

Evidencias en la variabilidad pluvio y fluviométrica en contexto de sequías. El caso de la cuenca del río Maule, Chile entre los años 2000-2019

Evidence in rainfall and fluviometric variability in the context of droughts. The case of the Maule river basin, Chile between the years 2000-2019

Francisco Maturana

 <https://orcid.org/0000-0003-3963-5807>

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV)
Chile

 francisco.maturana@uach.cl

José Araos E

 <https://orcid.org/0000-0002-5443-9911>

Universidad Alberto Hurtado (UAH)
Chile

 jaraos@uahurtado.cl

Macarena Fernández Carvajal

Universidad Alberto Hurtado (UAH)
Chile

 macarena.fer23@gmail.com

RESUMEN

El Cambio Climático y la gestión del recurso hídrico son elementos que impactan en la disponibilidad de agua en una amplia gama de territorios. En este trabajo se analiza el comportamiento de la variabilidad pluviométrica y fluviométrica en la cuenca del río Maule, Chile una de las principales y de mayor envergadura a nivel nacional con un área correspondiente a 20.300 km², y en donde predomina la actividad silvoagropecuaria. Se realizó un análisis clúster basado en los datos disponibles para las precipitaciones (periodo 2000-2019) y caudales (periodo 2003-2019) cuyo vínculo

entre este último y el primero se asocia a la magnitud de la escorrentía. El comportamiento de estos muestra una tendencia a la disminución, presumiblemente producto de la mega sequía y variaciones en el comportamiento climático de meso escala. El análisis de datos permite suponer una relación entre el comportamiento pluviométrico y la disminución del caudal medio de canales y ríos, acarreado consecuencias negativas a las actividades socioeconómicas vinculadas al uso del agua y demandando nuevas formas de gestión hídrica en los territorios.

PALABRAS CLAVE: Cuenca del Maule, análisis clúster, precipitaciones, caudales.

ABSTRACT

Climate change and the management of water resources are elements that impact the availability of water in the territories. This work analyzes the behavior of the pluviometric and fluviometric variabilities in the Maule river basin, Chile, one of the main and largest at the national level with an area corresponding to 20,300 km², and where silvo-agricultural activity predominates. A cluster analysis was performed based on the data available for rainfall (period 2000-2019) and flows (period 2003-2019) whose link between the latter and the former is associated with the magnitude of runoff. The behavior of these shows that an attention to the decrease, presumably due to the mega drought and variations in the mesoscale climatic behavior. The data analysis allows us to suppose a relationship between the rainfall behavior and the decrease in the average flow of channels and rivers, causing negative consequences to the socio-economic activities related to the use of water and demanding new forms of water management in the territories.

KEYWORD: Maule basin, cluster analysis, rainfall, flow.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha presentado un aumento sostenido en el crecimiento de la población y con ello la sobreexplotación de todo tipo de recursos, modificando los territorios con diversos impactos en diversos sectores del planeta (Becerra, Mance et.al, 2009). Uno de estos impactos corresponde a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), que, debido a su prolongada subsistencia en la atmósfera, presentan un efecto acumulativo (Barros, 2005). En efecto, el Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) señala que las emisiones de tales gases invernadero y su acumulación, causarán un mayor calentamiento atmosférico y nuevos cambios en todos los componentes del sistema climático (IPCC, 2014)

Según el IPCC (2014) el Cambio Climático hace referencia a un cambio en el estado del clima, identificado a través de pruebas estadísticas por alteraciones en el promedio y/o variabilidad de sus propiedades, y que subsiste en un tiempo prolongado. Tal cambio, trae consigo importantes alteraciones de todo tipo de variables climáticas importantes para la vida y actividades productivas; tales como: temperatura, precipitación, humedad y vientos (Barros, 2005).

Bajo tal contexto, es que se han podido asociar la recurrencia de ciertos fenómenos extremos, los cuales están relacionados entre sí (Moreda, Madruga, & Espino, 2020), Los modelos climáticos elaborados a cabo por la comunidad científica, predicen un calentamiento mundial de 1,4°C a 5,8°C entre 1990 al 2100.

Estos fenómenos extremos se han observado en inundaciones, sequías, modificación en el régimen de precipitaciones, frío y calor intenso, incendios, derretimiento de glaciares, escasez de agua, extinciones, etc. (TERRAM, 2019), constituyéndose la variación de precipitaciones como un elemento distintivo del proceso, particularmente cuando se producen procesos de sequía.

La sequía, se define como un “período de condiciones anormalmente secas durante suficiente tiempo para causar un desequilibrio hidrológico” (CentroUC, 2017), dependiendo en gran medida de la región geográfica en que se esté analizando. En tal sentido Wilhite & Glantz (1985) categorizan las sequías en eventos de 4 clases las cuales siguen un orden lógico y conducente. i) sequía meteorológica, asociada a datos climáticos, disminución/falta de precipitación sobre una región durante un período de tiempo; ii) sequía agrícola, alude a la disminución de la humedad del suelo, el cual no permite el desarrollo de un determinado cultivo; iii) sequía hidrológica; se relaciona con el déficit de recursos hídrico (superficial y subterránea) expresándose en la disminución de caudales o volumen de reservas; y por último, iv) sequía socio económica, la cual apunta a los daños a la población (personales o económicos), es decir, está relacionado con la actividad económica que se vea afectada.

Chile ha sido catalogado como uno de los países vulnerables al impacto del Cambio Climático, por la Convención Marco de Naciones Unidas por el Cambio Climático realizada el año 1992, que en su artículo 4, número 8, expresa que el país presenta características que lo condicionan a ser susceptible ante este fenómeno, tal como:

áreas de borde costero de baja altura; zonas áridas, semiáridas; zonas con cobertura forestal y zonas expuestas al deterioro forestal; propenso a desastres naturales; zonas expuestas a la sequía y la desertificación; zonas urbanas con problemas de contaminación atmosférica y zonas de ecosistemas frágiles, incluidos los sistemas montañosos (Font, 2019).

Particularmente, se debe considerar la fuerte dependencia de las actividades económicas del país de las variables físicas y climáticas, especialmente frente al recurso hídrico, sujeto además a debate por el contexto de privatización y escasez (Hernández, 2017). Según el informe de simulaciones climáticas regionales del Centro chileno de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2), bajo los escenarios RCP 2.6 y 8.5 debiera esperarse una disminución de la precipitación, principalmente en las zonas costeras del norte y centro del país para el periodo 2021-2050 (Rojas & Gallardo, 2018). En este sentido, el aumento de temperatura y la disminución de precipitaciones, sumado a la creciente demanda de agua por diversas actividades socio económicas, presuponen una mayor exposición al riesgo de sequía en un futuro cercano.

En Chile la sequía ha mostrado una tendencia al incremento en las últimas décadas, denominándose como “Mega sequía”. En efecto, desde el año 2010, el territorio que abarca las regiones de Coquimbo a La Araucanía, Figura 2, ha experimentado un déficit de precipitaciones cercano al 30%, esta disminución en la pluviometría viene acompañada de las temperaturas más cálidas de los últimos 100 años, agravando la carencia hídrica en lagos y embalses (Garreaud, 2015).

Una causa de esta sequía estaría asociada a los eventos Niña que, en la zona central, de Chile, determina una disminución persistente de las precipitaciones (Santibáñez, 2016). Específicamente, en las últimas décadas han ocurrido varios episodios de sequía en Chile central. Desde el año 2008 la Dirección General de Aguas de Chile (DGA), bajo la Resolución DGA N°1674 – en la que se estipulan los criterios para la calificación de épocas de sequías extraordinarias – ha decretado un total de 145 eventos de sequías extraordinarias a nivel país. Particularmente en la Región del Maule, ha sido expuesta desde el 2008 a continuos decretos de escasez hídrica, en primeras instancias a escala comunal, luego provincial, hasta llegar dos años consecutivos (2019 y 2020) a escala regional.

En la Actualidad esta región se destaca por el cambio de uso de suelo de agrícola a forestal en las zonas periurbanas y rurales, modificando también el comportamiento hidrológico de sus cuencas, particularmente las zonas de secano, generando además una degradación del suelo (Pizarro-Tapia et. al, 2013). Por otro lado, son las condiciones de humedad del suelo y las intensidades de precipitaciones las que establecen los aumentos/disminuciones de las escorrentías sobre la cuenca, más allá de la cobertura vegetal que posea el territorio (Pizarro-Tapia et.al, 2006)

Según el estudio del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2) (2015) diversos impactos por la mega sequía se están experimentando en la Región del Maule: 1) en los recursos costeros, asociado a la disminución de los caudales, se produce una menor cantidad de nutrientes (nitrato y fosfato) dañando la productividad biológica en la zona costera; 2) incendios forestales, durante la mega sequía la región es más propensa a quemas que pueden dañar plantaciones forestales; 3) vulnerabilidad ante la sequía. En tal sentido, se determinó que la Región del Maule es la más vulnerable frente a cambios climáticos dado que posee características climáticas de tipo mediterráneo altamente expuesta, con un intenso cambio de suelo y alta proporción de agricultura familiar campesina (AFC) (Garreaud, 2015); y 4) 'sequía-código de aguas', esta región se ha visto impactada por innumerables decretos de escasez hídrica que comenzó a emplearse desde el año 2008 al año 2020.

En esta región, existen diversos estudios (Boisier et al., 2018; Garreaud et al, 2017; Gonzalez-Reyes, 2016; Quintana & Aceituno, 2012) que han evidenciado una baja de precipitaciones y otros, aluden más a una disminución, a una nueva distribución del nivel pluviométrico (Figueroa, 2014). Sin embargo, dado el nivel de la cuenca y su fuerte influencia en la comunidad agraria, resulta interesante comprender patrones del comportamiento fluviométrico, considerando que los ríos y canales son los afluentes importantes para el regadío y ecosistemas ligados a este ambiente.

De lo expuesto se desprende la importancia de analizar el comportamiento tanto pluviométrico como fluviométrico en cuanto a sus patrones y variaciones en la Cuenca del Maule que impactan o podrían impactar en la población y actividades económicas, las cuales se vinculan a la actividad agropecuaria- silvícola con una participación de 13,5% a nivel regional, por su parte el sector agrícola emplea en torno al 20% de la fuerza de trabajo (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, 2019).

