subyacente normal o log-normal, se utiliza una prueba de hipótesis de normalidad basada en la simetría y curtosis de la distribución para evaluar si el método de remoción de atípicos aplicado fue exitoso. Si se rechaza la hipótesis nula de normalidad, se aplica un método de mayor sofisticación para la eliminación de atípicos, y así sucesivamente hasta no poder rechazar normalidad. De esta manera el procedimiento aplicado fue el método de Tukey (1977).

El método de Tukey (1977) consiste en ordenar de menor a mayor todas las observaciones de una variable x , e identificar los percentiles x_{25} y x_{75} . Posteriormente, se define el límite superior (LS) como:

$$LS = x_{75} + \frac{3}{2}(x_{75} - x_{25}) \quad (1)$$

Asimismo, se define el límite inferior (LI) como

$$LI = x_{25} - \frac{3}{2}(x_{75} - x_{25}) \quad (2)$$

El LS y LI de las ecuaciones 1 y 2 determinarán el rango dentro del cual la variable no se considera atípica. Por el contrario, si una observación x_i se encuentra fuera de este rango, se considera atípica.

Este método es de sencilla aplicación y se basa en las propiedades estadísticas de la distribución normal. Una limitante de este método es que no realiza pruebas de hipótesis individuales para evaluar si la observación es atípica.

ANÁLISIS

La metodología de análisis de las precipitaciones y de los caudales se compone de dos partes, en la primera se realizó un análisis de correlación con el fin de establecer la vinculación de las precipitaciones y los caudales de las regiones de Atacama, Coquimbo, Valparaíso y O'Higgins con una cuenca de control. En este caso, las cuencas de control fueron las de las regiones Metropolitana y del Maule, que no participó del programa, mediante gráficas para representar el comportamiento de los datos por región y el estadígrafo correspondiente..

Posteriormente se identificó la diferencia de magnitud de las precipitaciones y caudales entre dichas regiones, para definir un parámetro que compense esta diferencia “natural” (debido a que las regiones bajo análisis presentan diferentes precipitaciones anuales y caudales).

El parámetro queda definido como sigue:

$$\frac{\text{Precipitaciones región } i}{\text{Precipitaciones región Metropolitana}} = \beta_i$$

$$\frac{\text{Caudal del río } i}{\text{Caudal del río Maipo}} = \alpha_i$$

Donde los parámetros β y α representan respectivamente la relación de las precipitaciones entre la región-iesima y la Metropolitana, y la relación del caudal del río-iesimo y el río Maipo.

Una vez identificada la relación, se estimaron los parámetros β y α entre las regiones que han sido estimuladas y la región de control. Calculados los β y α para cada región, se realizaron las siguientes pruebas de hipótesis, ya que permite probar una afirmación acerca de un parámetro que para en nuestro caso es la razón de precipitaciones o de caudales entre la región estimulada y la región Metropolitana. Para lo cual se definió una hipótesis nula, para las precipitaciones consistente en :

Hipótesis nula para precipitaciones:

“La media del parámetro β en el periodo 1990 al 2011 es igual a la media del parámetro β para el periodo 2012”.

Hipótesis nula para caudales:

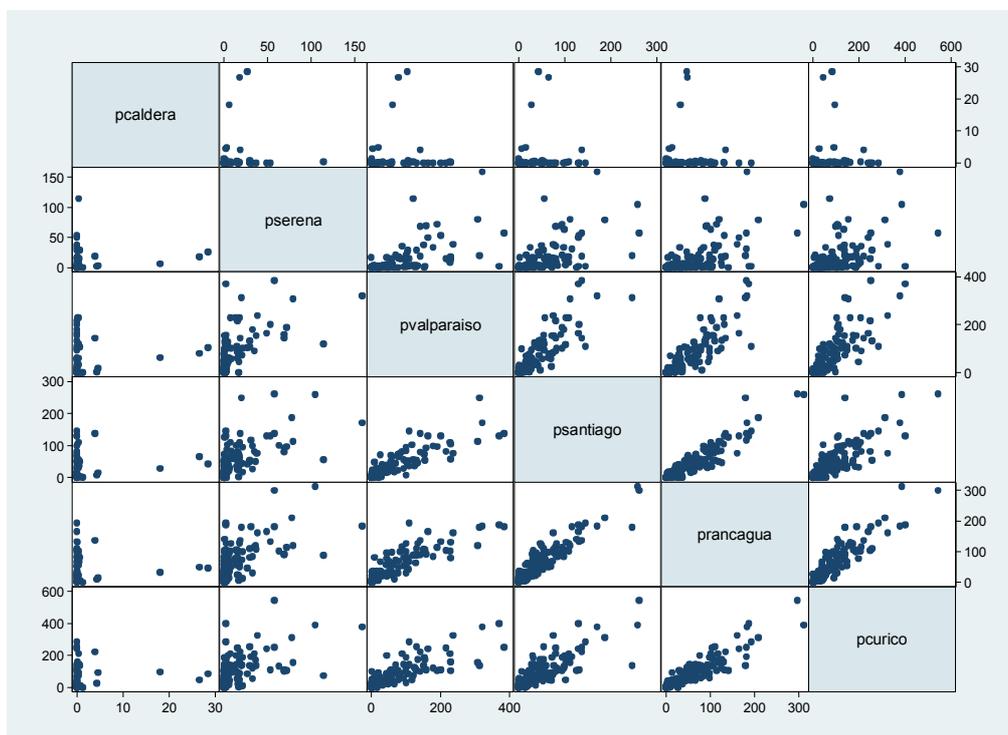
“La media del parámetro α en el periodo de abril del 2006 a marzo del 2012 es igual a la media del parámetro α para el periodo abril del 2012 hasta marzo del 2013”

RESULTADOS.

COMPORTAMIENTO DE LAS PRECIPITACIONES

En el siguiente gráfico se puede apreciar que las precipitaciones en las ciudades de Valparaíso, Rancagua y Curicó presentan una elevada correlación con las de Santiago, (0,84, 0,93 y 0,80 respectivamente)lo que indica que existe una relación positiva, es decir cuando una de ellas aumenta la otra lo hace en proporción constante. La correlación que existe entre Santiago y la Serena es 0,3 menor (0.48), pero aun así significativa. Para el caso de Caldera, no existe correlación con las otras estaciones

Gráfico 4 Correlación de precipitaciones.



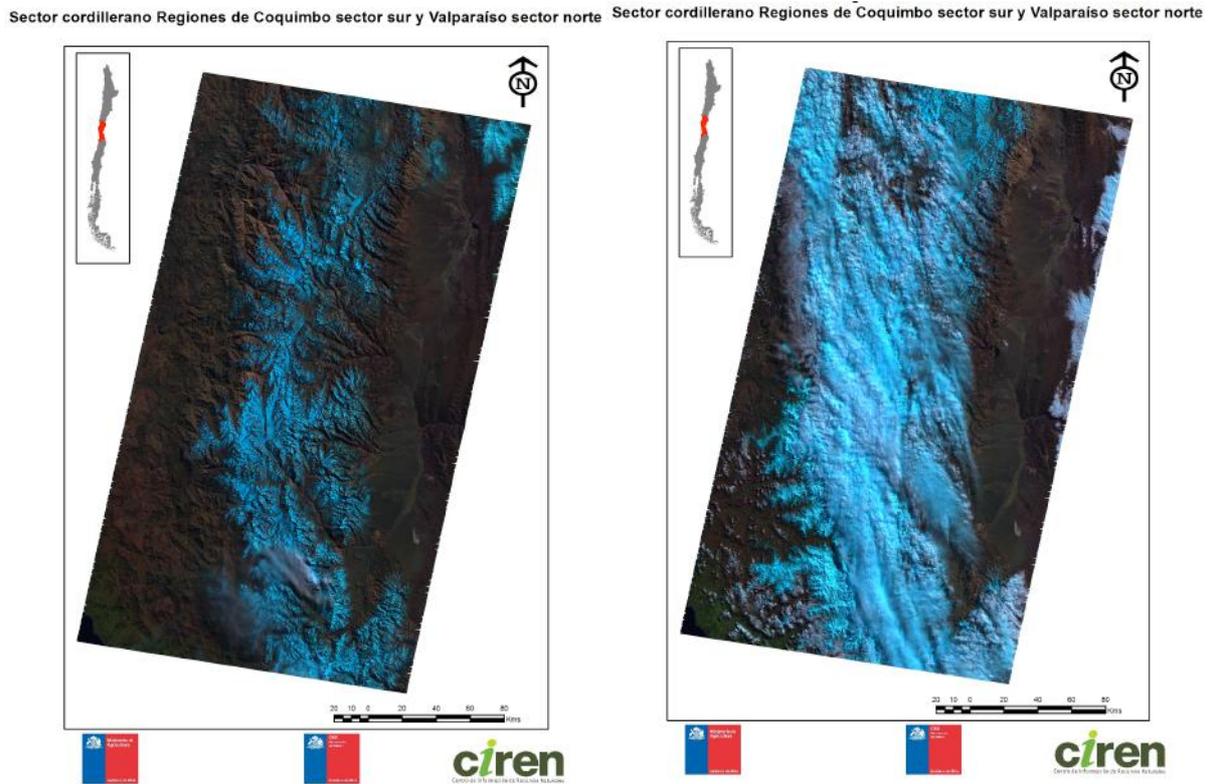
Fuente: elaboración.

