



Universidad de Talca
Facultad de Ciencias Forestales
Escuela de Ingeniería Forestal

**ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS DISTINTOS USOS
DE SUELO EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA DURANTE
LOS MESES INVERNALES, EN CUENCAS UBICADAS
ENTRE LAS REGIONES DE O'HIGGINS Y LOS LAGOS**

PATRICIO ANDRÉS UBILLA THENNET

Memoria para optar al título de:
INGENIERO FORESTAL

Profesor Guía: Dr. Ing. Roberto Pizarro Tapia

TALCA – CHILE

2017

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quisiera agradecer a mis padres Magdalena y Waldo, a quienes les debo todo el apoyo recibido durante mis estudios, tarea en la que siempre hicieron más de lo que merecía. A mi hermana Pamela, quién desde siempre tuve la oportunidad de seguir en su formación profesional, siendo mi modelo más cercano a seguir.

Quisiera agradecer a mis amigos, quienes me acompañaron tanto en lo académico como en lo cotidiano, y en especial a mi pareja, Daniela, quien siempre estuvo ahí para darme ánimos cuando estaba abrumado por las dudas y fue mi motivación para realizar mejor mi trabajo.

Por último, quisiera agradecer a la Dirección General de Aguas, especialmente al Ing. Felipe Pérez, por facilitar la información fluviométrica necesaria para este estudio. Al personal del Centro Tecnológico de Hidrología Ambiental (CTHA) de la Universidad de Talca, especialmente a su director y profesor guía de esta memoria, el Dr. Ing. Roberto Pizarro, quien motivó mi interés por la hidrología forestal, y a los Ingenieros Juan Pino y Alfredo Ibáñez, por su colaboración en la metodología y análisis estadístico del presente estudio.

No podría haber deseado un mejor equipo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo General	3
2.2. Objetivos Específicos	3
3. ANTECEDENTES GENERALES	4
3.1. Zona de Estudio.	4
3.1.1. Región de O'Higgins	6
3.1.2. Región del Maule	8
3.1.3. Región del Biobío	10
3.1.4. Región de la Araucanía	13
3.1.5. Región de Los Ríos	15
3.1.6. Región de Los Lagos	17
3.2. Recursos Hídricos	19
3.2.1. Disponibilidad	19
3.2.2. Consumo	20
3.2.3. Escasez	21
4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	22
4.1. Precipitación	22
4.2. Intercepción	23
4.3. Escorrentía	23
4.4. Efectos Hidrológicos de la Cubierta Vegetal	24
4.5. Métodos Estadísticos	25
4.5.1. Análisis de tendencias en los caudales	25
4.5.2. Análisis de correlación entre las tendencias y la vegetación	26
5. METODOLOGÍA	28
5.1. Materiales	28
5.2. Fases Metodológicas	28

5.2.1. Revisión bibliográfica	28
5.2.2. Planteamiento del problema	29
5.2.3. establecimiento de objetivos	29
5.2.4. Selección del método estadístico para el análisis de tendencias en los caudales	29
5.2.5. Selección de estaciones fluviométricas	30
5.2.6. Obtención de la información fluviométrica	30
5.2.7. Obtención de la información de uso del suelo	30
5.2.8. Tabulación de las series mensuales	31
5.2.9. Determinación de los caudales anuales	33
5.2.10. Análisis de tendencias en los caudales	33
5.2.11. Análisis gráfico entre los valores Z y las coberturas vegetacionales	36
5.2.12. Análisis de correlación	37
5.2.13. Presentación y análisis de los resultados	38
5.2.14. Conclusiones y recomendaciones	38
6. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	39
6.1. Tendencias en los Caudales	39
6.2. Correlación entre las Tendencias de los Caudales y la Cubierta Vegetal	51
6.2.1. Relaciones gráficas	51
6.2.2. Correlación r de Pearson	56
6.2.3. Correlación τ de Kendall	58
6.2.4. Análisis de los Coeficientes de Correlación	59
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
7.1. Conclusiones	61
7.2. Recomendaciones	63
8. BIBLIOGRAFÍA	64
9. APÉNDICE	69

Apéndice 1: Relaciones gráficas entre las tendencias de los caudales y los porcentajes de cubierta vegetal para cada cuenca a nivel mensual. 70

Apéndice 2: Relaciones gráficas entre las tendencias de los caudales y los porcentajes de cubierta vegetal para cada cuenca a nivel anual. 103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de la zona y cuencas estudiadas	5
Figura 2. Región de O'Higgins	7
Figura 3. Región del Maule	9
Figura 4. Región del Biobío	12
Figura 5. Región de la Araucanía	14
Figura 6. Región de Los Ríos	16
Figura 7. Región de Los Lagos	18
Figura 8. Ejemplos del Coeficiente de Correlación r de Pearson	26
Figura 9. Distribución Normal Estandarizada	34
Figura 10. Relación lineal entre las tendencias de los caudales y la cubierta vegetal durante abril.	51
Figura 11. Relación lineal entre las tendencias de los caudales y la cubierta vegetal durante mayo.	52
Figura 12. Relación lineal entre las tendencias de los caudales y la cubierta vegetal durante junio.	52
Figura 13. Relación lineal entre las tendencias de los caudales y la cubierta vegetal durante julio.	53
Figura 14. Relación lineal entre las tendencias de los caudales y la cubierta vegetal durante agosto.	54
Figura 15. Relación lineal entre las tendencias de los caudales y la cubierta vegetal durante septiembre.	54
Figura 16. Relación lineal entre las tendencias de los caudales y la cubierta vegetal durante octubre.	55
Figura 17. Relación lineal entre las tendencias de los caudales y la cubierta vegetal a nivel anual.	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Disponibilidad hídrica <i>per cápita</i> en Chile por región	20
Tabla 2. Uso consuntivo del agua por región y actividad	20
Tabla 3. Listado de las estaciones seleccionadas	32
Tabla 4. Valores Z de los caudales medios, mensuales y anuales	40
Tabla 5. Resumen de los resultados para las series mensuales de los caudales medios	42
Tabla 6. Resumen de los resultados para las series anuales de los caudales medios	42
Tabla 7. Valores Z de los caudales máximos, mensuales y anuales	44
Tabla 8. Resumen de los resultados para las series mensuales de los caudales máximos	46
Tabla 9. Resumen de los resultados para las series anuales de los caudales máximos	46
Tabla 10. Valores Z de los caudales mínimos, mensuales y anuales	47
Tabla 11. Resumen de los resultados para las series mensuales de los caudales mínimos	49
Tabla 12. Resumen de los resultados para las series anuales de los caudales mínimos	49
Tabla 13. Coeficientes r de Pearson para cada tipo de caudal y cubierta vegetal, a nivel mensual y anual	57
Tabla 14. Coeficientes τ de Kendall para cada tipo de caudal y cubierta vegetal, a nivel mensual y anual	58
Tabla 15. Valores promedio de los coeficientes r de Pearson y τ de Kendall, para cada tipo de caudal y cubierta vegetal	59

RESUMEN

Se analizaron las tendencias en los caudales medios, máximos y mínimos, utilizando la Prueba de Tendencia de Mann-Kendall tanto a nivel mensual como anual, en cuarenta y dos estaciones fluviométricas de la zona centro sur de Chile, para el periodo 1995-2014. Adicionalmente, se analizaron los periodos 1975-1994 y 1975-2014.

Se contó con el catastro vegetacional de CONAF, que permitió establecer las proporciones de uso del suelo en las cuarenta y dos cuencas en estudio, definiendo los usos Bosque Nativo, Plantaciones Forestales y Cultivos Agrícolas. Asimismo, se estableció la relación de las tendencias de Mann-Kendall con las proporciones de uso del suelo, por medio de los Coeficientes de Correlación de Pearson y Kendall.

Los resultados del análisis de tendencias mostraron que los caudales de la zona centro sur en el periodo 1995-2014, han presentado una marcada inclinación hacia las tendencias negativas, para los caudales máximos, medios y mínimos mensuales, aunque con un número escasamente significativo.

Los resultados de la regresión por rangos, obtenidos por medio del Coeficiente de Correlación τ de Kendall, refuerzan la existencia de una relación positiva y significativa entre las tendencias de los caudales y el porcentaje de cubierta por plantaciones forestales, seguida en importancia por el bosque nativo y por los cultivos agrícolas.

Lo anterior parece comprobar que, no es el uso del suelo la variable relevante en la generación de las tendencias de los caudales en las 42 cuencas, para los meses invernales, en la zona centro sur de Chile.

SUMMARY

Trends in mean, maximum and minimum flows were analyzed using the Mann-Kendall Test for Trends at both monthly and annual levels, in forty-two fluviometric stations in southern central Chile, for the period 1995-2014. Additionally, the periods 1975-1994 and 1975-2014 were analyzed.

The CONAF's vegetation cadaster was used to establish the proportions of land use in the forty-two basins under study, defining uses of native forest, forest plantations and agricultural crops. Also, the relation of the tendencies of Mann-Kendall with the proportions of use of the ground, using the Pearson's and Kendall's Correlation Coefficients was established.

The results of the trend analysis showed that the flows of the central south zone in the period 1995-2014 have shown a marked inclination towards the negative tendencies, for mean, maximum and minimum monthly flows, although with a few significant numbers.

The results of the regression by ranks, obtained using the Kendall's Rank Correlation Coefficient, reinforce the existence of a positive and significant relation between the tendencies of the flows and the percentage of cover by forest plantations, followed in importance by the native forest and agricultural crops.

The above seems to prove that, the land use is not the relevant variable in the generation of the flow trends in the forty-two basins, for the winter months, in the central south zone of Chile.

1. INTRODUCCIÓN

La actividad forestal es uno de los principales motores de la economía chilena, generando al año cerca de 120 mil empleos y contribuyendo con 2,8 billones de pesos al producto interno bruto. Para esto, esta industria se abastece de la explotación de 2,4 millones de hectáreas de plantaciones, constituidas principalmente de las especies *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*, las cuales están repartidas casi en su totalidad entre las regiones de O'Higgins y Los Lagos (INFOR, 2016).

Sin embargo, en las últimas décadas diversas comunas del país han experimentado condiciones de sequía, afectando incluso a la zona centro-sur, en la cual la opinión pública ha señalado a las plantaciones forestales como las causantes de esta situación (Programa Chile Sustentable, 2004; INFOR-FIA, 2013; Iroumé y Palacios, 2013; Prado, 2015).

Al respecto, el Instituto Forestal (INFOR) y la Fundación para la Innovación Agraria (FIA) han señalado que la información actual es insuficiente para indicar una relación clara entre el agua y las plantaciones forestales; aunque reconocen que diversos autores han indicado que la precipitación anual, la especie, la silvicultura, el suelo, la topografía y la proporción y distribución de las plantaciones en una cuenca son variables que intervienen en dicha relación (INFOR-FIA, 2013). Los estudios nacionales poseen posturas disímiles, autores como Pizarro *et al.* (2005), al comparar masas forestales nativas con plantaciones de *P. radiata*, señalan que las variaciones en los caudales de la zona centro sur durante el periodo estival, se deben mayoritariamente a las precipitaciones y no al comportamiento de la masa vegetal. Por su parte, Huber *et al* (2010) atribuyen a cuencas de la zona centro sur forestadas con *P. radiata* mayores pérdidas por intercepción en comparación a aquellas forestadas con *E. globulus*, aunque estas últimas tendrían mayores tasas de

evapotranspiración; lo que en ambos casos afectaría negativamente a los caudales. Pese a esto, sí se reconocen efectos positivos de la vegetación en la protección de los suelos y en el aumento de la tasa de infiltración (IGM, 1984).

Teniendo en cuenta los conflictos por el agua que han surgido en las comunidades del norte con las empresas mineras, o en las comunidades del sur con las empresas forestales, resulta evidente la necesidad de optimizar la asignación de los recursos hídricos, para lo cual es imprescindible el conocimiento de los factores que afectan la dinámica hídrica de las cuencas en Chile.

De este modo, el presente estudio pretende contribuir, desde una perspectiva científica, al análisis de los potenciales impactos que ejerce la superficie forestal en la disponibilidad hídrica en cuencas ubicadas en la zona centro sur de Chile, durante el periodo invernal.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Establecer el nivel de incidencia de la cubierta vegetal (cultivos agrícolas, plantaciones forestales y bosques nativos) en la producción de agua de las cuencas ubicadas entre las regiones de O'Higgins y Los Lagos, durante los meses invernales (abril – octubre).

2.2. Objetivos Específicos

- Determinar y comparar las tendencias en la producción de agua en los meses invernales, en las diversas cuencas en estudio y a nivel de caudales medios y máximos mensuales.
- Establecer la relación potencial existente entre la producción de agua y el uso del suelo, a nivel de bosque nativo, de plantaciones forestales y de cultivos agrícolas, durante los meses húmedos (abril – octubre).

3. ANTECEDENTES GENERALES

3.1. Zona de Estudio

La presente investigación enfoca su estudio en la zona centro sur de Chile, específicamente entre las regiones de O'Higgins y Los Lagos (Figura 1), abarcando área de 182 km². Esta zona concentra el 92,7% de la superficie ocupada por plantaciones forestales y el 81,8% de los terrenos agrícolas del país. La mayor parte de esta zona está cubierta por bosques nativos, los cuales ocupan el 34,6% de la superficie y están compuestos principalmente por el tipo Roble-Raulí-Coihue (*Nothofagus obliqua*, *N. alpina* y *N. dombeyi*, respectivamente); seguido de cultivos agrícolas, que ocupan el 14,9%; y plantaciones forestales, que ocupan el 12,3%, principalmente compuestas por Pino Insigne (*Pinus radiata*) (INFOR, 2016).