El objetivo de este estudio es analizar la evolución y patrones espaciales recientes de las precipitaciones y volumen de caudal en los territorios de la Cuenca del Maule entre los años 2000-2019 esperando con esto aportar al conocimiento del comportamiento de las precipitaciones y caudal, en un territorio cuya actividad agrícola es primordial.

METODOLOGÍA Y MATERIALES

Materiales

Para la realización de este artículo se utilizaron los datos pluviométricos y fluviométricos a escala anual de la base de datos dispuesta por la Dirección General de Aguas (DGA) de manera abierta en su sitio web¹. Los datos fueron analizados en los programas gratuitos y libres Calc y R. Se procesaron utilizando el paquete FactoMineR de R mediante el procedimiento de clúster, la espacialización de ellos se realizó en QGis 3.12 e Inkscape (ambos gratuitos y libres). Dichos mapas están proyectados en datos geodésicos datum WGS 1984, proyección UTM Huso 18S.

Metodología

Las fases metodológicas de este estudio fueron seis, Figura 1. La primera correspondió a la elaboración de la base de datos para la pluviometría y fluviometría de la Cuenca del río Maule. En un segundo momento se completaron los datos faltantes (NA), que se presentaban en tal base. Posteriormente se lleva a cabo el clúster, permitiendo establecer los patrones de las variabilidades que persisten a nivel pluviométrico y fluviométrico al interior de la cuenca. Finalmente se realiza un análisis de los resultados mediante cartografías que permitieron visualizar espacialmente el comportamiento de las variables.

1 <https://dga.mop.gob.cl/servicioshidrometeorologicos/Paginas/default.aspx>, Consultada el 26 de noviembre del 2020.

Elaboración de base de datos pluviométricos para el periodo 2000-2019 y fluviométricos el periodo 2003-2019

Los datos pluviométricos fueron extraídos de la plataforma de la DGA ‘Estadísticas Estaciones DGA’ de las 40 estaciones distribuidas en la cuenca del Río Maule², solo 36 cuentan con datos relevantes para el periodo 2000-2019, excluyendo el año 2018, puesto que no cuentan con registros³. Por su parte, los datos correspondientes a caudal se encontraban disponibles en 53 estaciones, de ellas solo 38 presentan registros que se pueden analizar para el periodo 2003-2019. Estos datos recopilados poseen una resolución mensual, pero se agregaron a nivel anual. Cabe mencionar que las estaciones que presentaban una alta tasa de ausencia de datos no fueron consideradas, el criterio de selección de datos en este sentido se remitió a eliminar toda estación que no tuviese registros en más de 2 años, tanto para el caso de pluviometría como de fluvimetría. Las bases de datos tanto para caudales como precipitaciones se presentan en anexo.

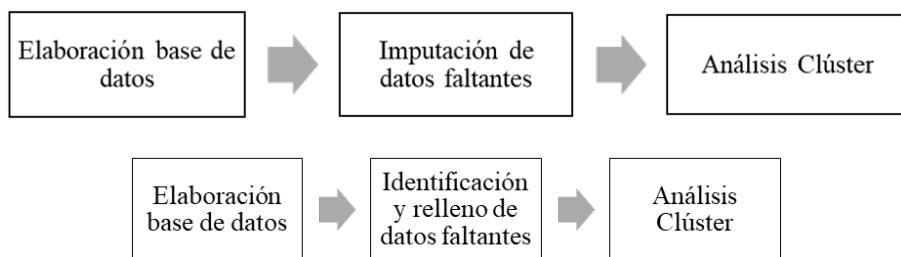


Figura 1. Fases metodológicas de estudio
Fuente: Elaboración propia

Las bases de datos de los parámetros pluviométricos y fluviométricos presentaban dos categorías: magnitudes brutas y medidas porcentuales, por lo que se elaboraron

2 <https://snia.mop.gob.cl/BNAConsultas/reportes>, consultada el 6 de abril del 2020.

3 Los datos pluviométricos del año 2018, no se encuentran proporcionados en la base de datos de la DGA e incluso, bajo solicitud de Sistema de Información y Atención Ciudadana (SIAC) del Ministerio de Obras Públicas, no fue entregada dicha información

un total de 4 bases. Las magnitudes brutas permitieron considerar patrones similares en relación a los valores que presentan en cada uno de los años. Los valores porcentuales, tienden a eliminar el efecto “cantidad o volumen” y les entrega mayor importancia a los años, puesto que se analizan porcentualmente respecto al periodo. Estos elementos son importantes cuando se lleva a cabo el proceso estadístico y además permiten explorar y focalizar el análisis de manera diferente.

Estimación de datos faltantes o perdidos (NA) de la base de datos

Se utilizó el paquete MissMDA en R, para generar los valores ausentes en las bases de datos empleadas. Como se indicó, en la base de datos se eliminaron estaciones que presentaban un alta volumen de datos faltantes. Sin embargo, en la nueva base presentaba un total de 8 valores faltantes en el caso de precipitaciones y 16 para los caudales, dando así un 1,2% y 2,4% respectivamente. Para subsanar tal problema y contar con datos continuos se empleó tal paquete en R, que incorpora la metodología propuesta por Josse y Husson (2016), basada en el método de componentes principales sobre datos incompletos. La estimación de datos considera tanto similitudes entre individuos como relaciones entre variables (por eso está construida a partir de un análisis de componentes principales) otorgándole una robustez estadística a tal proceso (Josse & Husson, 2016).

Análisis clúster de las variables

Para desarrollar la propuesta se realizó un análisis multivariado mediante clúster cuya finalidad es permitir el agrupamiento de individuos de una serie estadística en función de sus variables, buscando maximizar la variabilidad al interior de la clase (Fernández, 2011). Tal procedimiento ha sido utilizado para modelación de recursos hídricos y otros en diferentes trabajos (Poblete, Arevalo, Nicolis & Figueroa, 2020; Jiang, Cooley, & Wehner, 2020).

Para tal efecto, se procedió de la siguiente manera. A las bases brutas tanto de caudales como precipitaciones se les aplicó directamente un análisis clúster mediante el método de clasificación ascendente jerárquica, el cual permite construir un árbol jerarquizado para apreciar cómo se organizan los objetos o individuos en

función de sus distancias. En este sentido se utilizó la distancia euclidiana y el método ward para generar el agrupamiento lo cual entregaba un dendograma como resultado.

Una vez obtenido tal clúster jerárquico se procedió a establecer las clases, es decir cortar tal árbol. Para determinar estas clases, se procedió seleccionar una cantidad cuya pérdida de inercia entre una clase y otra no fuera significativa. Lo anterior posibilita una mayor discriminación inter clase e intra clase y por tanto agrupar de manera más correcta los diferentes individuos – en este caso las estaciones – y así entregar una mayor robustez estadística al proceso posibilitando explicar la mayor varianza del conjunto de datos según las posibilidades del proceso (Josse y Husson, 2016). En el caso particular de FactoMineR, este software entrega como resultado un gráfico que permite orientar al usuario el número de clases a establecer según tal pérdida de varianza explicada de pasar de una clase a otra.

Tal resultado es posible de expresar en un plano factorial gracias a las coordenadas de los individuados (estaciones) sobre este. En este caso, más que utilizar tal plano, se exporta la tabla resultante con el valor de clúster obtenido para cada estación meteorológica y se espacializa mediante QGIS, para posteriormente elaborar las cartografías en cuestión mediante Inkscape, ambos programas como se indicó de carácter libres y gratuitos.

Para el caso de las bases de datos expresadas en porcentaje, se realiza exactamente el mismo procedimiento, sin embargo, antes de la aplicación del clúster se procede a realizar el análisis multivariado de Análisis de Componentes Principales (ACP) tal como lo sugieren Josse & Husson (2016). Los autores indican que tal proceso mejora sustancialmente el particionamiento empleado, es decir, cuando el clúster se aplica sobre un ACP en el cual se guardaron las dimensiones o componentes que explican sobre el 95% de la varianza del conjunto de datos (Husson, Josse & Pages, 2010). En este caso una vez realizado el ACP para los caudales fue en la 11va dimensión o componente donde se explicaba el 97,1% del conjunto de datos y para las precipitaciones en la 14va con un 96,3%.

Área de estudio

La cuenca del Río Maule tiene una superficie de 20.300 km², presentando un clima asociado a un régimen típicamente mediterráneo, es decir, ostenta al menos dos meses consecutivos secos principalmente en temporada de verano. Nace en la Cordillera de los Andes en la Laguna del Maule y tiene como tributarios en su parte superior los ríos Puelche, Cipreses y el Melado, los principales afluentes están en el valle longitudinal que son el río Loncomilla por el sur y el río Claro que drena en el sector norte, para finalmente desembocar en el mar a la altura de Constitución, Figura 2.

Desde el punto de vista político-administrativo, la cuenca del Río Maule abarca prácticamente toda la superficie de la Región del mismo nombre así también una pequeña parte de la Región de Ñuble. A nivel provincial, contempla las provincias de Talca, Linares y Cauquenes.

La Región posee un alto porcentaje de población rural en torno al 26,8% según el Censo 2017, y cuyo sector productivo se compone de una parte importante con el silvoagropecuario (13,5%), la actividad agrícola emplea casi un 22,6% de la fuerza de trabajo, siendo uno de los principales motores productivos de la región (GORE, 2018).

Desde el punto de vista de uso de agua, la cuenca presenta un alto consumo del recurso hídrico destinado al riego, siendo la capital regional la principal demandante de este recurso. Según los datos de la DGA, al año 2019, se han otorgado un total de 2.080 derechos de agua, en la que Talca y Linares poseen 1.826 y 138 respectivamente; sin embargo, a nivel de consumo (acciones de agua) estas dos comunas tienen similitud de caudal con aproximadamente 31.000 acciones.

Además, si observamos el número de glaciares, según el inventario de glaciares entregado por el documento de la Biblioteca del Congreso Nacional (2016) en el marco de la tramitación de una ley para tal efecto, al menos 98 glaciares serían posibles de apreciar en el marco del río Maule.