Tabla 2 Correlación de precipitaciones.

	Caldera	Serena	Valparaíso	Santiago	Rancagua	Curicó
Caldera	1.0000					
Serena	0.0880	1.0000				
Valparaíso	0.0703	0.5603	1.0000			
Santiago	0.0641	0.4880	0.8424	1.0000		
Rancagua	-0.0434	0.4991	0.8170	0.9335	1.0000	
Curicó	-0.0074	0.3498	0.7989	0.8095	0.8738	1.0000

A continuación se presentan fotos satelitales de la cordillera de Los Andes de la región de Coquimbo antes y después de un frente. En la ilustración 8 se puede apreciar como aumenta la superficie nevada de la cordillera después de un frente específicamente al sur de la región de Coquimbo y al norte de Valparaíso durante el mes de agosto del año 2012.

Ilustración 8: Foto satelital antes y después de un frente estimulado en la región de Coquimbo.



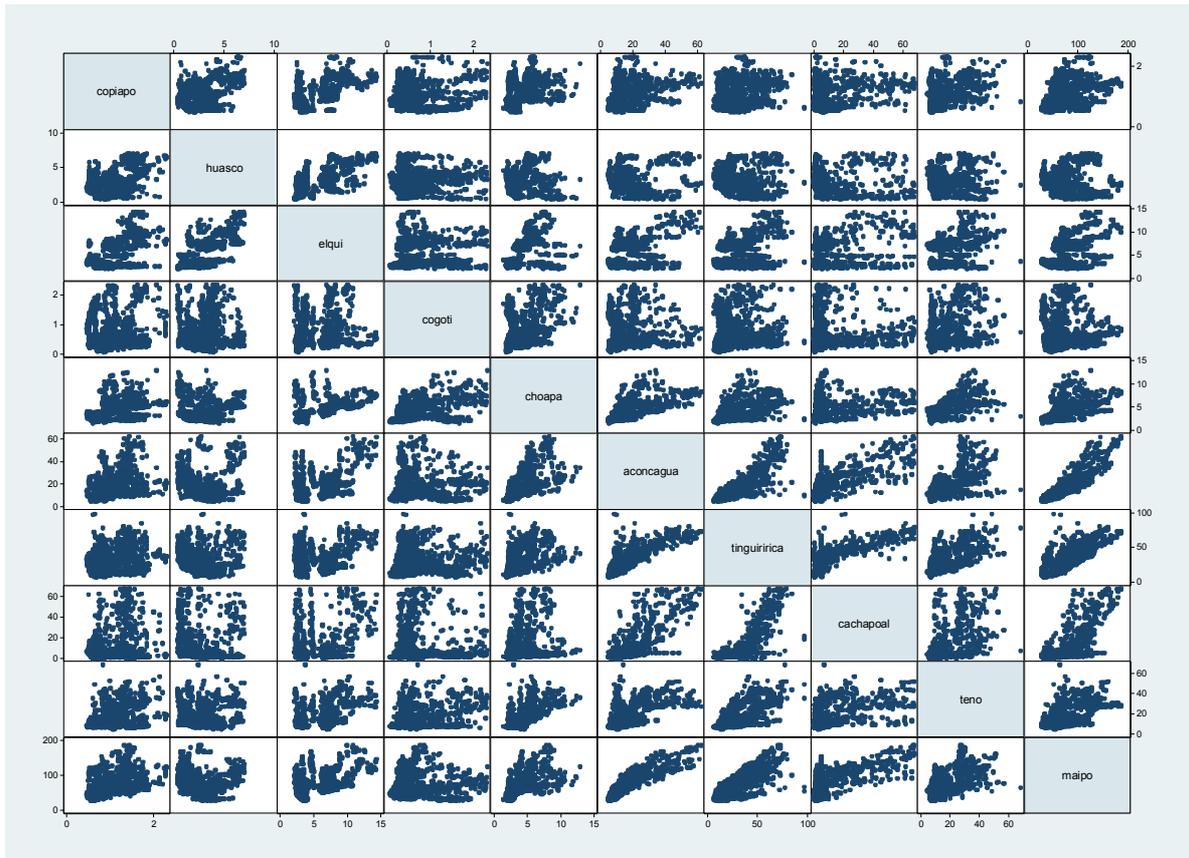
COMPORTAMIENTO DE LOS CAUDALES

En el anexo 4 se muestra el comportamiento de los caudales de los ríos analizados. Se aprecian los ciclos intra-anales y la disminución en intensidad y duración de los peak. Se observa además que durante los últimos 7 años los caudales han ido disminuyendo progresivamente.

El siguiente gráfico muestra que el caudal de los ríos Choapa, Aconcagua, Cachapoal, Tinguiririca y Teno³ presentan una elevada correlación con el del Maipo: 0,52, 0,88, 0,78, 0,73 y 0,62 respectivamente, lo que indica que existe una relación positiva, es decir cuando una de estos aumenta el otro lo hace en proporción constante. Los caudales de los ríos Copiapó y Elqui tienen una correlación de 0,40 y 0,46 con el del Maipo, al límite de aceptar un comportamiento similar. En cambio, los caudales de los ríos Huasco y Cogotí tienen una correlación negativa y cercana a 0, lo que impide realizar el siguiente análisis.

³ El río Teno se descarta del análisis ya que no presenta datos para el año 2013.

Gráfico 5 Correlación de precipitaciones.



Fuente: elaboración propia.

Tabla 3 Correlación de precipitaciones.

	copiapo	huasco	elqui	cogoti	choapa	aconca-	tingui-	catcha-	al	teno	maipo
copiapo	1.0000										
huasco	0.4245	1.0000									
elqui	0.5919	0.6143	1.0000								
cogoti	0.0558	0.0321	0.0855	1.0000							
choapa	0.4449	0.0330	0.5259	0.4592	1.0000						
aconcagua	0.3395	-0.0954	0.4851	0.0732	0.6276	1.0000					
tinguiririca	0.2357	-0.2006	0.3262	0.0915	0.4591	0.8308	1.0000				
cachapoal	0.1875	-0.1716	0.3047	0.0518	0.3027	0.7866	0.8071	1.0000			
teno	0.4176	-0.0449	0.4911	0.3155	0.6996	0.6798	0.7273	0.5417	1.0000		
maipo	0.4048	-0.1048	0.4650	-0.0423	0.5292	0.8873	0.7823	0.7376	0.6264	1.0000	

ANÁLISIS RAZÓN DE PRECIPITACIONES.

Para aquellos casos en que se constató correlación estadística, e procedió a realizar la prueba de hipótesis para cada parámetro estimado. Las prueba de significancia se presenta en el anexo 3.

Los resultados de la prueba de hipótesis indican que para la región de Coquimbo no existe diferencia significativa entre la media del parámetro para el periodo 1990 al 2011 y la media del parámetro para el periodo 2012. Es decir, no hay diferencia en el cambio de precipitaciones con lo histórico y lo ocurrido este año respecto a la región de control. Dicho de otra manera, las precipitaciones del 2012 tuvieron el mismo comportamiento que el histórico respecto a la región Metropolitana.

Lo contrario ocurre en las regiones de Valparaíso y O'Higgins, donde existe diferencia significativa entre el promedio del β calculado en el periodo 1990 y 2011 y la media del β para el año 2012. Se rechazó la hipótesis nula de la prueba estadística de media, puesto que la media del parámetro calculado para el año 2012 es mayor para ambas regiones que el histórico, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3 Prueba de Hipótesis

Región	Promedio Histórico	Promedio 2012	Significancia	diferencia
Coquimbo	0,18	0,06	no	-67%
Valparaíso	1,24	1,91	si	54%
O'Higgins	1,44	1,86	si	29%
Maule	2,39	2,09	no	-13%

Se aprecia que existe un aumento estadísticamente significativo en las regiones de Valparaíso y O'Higgins en comparación con la región Metropolitana. Por el contrario, en las regiones de Coquimbo y Maule la diferencia de los promedios del índice se mantiene.

ANÁLISIS RAZÓN DE CAUDALES.