Esta zona se caracteriza por la formación de un valle central longitudinal conocido como Depresión Intermedia, flanqueado por la Cordillera de la Costa, hacia el poniente; y por la Cordillera de los Andes, hacia el oriente, las cuales dan origen a nueve de las cuencas representativas del país, insertas en un clima mayoritariamente mediterráneo con precipitaciones invernales.

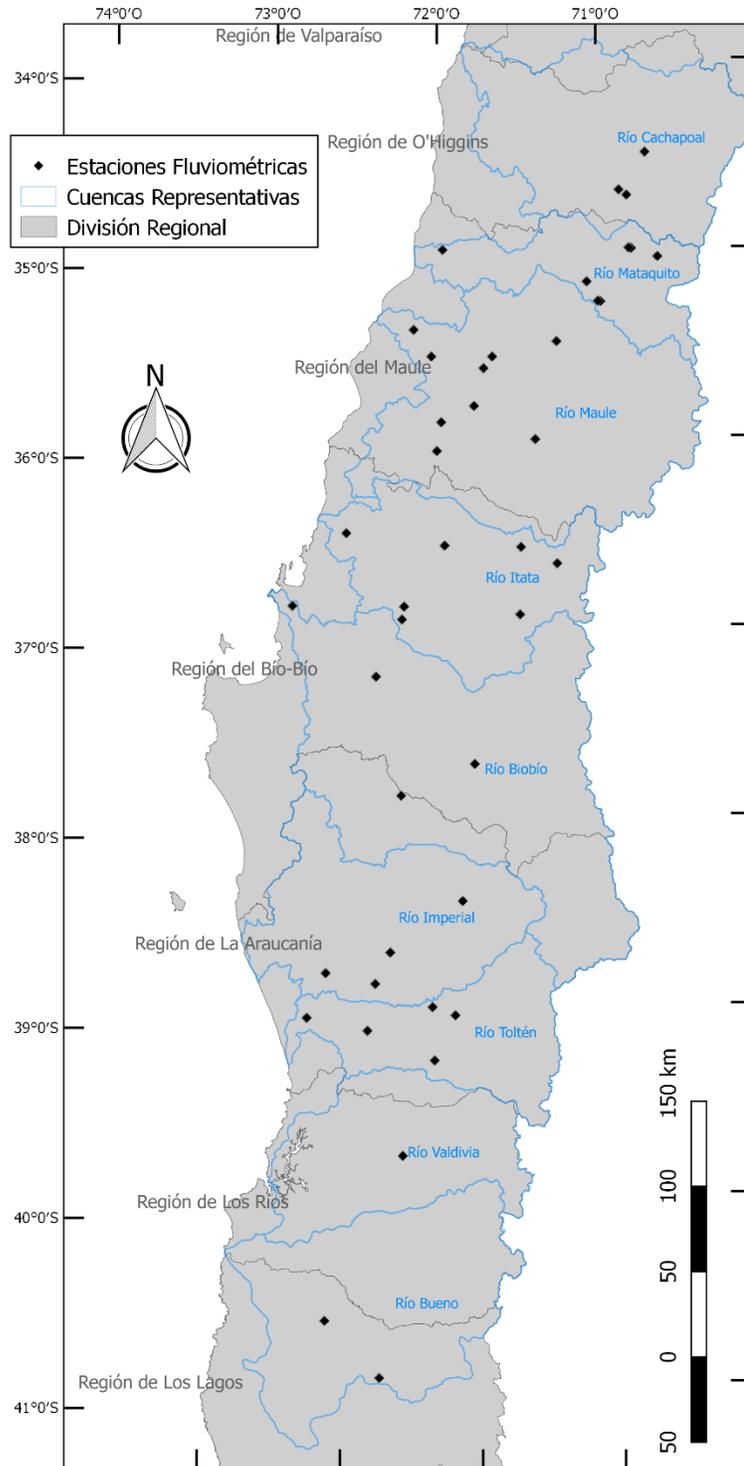


Figura 1. Mapa de la zona de estudio y las estaciones seleccionadas.

3.1.1. Región de O'Higgins

Se ubica entre los 33°45' y los 35°00' latitud sur y entre los 69°45' y los 72°15' longitud oeste. Su capital regional corresponde a la ciudad de Rancagua. Tiene una superficie de 16.345 km², lo que representa el 2,2% del territorio nacional. Se subdivide administrativamente en tres provincias: Cachapoal, Cardenal Caro y Colchagua. Posee una población de 918.751 habitantes, la cual representa al 5,1% de la población nacional. El 70,8% habita en zonas urbanas y el 28,2% restante en zonas rurales (INE, 2016).

La mayor parte de la superficie presenta un clima templado cálido con lluvias invernales (INE, 2015). Las precipitaciones alcanzan los 898 mm en promedio al año (DGA, 2016) y la temperatura media anual varía de 7,5 a 13,5°C (DMC, 2001).

Respecto al uso del suelo, el 5,5% de la superficie regional es ocupada por sitios urbanizados o sin vegetación; el 28,1% está cubierta por bosques nativos, principalmente renovales del bosque esclerófilo; el 7,8% está cubierto por plantaciones forestales, principalmente de Pino Insigne; y el 24,8% por cultivos agrícolas (INFOR, 2016; citando a CONAF, s/a).

En cuanto a su hidrografía, la región abarca en su mayor parte a la cuenca del Río Rapel, la cual posee una superficie de 13.766 km²; su cauce principal tiene una longitud de 43 km y es alimentado principalmente por los ríos Cachapoal y Tinguiririca. Otros cuerpos de agua importantes para la región son el Embalse Rapel y la Laguna Cauquenes (DGA, 2016).

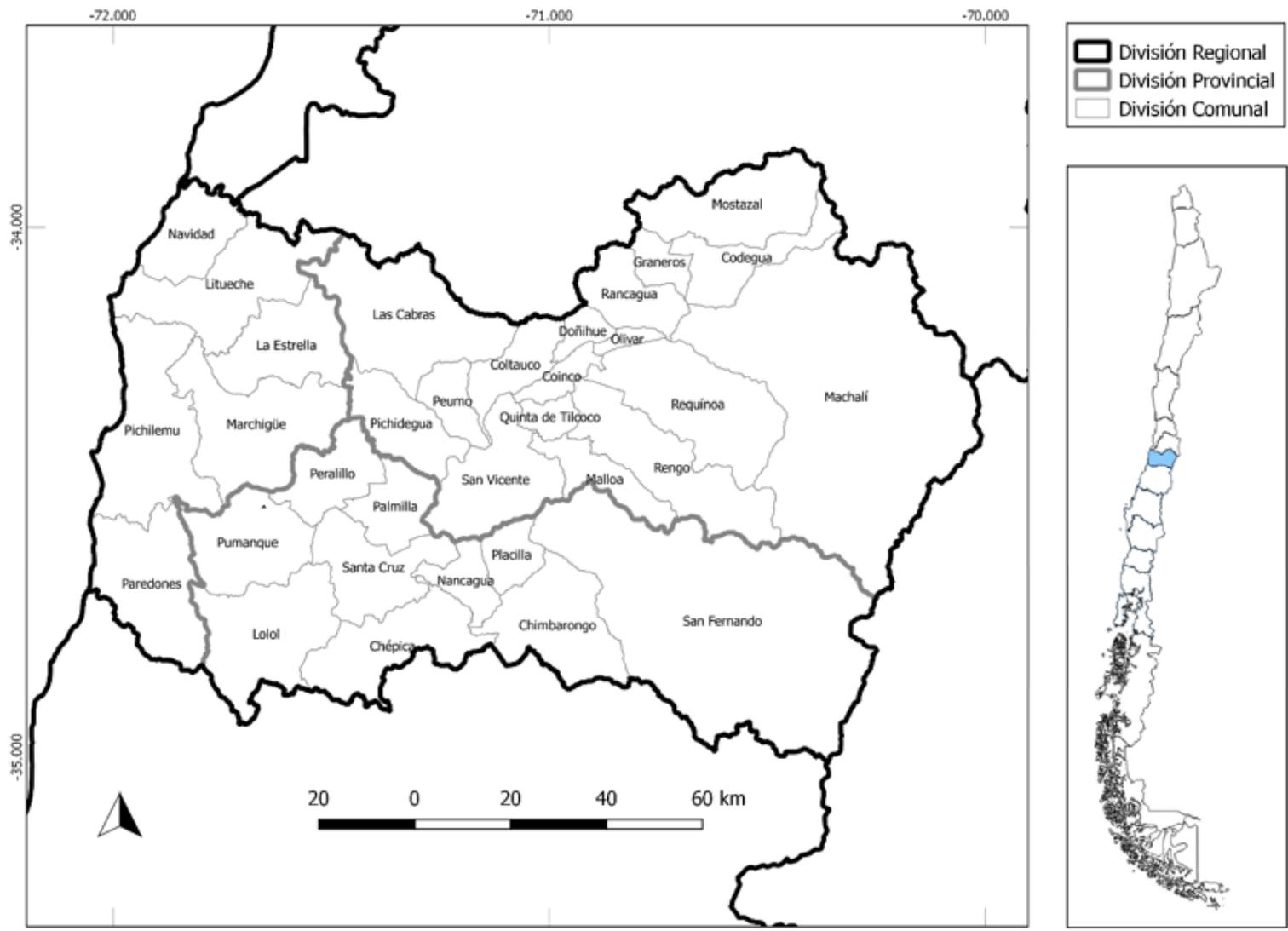


Figura 2. Región de O'Higgins.

3.1.2. Región del Maule

Se ubica entre los 34°30' y los 36°45' latitud sur y entre los 70°15' y los 73°00' longitud oeste. Su capital regional corresponde a la ciudad de Talca. Tiene una superficie de 30.324 km², lo que representa el 4,0% del territorio nacional. Se subdivide administrativamente en cuatro provincias: Curicó, Talca, Cauquenes y Linares. Posee una población de 1.042.989 habitantes, la cual representa al 5,8% de la población nacional. El 67,9% habita en zonas urbanas y el 32,1% restante en zonas rurales (INE, 2016).

La mayor parte de la superficie presenta un clima templado cálido con lluvias invernales (INE, 2015). Las precipitaciones alcanzan los 1.377 mm en promedio al año (DGA, 2016) y la temperatura media anual varía de 9 a 13°C (DMC, 2001).

Respecto al uso del suelo, el 16,6% de la superficie regional es ocupada por sitios urbanizados o sin vegetación; el 12,7% está cubierta por bosques nativos, principalmente renovales del tipo forestal Roble-Hualo (*N. obliqua* y *N. glauca*); el 14,8% está cubierto por plantaciones forestales, principalmente de Pino Insigne; y el 22,0% por cultivos agrícolas (INFOR, 2016; citando a CONAF, s/a).

En cuanto a su hidrografía, la región abarca en su mayor parte a la cuenca del Río Maule, la cual posee una superficie de 21.054 km²; su cauce principal tiene una longitud de 213 km y es alimentado principalmente por el Río Claro. También se encuentra la cuenca del Río Mataquito, la cual posee una superficie de 6.332 km²; su cauce principal tiene una longitud de 106 km y es alimentado principalmente por el Río Teno. Otros cuerpos de agua importantes para la región son la Laguna del Maule y el Lago Vichuquén (DGA, 2016).

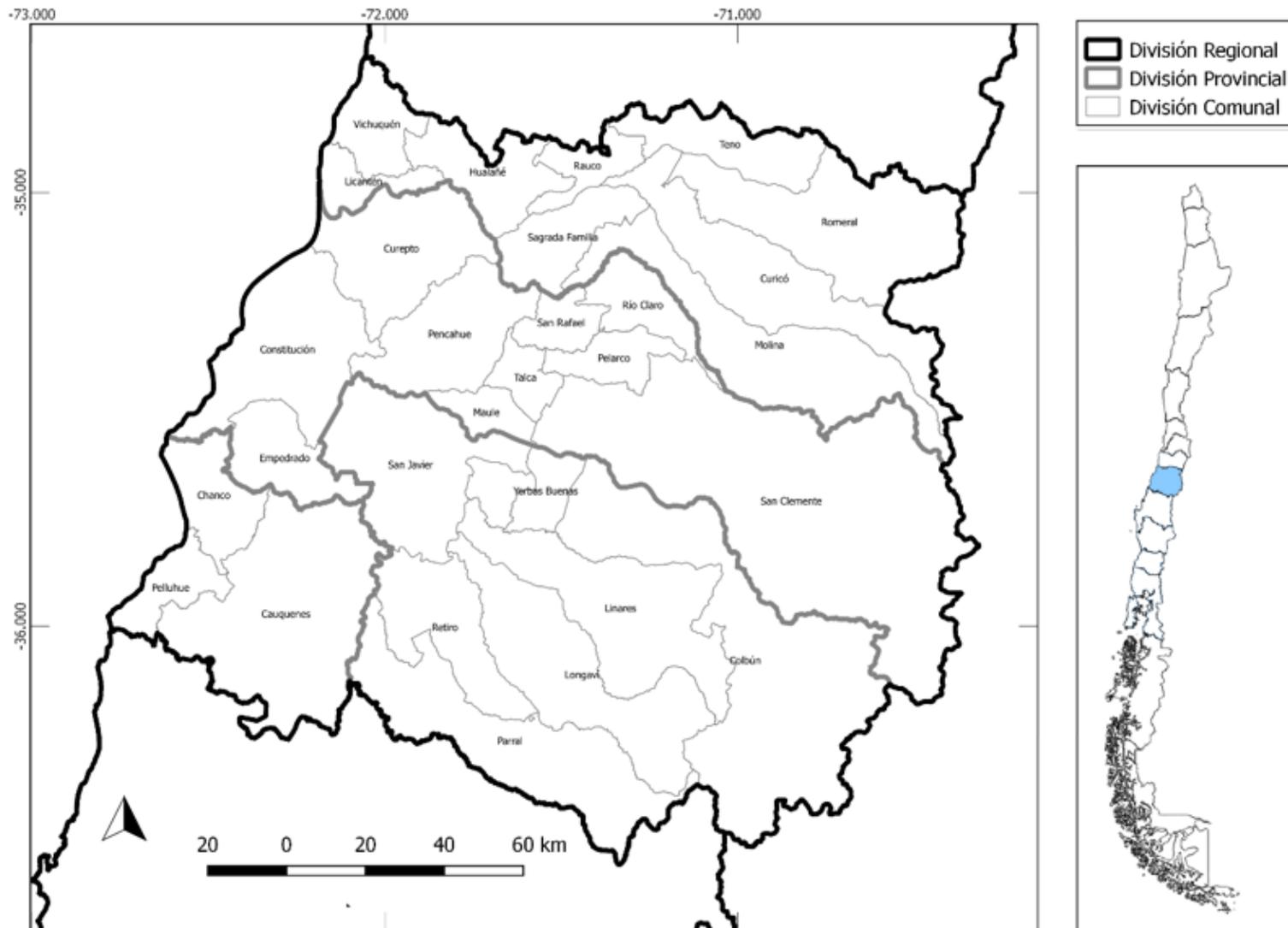


Figura 3. Región del Maule.