La variación pluvial y la oscilación térmica en la cordillera de Los Andes implican dos tipos bioclimáticos en la cuenca del Maule. El primero corresponde al Mediterráneo pluviestacional-oceánico en los sectores costeros, Cordillera de la Costa, Valle

Central y pisos inferiores de la Cordillera de los Andes. El segundo referente a Mediterráneo pluviestacional-continental en las zonas andinas altas (Dirección General de Aguas, 2004: 12).

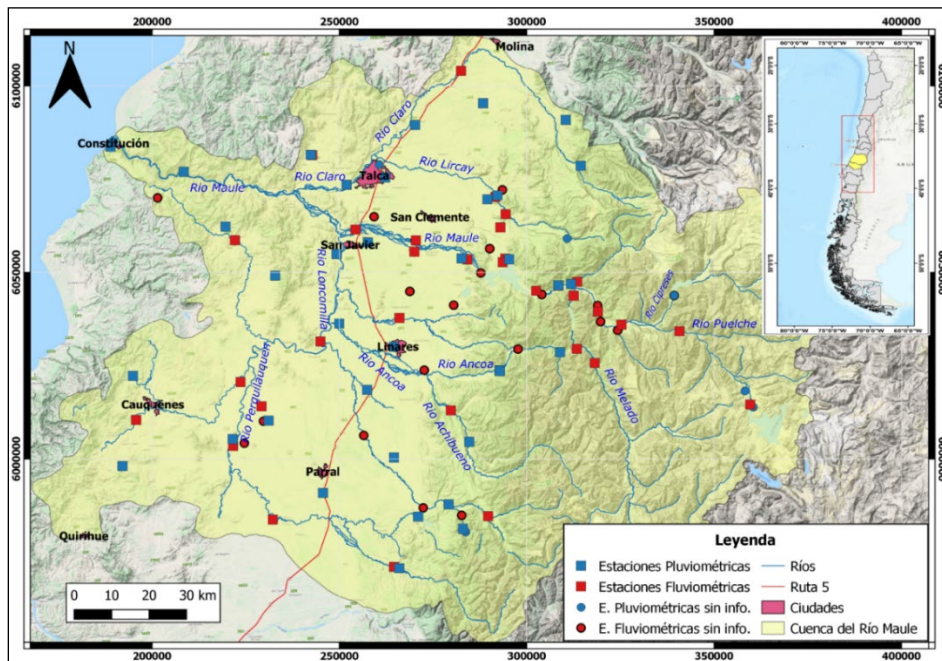


Figura 2. Área de Estudio
Fuente: Elaboración propia. Datos obtenidos de DGA.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento general en los últimos 20 años

Los resultados permitieron caracterizar de manera general tanto la evolución de las precipitaciones como caudales para el periodo analizado⁴. Con relación a las primeras, desde el año 2000 al 2019 expresan un mínimo de 5% y un máximo de

4 Cuando se habla de incrementos o disminuciones en este texto se debe contextualizar en el periodo analizado y no como tendencias absolutas que puedan estar ocurriendo en la cuenca.

11%, Figura 3. En términos generales las precipitaciones experimentaron una tendencia a la baja, de un 7% a un 4%. No obstante, se destaca un alza importante en el año 2002 llegando a 9%, lo anterior se debería según el Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología de la Universidad de Talca de a un superávit que tuvo la Región del Maule en los meses de mayo (94%) y agosto (151%) (Colville, 2002). Los años que le siguen en mayor índice es el 2005 y 2001 teniendo un promedio similar con 7,5% y 7,3% correspondientemente. Los años con menores índices de precipitaciones están dispuestos en los años 2007 y 2016, con 3,3% y 3,5% correspondientemente.

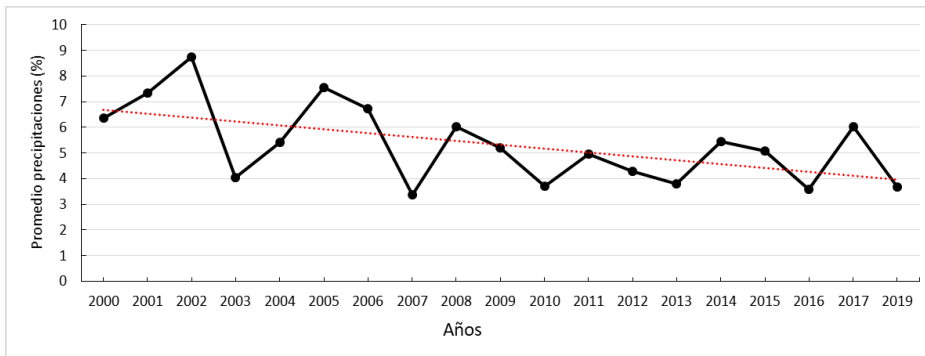


Figura 3. Promedio de precipitaciones (%) anuales en la Cuenca del Río Maule, periodo 2000-2019
Fuente: Elaboración propia. Datos obtenidos de DGA

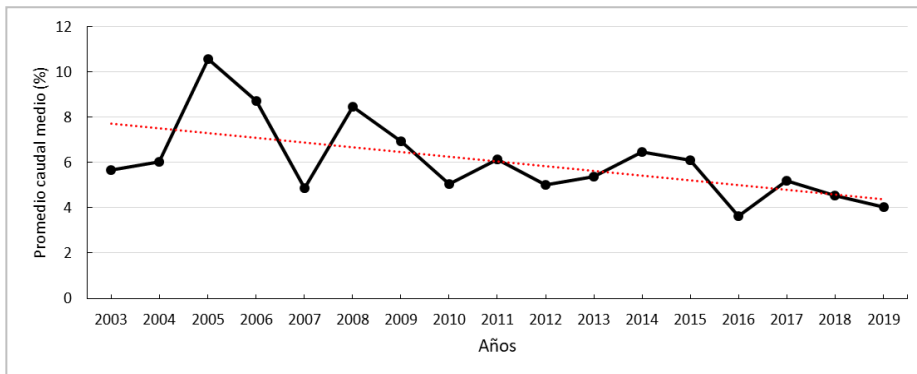


Figura 4. Promedio de caudal medio (%) anuales en la Cuenca del Río Maule, periodo 2003-2019
Fuente: Elaboración propia. Datos obtenidos de DGA

El caudal medio de la cuenca ha experimentado un comportamiento similar a las precipitaciones. El año 2016 presenta el índice más bajo con un 3%, asimismo se muestra una baja sostenida desde el año 2017 al 2019 de un 5% a un 4%, Figura 4. Por otro lado, el año más alto es el 2005 sobrepasando el 10%, seguidamente por el año 2006 y 2008 con 8,7% y 8,4% correspondientemente.

Análisis pluviométrico en magnitudes brutas y porcentuales

En términos de magnitudes brutas, se logró identificar cuatro clústeres a partir de las bases de datos elaboradas. Tales conglomerados se caracterizan por la estación más representativa, es decir la que se localiza más próxima al baricentro de la partición generada.

El Clúster 1 agrupa 14 estaciones pluviométricas, abarcando un rango de magnitud de precipitaciones de 30 a 100 (mm) aproximadamente, cuenta con la estación más representativa a “Huerta del Maule”, Figura 5, (Clúster 1), teniendo los años con mayor índice de milímetros caídos los años 2002 y 2005 con un 92,6 mm y 74,5 mm correspondientemente.

En este clúster, las distribuciones de las distintas estaciones se encuentran localizadas en el sector poniente, entre la Cordillera de la costa y la depresión intermedia, Figura 6. Por otro lado, la estación “Constitución” posee la particularidad de estar ubicada en la desembocadura del Río Maule, distanciándose del patrón de localización con respecto al resto de las estaciones.

El Clúster 2 está compuesto por 11 estaciones pluviométricas, que muestran un rango de precipitaciones que va desde 43 a 132 (mm) aproximadamente. La estación más representativa es “Colbun (Maule Sur)”, Figura 5, (Clúster 2), en ella se puede distinguir que el año 2002 y 2005 son las que presentaron mayor nivel de agua caída con 132 mm y 107 mm correspondientemente, mientras que el año 2007 es el más bajo con 50 mm.

Desde una perspectiva espacial, este clúster está localizado en la zona de la depresión intermedia hacia el sector oriente, sin embargo, las estaciones “El Álamo”, “Tutuyen Embalse” y “Río Maule en Forel” están ubicado en sector poniente, siendo esta última localizada cercano a la desembocadura del Río Maule, Figura 5.

El Clúster 3 contiene 8 estaciones, que muestran magnitudes de precipitaciones van desde 43 como la mínima (correspondiente a la estación “Río Longaví en la Quiriquina”, año 2007) y la máxima de 217(mm) como la máxima. La estación más representativa de este clúster es “Ancoa en Embalse”, Figura 5, (Clúster 3) al igual que en el clúster 1 y 2 los años con mayor precipitación son los años 2002 y 2005 con 217 mm y 174 mm correspondientemente, mientras que el 2013 es el año con menor índice de precipitación con 77 mm. Desde el punto de vista espacial este clúster se concentra en el sector precordillerano a lo largo de la Cordillera de los Andes, Figura 5.

Por último, el Clúster 4 presenta 4 estaciones, las que muestran mayores magnitudes de precipitaciones, los rangos varían desde 99 mm a 283 mm aproximadamente. La estación más representativa es “Río Maule en Armerrillo”, Figura 5, (Clúster 4), al igual que los clústeres anteriores los años con mayor índice de precipitaciones son los años 2002 y 2005 con 283 mm y 266 mm correspondientemente, mientras que el año con menor índice es 2016 con 99 mm de agua caída. Este clúster agrupa las estaciones localizadas hacia áreas de mayor elevación de la cuenca.

Respecto al análisis pluviométrico en magnitudes porcentuales, es decir, tomando protagonismo los datos anuales, se disponen 4 clúster, a continuación, se describen.