En la primera parte del análisis se estableció que existe una relación de los caudales de los ríos Copiapó, Elqui, Choapa, Aconcagua, Cachapoal y Tinguiririca con el río Maipo. Por consiguiente, se procedió a realizar la prueba de hipótesis para cada parámetro estimado, las pruebas de significancia se presenta en el anexo 5.

Los resultados de la prueba de hipótesis indican que: para el río Copiapó de la Región de Atacama y los ríos de la Región de Coquimbo (Elqui y Choapa) no existe diferencia significativa entre la media del parámetro para el periodo abril del 2006 a marzo del 2012 y la media del parámetro para el periodo abril del 2012 a marzo del 2013, es decir, no hay diferencia en el cambio de caudales con lo histórico y lo ocurrido este año respecto a la cuenca de control que es el río Maipo, o dicho de otra manera, los caudales de este año tuvieron el mismo comportamiento que el histórico respecto al río Maipo.

Lo contrario pasa en las regiones de Valparaíso con el río Aconcagua y O'Higgins con los ríos Cachapoal y Tinguiririca donde existe diferencia significativa entre el promedio del α calculado en el periodo abril del 2006 y marzo del 2012 y la media del α para abril del 2012 y marzo del 2013. Se rechazó la hipótesis nula de la prueba estadística de media, puesto que la media del parámetro calculado para abril del 2012 y marzo del 2013 es mayor para ambas regiones que el histórico, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4 Prueba de Hipótesis

Región	Ríos	Promedio Histórico	Promedio 2012-2013	Diferencia	Significancia
Atacama	Copiapó	0,01614	0,01628	1%	No
Coquimbo	Elqui	0,08284	0,06632	-20%	No
	Choapa	0,06302	0,0518	-18%	
Valparaíso	Aconcagua	0,2113	0,2325	10%	Si
Libertador Bernardo	Cachapoal	0,108	0,1306	21%	Si
O'Higgins	Tinguiririca	0,3694	0,5691	54%	Si

Aquí se puede apreciar que existe un aumento estadísticamente significativo al comparar las regiones de Valparaíso y O'Higgins con la región Metropolitana con respecto al histórico, al contrario con las regiones de Atacama y Coquimbo en donde la diferencia de los promedios del índice se mantiene.

DISCUSIONES Y CONCLUSIÓN.

El análisis de los caudales indican que existe una tendencia a la baja en los años analizados, los ciclos de los caudales son cada vez menores y han disminuido sus periodos de tiempo, en los últimos 7 años

El análisis de los datos indican que existe relación de las lluvias de la región Metropolitana con las regiones de Coquimbo, Valparaíso, O'Higgins y del Maule. También entre los caudales de los ríos Copiapó, Elqui, Choapa, Aconcagua, Cachapoal, Tinguiririca y Teno con el caudal del río Maipo. Lo anterior permitió definir un parámetro para las precipitaciones y otro para los caudales, con el fin de comparar con la región de control, como es la región Metropolitana.

Se constata un aumento de las precipitaciones para las regiones de Valparaíso y O'Higgins. En cambio, para la región de Coquimbo no hay diferencia en las lluvias, producto de la escasas de frentes en la región.

En relación a los caudales de los ríos analizados se establece que existe un aumento de los caudales para los ríos Aconcagua, Cachapoal y Tinguiririca en base a los datos históricos y comparaciones con el río Maipo, es decir las regiones de Valparaíso y O'Higgins. En cambio para los ríos pertenecientes a las regiones de Atacama (Copiapó) y Coquimbo (Elqui y Choapa) no existe diferencia entre sus caudales.

Se realizaron diferentes transformaciones de los datos los cuales demostraron una consistencia en las tendencias. Sin embargo, el análisis es sensible a la cantidad de observaciones, que en este caso son muy escasas (5 meses); en consecuencia, la incorporación o eliminación de datos puede cambiar la tendencia.

Respecto a las causalidades que explicarían esta diferencia o igualdad de promedio, no es posible atribuirlo a ningún fenómeno, dado por la metodología empleada sumado a la baja información que se cuenta desde la puesta en marcha del programa. En consecuencia se recomienda para medir causalidad la metodología de un modelo de regresión, para ello es necesario recopilar más información de la aplicación del programa, lo que se traduce en esperar al menos otro periodo de aplicación.

Para nuevos análisis es necesario la incorporación de nuevas variables al estudio como es el número de frentes en el año, condiciones climáticas (humedad relativa, temperatura, isoterma, etc).

ANEXO 1 "REGISTRO DE VUELOS"

REGIÓN DE ATACAMA.

Vuelos 2012

I PERÍODO PROGRAMA "INVIERNO CONTINENTAL 2012"						
FECHA	NUMERO DE VUELO	AERONAVE	CUENCA / LOCALIDAD	TIEMPO VUELO BLOCK TIME	TIEMPO VUELO EN SIEMBRA	TOTAL DE NUCLEANTE
04.07	01	CC - AEV	Caserones			62,5
09.07	02	CC - AEV	Copiapó (Vuelo Frustrado)			0,0
27.07	03	CC - AEV	Litoral (Vuelo Frustrado)			0,0
09.08	04	CC - AEV	Río Huasco y Copiapó			625,0
14.08	05	CC-CMM	Copiapó			350,0
14.08	06	CC - AEV	Copiapó			600,0
16.08	07	CC - AEV	Huasco			250,0
17.08	08	CC-CMM	Huasco y Copiapó			425,0
31.08	09	CC - AEV	Caserones, Copiapó			200,0
01.09	10	CC - AEV	Caserones, Copiapó			0,0
02.09	11	CC-PEB	La Laguna, Negro Francisco, Caserones			0,0
02.09	12	CC - AEV	Al Sur de Vallenar			250,0
06.09	13	CC-PEB	Río Jorquera, Pulido y Copiapó			112,5

Vuelos 2013

VERANO ALTIPLÁNICO 2012-2013						
FECHA	NUMERO DE VUELO	AERONAVE	CUENCA / LOCALIDAD	TIEMPO VUELO BLOCK TIME	TIEMPO VUELO EN SIEMBRA	TOTAL DE NUCLEANTE
20.12	14	CC-PEB	Río Copiapó y Huasco(SIEMBRA)	3:05:00	0:43:00	537,5
22.12		CC-PEB	Traslado avión La Florida a Caldera	1:16:00	0:00:00	0,0
23.12	15	CC-PEB	Vuelo de inspección	1:08:00	0:00:00	0,0
30.12	16	CC-PEB	Vuelo de siembra frustrado	1:59:00	0:00:00	0,0
			Al 31 de diciembre de 2012	7:28:00	0:43:00	537,5
09.01	17	CC-PEB	Vuelo de inspección	0:30:00	0:00:00	0,0
15.01	18	CC-PEB	Vuelo de inspección	1:46:00	0:00:00	0,0
16.01	19	CC-PEB	Vuelo de inspección	2:11:00	0:00:00	0,0
17.01	20	CC-PEB	Vuelo Frustrado	1:42:00	0:00:00	0,0
20.01	21	CC-PEB	Cuenca Río Copiapó(SIEMBRA)	1:20:00	2:08:00	1.000,0
20.01	22	CC-PEB	Cuenca Río Copiapó(SIEMBRA)	2:17:00	0:25:00	625,0
			Al 31 de Enero de 2013	9:46:00	2:33:00	1.625,0
04.02	23	CC-PEB	Cuenca Río Copiapó (SIEMBRA)	1:58:00	0:56:00	700,0
05.02	24	CC-PEB	Cuenca Río Copiapó (SIEMBRA)	2:04:00	1:04:00	800,0
06.02	25	CC-PEB	Cuenca Río Copiapó y Huasco(SIEMBRA)	2:30:00	2:14:00	787,5
07.02		CC-CSE	Vuelo de Prueba	1:50:00	0:00:00	0,0
07.02	26	CC-PEB	Cuenca Río Copiapó y Huasco(SIEMBRA)	4:55:00	2:00:00	1.500,0
07.02	27	CC-CSE	Cuenca Río Copiapó(SIEMBRA)	2:05:00	2:06:00	1.575,0
08.02	28	CC-PEB	Cuenca Río Copiapó y Huasco(SIEMBRA)	2:50:00	2:08:00	1.600,0
08.02	29	CC-CSE	Cuenca Río Copiapó y Huasco(SIEMBRA)	2:40:00	2:00:00	1.500,0
10.02	30	CC-PEB	Cuenca Río Copiapó y Huasco(SIEMBRA)	2:25:00	1:42:00	1.275,0
11.02	31	CC-PEB	Cuenca Río Copiapó y Huasco(SIEMBRA)	2:34:00	2:44:00	2.050,0
12.02	32	CC-PEB	Cuenca Río Copiapó y Huasco(SIEMBRA)	2:33:00	0:56:00	700,0
		TOTAL	VUELOS DE SIEMBRA: 13 a la fecha			
			VUELOS TOTALES: 21			
			Al 12 de Febrero de 2013	28:24:00	16:50:00	12.487,5