3.1.3. Región del Biobío

Se ubica entre los 36°00' y los 38°30' latitud sur y entre los 70°45' y los 73°45' longitud oeste. Su capital regional corresponde a la ciudad de Concepción. Tiene una superficie de 37.125 km², lo que representa el 4,9% del territorio nacional. Se subdivide administrativamente en cuatro provincias: Ñuble, Concepción, Arauco y Biobío. Posee una población de 2.114.286 habitantes, la cual representa al 11,7% de la población nacional. El 82,5% habita en zonas urbanas y el 17,5% restante en zonas rurales (INE, 2016).

La mayor parte de la superficie regional presenta un clima templado cálido con lluvias invernales (INE, 2015). Las precipitaciones alcanzan los 1.766 mm en promedio al año (DGA, 2016) y la temperatura media anual varía de 9 a 12,5°C (DMC, 2001).

Respecto al uso del suelo, el 4,5% de la superficie regional es ocupada por sitios urbanizados o sin vegetación; el 20,7% está cubierta por bosques nativos, principalmente renovales del tipo forestal Roble-Raulí-Coihue (*N. obliqua*, *N. alpina* y *N. dombeyi*); el 25,0% está cubierto por plantaciones forestales, principalmente de Pino Insigne; y el 22,4% por los cultivos agrícolas (INFOR, 2016; citando a CONAF, s/a).

En cuanto a su hidrografía, la región abarca en su mayor parte a la cuenca del Río Biobío, la cual posee una superficie de 24.369 km²; su cauce principal tiene una longitud de 370 km y es alimentado principalmente por el Río Laja. También se encuentra la cuenca del Río Itata, la cual posee una superficie de 11.326 km². Su cauce principal tiene una longitud de 132 km y es alimentado principalmente por el Río Ñuble. Otros cuerpos de agua importantes para la región son las lagunas, Laguna

Grande, San Pedro y La Laja; y los lagos, Lago Lleu Lleu y Lanalhue (DGA, 2016).

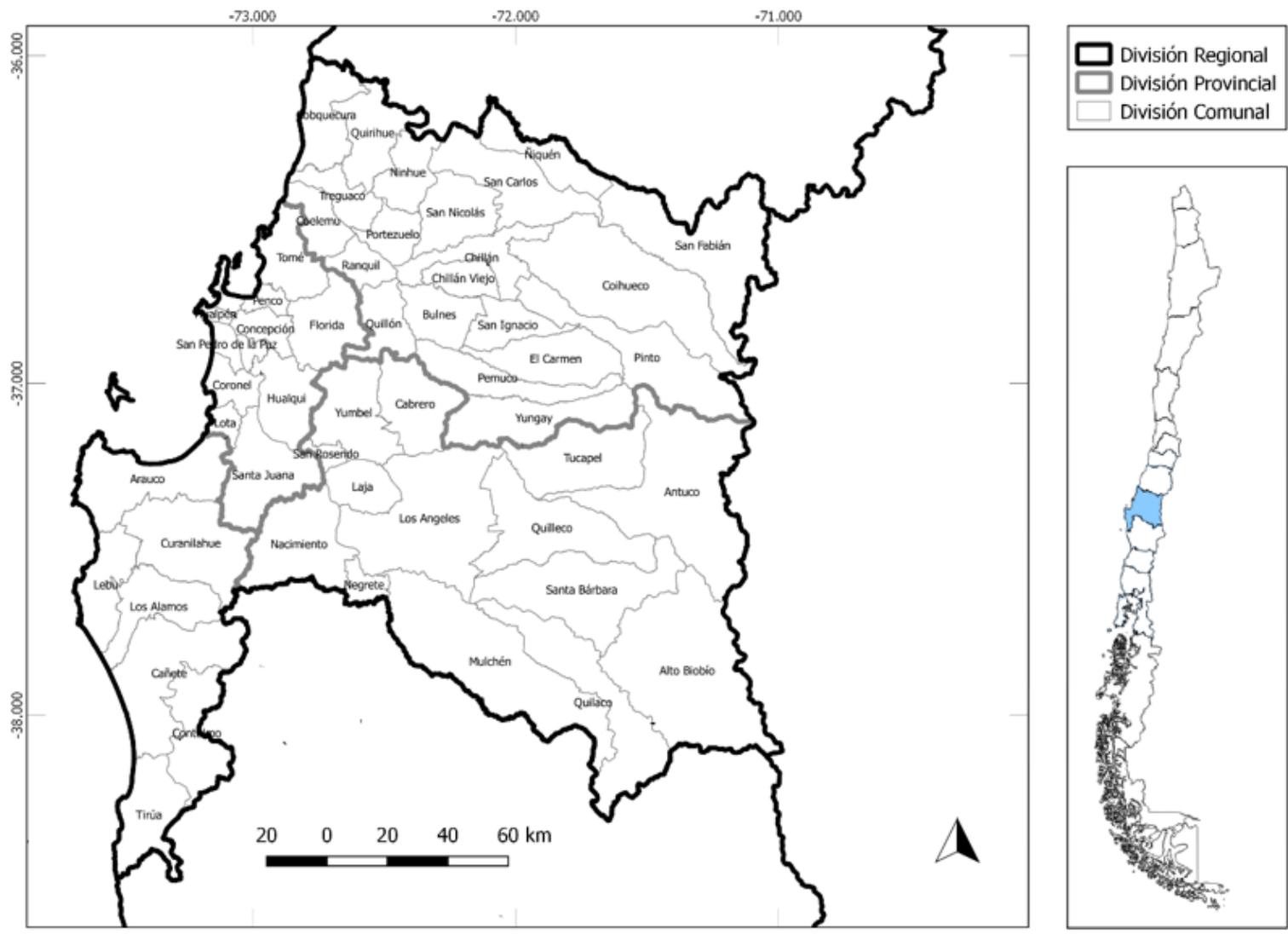


Figura 4. Región del Biobío.

3.1.4. Región de la Araucanía

Se ubica entre los 37°30' y los 39°45' latitud sur y entre los 70°45' y los 73°45' longitud oeste. Su capital regional corresponde a la ciudad de Temuco. Tiene una superficie de 31.833 km², lo que representa el 4,2% del territorio nacional. Se subdivide administrativamente en dos provincias: Malleco y Cautín. Posee una población de 989.798 habitantes, la cual representa al 5,5% de la población nacional. El 68,3% habita en zonas urbanas y el 31,7% restante en zonas rurales (INE, 2016).

La mayor parte de la superficie regional presenta un clima templado cálido lluvioso con influencia mediterránea (INE, 2015). Las precipitaciones alcanzan los 2.058 mm en promedio al año (DGA, 2016) y la temperatura media anual varía de 9 a 11°C (DMC, 2001).

Respecto al uso del suelo, el 2,8% de la superficie regional es ocupada por sitios urbanizados o sin vegetación; el 30,3% está cubierta por bosques nativos, principalmente renovales del tipo forestal Roble-Raulí-Coihue (*N. obliqua*, *N. alpina* y *N. dombeyi*); el 15,2% está cubierto por plantaciones forestales, principalmente de Pino Insigne; y el 24,6% por los cultivos agrícolas (INFOR, 2016; citando a CONAF, s/a).

En cuanto a su hidrografía, la región abarca en su mayor parte a la cuenca del Río Imperial, la cual posee una superficie de 12.668 km²; su cauce principal tiene una longitud de 56 km y es alimentado principalmente por el Río Cautín. También se encuentra la cuenca del Río Toltén, la cual posee una superficie de 8.448 km² y su cauce principal tiene una longitud de 135 km. Otros cuerpos de agua importantes para la región son los Lagos Budi, Caburgua, Villarrica, Colico y parte del Calafquén (DGA, 2016).

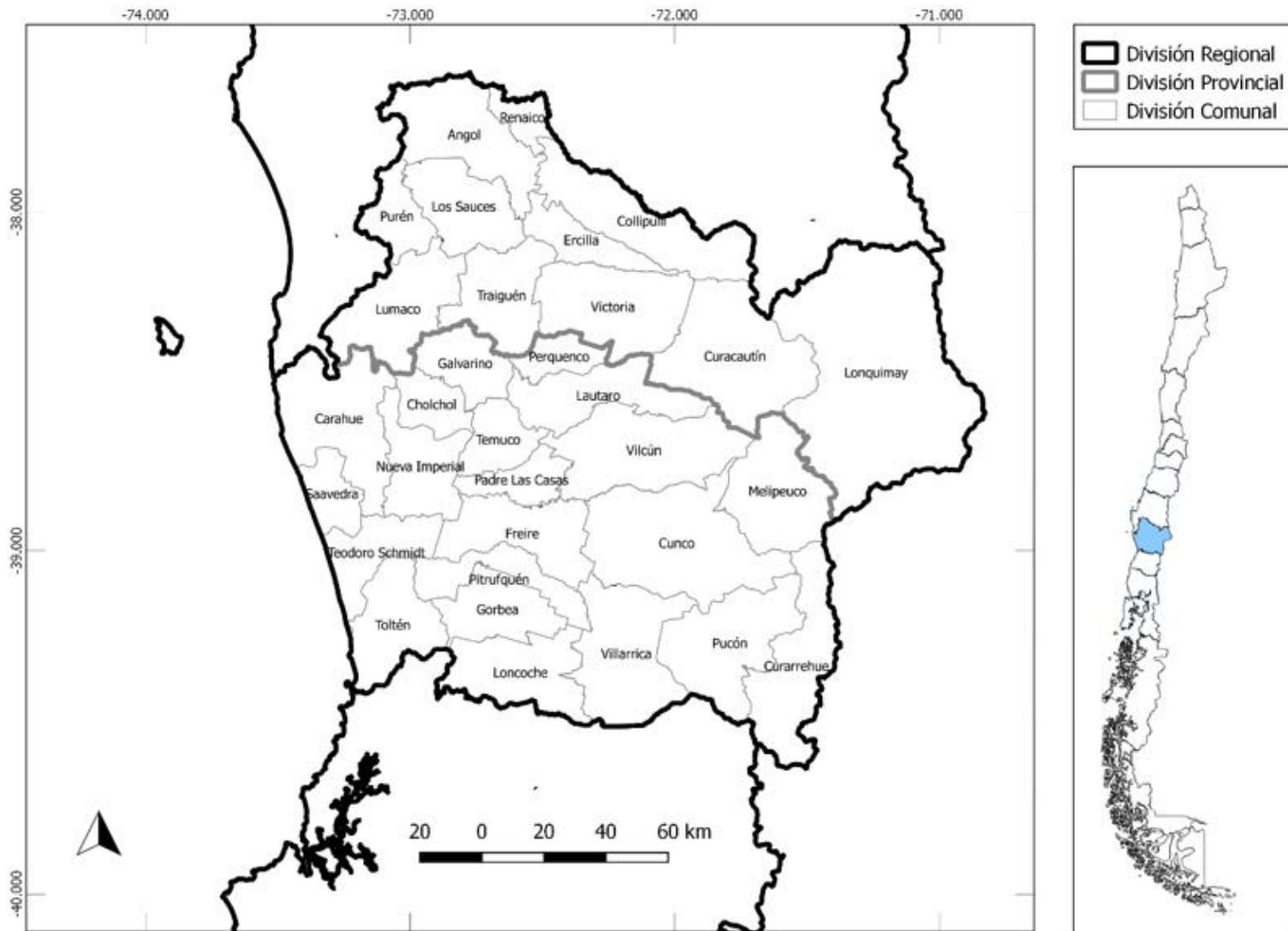


Figura 5. Región de la Araucanía.