El Clúster 1 agrupa sólo una estación, la cual corresponde a “Río Maule en Forel”. Esta posee una particularidad con respecto a las demás, puesto que expresa un comportamiento inusual de índice, mostrando para el año 2001 un porcentaje de 12,55%, por otro lado, el 2003 es un año con menores valores llegando a solo un 1,83%, Figura 6, (Clúster 1). La variabilidad de esta estación es bastante alta comparada con las demás, no obstante, está expresando que a nivel de años en relación con las otras no presenta ninguna similitud, es decir, se excluye totalmente del patrón entre e intra grupos. Asimismo, desde un análisis espacial, tal como muestra la Figura 6, la estación está localizada en la Cordillera de la Costa, a unos kilómetros de la desembocadura del Río Maule.

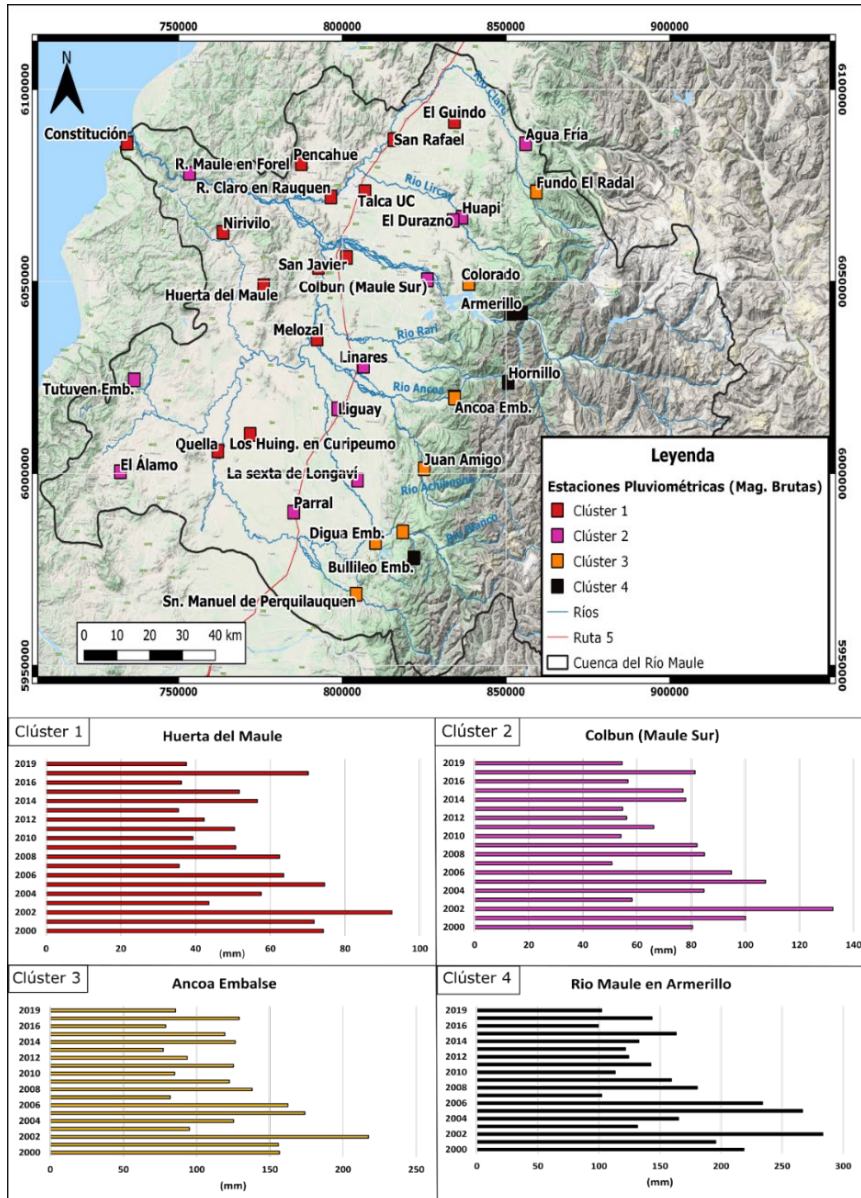


Figura 5. Mapa Clúster de estaciones pluviométricas en magnitudes brutas.

Fuente: Elaboración propia. Base de datos DGA procesados en R. Qgis 3.12

El Clúster 2 es el más grande agrupando 15 estaciones, de ellas la más representativa es “Bullileo Embalse”. Para el año 2002 tiene un alto índice con un 7,79%, mientras que en el 2016 tiende a la baja con un 3,12%, Figura 6, (Clúster 2). Las estaciones que componen este clúster no presentan una alta variabilidad, la cual se desarrolla en torno a 4,67%. Desde una perspectiva del territorio, en la Figura 6 se aprecia una disposición en el sector sur de la cuenca, ubicándose predominantemente en el sector de la Depresión intermedia y precordillerano, sin embargo, hay una estación que se distancia la cual es la estación “Constitución”, localizada en la ciudad del mismo nombre en la desembocadura del Río Maule.

El Clúster 3 posee 12 estaciones, de ellas la más representativa es “Talca U.C”. El año con menor índice corresponde al 2019 con tan solo 3,35%, mientras que el mayor porcentaje ocurre durante el 2002 con un 8,63%, Figura 6, (Clúster 3). No obstante, a partir de la carta de la Figura 6 se evidencia una disposición un tanto homogénea, el grupo de estaciones están ubicadas hacia el sector Norte de la Cuenca desde una transversal de la C. de la Costa, hacia la C. de los Andes.

El Clúster 4 contiene 8 estaciones, de ellas la más representativa es la estación “Ancoa Embalse”. El año con mayor índice es el 2002 con un 9,95% disminuyendo tangencialmente en el año 2013 con un 3,53%, Figura 6, (Clúster 4). Desde un ámbito espacial, en la carta de la Figura 6 se logra apreciar una disposición un tanto más aleatorio que el caso anterior, sin embargo 5 estaciones están ubicadas en el sector cordillerano, mientras que la estación “Río Loncomilla en las Brisas” y “Quella” están dispuestas en el sector de la Depresión Intermedia.

Análisis fluviométrico en magnitudes brutas y porcentuales

El Clúster 1 agrupa 32 estaciones, de ellas la más representativa corresponde a “Río Claro en San Carlos”. Los años con mayor caudal medio son el 2005 y 2008 con 27,38m³/s y 25,47m³/s correspondientemente; mientras que el menor caudal fue el 2016 con 12,51 m³/s, Figura 8, (Clúster 1). Desde el ámbito espacial, en la Figura 7 se aprecia que este clúster no sigue un patrón geográfico, ya que está localizado tanto en la depresión intermedia como en los sectores cordilleranos (de la Costa y de los Andes).

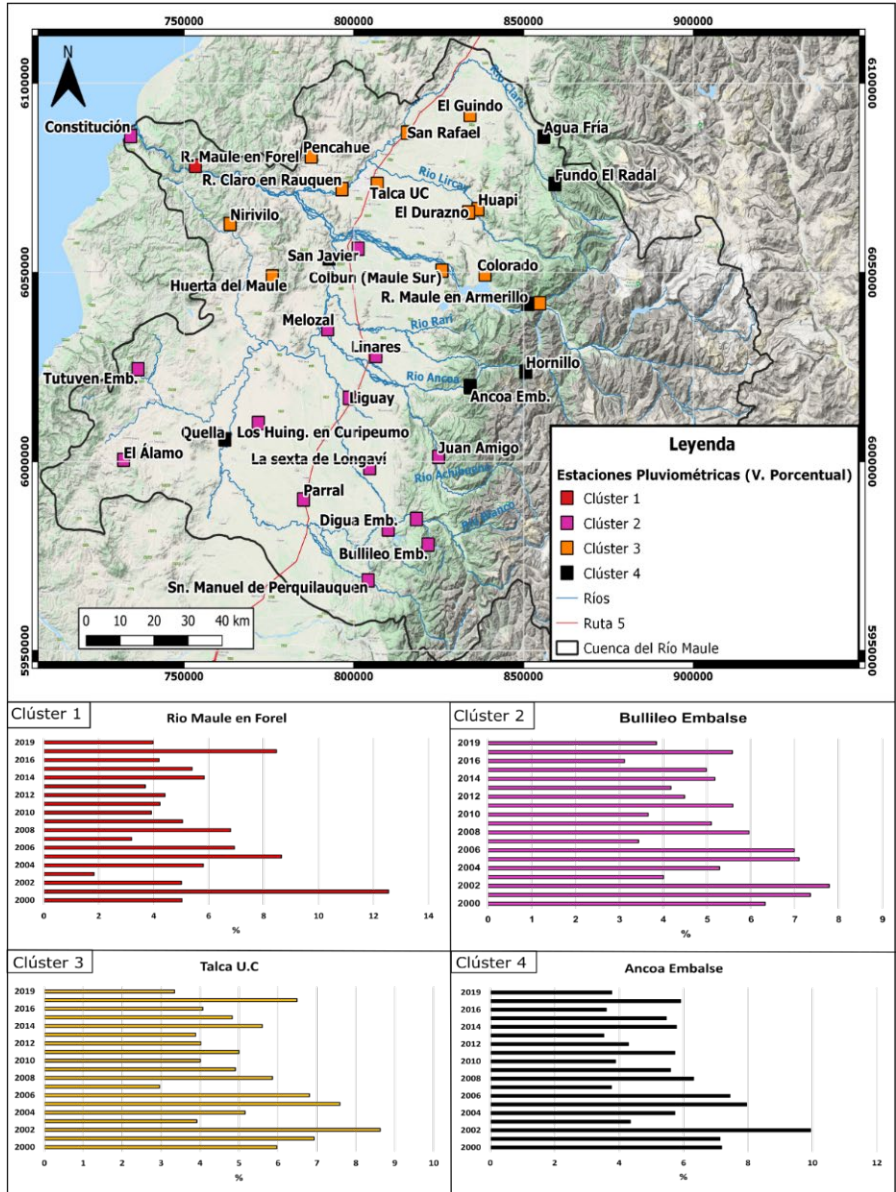


Figura 6. Mapa Clúster de estaciones pluviométricas en magnitudes porcentuales.