REGIÓN DE COQUIMBO

FECHA	NUMERO DE VUELO	AERONAVE	HORA DESPEGUE	CUENCA / LOCALIDAD	TIEMPO VUELO BLOCK TIME	TIEMPO VUELO EN SIEMBRA
12.06	0	CC - AEV	17:05	Choapa, Elqui y Limarí (Rec	0:57:00	0:00:00
16.06	1	CC - AEV	16:43	Choapa (Salamanca e Illap	2:01:00	0:56:00
17.06	2	CC - AEV	12:37	Paloma, Puclaro, Este de O	1:51:00	0:52:00
17.06	3	CC - AEV	17:11	Combarbalá, Valle Hermoso, Puclar	1:23:00	0:31:00
28.06	4	CC - AEV	14:18	Choapa	1:57:00	0:16:00
				TOTALES JUNIO 2012	8:09:00	2:35:00
02.08	5	CC - AEV	16:37	Choapa (Salamanca)	2:09:00	0:24:00
09.08	6	CC - AEV	15:40	Elqui	2:17:00	0:18:00
14.08	7	CC - AEV	12:30	Sector cordillerano zona nor	1:45:00	0:26:00
14.08	8	CC-CMM	15:53	Choapa - Valle, pre y cordille	1:51:00	0:54:00
15.08	9	CC - AEV	8:29	Illapel, Salamanca, La palom	1:36:00	1:14:00
15.08	10	CC - AEV	12:18	Zona Este-S Cogotí, Norte de Sa	1:10:00	0:50:00
16.08	11	CC - AEV	8:13	Choapa	3:11:00	0:20:00
16.08	12	CC-CMM	8:49	Paloma Limarí	2:13:00	0:14:00
16.08	13	CC-PEB	8:51	Elqui	2:06:00	0:42:00
16.08	14	CC - AEV	14:55	Elqui Norte	1:12:00	0:42:00
17.08	15	CC-PEB	8:57	La Paloma, Ovalle, Limarí, C	2:10:00	0:58:00
17.08	16	CC - AEV	9:29	Valle y preporcillera Choapa	2:15:00	1:52:00
17.08	17	CC-PEB	13:30	Choapa, Cogotí y La Paloma	1:42:00	0:50:00
22.08	18	CC - AEV	16:33	Choapa, Embalses Cogotí y La Paloma y Recoleta.	2:08:00	1:40:00
22.08	19	CC-PEB	16:14	Choapa, Embalses Cogotí y	2:55:00	0:37:00
				TOTALES AGOSTO 2012	30:40:00	12:01:00
05.09	20	CC - AEV	14:38	Elqui, Limarí y Choapa	1:23:00	0:00:00
06.09	21	CC - AEV	8:18	Choapa	2:00:00	0:23:00
18.09	22	CC - AEV	8:00	Choapa	2:20:00	1:12:00
18.09	23	CC - AEV	11:45	Choapa	1:21:00	0:40:00
22.09	24	CC-AEV	17:00	Choapa y Limarí	1:05:00	0:00:00
27.09	25	CC-AEV	12:07	Choapa hasta Illapel	1:12:00	0:00:00
				TOTALES SEPTIEMBRE 2012	9:21:00	2:15:00
06.10	26	CC - AEV	8:00	Limarí - Choapa	2:25:00	0:10:00
06.10	27	CC-CMM	8:20	Combarbalá, Embalses	1:48:00	1:26:00
06.10	28	CC-CMM	12:15	Combarbalá, Embalses	1:37:00	0:56:00
7.10	29	CC-CMM	7:35	Salamanca, Illapel, Embalse	2:05:00	2:00:00
07.10	30	CC-AEV	8:10	Limarí Choapa	1:35:00	1:10:00
07.10	31	CC-AEV	14:34	Illapel, Limarí y Salamanca	2:39:00	1:00:00
08.10	32	CC-CMM	8:29	Vuelo frustrado falla Sistema	0:10:00	0:00:00
08.10	33	CC-AEV	9:10	Limarí	1:30:00	2:20:00
08.10	34	CC-AEV	14:20	Salamanca, Illapel y Limarí	1:43:00	0:00:00
21.10	35	CC-PEB	14:55	Vuelo de inspección todas la	1:50:00	0:00:00
21.10	36	CC-CMM	17:29	Choapa	2:00:00	0:48:00
				AL 31 DE OCTUBRE 2012	19:22:00	9:50:00
09.11	37	CC-AEV	7:08	Choapa	1:57:00	0:20:00
09.11	38	CC-PEB	8:19	Choapa	1:33:00	0:00:00
09.11	39	CC-PEB	18:39	Choapa. Limarí	1:27:00	0:00:00
				AL 30 DE NOVIEMBRE 2012	4:57:00	0:20:00
19.12	40	CC-PEB	17:57	Choapa	2:40:00	2:00:00
				AL 20 DE DICIEMBRE 2012	2:40:00	2:00:00
				TOTALES	75:09:00	29:01:00

REGIÓN DE VALPARAÍSO.

Estimulación aérea

Fecha	Tiempo de vuelo	Tiempo de estimulación	Grs. Nucleante	Altura min (pies)	Altura max (pies)
28-06-12	1:57:00	0:24:00	300,0	15.000	17.000
02-08-12	2:09:00	0:32:00	400,0	12.000	16.000
16-08-12	3:11:00	0:57:00	711,1	14.600	16.400
22-08-12	2:08:00	0:32:00	400,0	12.400	13.000
06-10-12	2:25:00	0:22:00	550,0	15.000	19.000
07-10-12	1:35:00	0:30:00	750,0	17.000	20.000
Total general	13:25:00	3:17:00	3.111,1	14.333	16.900

Estimulación terrestre

Fecha Estimulación	Cabildo	Lagunillas	Las Salinas	Lo Orrego	Los Molles	Trapiche	Total general
25-05-2012		20:00:00					20:00:00
12-06-2012			1:00:00			10:00:00	11:00:00
17-06-2012		10:00:00	10:00:00		10:00:00	10:00:00	40:00:00
20-06-2012		11:30:00					11:30:00
28-06-2012		8:00:00	12:00:00		10:00:00	10:00:00	40:00:00
29-06-2012	3:00:00	3:00:00	3:00:00		3:00:00		12:00:00
30-06-2012	4:00:00	4:00:00	4:00:00		4:00:00		16:00:00
04-07-2012		2:00:00					2:00:00
01-08-2012	5:00:00	5:00:00	6:00:00		3:00:00	6:00:00	25:00:00
03-08-2012	8:00:00	16:00:00	7:00:00		8:00:00	8:00:00	47:00:00
14-08-2012		2:00:00	2:00:00	3:00:00	2:00:00	2:00:00	11:00:00
15-08-2012	10:00:00	12:00:00	10:00:00	14:00:00		10:00:00	56:00:00
16-08-2012	2:00:00	9:00:00	17:00:00	5:00:00	17:00:00	6:00:00	56:00:00
22-08-2012		14:00:00	13:00:00	16:00:00	13:00:00	13:00:00	69:00:00
05-09-2012	8:00:00	10:00:00	8:00:00	10:00:00	8:00:00	8:00:00	52:00:00
05-10-2012		1:00:00					1:00:00
06-10-2012	8:00:00	8:00:00	8:00:00	10:00:00	8:00:00	8:00:00	50:00:00
07-10-2012		4:00:00					4:00:00
21-10-2012	4:00:00	7:00:00	4:00:00	0:00:00	4:00:00	4:00:00	23:00:00
Total general	52:00:00	146:30:00	105:00:00	58:00:00	90:00:00	95:00:00	546:30:00

ANEXO 2 “DEFINICIÓN DE LOS CLIMAS EN LAS REGIONES ANALIZADAS”

REGIÓN DE ATACAMA

a. CLIMA DESÉRTICO CON NUBLADOS ABUNDANTES.

Está presente en todo el sector costero de la región y penetra hasta las proximidades de Copiapó y Vallenar ya que el relieve no presenta barreras a la influencia marítima. Se caracteriza por abundante y densa nubosidad que se presenta durante la noche y disipa durante la mañana, a veces acompañada de intensas nieblas y lloviznas. Esto también define una alta cantidad de días nublados y pocos días despejados.

La influencia oceánica produce un régimen térmico moderado con poca amplitud térmica tanto diaria como anual.