3.1.5. Región de Los Ríos

Se ubica entre los 39°15' y los 40°45' latitud sur y entre los 71°30' y los 73°45' longitud oeste. Su capital regional corresponde a la ciudad de Valdivia. Tiene una superficie de 18.249 km², lo que representa el 2,4% del territorio nacional. Se subdivide administrativamente en dos provincias: Valdivia y Ranco. Posee una población de 404.432 habitantes, la cual representa al 2,2% de la población nacional. El 69,0% habita en zonas urbanas y el 31,0% en zonas rurales (INE, 2016).

La mayor parte de la superficie regional presenta un clima templado cálido lluvioso con influencia mediterránea (INE, 2015). Las precipitaciones alcanzan los 2.656 mm en promedio al año (DGA, 2016) y la temperatura media anual varía de 9 a 11°C (DMC, 2001).

Respecto al uso del suelo, el 2,8% de la superficie regional es ocupada por sitios urbanizados o sin vegetación; el 49,5% está cubierta por bosques nativos, principalmente bosques adultos del tipo forestal Coihue-Raulí-Tepa (*N. dombeyi*, *N. alpina* y *Laureliopsis philippiana*); el 10,2% está cubierto por plantaciones forestales, principalmente de Pino Insigne; y el 1,2% por cultivos agrícolas (INFOR, 2016; citando a CONAF, s/a).

En cuanto a su hidrografía, la región abarca en su mayor parte a la cuenca del Río Valdivia, la cual posee una superficie de 10.244 km²; su cauce principal tiene una longitud de 21 km y es alimentado principalmente por el Río Calle Calle. También se encuentra la cuenca del Río Bueno, la cual posee una superficie de 15.366 km² y su cauce principal tiene una longitud de 130 km. Otros cuerpos de agua importantes para la región son los Lagos Riñihue, Neltume, Panguipulli, Pirihueico, Maihue, Ranco y parte del Calafquén y Puyehue (DGA, 2016).

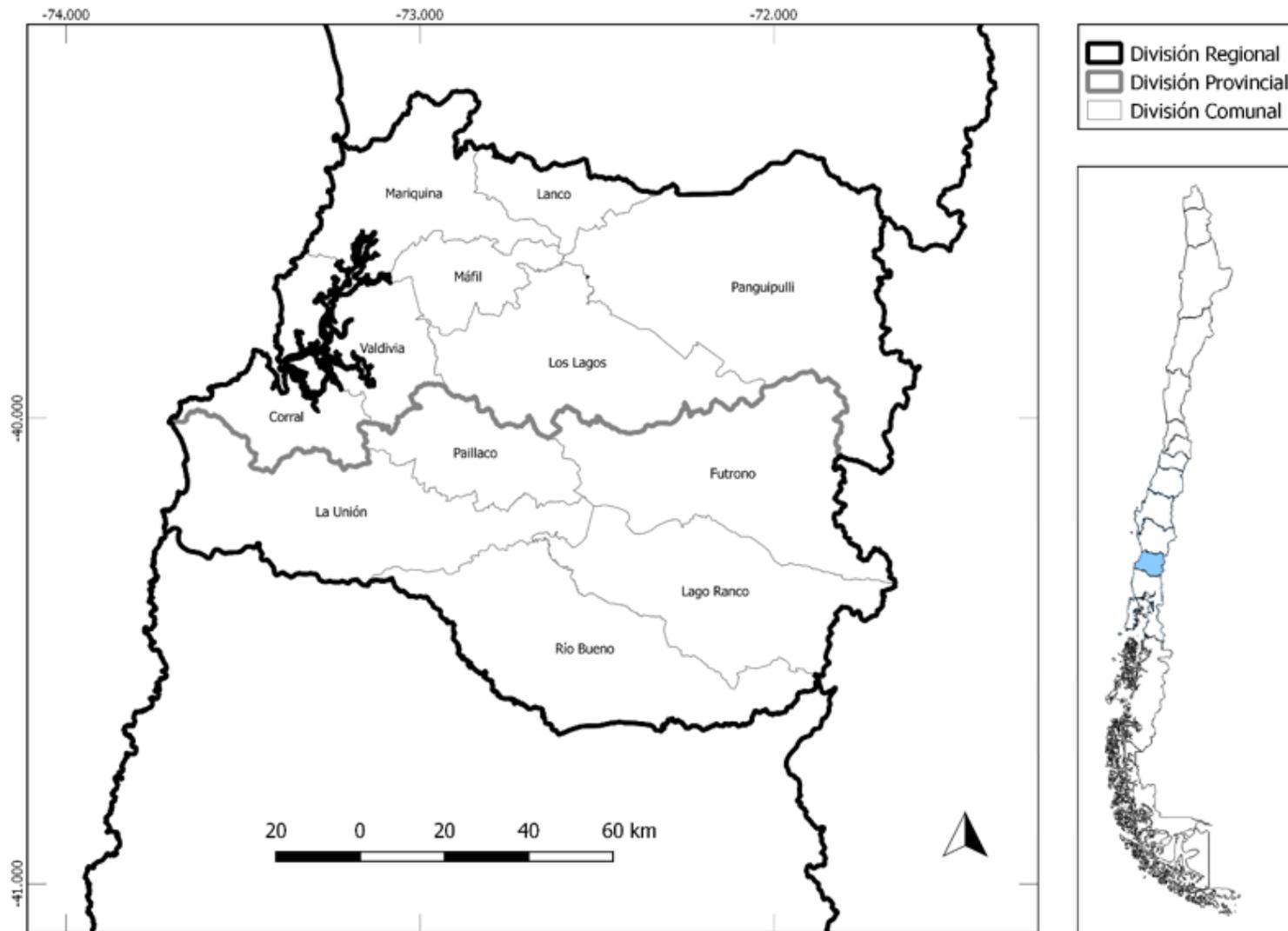


Figura 6. Región de Los Ríos.

3.1.6. Región de Los Lagos

Se ubica entre los 40°00' y los 44°15' latitud sur y entre los 71°30' y los 75°00' longitud oeste. Su capital regional corresponde a la ciudad de Puerto Montt. Tiene una superficie de 48.438 km², lo que representa el 6,4% del territorio nacional. Se subdivide administrativamente en cuatro provincias: Osorno, Llanquihue, Chiloé y Palena. Posee una población de 841.123 habitantes, la cual representa al 4,7% de la población nacional. El 69,9% habita en zonas urbanas y el 30,1% restante en zonas rurales (INE, 2016).

La mayor parte de la superficie regional presenta un clima templado cálido lluvioso con influencia mediterránea (INE, 2015). Las precipitaciones alcanzan los 3.068 mm promedio al año (DGA, 2016) y la temperatura media anual varía de 7,5 a 10°C (DMC, 2001).

Respecto al uso del suelo, el 5,4% de la superficie regional es ocupada por sitios urbanizados o sin vegetación; el 58,4% está cubierta por bosques nativos, principalmente bosques adultos del tipo forestal siempreverde; el 1,6% está cubierto por plantaciones forestales, principalmente de *Eucalyptus nitens*; y el 0,3% por cultivos agrícolas (INFOR, 2016; citando a CONAF, s/a).

En cuanto a su hidrografía, la región abarca en su mayor parte a la cuenca del Río Bueno, la cual posee una superficie de 15.366 km² y su cauce principal tiene una longitud de 130 km. Otros cuerpos de agua importantes son los Lagos Rupanco, Llanquihue, Todos Los Santos, Yelcho, Palena, Chapo, Huillinco, Espolón y parte del Lago Puyehue (DGA, 2016).

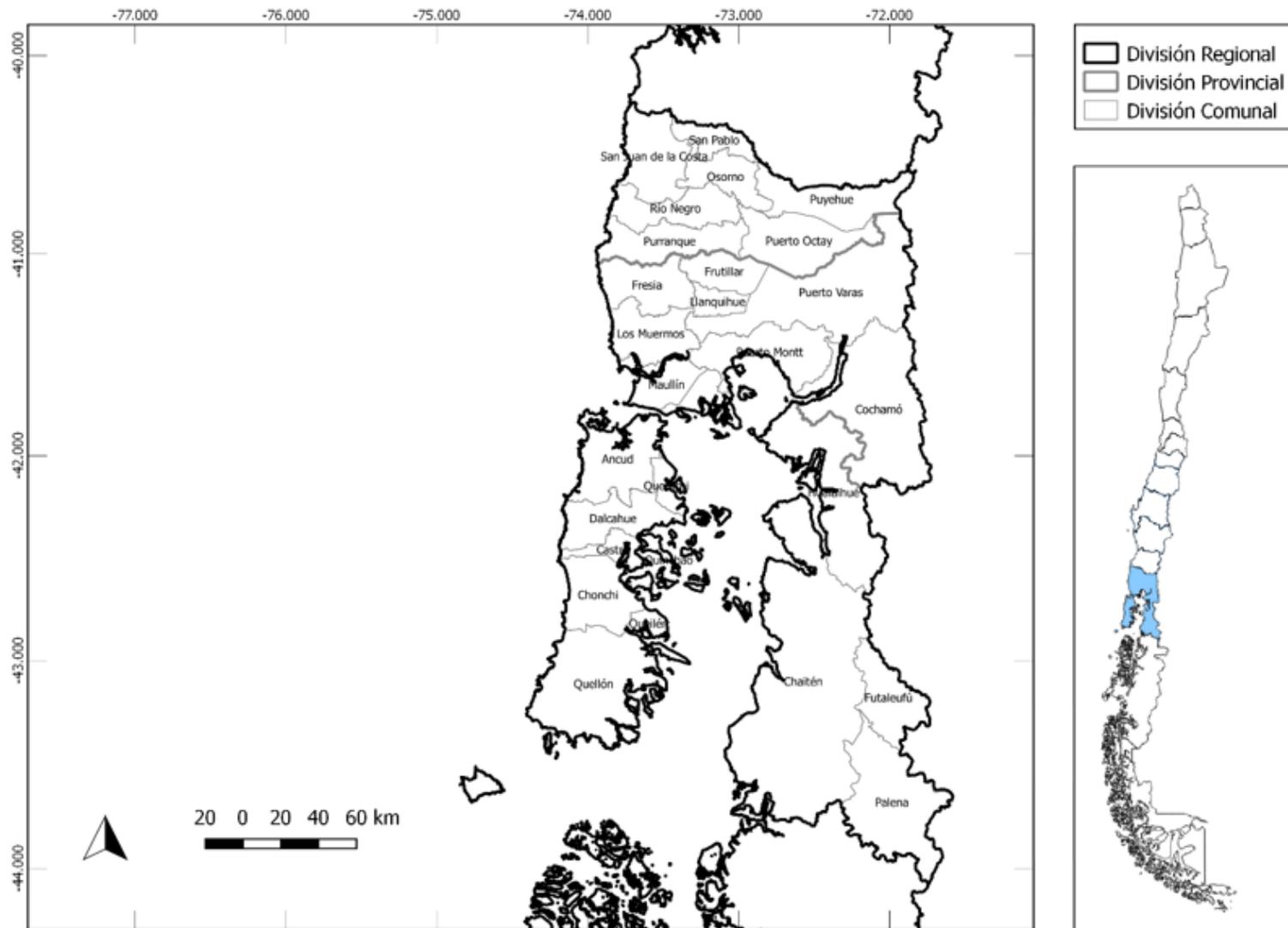


Figura 7. Región de Los Lagos.

3.2. Recursos Hídricos

3.2.1. Disponibilidad

La disponibilidad hídrica *per cápita* en Chile es de 51.218 m³/persona/año, cifra que supera considerablemente el umbral de desarrollo sostenible reconocido internacionalmente en 2.000 m³/persona/año, lo que posiciona a Chile como uno de los países más privilegiados en materia de recursos hídricos (Banco Mundial, 2010; citado por DGA, 2016). Sin embargo, esta cifra oculta la enorme variabilidad que existe a lo largo del territorio nacional, como se puede apreciar en la Tabla 1, gran parte de las regiones del norte y centro de Chile cuentan con una disponibilidad hídrica menor a los 2.000 m³/persona/año; y aunque hacia el sur las cifras son más alentadoras, éstas también ocultan la variabilidad a nivel provincial o comunal. Por tanto, no necesariamente representan una distribución homogénea dentro de una región administrativa determinada.

Tabla 1. Disponibilidad hídrica *per cápita* de Chile, a nivel regional (DGA, 2016).

Región	Disponibilidad (m³/persona/año)
Arica y Parinacota	725
Tarapacá	599
Antofagasta	47
Atacama	190
Coquimbo	908
Valparaíso	703
Metropolitana	444
O'Higgins	7.037
Maule	23.191
Biobío	24.432
Araucanía	33.167
Los Ríos	81.563
Los Lagos	154.058
Aysén	2.950.168
Magallanes	1.938.956
Chile	51.218

3.2.2. Consumo

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), cerca del 75% del uso consuntivo de agua en el mundo es destinado a la agricultura (UNEP, 2008). Chile no estaría exento a esta tendencia, ya que el 90,1% del uso consuntivo del agua en la zona de estudio es destinado a la actividad agropecuaria (Tabla 2) (DGA, 2016).

Tabla 2. Demanda estimada de agua en las regiones de la zona de estudio por sector económico (m³/s) (DGA, 2016).