Fuente: Elaboración propia. Base de datos DGA procesados en R. Qgis 3.12

El Clúster 2 contiene 5 estaciones, de ellas la más representativa es “Río Loncomilla en Bodega”. Su mayor caudal medio anual fue el 2005, casi duplicando la media de los otros años, así llega a tener 221,3 m³/s para tal momento. De manera contraria, para el año 2016 presenta una importante baja alcanzando los 34,52 m³/s, Figura 7, (Clúster 2). En ámbito territorial, como muestra la Figura 8, este clúster está localizado en el sector poniente de Talca y San Javier (hacia la cordillera de la Costa), donde también existe una estación que se escapa de tale patrón correspondiente a “Río Melado en el Salto” localizada en altas latitudes de la Cordillera de los Andes.

El Clúster 3 posee una sola estación la cual es “Río Maule en Forel”. Esta se caracteriza por ser la única con altos índices de caudal. Para el año 2019 de 233,48 m³/s y para el 2006 de 767,9 m³/s, Figura 7, (Clúster 3). Estos elevados números se pueden explicar dada la ubicación de tal estación en la desembocadura del Río Maule, donde también se unen dos afluentes (Río Claro y Río Loncomilla), lo que involucra mayor caudal medio a diferencias de las otras estaciones, Figura 7.

Desde la perspectiva del análisis fluviométrico en magnitudes porcentuales, existen estaciones que poseen mayor similitud entre sí respecto a los años. Es posible agrupar en 4 clúster clúster que se desarrollaran a continuación.

El Clúster 1 posee solo 3 estaciones, de ellas la más representativa es la “Río Maule en Armerillo”, posee un volumen de caudal medio, en promedio bajo el 5%. Sin embargo, en el año 2005 muestra un pico de volumen de caudal de 23,41% para posteriormente presentar una importante baja al 2019 de 0,67%, Figura 8, (Clúster 1). Desde una perspectiva espacial y como muestra la Figura 8, las estaciones de este clúster están localizadas en el sector precordillerano.

El Clúster 2 agrupa 4 estaciones. Su representativa es “Río Cauquenes en el Arrayan”. Esta para el año 2005 muestra un aumento importante de volumen de caudal de 15,55%, mientras que tiene una baja pronunciada en el año 2016 con un 1,37%, Figura 8, (Clúster 2). Por otro lado, como muestra la Figura 8 la disposición de las estaciones es en el sector SW de la cuenca, emplazados en la depresión intermedia en el sector de Cauquenes.

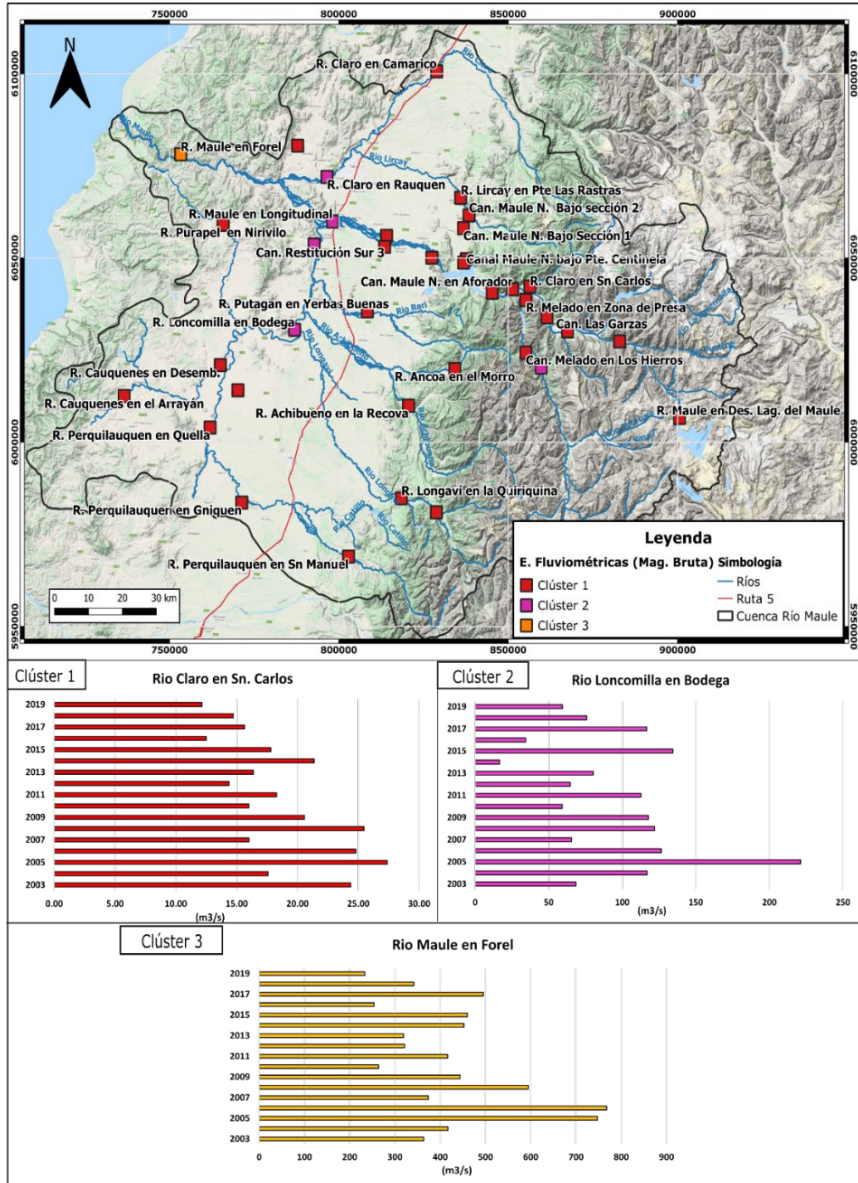


Figura 7. Mapa Clúster de estaciones fluviométricas en magnitudes brutas
Fuente: Elaboración Propia. Base de datos DGA procesados en R. Qgis 3.12

El Clúster 3 posee 18 estaciones, de ellas la más próxima al baricentro de la clase es “Río Perquillauquen en San Manuel” su pico es en el año 2006 con un 10,56% de volumen de caudal, mientras que para el año 2016 sufre una baja destacable llegando a un 2,72%, Figura 8, (Clúster 3). Como muestra la Figura 8, este clúster está dispuesto en toda la cuenca de forma heterogénea, es decir no sigue un patrón geográfico como las demás descritas.

Por último, el Clúster 4 está compuesto por 13 estaciones, de ellas la más representativa es “Canal San Clemente”, la cual posee un comportamiento bastante estable, Figura 8, (Clúster 4), es decir, tiene poca variabilidad, no obstante, para el año 2013 se ve un aumento sustantivo de 8,48% de caudal medio, mientras que el 2019 muestra una baja de la mitad con un 4,68%. Desde una perspectiva espacial, la carta de la Figura 8 muestra que la ubicación de este clúster está dispuesta en el cauce del Río Maule desde su nacimiento hasta el sector de San Clemente, más allá de la estación “Río Putagan en Yervas Buenas”, la cual está localizada en otro río en las cercanías de Linares, teniendo el mismo comportamiento de caudal, que el resto de las estaciones pertenecientes a este clúster.

Así, la disposición aleatoria de los diferentes clústeres a lo largo y ancho de la cuenca demuestra que el volumen de caudal medio – en medida porcentual – a través de los años no existe una relación estrecha con las características geográficas. En el caso del Clúster 4 las estaciones pertenecientes a este grupo están situadas en su mayoría en el Río Maule, es decir, existe una similitud en el comportamiento del volumen de caudal en los años establecidos; a diferencia del Clúster 3 y 2 que poseen una heterogeneidad en la disposición de los clústeres.

Tras observar los resultados de las 4 bases trabajadas, emergen algunos elementos relevantes a discutir y soslayar. El primero corresponde a lo relevante de poder contar con un método que permita completar datos faltantes, entregando así la posibilidad de generar análisis con mayores series de tiempos, lo cual pese a los resguardos que se deben considerar en la materia, entregan la posibilidad de mayor amplitud al análisis efectuado.