Las precipitaciones son mayormente de tipo frontal y aumentan de norte a sur. Por ejemplo en Chañaral se alcanzan 12 mm al año, en Caldera 27 y en el Totoral 32. Estas precipitaciones ocurren casi exclusivamente en invierno.

b. CLIMA DESÉRTICO MARGINAL BAJO.

Este clima corresponde a la mayor parte de la Región, cubriendo la zona que va desde donde comienzan las tierras altas de la cordillera hasta donde alcanza la influencia marítima intensa por el oeste. De Copiapó al norte es de una rigurosa sequedad, en cambio de Copiapó al sur, la inexistencia de la cordillera de la Costa permite alguna forma de efecto marítimo en la humedad sin nubosidad, que atenúa las características desérticas.

La amplitud térmica es mucho mayor que en el litoral. La diferencia entre el mes más cálido y el más frío es de 7° a 8° C en Copiapó y Vallenar mientras que se estima inferior a 6° en la zona costera. Mucho mayor es la amplitud térmica diaria que alcanza del orden de 13° a 15° C, lo que es una buena muestra de la continentalidad.

Las zonas con este clima se ubican bajo el nivel de la inversión de temperatura, con temperaturas moderadas y humedad suficiente para permitir la generación de algún tipo de vegetación de estepa en los sectores bajos.

Las precipitaciones aumentan con la latitud y con la altura, concentrándose en los meses de invierno. Los totales anuales llegan a 12 mm en Copiapó (291 metros de elevación), 19 mm en El Salvador (2.400 m.), 32 mm en Vallenar (470 m.) y 34 mm en Los Loros (948 m.).

c. CLIMA DESÉRTICO MARGINAL DE ALTURA.

Se manifiesta sobre los 2.000 m de altura. El régimen térmico es más frío pero las oscilaciones térmicas son menores que en el desierto marginal bajo, debido a la altura. La humedad relativa es baja, los cielos son predominantemente despejados, diáfanos y limpios, lo que motivó la instalación del observatorio astronómico de Las Campanas.

Las precipitaciones son más abundantes en este clima y se producen casi exclusivamente en los meses de invierno, de mayo a agosto. Estas son de origen frontal y muchas veces son nivosas.

Las temperaturas bajas y las apreciables cantidades de nieve en el invierno hacen que la línea de nieves eternas se ubique entre los 5.000 y 6.000 m, por lo que a los más altos picachos de la cordillera de la región, localmente se les denomine "nevados", como el Incahuasi, Tres Cruces, Ojos del Salado, etc.

REGIÓN DE COQUIMBO

a. CLIMA DE ESTEPA CON NUBOSIDAD ABUNDANTE.

Las precipitaciones presentan un régimen frontal, **con máximos en el invierno (junio, julio y**

agosto) donde precipita cerca del 80% del total anual. Así mismo, las precipitaciones aumentan hacia el sur y con la altura. En La Serena caen 78 mm anuales, en el Tangué 107 mm, 163 mm en Puerto Oscuro y más de 270 en Quilimarí.

b. CLIMA DESÉRTICO MARGINAL BAJO.

Las características desérticas se presentan aminoradas por las mayores cantidades de precipitación y porque la cordillera de la Costa se presenta muy disminuida, permitiendo una mayor humedad proveniente del litoral.

c. CLIMA DE ESTEPA CON GRAN SEQUEDAD ATMOSFERICA.

Las precipitaciones son de régimen frontal y se presentan en invierno, donde precipita entre el 75% y el 85% de las cantidades anuales. En los sectores más altos, son de nieve.

d. CLIMA DESÉRTICO MARGINAL DE ALTURA.

Este tipo de clima se encuentra en la cordillera del sector norte de la Región, por sobre los 2.500 m de elevación. Es un clima frío por efecto de la altura, con precipitaciones importantes sólo en los meses de invierno, donde precipita cerca del 70% del total anual.

Producto de las bajas temperaturas, las precipitaciones de nieve se acumulan en la cordillera repercutiendo en el caudal de los ríos, los cuales presentan importantes crecidas a comienzos de verano.

e. CLIMA TEMPLADO CALIDO CON ESTACION SECA PROLONGADA DE 7 A 8 MESES.

Las precipitaciones son poco más abundantes que en el clima de estepa con gran sequedad atmosférica, pero todavía hay 7 a 8 meses con precipitación inferior a 40 milímetros; son de régimen frontal y con bastante nieve en el invierno. A pesar de ser escasas en el período seco, hacen que la porción que precipita en invierno (junio a agosto), haya disminuido al 60% a 75% del total del año en relación a los climas de más al norte.

REGIÓN DE VALPARAÍSO

a. CLIMA DE ESTEPA CON GRAN SEQUEDAD ATMOSFERICA.

Se presenta en los valles interiores desde el límite con la IV Región hasta Cabildo aproximadamente. Se caracteriza por cielos límpidos a causa de la baja humedad atmosférica, cielos despejados y alta luminosidad. Las lluvias todavía son escasas e irregulares por lo que las sequías son frecuentes en el valle de Petorca y La Ligua, a pesar que los totales anuales superan los 200 milímetros. Estas se presentan en invierno y son de origen ciclónico.

b. CLIMA TEMPLADO - CALIDO CON LLUVIAS INVERNALES, ESTACION SECA PROLONGADA (7 A 8 MESES) Y GRAN NUBOSIDAD.

Las precipitaciones son mucho más abundantes que más al norte, superándose los 350 milímetros anuales, aunque todavía existen 8 meses secos, en que llueve menos de 40 mm. En los 4 meses lluviosos (mayo a agosto), precipita más del 80% del total anual. La intensidad de las precipitaciones y del viento en invierno alcanza características de temporal casi cada año. El aumento en latitud, también se refleja en un aumento de las precipitaciones, registrándose por ejemplo, 340 mm anuales en Quintero y casi 400 mm en Punta Panul (San Antonio).

c. CLIMA TEMPLADO CALIDO CON LLUVIAS INVERNALES Y ESTACION SECA PROLONGADA (7 A 8 MESES).

Las precipitaciones se concentran en invierno, dejando al menos 7 meses con cantidades inferiores a 40 mm. Raramente se producen nevadas en invierno. El relieve determina grandes diferencias en los registros pluviográficos, al favorecer u obstaculizar el paso del viento predominante del suroeste. Así por ejemplo, Valparaíso en la costa presenta 370 mm de agua caída; Rodelillo en la parte alta de la planicie litoral, recibe más de 600 mm; Llay-lLAY en el interior 317 mm; luego disminuye a 230 mm y 270 mm en San Felipe y Los Andes respectivamente.

Otra característica de las precipitaciones es su anormalidad, pues hay una gran diferencia entre años lluviosos y años con sequía. Los inviernos más lluviosos puede precipitar hasta 10 veces más que en los inviernos con sequía. Contrastes similares pueden encontrarse a lo largo de un mismo año, pues las



precipitaciones pueden concentrarse en períodos de dos a tres semanas, dejando el resto de la estación con déficit, lo que origina más problemas que beneficios. También las precipitaciones suelen producirse en períodos poco apropiados para la agricultura.

d. CLIMA TEMPLADO CALIDO CON ESTACION SECA DE 4 A 5 MESES.

Este clima se encuentra en el sector andino de la Región, por sobre los 1.200 m de elevación, donde la inversión térmica le da el carácter de templado a pesar de la altura, contrarrestando su efecto. Las temperaturas en la noche descienden bastante produciéndose frecuentes heladas. Con la altura las precipitaciones son mucho más abundantes, alcanzándose valores superiores a 1.000 mm. En invierno se producen bastantes nevadas, que se constituyen en importantes reservas hídricas. En sectores más altos, las menores temperaturas permiten la existencia de hielos eternos. La línea de nieves desciende notoriamente en invierno y con los calores de la primavera y el verano, la nieve se funde aumentando el caudal de los ríos.

REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

a. CLIMA TEMPLADO CALIDO CON ESTACION SECA PROLONGADA (7 A 8 MESES) Y GRAN NUBOSIDAD.

Este clima se encuentra en el sector costero de la parte norte de la Región, abarcando las planicies litorales y la ladera occidental de la cordillera de la Costa. Es la extensión hacia el sur del mismo clima que se encuentra en el litoral de la V Región, determinado por la cercanía del mar, que modera las temperaturas y produce una gran humedad que se manifiesta en una gran cantidad de días nublados. Las precipitaciones son de origen frontal y se concentran en invierno. Las sumas anuales varían entre algo más de 500 mm en la parte norte hasta casi 800 mm en el sector sur. Entre los meses de mayo y agosto cae entre el 76% y el 80% de los totales anuales. Los meses de octubre a abril presentan menos de 40 mm de agua caída, definiendo así una estación seca que dura 7 meses.

b. CLIMA TEMPLADO CALIDO CON ESTACION SECA PROLONGADA (7 A 8 MESES).