Región	Agropecuario	Agua Potable	Industrial	Minero	Total
O'Higgins	97,96	2,41	1,23	1,88	103,48
Maule	166,49	2,53	3,77	0,00	172,79
Biobío	69,44	5,16	9,54	1,21	85,35
Araucanía	11,51	2,34	0,26	0,00	14,11
Los Ríos	2,21	1,02	1,63	0,00	4,86
Los Lagos	1,10	1,39	2,46	1,50	6,45
Total	348,71	14,85	18,89	4,59	387,04

3.2.3. Escasez

Según el PNUMA, 25 países en África viven en condiciones de estrés hídrico, en donde la disponibilidad de agua *per cápita* es menor a los 1.700 m³/persona/año. La situación es más grave en otros 29 países en el mundo, los cuales sufren de escasez hídrica por bajo los 1.000 m³/persona/año, afectando a 450 millones de personas. El programa estima que al año 2025, dos de cada tres personas en el mundo vivirán en zonas de estrés hídrico (UNEP, 2008).

En el caso de Chile, si bien la disponibilidad hídrica hacia el sur de Santiago supera el umbral de desarrollo sostenible, el incremento del consumo, la presión por los caudales ecológicos y los efectos del cambio climático, sitúan a los recursos hídricos del país en un futuro incierto (Banco Mundial, 2011). Esta situación se ve agudizada por la mirada del Estado en su Agenda de Productividad, Innovación y Crecimiento, la cual busca el incremento de la superficie destinada a la agricultura, la construcción de nuevos embalses, el desarrollo de las pequeñas y medianas empresas (PYMES) mineras y el fortalecimiento de la generación de energía hidroeléctrica.

4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1. Precipitación

La precipitación corresponde a la etapa del ciclo hidrológico en que la humedad del aire se condensa y cae a la Tierra. Para que esto ocurra, es necesario el enfriamiento de la humedad del aire mediante el ascenso de grandes volúmenes a la atmósfera, lo cual sucede de dos formas: la primera es por el calentamiento desigual de la superficie de la Tierra por la radiación solar, generando movimiento entre las masas de aire; y la segunda es por la presencia de relieve en la Tierra, formando barreras orográficas. Luego, el enfriamiento del aire provoca la condensación de las moléculas de agua en torno a *núcleos de condensación*, los cuales son partículas en suspensión habitualmente constituidas por sal, óxido de nitrógeno o productos de la combustión. La gota de agua aumenta su volumen y peso por difusión del vapor hasta superar la resistencia del aire que la mantiene suspendida, precipitando hacia la Tierra en forma de lluvia o llovizna por gravedad, aunque en otras condiciones también puede caer en forma de escarcha, nieve, granizo, neblina o niebla (Linsley *et al.*, 1977).

La precipitación puede ser de tres tipos según el origen de la masa de aire que asciende a la atmósfera: ciclónica o frontal, convectiva u orográfica. La precipitación ciclónica o frontal ocurre cuando dos masas de aire a distinta temperatura colisionan, formando un frente que eleva y enfría la masa de aire más cálida. La precipitación convectiva ocurre cuando se eleva una masa de aire por ser más ligera y cálida que las de su alrededor. Por último, la precipitación orográfica ocurre cuando el relieve fuerza al ascenso de las masas de aire, que chocan contra él (Llamas, 1993).

4.2. Intercepción

Cuando ocurre un evento de precipitación y éste cae en una cuenca cubierta por una determinada vegetación, una parte del monto de la lluvia es interceptado por las hojas y las ramas, el cual es directamente proporcional a la densidad del dosel, la cual puede medirse por medio del Índice de Área Foliar (IAF). Cuando la precipitación es interceptada por las hojas, pueden ocurrir dos eventos: el agua retenida cae a la Tierra con una menor energía cinética, o bien termina evaporándose en función de la temperatura. Cuando la precipitación es interceptada por las ramas, puede generarse escorrentía fustal, la cual corresponde a aquella que fluye a través de las ramas y el tronco, pudiendo evaporarse o descender hasta el suelo. Las ramas de los árboles, en general, generan un efecto de “embudo” a la lluvia, lo que favorece su infiltración en el suelo cerca del árbol (Linsley *et al.*, 1977).

4.3. Escorrentía

Cuando comienza la precipitación, una parte del agua infiltra en el suelo dependiendo de la permeabilidad de éste. Luego, si la precipitación continua después de que la capa más superficial del suelo se ha saturado de humedad, el agua lluvia comienza a escurrir de manera superficial por el relieve a través de las líneas de máxima energía, avanzando por acción de la gravedad a los puntos más bajos de la cuenca. También es posible que el monto que ha infiltrado en el suelo logre percolar hacia los acuíferos, aportando posteriormente a la generación de caudal base (Raghunath, 2006).

4.4. Efectos Hidrológicos de la Cubierta Vegetal

Existen diversos estudios sobre el impacto hidrológico de los cambios en el uso del suelo en países con clima mediterráneo como Italia, España, Portugal, Israel y Chile.

Little *et al.* (2009) detectaron una disminución de los caudales estivales en dos cuencas de la zona centro sur, mayores a 100 km² y que han incrementado la superficie cubierta por plantaciones de *P. radiata* en desmedro del bosque nativo. López-Moreno *et al.* (2013) detectaron un comportamiento similar en España para los caudales anuales. Otra alternativa es propuesta por Huber *et al.* (2010), quienes detectaron un mayor grado de evapotranspiración durante el estío en cuencas forestadas con *P. radiata* en comparación a otras forestadas con *E. globulus*, aunque estas últimas tendrían mayores tasas de evapotranspiración; lo que en ambos casos afectaría negativamente a los caudales.

Otros autores desestiman el efecto de la vegetación, señalando que los parámetros más influyentes en la variación de los recursos hídricos son las precipitaciones (Pizarro *et al.*, 2005) y la temperatura (Candela *et al.*, 2016). Candela *et al.* (2016), establecen que la reducción en la disponibilidad hídrica en la cuenca de Fluvià (España) es el resultado de la disminución en las precipitaciones y el aumento de la temperatura debido al cambio climático; y aunque esto ha incrementado el grado de evapotranspiración, descartan que los cambios en el uso del suelo sean un parámetro importante en la variación de los caudales.

Blume *et al.* (2007) sugieren el estudio de los coeficientes de escorrentía para entender la respuesta hidrológica de una cuenca, aunque para esto es necesario realizar correctamente la separación de hidrogramas. En este sentido, Maetens *et al.*, (2012) detectaron que los coeficientes de

escorrentía son mayores en suelos desnudos o urbano-industrializados en comparación a los cubiertos por vegetación, siendo los más bajos en vegetación natural o semi-natural.

Otros autores atribuyen efectos positivos a la vegetación, como las mayores tasas de infiltración en cuencas forestales, en comparación a cultivos agrícolas o pastizales (IGM, 1984; Taylor *et al.*, 2008; Nunes *et al.*, 2010; Oyarzún *et al.*, 2011) y una mayor protección del suelo (IGM, 1984). Sin embargo, Nunes *et al.* (2010) detectaron que las plantaciones de coníferas en Portugal fueron las más erosivas, similar a las tierras de arado; advierten que las prácticas silvo-agrícolas rompen la estructura del suelo, aumentando su erodabilidad y reduciendo su capacidad de infiltración.

4.5. Métodos Estadísticos

4.5.1. Análisis de tendencias en los caudales

Según Machiwal y Jha (2012), uno de los métodos más potentes para el estudio de tendencias en variables hidrológicas corresponde a la prueba no paramétrica de Mann-Kendall. Esta prueba evalúa si una serie de datos x_i en el tiempo, puede seguir el modelo de la expresión $x_i=f(t_i)+\varepsilon_i$, donde $f(t_i)$ es una función lineal en el tiempo y ε_i es el residuo del modelo cuya media es cero. Para esto, realiza una serie de comparaciones entre dos años, sumando (o restando) una unidad a la función cuando el valor del año más actual (x_j) es mayor (o menor) al valor del año más antiguo (x_k); con ello se obtiene un valor Z cuyo signo representa una tendencia positiva o negativa. Este método tiene la ventaja de no ser severamente afectado por la ausencia de datos puntuales. Sin embargo, es necesario que los residuos

del modelo presenten una varianza constante en el tiempo, para su correcta aplicación (Salmi *et al*, 2002).

4.5.2. Análisis de correlación entre las tendencias y la vegetación

Uno de los índices comúnmente utilizados en el estudio de la relación entre dos variables corresponde al Coeficiente de correlación lineal r de Pearson, el cual evalúa la magnitud de la relación lineal entre dos variables cuantitativas mediante el coeficiente r que fluctúa entre -1 , para una relación negativa lineal perfecta; y 1 , para una relación $1:1$ lineal, positiva perfecta (Figura 7).

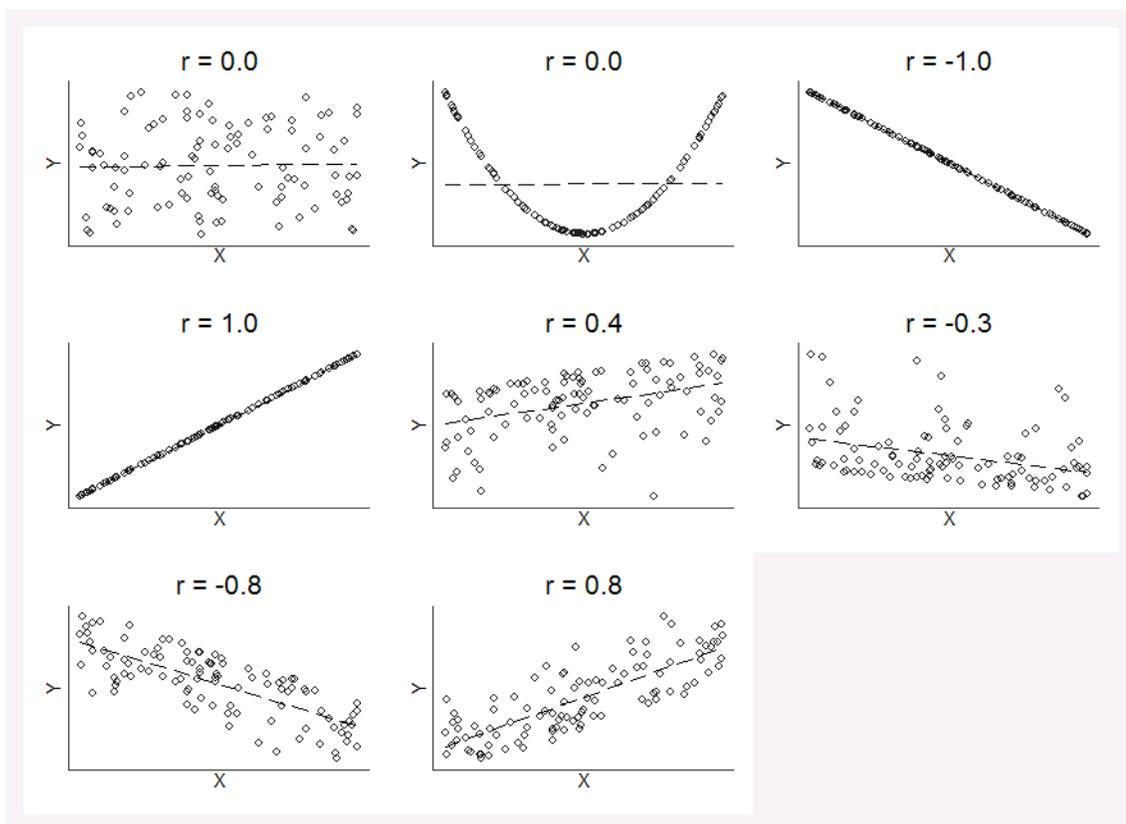


Figura 8. Ejemplos del Coeficiente de Correlación r de Pearson.

No obstante, Helsel y Hirsch (2002) recomiendan la utilización del Coeficiente de correlación τ de Kendall, ya que las variables hidrológicas frecuentemente presentan un grado de sesgo y son débilmente explicadas por comportamientos lineales. Este valor determina la asociación monótona entre dos variables por medio de un ranking de datos, siendo un análisis más robusto frente a las desviaciones de la normalidad y ante la presencia de datos extremos, cosa común en la hidrología, en comparación al Coeficiente r de Pearson.

5. METODOLOGÍA

5.1. Materiales

Para la realización de las fases metodológicas se utilizaron los siguientes materiales:

- Registros fluviométricos provenientes de la Dirección General de Aguas (DGA), en formato .XLS.
- Cobertura porcentual de la vegetación proveniente del Catastro Vegetacional de la Corporación Nacional Forestal (CONAF) y sintetizada por el Centro Tecnológico de Hidrología Ambiental de la Universidad de Talca (CTHA).
- Equipo computacional con conexión a internet y software Microsoft Office, Statgraphics Centurion y QGIS.

5.2. Fases Metodológicas

5.2.1. Revisión bibliográfica

Se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva del proceso de precipitación-escorrentía, y de los efectos hidrológicos de la cubierta vegetal en la generación de escorrentía superficial, con especial énfasis en investigaciones realizadas en zonas con climas mediterráneo, como es el caso de la zona centro sur de Chile. Para esto, se acudió a revistas científicas, artículos con comité editorial e informes de organismos internacionales vinculados al manejo de los recursos hídricos.

5.2.2. Planteamiento del problema

A partir de la bibliografía consultada, se planteó el problema sobre la relación entre las diferentes cubiertas vegetacionales y las tendencias en la producción de agua en cuencas de la zona centro sur de Chile, la cual justamente abarca la mayor superficie agrícola y forestal del país.

5.2.3. Establecimiento de objetivos

Para dar respuesta al problema planteado, se optó como primer objetivo el analizar el comportamiento de los caudales de la zona centro sur en los últimos veinte años, a modo de corroborar la existencia de tendencias posterior a la rápida expansión del sector forestal durante las últimas décadas.