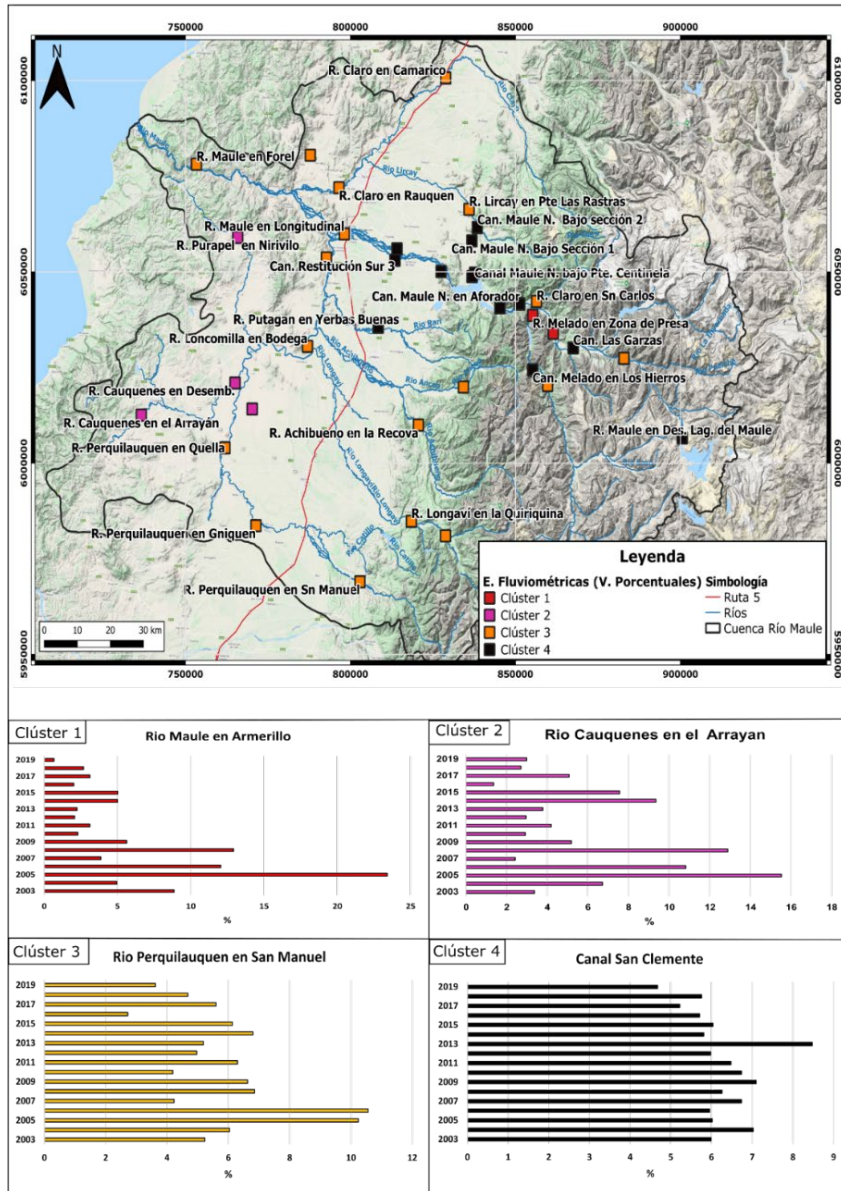


Figura 8. Mapa Clúster de estaciones fluviométricas en magnitudes porcentuales

Fuente: Elaboración propia. Base de datos DGA procesados en R. Qgis 3.12

Otro elemento importante, corresponde a los patrones de los espaciales de los clústeres generados, los cuales van en relación con las componentes físicas y comportamiento climáticos (sombra orográfica, gradiente de precipitaciones). Elemento importante, considerando que en este trabajo la aproximación del proceso estadístico no involucra una variable como tal, como podría ser -por ejemplo- la aplicación del índice de auto correlación espacial Moran, lo cual entrega un punto de discusión relevante respecto a las posibilidades de emplear métodos estadísticos en cuya formulación matemática no incluya necesariamente el componente espacial.

Además, restan espacios abiertos respecto a las causas de las variabilidades hídricas que podrían ser imputables tanto a problemas de gestión y manejo de agua como a efectos del Cambio Climático, donde otros estudios podrían profundizar en la materia.

Sumado a lo anterior, las debilidades de este trabajo están enmarcadas en haber contado con series de datos de tiempo acotadas (20 años), pero que sin dudas futuros trabajos podrían ampliar. Además, el ingreso de otras variables climáticas que entran en juego en la heterogeneidad de los datos analizados podría también ser abordadas en futuros textos para así robustecer los resultados.

Finalmente, otro complemento al trabajo sería efectuar visitas a terreno y realizar entrevistas con la comunidad de la región, para poder tener una percepción de las comunidades que se ven afectadas por el déficit hídrico o mal uso de las aguas, fenómeno que se presenta a lo largo del país.

CONCLUSIONES

Tras los análisis planteados se logran cumplir los objetivos en cuanto a describir y a comprender para el periodo 2000 al 2019 los patrones y comportamiento de las precipitaciones y caudales en la cuenca del Maule. En tal sentido, los parámetros pluviométricos y fluviométricos de la cuenca del Maule muestran una disminución entre los años 2009 y 2019 de manera constante, sin embargo, a la luz de los clústeres y distribución de las estaciones que los contienen se observan diferenciaciones que podrían estar expresadas por las características topográficas, el efecto orográfico de la cordillera y el gradiente de precipitaciones este – oeste o

posiblemente la gestión del recurso hídrico en sí. Elementos que deberían ser profundizados en futuros estudios.

En lo que refiere a los clústeres que emergen de los caudales, su comportamiento resulta aleatorio. Lo que puede vincularse a parámetros morfométricos de la cuenca, pendiente, litología, estructura geológica, tipos de suelos, entre otras variables. En general los índices son mayores aguas arriba de la cuenca, presumiblemente por la presencia de los afluentes que aportan aguas al río principal.

Se recomienda adquirir mayor número de estaciones – en buenas condiciones – de pluviometría y fluviometría, que estén dispuestas a lo largo y ancho de la cuenca y ampliar la escala temporal del análisis, los cuales podrían contribuir a robustecer el análisis de la distribución espacial.

Además, este trabajo se debe comprender en los alcances y márgenes presentados y por lo tanto las dinámicas climáticas en las cuales, por ejemplo, años Niña o Niño, no han sido incorporadas, así como otros fenómenos que podrían entregar una mayor profundidad al análisis pero que a su vez implican un mayor desarrollo no efectuado en este texto.

Finalmente, sería necesario que en trabajos futuros se puedan ahondar en las consecuencias de la variabilidad y déficit de precipitaciones y caudales en las actividades económicas de la zona y destacar la importancia de planes de mitigación y adaptación frente al Cambio Climático con una perspectiva del uso sustentable del recurso agua que deban ser elaborados en tal dirección. En tal sentido, la puesta en marcha de los Planes Regionales de Ordenamiento Territorial PROT a escala regional y donde una de sus componentes de análisis es la cuenca, es una oportunidad para avanzar en la gestión del recurso hídrico.


BIBLIOGRAFÍA

Barros, V. (2005). El Cambio Climático Global. 2da Ed. Buenos Aires: Libros del Zorzal.

Biblioteca del Congreso Nacional BCN (2016). Glaciares de Chile. Recuperado de: <https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmTIPO=DOCUMENTOCOMUNICACIONCUENTA&prmID=14323>

Biblioteca del Congreso Nacional BCN. (s.f.). Clima y vegetación Región del Maule Chile. Nuestro País. Recuperado de <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region7/clima.htm>

Becerra, Mance, et al. (2009). Cambio climático: lo que está en juego. Bogotá, Colombia: Foro Nacional Ambiental.

Boisier, J. P., Alvarez-Garreton, C., Cordero, R. R., Damiani, A., Gallardo, L., Garreaud, R. D., Lambert, F., Ramallo, C., Rojas, M., & Rondanelli, R. (2018). Anthropogenic drying in central-southern Chile evidenced by long-term observations and climate model simulations. *Elementa: Science of the Anthropocene*, (6).  <https://doi.org/10.1525/elementa.328>

CentroUC. (2017). *Centro UC Cambio Global*. Recuperado de <https://cambioglobal.uc.cl/comunicacion-y-recursos/recursos/glosario/sequia>

Cordero, G. D. (2012). El Cambio Climático. *Revista Ciencia y Sociedad* Vol. XXXVII, (2), 227-240.

Colville, P. G. (2002). Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología. Universidad de Talca. Recuperado de http://met.dgf.uchile.cl/clima/HTML/BOL_ANT/AGOSTO02/agosto02.htm


CR2. (s.f.). *La megasequía 2010-2019: Una lección para el futuro*. Recuperado de <http://www.cr2.cl/megasequia/>

Dirección General de Agua DGA (2004). *Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca del río Maule*. Gobierno de Chile, Ministerio de Obras públicas. Recuperado de: <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/Maule.pdf>


Fernández, S. d. (2011). *Análisis Conglomerados*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.

Figuroa, P. (2014). Variabilidad de las precipitaciones (1965-2012) en Chile centro-sur (33,9°S – 41,6°S) mediante índices estadísticos y temporales de la irregularidad. Santiago, Chile: Tesis Universidad de Chile.

Font, E. V. (2019). *Institucionalidad del cambio climático en Chile*. Biblioteca del Congreso Nacional (BCN).

Garreaud, R. D., Alvarez-Garreton, C., Barichivich, J., Boisier, J. P., Christie, D., Galleguillos, M., LeQuesne, C., McPhee, J., & Zambrano-Bigiarini, M. (2017). The 2010--2015 megadrought in central Chile: impacts on regional hydroclimate and vegetation. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(12), 6307–6327.  <https://doi.org/10.5194/hess-21-6307-2017>.


Garreaud, R. (2015). *La megasequía 2010-2015: Una lección para el futuro*. Centro de Investigación del Clima y la Resiliencia (CR2).

González-Reyes, Álvaro. (2016). Ocurrencia de eventos de sequías en la ciudad de Santiago de Chile desde mediados del siglo XIX. *Norte Grande*, (64), 21-32.  <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022016000200003>

GORE. (2018). *Plan Regional de Gobierno 2018-2022 Región del Maule*, SUBDERE.

Hernández, J. I. (2017). *Impacto económico y social del cambio climático en Chile*. IPSUSS. Recuperado de <http://www.ipsuss.cl/ipsuss/columnas-de-opinion/jose-ignacio-hernandez/impacto-economico-y-social-del-cambio-climatico-en-chile/2017-12-01/133721.html>

- Husson, F., Josse J. & Pages, J. (2010). *Principal component methods-hierarchical clustering-partitional clustering: why would we need to choose for visualizing data*. Applied Mathematics Department, 1-17.
- IPCC. (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis*. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra.
- Josse, J., & Husson, F. (2016). MissMDA: A Package for Handling Missing Values in Multivariate Data Analysis, *Journal of Statistical Software*, 70(1), 1-31.
- Llorente, A. (2020). Megasequía en Chile: las imágenes satelitales que muestran las consecuencias de la escasez de lluvia en el país, la peor desde 1915. *BBC News Mundo*. Recuperado de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-52288489>
- Moreda, B. G., Madruga, R. P., & Espino, Z. G. El Cambio Climático, sus consecuencias e impactos principales. UNESCO. Recuperado de <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Havana/pdf/cap1.pdf> , consultado el 20 de agosto de 2020.
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias ODEPA (2019). *Panorama de la agricultura chilena*. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) del Ministerio de Agricultura del Gobierno de Chile. Recuperado de: <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2019/09/panorama2019Final.pdf>
- Pizarro-Tapia, R., Cornejo, M. T., & Arellano, L. R. (2006). Coeficientes de escorrentía instantáneos para la cuenca del río Tutuvén, VII Región del Maule, Chile. *Bosque (Valdivia)*, 27 (2), 83-91.
- Pizarro-Tapia, R., Balocchi-Contreras, F., & Andrade-Vilaró, F. (2013). Análisis comparativo de tres hidrogramas unitarios sintéticos en dos cuencas mediterráneas de Chile, Región del Maule, Chapingo, *Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 5-18.
- Poblete, D., Arevalo, J., Nicolis, O., & Figueroa, F. (2020). Optimization of Hydrologic Response Units (HRUs) Using Gridded Meteorological Data and Spatially Varying Parameters. *Water*, 12(12).  <https://doi.org/10.3390/w12123558>
- Quintana, J. M. & Aceituno, P. (2012). Changes in the rainfall regime along the extratropical west coast of South America (Chile): 30-43° S. *Atmósfera*, 25(1), 1-22.
- Rojas, M., & Gallardo, L. (2018). *Proyecto Simulaciones climáticas regionales y marco de evaluación de la vulnerabilidad*. Santiago, Chile: Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2.
- Santibáñez, F. (2016). *El cambio climático y los recursos hídricos de Chile*; La transición hacia la gestión del agua en los nuevos escenarios climáticos de Chile. Santiago: Ministerio de Agricultura - Oficina de Estudios y Políticas Agrarias.
- TERRAM. (2019). *Cartilla Ciudadana de Cambio Climático; lo que debemos saber*. Santiago de Chile: TERRAM - Fundación Heinrich Böll.