La zona ubicada en la depresión intermedia o en el valle longitudinal de esta región presenta las condiciones de este tipo de clima, mostrando claramente características mediterráneas con veranos cálidos y secos e inviernos lluviosos, frescos y húmedos. Las precipitaciones son algo menores que en el litoral pero las amplitudes térmicas tanto diarias como anuales son mayores. La diferencia de temperatura entre el mes más cálido y el más frío es del orden de 13°C en Rancagua y sólo llega a 8°C en la costa. También hay 7 meses con precipitación inferior a 40 mm, que van de octubre a abril. La cordillera de la Costa limita el alcance de la influencia marítima, lo que se manifiesta en una menor cantidad de días nublados que en el litoral.

c. CLIMA TEMPLADO CALIDO CON ESTACION SECA (4 A 5 MESES).

En el sector cordillerano de la Región, por sobre los 800 m, el ascenso del relieve provoca grandes variaciones en el clima, ya que las temperaturas medias en el invierno se aproximan a 0° y las precipitaciones invernales se hacen sólidas, al mismo tiempo que aumentan a cerca de 1.000 mm anuales, acortándose así la duración de la estación seca a sólo 4 a 5 meses con precipitación inferior a 40 mm. Las temperaturas medias son del orden de 4°C más bajas que en el valle y la diferencia entre el mes más cálido y el más frío también desciende a unos 11°C.

REGIÓN DEL MAULE

a. CLIMA TEMPLADO CALIDO CON ESTACION SECA 4 A 5 MESES.

En esta Región, las precipitaciones son casi exclusivamente de origen frontal y más abundantes en invierno. El total de las precipitaciones entre mayo y agosto alcanza al 70% a 75% del total anual, lo que indica que en estas latitudes las precipitaciones que no son invernales alcanzan ya cierta importancia. Entre octubre y marzo ocurre la estación seca, que se prolonga por 4 hasta 6 meses, en que llueve menos de 40 mm. mensuales. En el invierno se presentan intensas nevazones en la cordillera que se constituyen en importantes reservas hídricas para la temporada estival y definen el desarrollo de los sistemas fluviales de la zona.

ANEXO 3 “PRUEBA DE HIPÓTESIS PRECIPITACIONES”. REGIÓN DE COQUIMBO.

ttestiserena == 0.06620535

One-sample t test

Variable	Obs	Mean	Std. Err.	Std. Dev.	[95% Conf. Interval]	
iserena	142	.1763182	.0171919	.2048654	.1423309	.2103054
mean = mean(iserena)					t = 6.4049	
Ho: mean = .066205					degrees of freedom = 141	
Ha: mean < .066205		Ha: mean != .066205		Ha: mean > .066205		
Pr(T < t) = 1.0000		Pr(T > t) = 0.0000		Pr(T > t) = 0.0000		

REGIÓN DE VALPARAISO

ttestivalparaiso == 1.91263201

One-sample t test

Variable	Obs	Mean	Std. Err.	Std. Dev.	[95% Conf. Interval]	
ivalparaiso	148	1.272151	.1008958	1.22745	1.072757	1.471544
mean = mean(ivalparaiso)					t = -6.3480	
Ho: mean = 1.91263					degrees of freedom = 147	
Ha: mean < 1.91263		Ha: mean != 1.91263		Ha: mean > 1.91263		
Pr(T < t) = 0.0000		Pr(T > t) = 0.0000		Pr(T > t) = 1.0000		

REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

One-sample t test

Variable	Obs	Mean (historico)	Std. Err.	Std. Dev.	[95% Conf. Interval]	
irancagua	129	1.442001	.0626907	.7120292	1.317957	1.566045
mean = mean(irancagua)					t = -6.7401	
Ho: mean = 1.86454 (mean 2012)					degrees of freedom = 128	
Ha: mean < 1.86454		Ha: mean != 1.86454		Ha: mean > 1.86454		
Pr(T < t) = 0.0000		Pr(T > t) = 0.0000		Pr(T > t) = 1.0000		
ttestirancagua == 0.46895264						

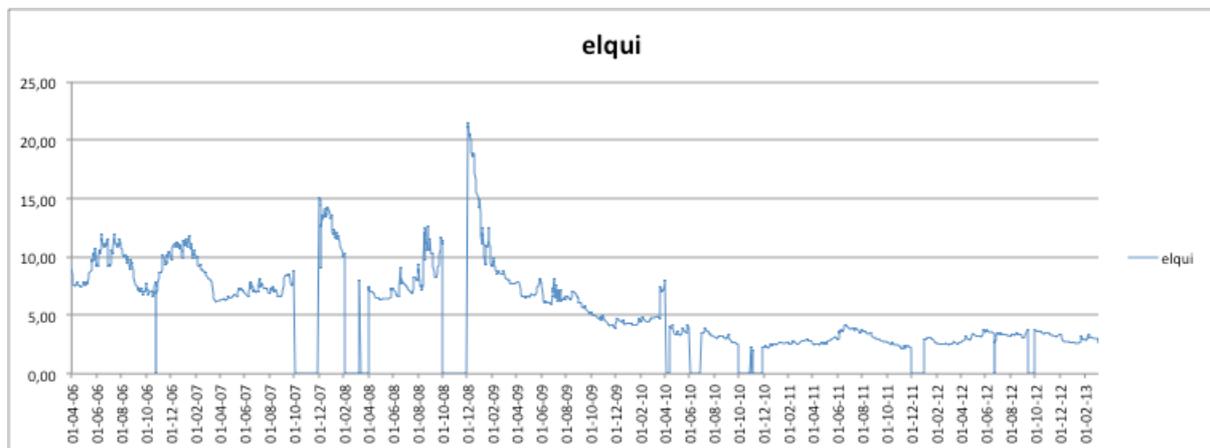
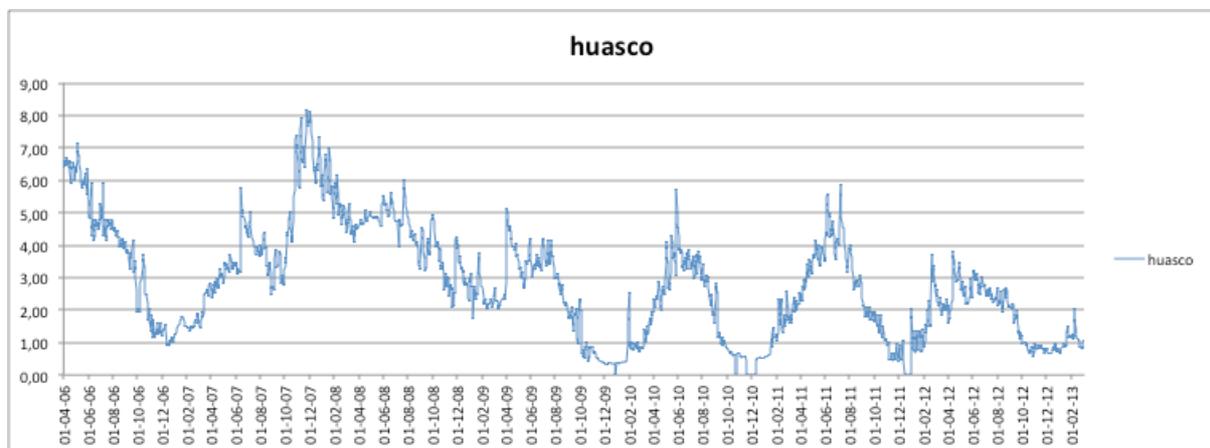
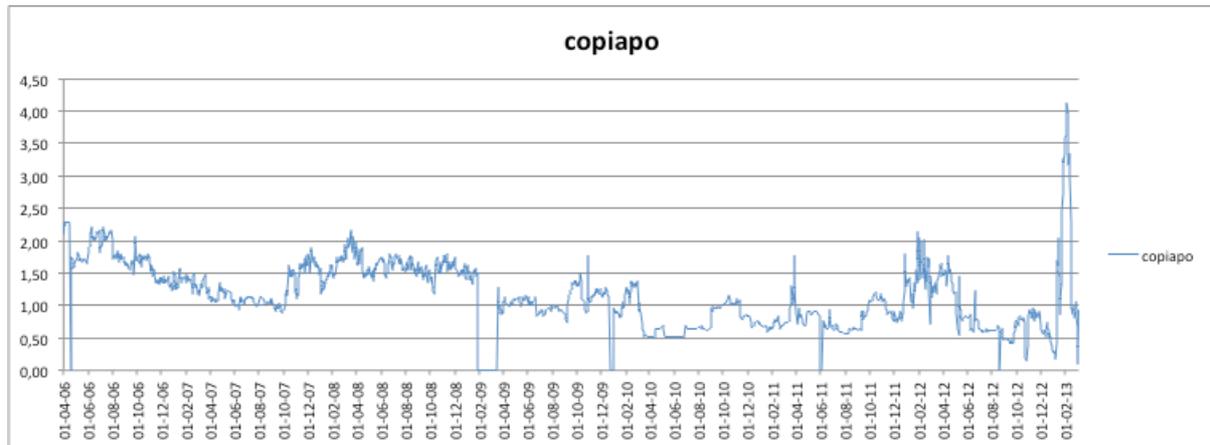
REGIÓN DEL MAULE.