Posteriormente, para determinar la relación entre dichas tendencias y la cubierta vegetal, se definió como segundo objetivo el correlacionar estadísticamente las tendencias resultantes del análisis anterior con el porcentaje de ocupación territorial de las distintas cubiertas vegetales en cada cuenca a estudiar.

5.2.4. Selección del método estadístico para el análisis de tendencias en los caudales

Para dar validez empírica al estudio, se recurrió a bibliografía actualizada sobre métodos estadísticos para el análisis de variables hidrológicas. De esta indagación, ya que el estudio contempla el análisis del comportamiento de los caudales sin incluir otras variables exógenas, según Helsel y Hirsch (2002), el método más apropiado corresponde a la

Prueba de Mann-Kendall, la cual tiene la ventaja de ser una prueba no paramétrica que no requiere del supuesto de normalidad.

5.2.5. Selección de estaciones fluviométricas

Para evitar sesgos en los resultados debido a cuencas de pequeño tamaño, o por la presencia de obras antrópicas como embalses, las que podrían afectar los resultados debido a las cifras de consumo, se optó por utilizar las 42 subsubcuencas seleccionadas por Pizarro *et al.* (2014), en conjunto con la Corporación Nacional Forestal (CONAF), para este propósito. Cada una de estas cuencas cuenta con su propia estación fluviométrica, las cuales son monitoreadas por la Dirección General de Aguas (DGA) (ver Figura 1 y Tabla 3)

5.2.6. Obtención de la información fluviométrica

Se solicitó el registro fluviométrico de las 42 estaciones seleccionadas a la DGA, la cual está a cargo de la medición oficial de los caudales en Chile. La información obtenida corresponde a cifras de caudales medios, máximos y mínimos, todas a nivel mensual hasta el año 2015.

5.2.7. Obtención de la información de uso del suelo

Se obtuvieron los porcentajes de cubierta vegetal para las categorías bosque nativo, plantación forestal y cultivo agrícola, para el posterior análisis de correlación entre esta variable y las tendencias en los caudales estudiados. Las cifras se extrajeron a partir del informe de Pizarro *et al.*

(2014), la cual a su vez fue extraída y reclasificada del Catastro Vegetacional 2013 de CONAF.

5.2.8. Tabulación de las series mensuales

Ya que la información de uso del suelo está actualizada al año 2013, se consideró que ésta era representativa para un lapso de 20 años. Así, para un análisis homogéneo de cada cuenca, se extrajo la información del registro entre los años 1995 y 2014, dentro de los cuales se utilizaron los meses comprendidos entre abril y octubre, los cuales se incluyeron debido a que son el periodo de transición a la época invernal y estival, respectivamente. De este modo, se obtuvo un total de 588 series de datos mensuales de caudales (2 series de caudales para los 7 meses establecidos y en 42 estaciones). Posteriormente, derivado de los resultados que se fueron alcanzando, y a la disponibilidad de los caudales mínimos instantáneos en los registros obtenidos, se consideró válido incorporar a la investigación estos últimos para un estudio más extenso de los efectos hidrológicos de la cubierta vegetal, incrementando el número de series de datos a 882 (3 series de caudales para los 7 meses en 42 estaciones).

Por último, para realizar un análisis temporal de mayor profundidad de las estaciones pluviométricas con registros más longevos, se extrajeron los datos de los veinte años anteriores al periodo señalado, esto es el periodo 1975-1994. Del total de estaciones estudiadas, 31 cumplían con la longevidad del registro necesario, lo que implica el análisis de 651 series adicionales (3 series de caudales para 7 meses en 31 cuencas). Con el mismo propósito, se elaboró un tercer periodo que incluye a los dos anteriores, para el análisis de los cuarenta años comprendidos en el periodo 1975-2014 para las 31 estaciones más longevas, lo que incorpora otras 651 series al estudio.

Tabla 3. Listado de las estaciones seleccionadas (Fuente: DGA s/a).

Cuenca	Estación	Área de drenaje [km²]	Periodo de registro utilizado
Rapel	Claro en Hacienda Las Nieves	276	1975-2014
	Claro en El Valle	358	1975-2014
	Tinguiririca bajo Briones*	-	1975-2014
Mataquito	Mataquito en Licantén	5.733	1995-2014
	Teno después de junta con Claro	1.188	1975-2014
	Teno en quebrada Infiernillo	562	1995-2014
	Claro en Los Queñes	350	1975-2014
	Upeo en Upeo	356	1975-2014
	Palos en junta con Colorado	514	1975-2014
	Colorado en junta con Palos	942	1975-2014
Maule	Maule en Forel	21.048	1995-2014
	Maule en longitudinal	5.800	1975-2014
	Lircay en puente Las Rastras	375	1975-2014
	Loncomilla en Las Brisas	10.046	1975-2014
	Loncomilla en Bodega	7.245	1975-2014
	Achibueno en La Recova*	-	1995-2014
	Cauquenes en desembocadura*	-	1995-2014
	Perquillauquén en Quella	1.995	1975-2014
Purapel en Nirivilo	259	1975-2014	
Itata	Itata en Coelemu	9.943	1995-2014
	Itata en General Cruz	1.822	1975-2014
	Cato en puente Cato	868	1975-2014
	Ñuble en San Fabián	1.709	1975-2014
	Ñuble en La Punilla	1.280	1975-2014
	Diguillín en longitudinal	1.232	1975-2014
	Diguillín en San Lorenzo	162	1975-2014
Biobío	Biobío en desembocadura	21.217	1975-2014
	Biobío en Rucalhue	7.044	1975-2014
	Laja en puente Perales	3.425	1975-2014
	Minínco en longitudinal	416	1975-2014
Imperial	Cautín en Almagro	5.618	1975-2014
	Cautín en Cajón	2.794	1975-2014
	Cautín en Rari-Ruca	1.365	1975-2014
	Quepe en Quepe	1.654	1975-2014
Toltén	Donguil en Gorbea	701	1975-2014
	Toltén en Teodoro Schmidt	3.261	1995-2014
	Toltén en Villarrica	2.880	1975-2014
	Allipén en Los Laureles	1.503	1975-2014
	Curaco en Colico	432	1995-2014
Valdivia	San Pedro en desague Lago Riñihue	4.228	1995-2014
Bueno	Damas en Tacamo	1.250	1995-2014
	Coihueco antes de junta Pichicope	320	1995-2014

*El registro no cuenta con la medición oficial del área de drenaje

5.2.9. Determinación de los caudales anuales

Se calcularon los valores anuales para los caudales promedio, máximo y mínimo. El caudal promedio anual se obtuvo como la media aritmética entre los caudales promedio mensuales de un determinado año; el caudal máximo anual fue equivalente al caudal máximo mensual más alto de un año determinado; por último, el caudal mínimo anual fue equivalente al caudal mínimo mensual más bajo de un año determinado. El cálculo de los valores anuales se realizó con los doce meses de las series de datos de cada estación, siempre y cuando el respectivo año contara con al menos nueve meses de información; de lo contrario, se omitió dicho cálculo. Este cálculo se realizó para todos los periodos, lo que involucró la incorporación de 126 series adicionales en el periodo 1995-2014 (3 series de caudales para 42 cuencas), 93 en el periodo 1975-1994 (3 series de caudales para 31 cuencas) y 93 en el periodo 1975-2014 (3 series de caudales para 31 cuencas). De esta manera, el número total de series analizadas, tanto para los caudales promedios, máximos y mínimos, para los tres periodos contemplados, y tanto a nivel mensual como anual, asciende a 2.496.

5.2.10. Análisis de tendencias en los caudales

Se analizó la existencia de tendencias en los datos de caudales para cada estación fluviométrica, por medio de la Prueba de Tendencia de Mann-Kendall. Para esto, se calculó el valor Z de cada serie mediante la siguiente expresión:

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{si } S > 0 \\ 0 & \text{si } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{si } S < 0 \end{cases}$$

Donde S corresponde al estadístico S de Mann-Kendall, el cual se obtiene con la siguiente expresión:

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

Donde x_j y x_k son los datos de los años j y k respectivamente, con $j > k$; la función $\text{sgn}(x_j - x_k)$ se describe como:

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

Una vez obtenido el estadístico S , es necesario calcular el valor de su varianza. Salmi *et al* (2002) advierten que cuando existen datos idénticos y $n \geq 10$, la validez de la distribución normal puede verse reducida. Por tanto, para calcular la varianza del estadístico S proponen utilizar la siguiente expresión:

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

Donde q es la cantidad de números p que presentan valores repetidos y t_p es la frecuencia de dicho número p .

El valor Z es un valor estandarizado de la Distribución de Probabilidad Normal de Gauss. Su signo implica que la tendencia es creciente cuando este es positivo; o decreciente cuando es negativo. Por

último, se evalúa si la tendencia es estadísticamente significativa por medio del test de hipótesis que define a la hipótesis nula como H_0 : *existe un ordenamiento aleatorio de los datos*; mientras que la hipótesis alternativa se define como H_1 : *existe una tendencia monótona*. La decisión de rechazar o no la hipótesis nula H_0 depende en primer lugar del nivel de significancia α a utilizar, el cual se define como la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando ésta es verdadera, lo que se conoce como error tipo I. Se suele utilizar un valor α igual a 0,1; 0,05; 0,01 o 0,001, los cuales equivalen respectivamente, a valores $Z_{1-\alpha/2}$ iguales a $\pm 1,65$, $\pm 1,96$, $\pm 2,58$ y $\pm 3,89$ en la distribución normal estandarizada (Figura 9). La decisión de escoger un valor más bajo implica disminuir la zona de rechazo en la distribución, haciendo la prueba más estricta para rechazar la hipótesis nula. Sin embargo, esto también aumenta la probabilidad de no rechazar la hipótesis nula cuando ésta es falsa, lo que se conoce como error tipo II.

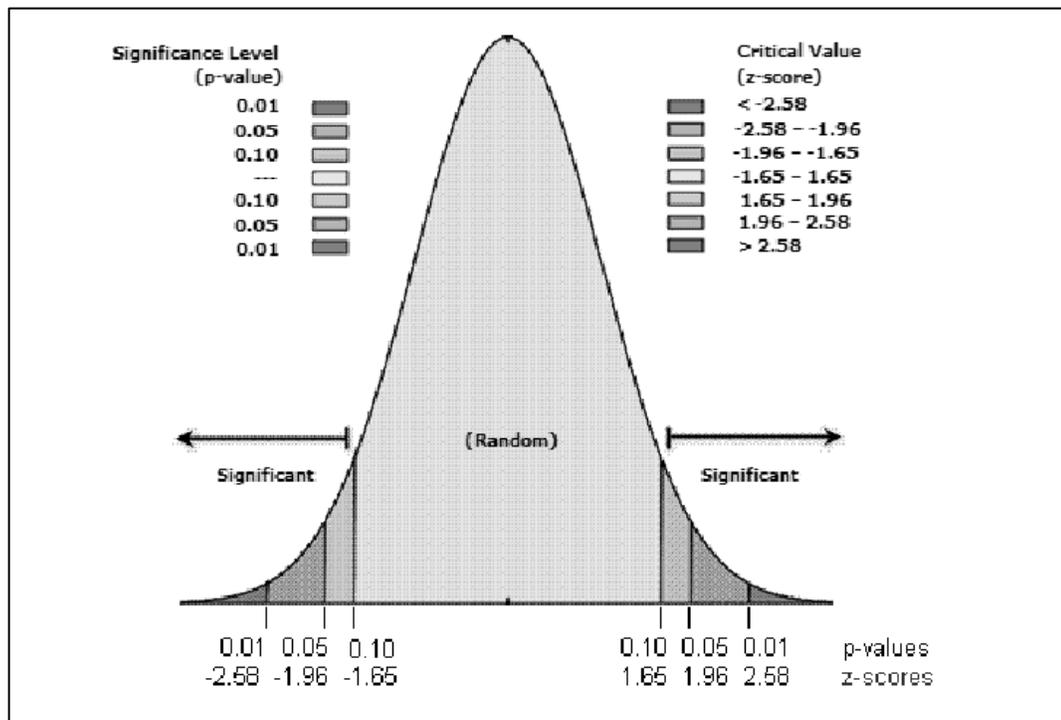


Figura 9. Distribución Normal Estandarizada.

Para facilitar todo este proceso, se utilizó la aplicación para Excel “MAKESENS” (*Mann-Kendall test for trend and Sen’s slope estimates*), la cual fue programada por el Finnish Meteorological Institute, Finlandia (Disponible en <http://en.ilmatieteenlaitos.fi/makesens>). Esta aplicación facilita el análisis para varias series de datos de manera simultánea, siempre y cuando éstas contengan datos que puedan ser ordenados de forma anual (por ejemplo: la serie de datos del mes de abril para una determinada estación corresponden a uno por año). Este programa evalúa si los resultados son significativos para $\text{valores-}p < 0,1$ (o $Z_{1-\alpha/2} \pm 1,65$). Este análisis de tendencias se realizó a nivel mensual y anual, en caudales medios, máximos y mínimos, en las 42 cuencas en estudio.

5.2.11. Análisis gráfico entre los valores Z y las coberturas vegetacionales

Para un primer análisis visual sobre la relación entre la cubierta vegetal y la tendencia en la producción de agua, se realizaron gráficos de dispersión para cada tipo de caudal (promedio, máximo y mínimo) y vegetación (bosque nativo, plantación forestal y cultivo agrícola), esto a nivel mensual y anual, utilizando las tendencias del periodo 1995-2014, ya que la información de cubierta vegetal se consideró válida sólo para este periodo. En cada uno de los gráficos, el porcentaje de cubierta vegetal es la variable explicativa (independiente) y el valor- Z de Mann-Kendall la variable respuesta (dependiente). De esta manera, se realizaron en total 72 gráficos de dispersión (3 series de caudales, para 7 meses y 1 dato anual, para 3 tipos de vegetación).