Jiang, Y., Cooley, D., & Wehner, M. F. (2020). Principal Component Analysis for Extremes and Application to U.S. Precipitation. *Journal of Climate*, 33(15), 6441–6451.  <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0413.1>.

Wilhite, D., & Glantz, M. (1985). Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions, *Water International*, (10), 111-120.

LOS AUTORES

Francisco Maturana. Es Geógrafo de la Pontificia Universidad Católica de Chile, Máster en ciudades de la Universidad de Toulouse 2 y Doctor en Planificación Territorial, Urbanismo y Dinámicas del Espacio, de la Universidad de Paris-Sorbonne. Área de investigación: planificación territorial y métodos cuantitativos aplicados en Geografía, particularmente en el sur de Chile. Sus proyectos de investigación son Fondecyt Iniciación N° 11150087 como investigador responsable; Co-investigador Fondecyt Regular N° 1190874 y N° 1161280 y director alterno e investigador FONDEF IDeA I+D ID1810284.

 francisco.maturana@uach.cl

José Araos E. Es Geógrafo y Doctor en Geología de la Universidad de Chile. Actualmente es Académico del Departamento de Geografía de la Universidad Alberto Hurtado (UAH) en Santiago, Chile. Sus intereses de investigación se concentran en la Geología y Geomorfología glacial, geocronológicas cuaternarias, riesgos naturales, cambios climáticos pasados y efectos del actual cambio climático sobre glaciares de la región sur y austral de los Andes. Su publicación más reciente en relación a estas temáticas corresponde al capítulo “Nuevas regiones climáticas. El espacio bajo escenarios de cambio climático” del libro *Praxis de la geografía contemporánea: apuntes para el siglo XXI*. Actualmente es miembro de la Asociación de Jóvenes Investigadores Polares (APECS- CHILE) y de la Asociación Chilena de Geomorfología, además es director del Diplomado en Cambio Climático que ofrece la UAH.

 jaraos@uahurtado.cl

Macarena Fernández Carvajal es Geógrafa de la Universidad Alberto Hurtado. Ha desarrollado sus estudios de pregrado en temáticas sobre el cambio climático, específicamente en las implicancias de crisis hídrica en la Cuenca del río Maule. Cuenta con experiencia ligada al área académica, principalmente en la docencia (ayudantía) en ramas de la geografía física tales como: Climatología y Geomorfología Estructural. Actualmente se desempeña como profesional en CSW Consultores Ambientales contribuyendo a la generación de proyectos que son ingresados al Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) de Chile.

 macarena.fer23@gmail.com

Anexo:
Caudales brutos para las estaciones trabajadas según DGA

ESTACION	CANAL DE RESTITUCION SUR 3																
	y2003	y2004	y2005	y2006	y2007	y008	y2009	y2010	y2011	y2012	y2013	y2014	y2015	y2016	y2017	y2018	y2019
CANAL SAN CLEMENTE	NA	11.15	9.55	9.45	10.68	9.92	11.25	10.69	10.28	9.48	13.45	9.21	9.57	9.05	8.28	9.14	7.42
CANAL MELADO EN LOS HIERROS	10.52	6.57	8.24	7.20	9.07	9.12	7.21	7.24	NA	5.49	11.99	6.74	6.91	8.93	6.29	7.97	8.27
CANAL MAULE SUR EN AFORADOR	14.22	11.67	11.76	12.79	12.27	10.83	9.56	9.08	8.26	7.59	11.53	7.73	5.41	7.04	6.72	6.69	7.74
CANAL MAULE NORTE EN AFORADOR	13.27	11.48	11.14	14.86	15.71	11.67	15.72	13.17	NA	15.53	15.79	12.18	14.15	12.99	15.67	15.62	14.29
CANAL MAULE NORTE BAJO SECCION 2	11.63	10.70	9.97	10.14	9.59	9.53	10.44	9.30	NA	7.22	18.66	14.17	18.11	NA	17.86	18.12	16.40
CANAL MAULE NORTE BAJO SECCION 1	11.75	11.55	11.43	12.91	12.99	8.86	13.94	14.41	18.37	18.30	17.59	17.88	13.89	NA	15.88	17.08	15.18
CANAL MAULE NORTE BAJO EN PUENTE CENTINELA	14.65	14.37	12.73	13.95	12.64	12.20	18.43	15.92	NA	11.49	11.26	13.11	11.84	NA	9.46	10.96	11.31
CANAL MAULE NORTE ALTO EN PASO NEIVADO	NA	NA	10.02	13.30	12.79	8.36	8.26	7.22	19.29	14.33	15.13	11.75	13.69	11.26	13.65	13.88	12.77
CANAL LAS GARZAS	0.56	0.48	0.64	0.85	0.57	0.56	0.63	0.79	0.52	0.39	0.48	0.25	0.43	0.63	0.70	0.29	NA
CANAL DE RESTITUCION SUR 3	NA	3.17	2.44	2.65	3.12	3.12	2.94	3.09	NA	2.51	3.85	2.74	2.76	3.13	2.57	4.29	5.33

RÍO LONCOMILLA EN BODEGA	RÍO LIRCAY EN PUENTE LAS RASTRAS	RÍO CLARO EN SAN CARLOS	RÍO CLARO EN RAUQUEN	RÍO CLARO EN CAMARICO	RÍO CAUQUENES EN EL ARRAYAN	RÍO CAUQUENES EN DESEMBOCADURA	RÍO ANCOA EN EL MORRO	RÍO ACHIBUENO EN LA RECOVA	QUEBRADA COLORADO EN DESAGÜE LAGUNA LOS TEMOS	ESTEROS LOS PUERCOS EN PUENTE LOS PUERCOS
66.68	9.73	24.38	57.41	11.30	3.57	4.64	18.72	34.81	NA	4.07
117.01	13.77	17.59	69.26	13.00	7.10	10.17	21.38	37.75	9.29	4.73
221.30	25.76	27.38	123.81	31.72	16.42	13.90	33.23	75.76	10.49	8.02
126.63	23.15	24.81	99.24	25.48	11.43	6.57	30.82	70.26	8.62	5.62
65.57	7.86	16.02	50.08	9.73	2.57	4.10	17.17	28.53	8.29	3.35
122.16	15.57	25.47	88.06	21.43	13.62	25.06	25.94	54.53	9.74	5.62
117.89	17.78	20.58	82.92	17.16	5.49	13.33	19.60	39.30	7.16	5.06
59.34	15.87	16.01	83.11	20.41	3.09	4.34	15.31	29.16	7.43	3.83
112.73	26.21	18.29	83.53	10.50	4.44	7.92	21.39	40.61	7.10	3.32
64.78	33.58	14.38	65.75	10.73	3.14	5.99	18.82	23.83	4.78	2.84
80.28	6.31	16.40	62.04	10.89	4.00	5.83	16.60	29.94	7.14	3.15
16.73	20.48	21.38	80.96	16.43	9.88	11.13	18.00	37.62	7.43	3.98
134.48	10.50	17.82	77.87	17.09	8.00	5.51	19.07	36.22	7.27	2.68
34.52	4.83	12.51	57.78	9.73	1.44	1.53	15.46	15.41	7.44	2.27
116.67	3.87	15.65	80.12	15.11	5.36	9.25	15.58	29.79	5.89	3.19
76.03	5.39	14.74	66.47	5.93	2.86	NA	16.41	26.72	7.67	2.47
59.37	2.10	12.16	41.15	7.22	3.17	4.85	13.77	17.77	7.10	2.58

RÍO PERQUILAUQUE EN ZONA DE PRESA EN ENIGNIQUEN	RÍO MELADO EN EL SALTO	RÍO MAULE EN LOS BAÑOS	RÍO MAULEEN LONGITUDINAL	RÍO MAULEEN FOREL	RÍO MAULEEN DESAGUE LAGUNA DEL MAULE	RÍO MAULE EN ARMERILLO	RÍO MAULE BAJO BOCA TONA MAULE CENTRAL PEHUENCHE	RÍO LONGAVI EN LA QUIRIQUINA	RÍO LONGAVI EN EL CASTILLO	RÍO LONCOMILLA EN LAS BRISAS
15.24	6.65	78.61	194.84	363.79	NA	37.07	20.68	37.05	26.89	147.30
36.43	2.90	69.74	143.61	417.33	28.20	20.77	5.47	40.08	24.03	197.07
53.28	27.47	129.60	276.19	747.72	20.40	98.01	38.19	68.20	48.68	365.68
63.22	19.85	133.28	284.04	767.90	6.12	50.46	12.17	69.07	51.85	352.21
12.63	0.47	64.96	144.85	373.81	19.86	16.25	3.70	25.19	20.32	136.38
60.70	14.02	93.47	174.59	595.28	18.56	54.14	14.38	58.15	41.45	369.66
39.90	3.79	81.13	133.70	444.02	23.34	23.56	26.44	40.26	32.58	237.57
19.97	0.31	51.63	79.73	263.82	14.24	9.64	14.30	24.30	20.51	113.69
47.36	2.77	68.60	101.78	416.75	37.61	13.07	4.45	39.87	28.19	227.43
39.06	2.27	62.10	87.03	321.37	14.99	8.65	4.74	31.95	31.05	151.93
41.75	1.24	65.44	73.70	319.25	13.25	9.44	8.48	34.81	23.34	160.92
41.19	4.33	144.45	124.75	452.80	10.09	20.92	8.74	40.42	30.60	236.00
37.48	2.59	62.70	133.19	460.35	6.69	21.03	3.36	40.77	33.55	216.20
10.29	0.43	21.68	72.52	254.24	7.26	8.47	3.15	19.53	15.77	82.47
32.58	1.98	44.64	91.90	495.56	11.91	13.06	4.54	33.74	22.26	166.98
25.56	1.15	53.61	NA	342.18	6.24	11.26	5.13	30.82	26.12	130.73
18.41	0.44	30.26	79.00	233.48	16.72	2.82	0.69	21.80	17.24	98.83