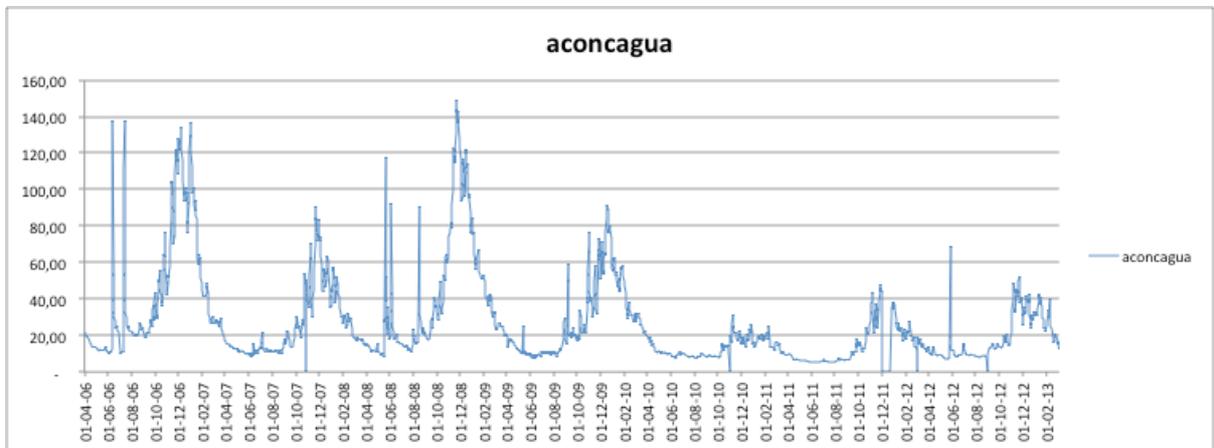
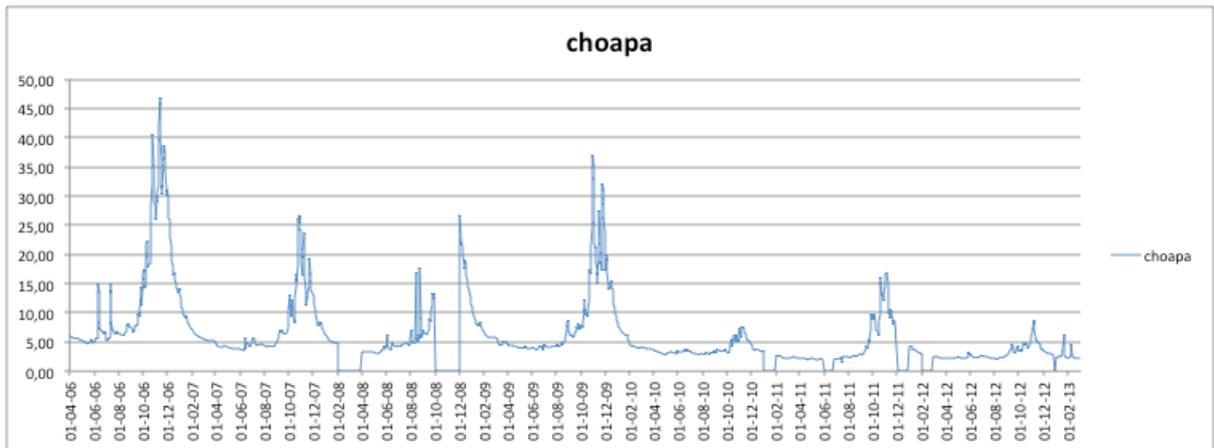
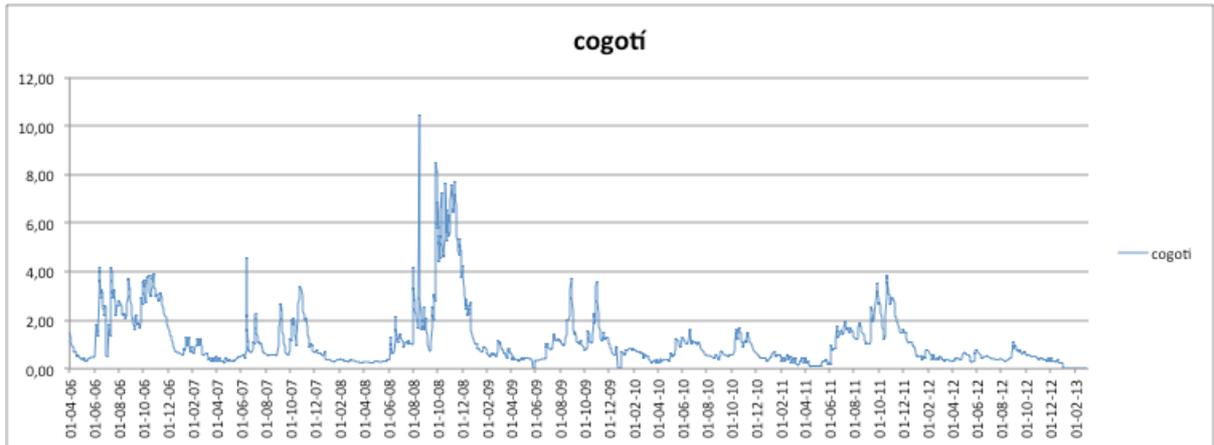
ttesticurico == 2.09469068

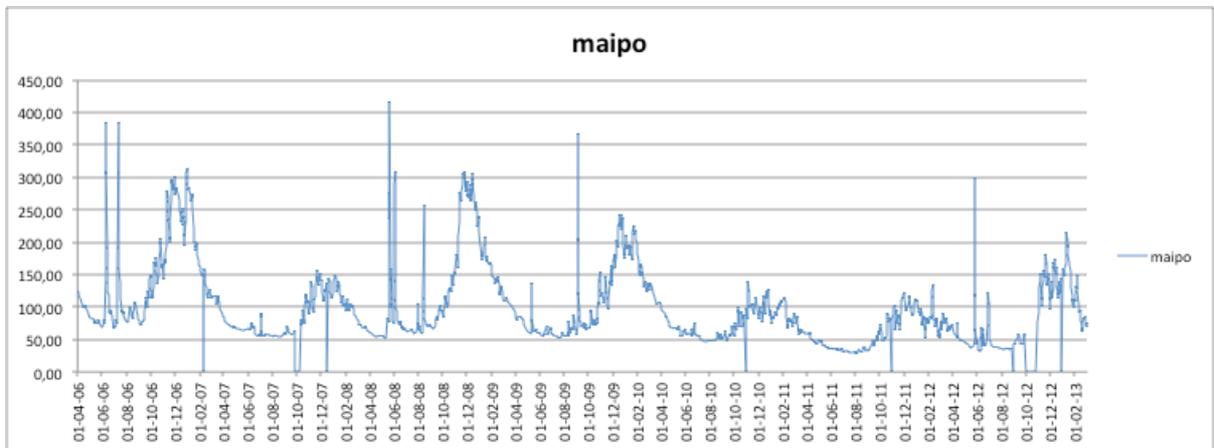
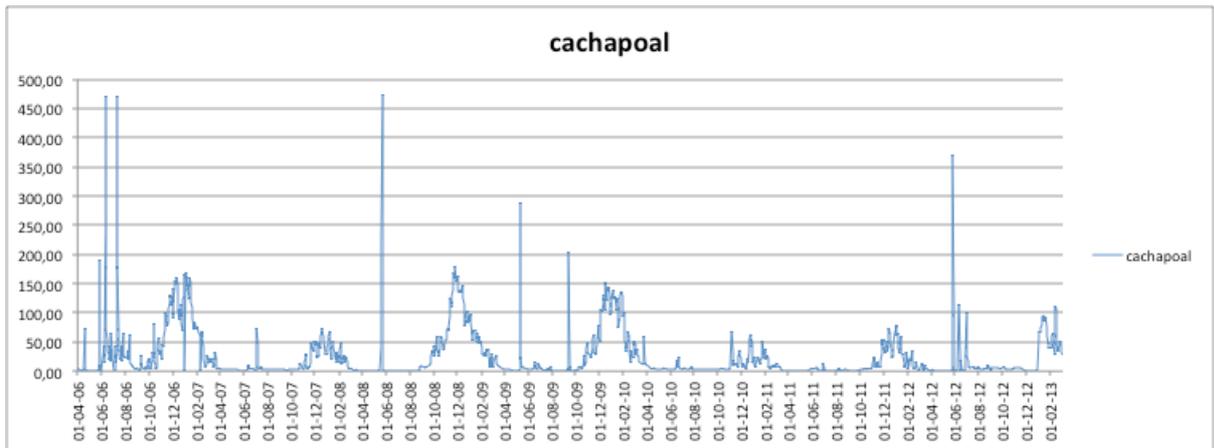
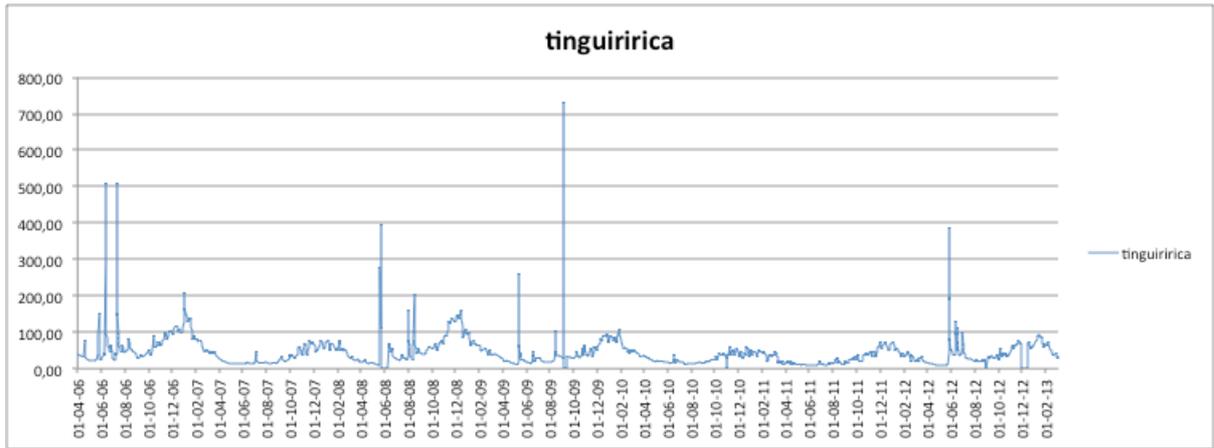
One-sample t test