5.2.12. Análisis de correlación

Se correlacionaron los valores Z de las tendencias en los caudales con el porcentaje de cubierta vegetal, cuantificando la relación numéricamente mediante los Coeficientes de correlación lineal r de Pearson, y por rangos τ de Kendall, tanto en los caudales promedios, máximos y mínimos; y para las cubiertas de bosque nativo, plantación forestal y cultivo agrícola.

El Coeficiente de Correlación r de Pearson se obtuvo usando la siguiente expresión del método de los mínimos cuadrados (Canavos, 1988):

$$r = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_x^2 S_y^2}}$$

Donde r es el Coeficiente de correlación de Pearson, S_{xy} es la covarianza entre las variables x e y ; y S_x^2 y S_y^2 son las varianzas muestrales de las variables x e y , respectivamente.

Para el cálculo del Coeficiente de Correlación τ de Kendall, se utilizó la siguiente expresión (Laurencelle, 2009)

$$\tau = \frac{2(C - D)}{\sqrt{n(n-1) - \sum T_x(T_x - 1) * n(n-1) \sum T_y(T_y - 1)}}$$

Donde C y D son los pares concordantes y discordantes, respectivamente, n es el tamaño de la muestra, y T_x y T_y son el número de “empates” (datos con el mismo valor) en las variables x e y , respectivamente.

Para facilitar este proceso, se calcularon ambos coeficientes con el software STATGRAPHICS CENTURION XV. En cuanto al nivel de

significancia α , este programa utiliza en ambos coeficientes un valor de 0,05.

5.2.13. Presentación y análisis de los resultados

Se incorporaron los resultados de las tendencias en los caudales por medio de tablas y se realizaron gráficos de barra para resumir la información y facilitar su posterior análisis.

Posteriormente, se incorporaron las tablas resultantes de los análisis de correlación entre las tendencias y los porcentajes de cubierta para cada tipo de vegetación. Además, se incorporan los 72 gráficos de dispersión para cada correlación. Por último, se resumen estos resultados en gráficos de barra para facilitar su análisis.

5.2.14. Conclusiones y recomendaciones

Por último, para el cumplimiento de los objetivos planteados al inicio de la investigación, se describen las conclusiones obtenidas por todo el proceso investigativo y sus resultados obtenidos, así como la interpretación de éstos. Por último, se sugieren recomendaciones que aporten a la realización de futuras investigaciones en torno a la relación de la vegetación y el proceso precipitación-escorrentía, en la zona centro sur de Chile.

6. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

6.1. Tendencias en los Caudales

Se presentan a continuación los valores Z obtenidos de la prueba de Mann-Kendall aplicada a las series mensuales y anuales de caudales medios, máximos y mínimos en las Tablas 4, 5 y 6, respectivamente. Las celdas coloreadas indican los valores estadísticamente significativos, para los niveles α según la aplicación MAKESENS, en el siguiente código.

-  : Significativo para un nivel de significancia $\alpha=0,1$.
-  : Significativo para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.
-  : Significativo para un nivel de significancia $\alpha=0,01$.
-  : Significativo para un nivel de significancia $\alpha=0,001$.

Tabla 4. Valores Z de los caudales medios, mensuales y anuales.

Estación	Abril			Mayo			Junio			Julio		
	75°-94'	95°-14'	75°-14'	75°-94'	95°-14'	75°-14'	75°-94'	95°-14'	75°-14'	75°-94'	95°-14'	75°-14'
Claro en Hacienda Las Nieves	0,91	-2,73	-2,05	1,68	0,14	-0,23	0,91	-0,70	-0,13	-0,12	-0,84	-1,24
Claro en El Valle	1,89	-0,45	-0,26	2,03	0,70	0,18	0,07	-0,77	-0,20	-0,61	-1,44	-1,54
Tinguiririca bajo Briones	2,57	-1,61	-0,65	0,88	0,00	-0,51	0,43	-1,19	0,44	-1,04	-0,77	-1,70
Mataquito en Licantén	s/i	-1,78	s/i	s/i	0,10	s/i	s/i	-0,88	s/i	s/i	-0,49	s/i
Teno después de junta con Claro	0,56	-1,96	-2,04	1,01	-0,42	-1,21	0,75	-1,96	-0,34	-0,10	-1,47	-1,98
Teno en quebrada Infiernillo	s/i	-1,47	s/i	s/i	-0,14	s/i	s/i	-1,52	s/i	s/i	-1,65	s/i
Claro en Los Queñes	1,27	-1,61	-1,04	-0,03	0,16	-1,97	-1,59	-1,33	-2,18	-1,78	-0,68	-2,78
Upeo en Upeo	1,91	-1,65	-1,08	0,81	0,10	-1,18	-0,10	-1,91	-1,08	0,00	-1,01	-1,55
Palos en junta con Colorado	-0,49	-1,89	-1,91	0,28	-0,75	-1,35	-0,21	-1,89	-0,88	-1,05	-1,78	-2,40
Colorado en junta con Palos	-0,29	-2,38	-1,91	-0,16	-1,20	-1,11	0,35	-1,85	-0,34	-0,35	-1,20	-1,91
Maule en Forel	s/i	-0,10	s/i	s/i	0,28	s/i	s/i	-0,68	s/i	s/i	-0,62	s/i
Maule en longitudinal	3,03	-0,29	2,44	0,00	0,36	-0,34	-0,91	-1,40	-1,86	-1,12	-2,04	-2,30
Lircay en puente Las Rastras	-0,14	0,75	-0,48	0,28	2,11	-0,10	0,00	0,00	0,95	-1,82	0,21	-1,68
Loncomilla en Las Brisas	1,40	-1,01	-0,70	0,14	0,55	-1,55	0,62	-0,62	-0,08	-0,03	0,10	-1,29
Loncomilla en Bodega	1,27	-2,11	-1,18	0,49	-1,07	-2,34	0,98	-1,26	-0,51	0,00	0,45	-0,94
Achibueno en La Recova	s/i	-1,33	s/i	s/i	0,36	s/i	s/i	-1,33	s/i	s/i	0,00	s/i
Cauquenes en desembocadura	s/i	1,01	s/i	s/i	0,88	s/i	s/i	-0,56	s/i	s/i	-0,83	s/i
Perquillauquén en Quella	0,88	0,55	0,57	0,75	0,42	-0,92	0,42	-0,77	-0,07	-1,01	-0,03	-2,39
Purapel en Nirivilo	0,49	-0,21	-1,58	0,91	1,14	-0,80	0,21	0,37	0,00	-1,20	0,59	-1,73
Itata en Coelemu	s/i	-1,06	s/i	s/i	-0,68	s/i	s/i	-1,14	s/i	s/i	-0,75	s/i
Itata en General Cruz	1,21	0,53	0,37	0,91	1,59	-0,48	0,70	-1,07	-0,41	-0,49	-0,42	-1,48
Cato en puente Cato	1,12	-1,40	-0,19	0,88	0,23	-0,94	0,53	-0,81	-0,23	-1,05	0,16	-1,74
Ñuble en San Fabián	1,52	-2,11	-1,25	0,23	-0,03	-1,46	0,29	-1,12	-0,80	-1,33	0,28	-1,67
Ñuble en La Punilla	1,85	-3,08	-1,67	0,49	-0,29	-1,27	0,28	-1,46	-0,41	-0,55	-0,42	-0,90
Diguillín en longitudinal	1,58	-1,33	-0,23	0,89	-1,01	-1,70	0,49	-1,14	-0,60	0,00	-1,33	-1,62
Diguillín en San Lorenzo	1,46	-1,52	-0,52	0,23	0,36	-1,39	0,03	-1,01	-0,29	-1,14	0,49	-1,18
Biobío en desembocadura	1,09	-0,08	0,00	0,89	0,68	-0,76	0,00	-1,01	-1,68	0,30	-0,62	-1,11
Biobío en Rucalhue	1,14	0,00	0,18	0,29	0,61	-1,58	0,42	-1,05	-1,16	-0,42	-0,35	-1,44
Laja en puente Perales	1,91	-2,24	-0,63	0,42	-0,91	-1,74	-0,10	-1,96	-1,79	-1,59	-1,33	-2,81
Minínco en longitudinal	1,07	-0,10	-0,01	0,42	0,62	-1,62	0,49	-0,81	-1,32	-0,68	-0,68	-1,95
Cautín en Almagro	1,40	-0,68	0,20	0,16	0,62	-1,64	0,81	0,03	-0,48	-0,55	-0,10	-0,97
Cautín en Cajón	0,30	-1,01	-0,78	0,21	-0,10	-2,15	0,23	-0,94	-1,06	-0,49	-0,42	-1,50
Cautín en Rari-Ruca	0,91	-1,89	-0,83	0,42	0,07	-1,58	0,56	-1,01	-0,87	-0,12	-0,10	-0,98
Quepe en Quepe	0,36	-1,33	-0,80	0,62	-0,23	-1,53	-0,03	-0,81	-0,62	-0,29	-0,88	-1,01
Toltén en Teodoro Schmidt	s/i	-0,49	s/i	s/i	0,03	s/i	s/i	-0,42	s/i	s/i	-0,68	s/i
Toltén en Villarrica	0,10	0,23	-0,45	0,23	-0,14	-1,57	0,29	0,03	-0,80	-0,88	-0,29	-1,29
Donguil en Gorbea	0,88	-0,75	-0,41	0,28	0,49	-1,38	0,00	-0,81	-0,34	-1,40	-0,68	-1,43
Allipén en Los Laureles	0,16	-1,27	-1,67	0,03	0,28	-2,01	-0,16	-0,81	-1,27	-0,36	-0,42	-1,39
Curaco en Colico	s/i	0,00	s/i	s/i	-0,21	s/i	s/i	-0,21	s/i	s/i	-0,45	s/i
San Pedro en desagüe Lago Riñihue	s/i	0,03	s/i	s/i	-0,10	s/i	s/i	0,00	s/i	s/i	-0,29	s/i
Damas en Tacamo	s/i	-0,36	s/i	s/i	0,88	s/i	s/i	0,68	s/i	s/i	0,84	s/i
Coihúeco antes de junta Pichicope	s/i	-0,16	s/i	s/i	0,75	s/i	s/i	0,75	s/i	s/i	-0,14	s/i

75°-94': Periodo 1975-1994 95°-14': Periodo 1995-2014 75°-14': Periodo 1975-2014 s/i: sin información para el periodo total.

Continuación de la Tabla 4.