RÍO PUTAGAN EN YERBAS BUENAS	RÍO PURAPEL EN SAUZAL	RÍO PURAPEL EN MIRVELO	RÍO PERQUILAUQUEN EN SAN MANUEL	RÍO PERQUILAUQUEN EN QUELLA
16.19	1.43	1.20	22.72	33.38
18.76	2.75	1.77	26.21	50.68
29.27	8.11	5.64	44.45	52.78
19.75	6.55	0.27	45.86	78.08
27.01	0.97	1.24	18.36	28.01
23.31	7.60	4.23	29.79	72.98
22.52	3.58	3.96	28.77	52.27
33.64	1.20	2.11	18.19	24.51
31.66	2.77	0.31	27.37	46.24
19.13	1.55	2.00	21.59	42.22
18.21	1.54	2.54	22.51	41.23
19.57	6.11	NA	29.50	55.94
19.87	3.15	8.12	26.62	54.12
15.32	0.53	0.82	11.82	20.46
8.10	3.73	2.46	24.33	17.19
18.38	0.97	NA	20.31	26.46
18.92	0.52	1.09	15.73	20.53

Precipitaciones brutas para las estaciones trabajadas según DGA

CONSTITUCION	COLORADO	COLBUN (MAULE SUR)	BULLILEO EMBALSE	ARMERILLO	ANCOA EMBALSE	AGUA FRIA	ESTACION
74.29	121.91	80.57	202.75	210.66	156.82	159.60	y2000
91.79	139.88	100.13	235.77	209.29	155.88	126.74	y2001
89.80	173.03	132.38	249.62	289.16	217.55	177.40	y2002
42.09	78.63	58.21	128.45	128.58	95.16	77.52	y2003
69.53	118.08	84.71	169.55	148.33	125.22	102.66	y2004
80.35	157.53	107.50	227.53	262.79	174.00	131.80	y2005
79.93	139.63	94.96	224.03	216.27	162.52	148.54	y2006
42.34	73.22	50.75	110.24	104.96	82.09	54.83	y2007
66.52	120.48	84.92	190.88	195.24	137.82	103.59	y2008
56.60	106.72	82.21	163.39	172.67	122.44	85.14	y2009
48.76	77.48	54.07	117.25	111.04	85.08	64.69	y2010
67.08	97.38	66.19	179.04	154.24	125.17	77.60	y2011
67.40	83.10	56.20	143.82	152.21	93.66	69.48	y2012
57.46	75.83	54.69	134.04	120.46	77.24	59.32	y2013
70.56	109.43	78.03	166.08	158.34	126.42	106.49	y2014
68.28	116.90	76.97	159.79	165.88	119.30	93.59	y2015
41.71	84.93	56.71	100.00	116.25	NA	76.83	y2016
62.35	123.07	81.45	178.94	165.83	129.07	76.99	y2017
24.24	73.41	54.53	123.53	92.71	NA	59.09	y2019

PARRAL	NIRVILO	MELOZAL	LOS HUNGARES EN CURIPUEMO	LINARES	LIGUAY	LA SEXTA DE LONGAVI	LA ESTRELLA	JUAN AMIGO	HUERTA DEL MAULE	HUAPI	HORNILLO	FUNDO EL RADA	EL GUINDO	EL DURAZNO	EL ALAMO	DIGJA EMBALSE
88.95	73.39	89.10	80.26	77.12	85.95	77.00	71.63	153.96	74.17	90.59	207.46	194.72	60.88	74.53	76.04	140.81
90.31	89.96	74.01	78.98	81.17	96.18	123.44	76.29	160.13	71.69	94.05	193.00	179.20	71.50	99.24	94.17	160.35
122.07	110.03	90.74	98.99	108.23	113.22	151.62	85.38	189.83	92.55	125.67	256.43	241.67	95.21	125.40	97.80	183.74
52.58	46.24	43.66	39.01	46.03	51.83	59.58	39.63	100.42	43.53	59.88	130.58	117.98	46.04	57.73	51.83	83.01
72.68	59.13	55.47	43.14	73.56	77.20	85.78	60.13	127.63	57.58	78.96	149.64	144.05	50.46	66.03	70.04	118.04
88.48	90.30	77.56	64.22	91.42	91.88	115.67	76.54	165.33	74.52	117.17	253.00	226.15	85.83	112.65	87.58	149.48
95.01	70.73	61.54	64.26	81.34	94.46	113.71	59.21	154.83	63.58	88.93	230.79	178.13	65.54	84.74	83.09	145.46
49.99	42.11	37.86	35.94	47.73	44.74	56.10	33.50	88.04	35.61	45.92	99.03	84.28	35.29	43.15	39.96	70.43
95.49	70.15	66.50	62.08	73.86	76.53	106.55	59.29	138.83	62.53	79.83	211.13	158.53	60.75	82.43	87.25	127.73
77.23	54.31	53.84	54.94	65.67	70.88	90.48	48.04	123.92	50.74	78.04	163.17	144.52	53.75	77.34	75.08	110.83
55.95	42.95	39.40	40.15	50.08	47.43	65.46	37.14	86.08	39.30	53.93	92.89	82.06	37.97	52.96	45.79	81.76
71.68	41.90	57.88	53.93	73.90	66.96	86.70	50.82	134.13	50.43	68.72	137.30	107.69	42.08	66.82	55.83	107.84
76.68	36.28	48.04	59.25	53.48	50.73	65.78	50.88	100.29	42.30	67.17	80.55	99.34	49.78	64.23	60.50	91.33
55.16	44.43	46.08	38.76	55.28	55.91	58.14	37.13	91.00	35.45	56.02	120.01	81.50	38.08	55.88	48.25	81.79
75.77	66.32	61.13	60.23	72.83	82.83	88.34	53.80	120.21	56.52	77.39	136.96	130.81	63.06	74.88	73.60	110.12
64.07	57.63	54.73	54.38	67.02	60.79	74.75	48.74	131.85	51.70	80.64	137.29	139.30	55.51	76.01	62.96	99.39
40.70	51.54	36.93	34.08	38.30	36.98	45.59	33.18	69.64	36.24	65.26	103.46	119.94	43.98	67.29	47.29	59.53
90.99	77.19	NA	60.13	85.85	81.06	103.60	55.58	131.34	70.14	89.77	156.15	147.61	61.87	93.95	73.33	115.29
53.42	43.12	42.73	48.57	51.81	47.89	60.25	37.85	89.79	37.56	49.43	113.72	84.97	27.37	47.05	60.11	89.19

TUTUVEN EMBALSE	TALCA U.C	SAN RAFAEL	SAN MANUEL DE PERQUILAUQUEN	SAN JAVIER	RIO MAULE EN FOREL	RIO MAULE EN ARMERILLO	RIO LONGAVI EN LA QUIRIQUINA	RIO LONCOMILLA EN LAS BRISAS	RIO CLARO EN RAUQUEN	RIO ANCOA EN EL MORRO	QUELLA	PENCAHUE
77.80	56.01	64.23	143.64	64.98	NA	NA	NA	NA	37.82	161.43	62.78	62.78
92.48	65.11	78.91	159.99	71.14	172.13	195.61	222.48	91.24	67.95	160.51	63.56	68.55
106.79	81.05	87.94	197.35	90.30	68.66	283.46	205.11	100.71	82.41	222.84	83.16	88.07
55.63	36.80	53.83	96.88	45.18	25.15	131.70	88.20	46.98	38.59	94.07	33.57	37.20
70.58	48.43	55.27	132.75	57.96	79.62	165.24	122.23	57.36	51.72	127.66	55.22	51.62
101.88	71.29	79.58	163.95	80.45	118.68	266.73	165.15	76.52	71.35	189.38	69.18	72.34
90.32	63.91	73.03	164.21	72.80	95.18	234.04	155.35	66.63	57.52	162.17	65.77	60.71
44.38	27.76	38.38	85.16	36.74	43.88	102.13	43.12	36.23	28.11	85.88	31.57	31.38
89.84	55.03	68.17	140.44	72.60	93.22	180.58	136.37	26.60	54.11	141.55	58.22	58.92
69.73	46.12	50.13	130.84	59.80	69.28	159.36	108.75	55.72	42.26	119.62	51.13	39.48
49.64	37.63	44.68	79.69	43.34	53.70	113.21	78.48	34.17	39.33	72.58	30.86	37.91
66.89	46.95	45.51	113.63	59.17	57.99	142.69	112.86	54.66	50.23	128.60	41.32	50.11
62.52	37.70	53.17	115.88	46.47	60.61	124.47	72.26	33.93	38.14	91.94	32.40	36.48
47.57	36.54	40.88	87.70	41.86	50.76	121.80	91.41	32.17	33.00	70.89	35.72	32.35
74.98	52.59	57.21	123.12	67.00	80.08	132.71	118.64	52.51	56.63	60.49	62.82	54.90
65.33	45.34	50.39	112.62	56.03	74.04	163.35	104.24	43.16	43.71	115.23	49.53	46.19
36.34	38.25	44.84	67.75	40.06	57.59	99.66	62.33	34.79	30.54	83.00	34.60	37.45
82.64	60.93	83.74	137.05	73.90	116.16	143.58	136.84	58.76	64.10	122.75	NA	62.03
55.83	31.50	23.38	108.30	41.35	54.59	102.14	93.64	43.84	24.70	84.71	42.56	NA