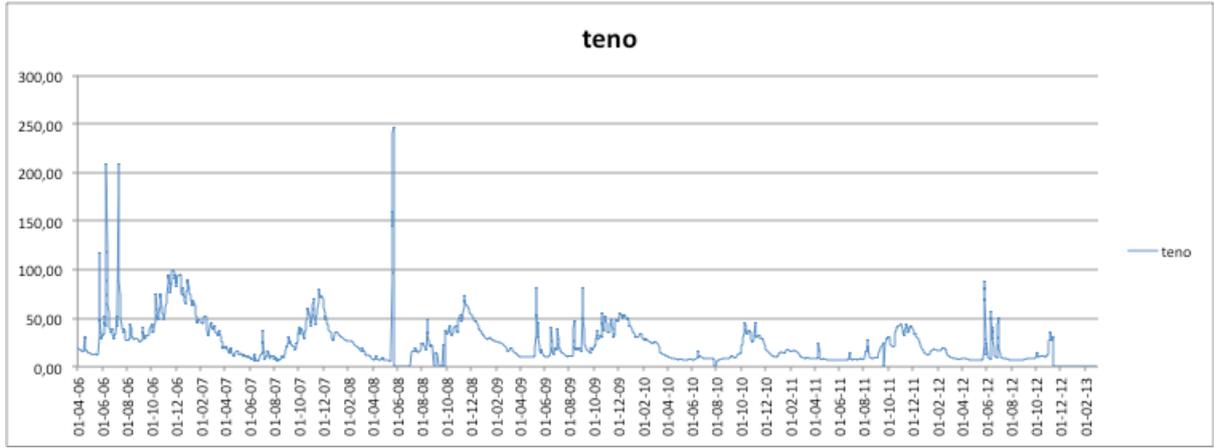
Variable	Obs	Mean	Std. Err.	Std. Dev.	[95% Conf. Interval]	
icurico	139	2.377636	.136764	1.612424	2.107212	2.64806
mean = mean(icurico)					t = 2.0689	
Ho: mean = 2.09469					degrees of freedom = 138	
Ha: mean < 2.09469		Ha: mean != 2.09469		Ha: mean > 2.09469		
Pr(T < t) = 0.9798		Pr(T > t) = 0.0404		Pr(T > t) = 0.0202		

ANEXO 4 “TENDENCIA CAUDALES”.









ANEXO 5 “PRUEBA DE HIPÓTESIS CAUDALES”.

REGION DE ATACAMA

Río Copiapó

ttest copiapo2 == 0.01628774

One-sample t test

Variable	Obs	Mean	Std. Err.	Std. Dev.	[95% Conf. Interval]	
copiapo2	1203	.016154	.0001607	.0055738	.0158388	.0164693

mean = mean(copiapo2) t = -0.8319
Ho: mean = .016288 degrees of freedom = 1202

Ha: mean < .016288 Ha: mean != .016288 Ha: mean > .016288
Pr(T < t) = 0.2028 Pr(|T| > |t|) = 0.4056 Pr(T > t) = 0.7972

REGION DE COQUIMBO

Río Elqui

ttest elqui2 == 0.06632338

One-sample t test

Variable	Obs	Mean	Std. Err.	Std. Dev.	[95% Conf. Interval]	
elqui2	1203	.0828443	.0010038	.0348176	.0808748	.0848138

mean = mean(elqui2) t = 16.4577
Ho: mean = .066323 degrees of freedom = 1202

Ha: mean < .066323 Ha: mean != .066323 Ha: mean > .066323
Pr(T < t) = 1.0000 Pr(|T| > |t|) = 0.0000 Pr(T > t) = 0.0000

Río Choapa

. ttest choapa2 == 0.05180158

One-sample t test

Variable	Obs	Mean	Std. Err.	Std. Dev.	[95% Conf. Interval]	
choapa2	1203	.0630245	.0007382	.0256025	.0615763	.0644727

mean = mean(choapa2) t = 15.2039
Ho: mean = .051802 degrees of freedom = 1202

Ha: mean < .051802 Ha: mean != .051802 Ha: mean > .051802
Pr(T < t) = 1.0000 Pr(|T| > |t|) = 0.0000 Pr(T > t) = 0.0000

REGION DE VALPARAISO

Río Aconcagua

. ttest aconcagua2 == 0.23258726

One-sample t test

Variable	Obs	Mean	Std. Err.	Std. Dev.	[95% Conf. Interval]	
----------	-----	------	-----------	-----------	----------------------	--

```

aconca~2 |      1203      .2113853      .0017567      .0609304      .2079387      .2148319
-----+-----
      mean = mean(aconcagua2)                                t = -12.0691
Ho: mean = .232587                                           degrees of freedom =      1202

Ha: mean < .232587                Ha: mean != .232587                Ha: mean > .232587
Pr(T < t) = 0.0000                Pr(|T| > |t|) = 0.0000                Pr(T > t) = 1.0000

```

REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

Río Tinguiririca

```
. ttest tinguiririca2 == 0.56915882
```

One-sample t test

```

-----+-----
Variable |      Obs      Mean      Std. Err.      Std. Dev.      [95% Conf. Interval]
-----+-----
tingui~2 |      1203      .3694449      .003603      .1249672      .362376      .3765137
-----+-----
      mean = mean(tinguiririca2)                                t = -55.4300
Ho: mean = .569159                                           degrees of freedom =      1202

Ha: mean < .569159                Ha: mean != .569159                Ha: mean > .569159
Pr(T < t) = 0.0000                Pr(|T| > |t|) = 0.0000                Pr(T > t) = 1.0000

```

Río Cachapoal

```
. ttest cachapoal2 == 0.13069341
```

One-sample t test

```

-----+-----
Variable |      Obs      Mean      Std. Err.      Std. Dev.      [95% Conf. Interval]
-----+-----
cachap~2 |      1203      .1080764      .0035484      .1230743      .1011146      .1150381
-----+-----
      mean = mean(cachapoal2)                                t = -6.3738
Ho: mean = .130693                                           degrees of freedom =      1202

Ha: mean < .130693                Ha: mean != .130693                Ha: mean > .130693
Pr(T < t) = 0.0000                Pr(|T| > |t|) = 0.0000                Pr(T > t) = 1.0000

```

.