Estación	Agosto			Septiembre			Octubre			Anual		
	75°-94'	95°-14'	75°-14'	75°-94'	95°-14'	75°-14'	75°-94'	95°-14'	75°-14'	75°-94'	95°-14'	75°-14'
Claro en Hacienda Las Nieves	0,00	-0,75	-0,75	0,53	-1,40	-0,35	-0,63	-1,20	-1,94	0,91	-0,98	-0,83
Claro en El Valle	-0,88	-0,77	-0,70	-0,23	-1,82	-0,02	-0,88	-2,03	-2,15	-0,76	-1,11	-1,05
Tinguiririca bajo Briones	-0,11	-0,28	-0,17	0,20	-1,75	-0,47	-0,32	-1,47	-1,36	-0,43	-2,31	-1,86
Mataquito en Licantén	s/i	-0,94	s/i	s/i	-1,20	s/i	s/i	-1,46	s/i	s/i	-1,46	s/i
Teno después de junta con Claro	-0,88	-0,35	-0,68	-0,03	-1,26	0,60	-0,81	-1,14	-0,68	-0,81	-1,75	-1,77
Teno en quebrada Infiernillo	s/i	-1,14	s/i	s/i	-1,78	s/i	s/i	-1,07	s/i	s/i	-1,91	s/i
Claro en Los Queñes	-2,37	-0,77	-2,03	-1,65	-1,75	-1,28	-2,11	-1,07	-2,37	-2,69	-1,65	-3,41
Upeo en Upeo	-0,42	-0,62	0,06	0,55	-1,01	0,80	-1,07	-1,29	-1,89	-0,62	-1,46	-1,81
Palos en junta con Colorado	-0,21	-1,12	-0,75	-0,15	-2,04	-0,88	-0,28	-2,17	-1,62	-1,26	-1,75	-2,06
Colorado en junta con Palos	-0,91	-0,55	-0,75	0,21	-1,46	0,34	0,63	-0,36	0,12	-0,28	-1,61	-1,21
Maule en Forel	s/i	0,16	s/i	s/i	-1,07	s/i	s/i	-1,47	s/i	s/i	-0,42	s/i
Maule en longitudinal	0,04	-1,52	-0,98	-0,23	-1,85	-1,94	-1,59	-1,85	-2,72	-1,69	-1,98	-2,47
Lircay en puente Las Rastras	-1,33	0,84	0,40	0,00	1,27	2,20	-0,21	1,59	2,18	-0,98	1,33	0,51
Loncomilla en Las Brisas	-0,35	1,20	0,75	-0,45	-0,21	-0,69	-1,96	-0,75	-2,32	-0,98	-0,16	-1,89
Loncomilla en Bodega	-0,55	0,00	-0,10	0,10	-0,68	-0,60	-1,40	-1,12	-2,25	0,00	-1,05	-2,06
Achibueno en La Recova	s/i	0,55	s/i	s/i	-1,01	s/i	s/i	-0,42	s/i	s/i	-0,42	s/i
Cauquenes en desembocadura	s/i	0,42	s/i	s/i	-0,56	s/i	s/i	-0,84	s/i	s/i	-0,49	s/i
Perquillauquén en Quella	-0,29	0,23	1,01	0,68	-0,28	0,41	-0,88	0,00	-0,82	-0,10	-0,55	-1,32
Purapel en Nirivilo	-0,36	0,70	0,01	-0,03	-1,13	-0,50	-1,20	-0,77	-2,55	0,00	0,54	-0,34
Itata en Coelemu	s/i	0,00	s/i	s/i	-1,07	s/i	s/i	-0,88	s/i	s/i	-0,88	s/i
Itata en General Cruz	0,45	0,53	1,38	1,33	-0,42	0,73	0,10	-0,75	-1,43	-0,59	-0,91	-2,13
Cato en puente Cato	-0,36	0,63	0,56	0,75	-0,28	0,77	-0,94	-0,21	-1,38	-0,36	-0,42	-1,11
Ñuble en San Fabián	-0,68	-0,56	0,12	0,03	-0,68	-0,23	-0,88	-0,49	-1,57	-0,88	-0,77	-2,35
Ñuble en La Punilla	0,30	-0,63	0,38	-0,42	-1,40	-1,11	-1,52	-1,05	-2,23	-0,62	-1,54	-1,94
Diguillín en longitudinal	-0,49	-0,16	0,28	-0,59	-0,81	-0,48	-0,79	-1,07	-2,24	0,00	-1,20	-1,56
Diguillín en San Lorenzo	-0,68	0,55	1,08	-0,75	0,03	-0,22	-1,40	-0,42	-1,29	-1,20	-0,36	-1,67
Biobío en desembocadura	0,59	-0,16	0,82	1,48	-0,70	1,30	-1,58	-0,70	-1,22	0,00	0,30	-0,05
Biobío en Rucalhue	-0,10	-0,45	-0,43	0,55	-0,91	-0,30	-0,75	-1,14	-1,81	-0,29	-0,91	-2,04
Laja en puente Perales	-1,78	-0,70	-1,02	-1,91	-1,59	-2,10	-1,46	-1,89	-3,34	-1,40	-1,97	-3,42
Minínco en longitudinal	-0,16	-0,23	0,31	1,01	-0,16	0,80	-0,49	-0,68	-1,83	-0,10	-0,94	-2,13
Cautín en Almagro	-1,33	1,40	-0,10	1,07	0,23	0,83	-0,29	-0,23	-1,95	-0,03	-0,10	-1,67
Cautín en Cajón	-0,42	0,75	0,31	1,14	-0,55	0,58	0,03	-1,07	-2,02	-0,28	-1,20	-2,52
Cautín en Rari-Ruca	-0,29	0,68	0,61	0,15	-0,23	-0,13	-0,14	-0,68	-1,57	0,00	-0,75	-1,91
Quepe en Quepe	-0,23	0,49	0,68	1,27	-0,14	1,33	-0,23	-0,56	-1,57	-0,10	-1,07	-1,48
Toltén en Teodoro Schmidt	s/i	0,23	s/i	s/i	-0,36	s/i	s/i	-1,14	s/i	s/i	-0,81	s/i
Toltén en Villarrica	-1,14	-0,10	-0,97	0,10	-0,16	0,38	-0,75	-1,19	-1,55	-1,07	-0,16	-1,64
Donguil en Gorbea	-0,35	1,20	1,09	0,14	0,00	1,71	-0,42	-0,49	-1,11	-0,42	-0,91	-0,91
Allipén en Los Laureles	-0,10	-0,16	0,01	0,36	-0,94	0,13	-0,36	-0,81	-1,62	-0,29	-1,14	-2,25
Curaco en Colico	s/i	0,62	s/i	s/i	-0,77	s/i	s/i	-0,49	s/i	s/i	0,49	s/i
San Pedro en desagüe Lago Riñihue	s/i	0,03	s/i	s/i	-0,03	s/i	s/i	-1,33	s/i	s/i	-0,94	s/i
Damas en Tacamo	s/i	0,16	s/i	s/i	1,46	s/i	s/i	-0,55	s/i	s/i	0,03	s/i
Coihueco antes de junta Pichicope	s/i	-0,84	s/i	s/i	0,07	s/i	s/i	-0,75	s/i	s/i	-0,49	s/i

75°-94': Periodo 1975-1994 95°-14': Periodo 1995-2014 75°-14': Periodo 1975-2014 s/i: sin información para el periodo total.

Tabla 5. Resumen de los resultados para las series mensuales de los caudales medios.

Periodo	1975-1994	1995-2014	1975-2014
Tendencias Positivas	104 (47,9%)	70 (238%)	43 (19,8%)
Tendencias Negativas	104 (47,9%)	214 (72,8%)	172 (79,3%)
Tendencias Positivas Significativas	8 (3,7%)	1 (0,3%)	4 (1,8%)
Tendencias Negativas Significativas	8 (3,7%)	29 (9,9%)	47 (21,7%)
Sin Tendencias	9 (4,1%)	10 (3,4%)	2 (0,9%)
Total	217	294	217

Los resultados del análisis de tendencias de los caudales medios mensuales, en el periodo 1995-2014, no revelan la existencia de una cantidad importante de tendencias negativas significativas en las cuencas estudiadas, por lo que no habría fundamento de que los caudales medios estén disminuyendo en la zona de estudio, y menos aún que esto tenga alguna relación con la vegetación. Al analizar los meses por separado, las tendencias negativas significativas se concentraron principalmente en el mes de abril, aunque porcentualmente continuaron siendo bajas (26,2%), por lo que tampoco se podría establecer una tendencia para un determinado mes. Los análisis de los periodos 1975-1994 y 1975-2014 tampoco mostraron una cantidad importante de casos significativos. Pese a la influencia lluviosa de la década de los 80's, se esperaría que fuesen mayores las tendencias positivas en el periodo 1975-1994 por el aumento de las precipitaciones; y que fuesen mayores las tendencias negativas en el periodo 1975-2014, por la disminución de las precipitaciones desde esa década.

Tabla 6. Resumen de los resultados para las series anuales de los caudales medios.

Periodo	1975-1994	1995-2014	1975-2014
Tendencias Positivas	1 (3,2%)	5 (11,9%)	1 (3,2%)
Tendencias Negativas	25 (80,6%)	37 (88,1%)	30 (96,8%)
Tendencias Positivas Significativas	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Tendencias Negativas Significativas	2 (6,5%)	7 (18,9%)	19 (61,3%)
Sin Tendencias	5 (16,1%)	0 (0%)	0 (0%)
Total	31	42	31

En cuanto a los resultados de los caudales medios anuales, el periodo de 1995-2014 no mostró una cantidad importante de cifras significativas. Sin embargo, resaltan los resultados del periodo 1975-2014, durante el cual las cifras negativas significativas superaron el 50% de los casos, lo que podría ser explicado como una manifestación de la disminución progresiva de las precipitaciones desde la década de los 80's.

Tabla 7. Valores Z de los caudales máximos, mensuales y anuales.

Estación	Abril			Mayo			Junio			Julio		
	75°-94°	95°-14°	75°-14°	75°-94°	95°-14°	75°-14°	75°-94°	95°-14°	75°-14°	75°-94°	95°-14°	75°-14°
Claro en Hacienda Las Nieves	1,96	-1,52	-0,77	2,03	1,05	0,43	0,07	-0,77	0,25	-0,12	-0,28	-1,32
Claro en El Valle	1,67	-0,91	-0,72	2,03	0,84	0,30	0,00	-0,63	0,33	-1,14	-0,76	-1,78
Tinguiririca bajo Briones	s/i	-1,61	s/i	s/i	1,12	s/i	s/i	-1,05	s/i	s/i	0,35	s/i
Mataquito en Licantén	s/i	-2,45	s/i	s/i	0,03	s/i	s/i	-0,62	s/i	s/i	0,00	s/i
Teno después de junta con Claro	1,40	-2,58	-0,80	0,36	0,61	-0,25	-0,10	-1,82	-0,03	-0,49	-0,98	-1,03
Teno en quebrada Infiernillo	s/i	-1,89	s/i	s/i	-0,35	s/i	s/i	-2,17	s/i	s/i	0,38	s/i
Claro en Los Queñes	s/i	-1,97	s/i	s/i	0,07	s/i	s/i	-1,89	s/i	s/i	-1,05	s/i
Upeo en Upeo	0,45	-1,82	-2,09	0,00	0,68	-1,07	-0,59	-1,85	-0,40	-0,10	-0,36	-1,14
Palos en junta con Colorado	1,05	-2,35	-0,94	0,70	0,00	-0,51	-1,09	-2,37	-0,50	-0,98	-0,91	-1,79
Colorado en junta con Palos	1,52	-2,94	-1,38	0,68	-0,29	-0,50	0,00	-1,85	0,60	-0,77	-0,36	-1,72
Maule en Forel	s/i	-0,14	s/i	s/i	0,61	s/i	s/i	-1,52	s/i	s/i	-0,61	s/i
Maule en longitudinal	1,74	-1,75	1,09	-0,56	-1,33	-2,32	-0,35	-1,40	-2,40	-1,47	-2,34	-3,45
Lircay en puente Las Rastras	1,05	-0,42	-0,31	1,05	1,40	-0,02	-0,21	-1,40	0,98	-1,97	0,21	-1,29
Loncomilla en Las Brisas	s/i	-0,94	s/i	s/i	0,36	s/i	s/i	-0,94	s/i	s/i	0,10	s/i
Loncomilla en Bodega	1,91	-1,85	-0,57	0,62	-0,29	-1,41	1,61	-0,55	0,17	0,61	0,45	-0,40
Achibueno en La Recova	s/i	-1,68	s/i	s/i	-0,42	s/i	s/i	-1,78	s/i	s/i	0,23	s/i
Cauquenes en desembocadura	s/i	1,04	s/i	s/i	0,49	s/i	s/i	-0,77	s/i	s/i	-0,76	s/i
Perquilauquén en Quella	1,40	-0,03	0,29	0,75	0,16	-0,59	0,42	-0,88	-0,57	-1,20	0,70	-2,52
Purapel en Nirivilo	2,24	-0,56	-0,20	1,14	0,83	-0,23	0,23	1,11	1,16	-0,98	0,77	-1,16
Itata en Coelemu	s/i	-2,47	s/i	s/i	-0,81	s/i	s/i	-0,70	s/i	s/i	-0,07	s/i
Itata en General Cruz	1,67	-1,52	-0,07	1,52	0,98	0,29	1,65	-1,33	0,62	0,08	-0,10	-0,30
Cato en puente Cato	1,54	-1,65	-0,39	0,75	0,16	-0,41	1,51	0,00	0,13	-0,15	0,29	-1,41
Ñuble en San Fabián	0,83	-1,91	-1,58	0,61	0,10	-0,68	0,70	-0,84	-0,13	-0,37	0,56	-0,89
Ñuble en La Punilla	1,85	-2,38	-1,94	0,62	0,10	-0,52	0,14	-1,52	0,63	-0,40	-0,29	0,06
Diguillín en longitudinal	1,78	-2,66	-0,80	0,00	0,00	-0,82	1,19	-1,20	0,51	-0,55	-1,07	-1,39
Diguillín en San Lorenzo	1,40	-1,46	-0,27	-0,16	0,23	-0,71	0,16	-0,81	0,34	-0,81	0,03	-1,00
Biobío en desembocadura	1,88	-0,45	-0,02	0,10	0,15	-1,01	0,59	-1,65	-1,76	0,69	-0,42	-0,43
Biobío en Rucalhue	1,36	-0,68	0,26	-0,42	0,45	-0,95	1,07	-1,47	-1,04	0,36	-0,91	-0,56
Laja en puente Perales	1,28	-2,58	-1,62	0,00	-0,14	-1,32	1,07	-1,26	-0,05	-0,94	0,00	-1,14
Minínco en longitudinal	1,20	-1,89	-0,19	0,16	0,21	-1,72	0,68	-1,19	-0,82	0,55	-0,68	-2,14
Cautín en Almagro	s/i	-1,01	s/i	s/i	0,68	s/i	s/i	0,29	s/i	s/i	-0,36	s/i
Cautín en Cajón	1,36	-1,27	-0,43	-0,14	-0,03	-1,89	1,98	-0,81	0,03	0,42	-0,49	-0,66
Cautín en Rari-Ruca	0,62	-1,33	-0,50	-0,87	0,56	-1,32	2,05	-0,49	0,48	-1,88	-0,29	-0,43
Quepe en Quepe	0,45	-2,17	-1,69	-0,45	-0,75	-2,51	0,39	-1,07	-0,88	0,07	-1,46	-1,33
Toltén en Teodoro Schmidt	s/i	-1,17	s/i	s/i	0,62	s/i	s/i	-0,52	s/i	s/i	-0,39	s/i
Toltén en Villarrica	-0,23	-0,42	-0,52	-0,18	0,56	-0,87	-0,77	-0,42	-1,14	-1,89	-0,55	-1,11
Donguil en Gorbea	s/i	-1,01	s/i	s/i	0,42	s/i	s/i	-1,33	s/i	s/i	-0,06	s/i
Allipén en Los Laureles	0,70	-1,19	-0,63	-0,63	0,00	-1,40	-1,07	-0,49	-0,68	-0,28	-0,49	-1,06
Curaco en Colico	s/i	0,00	s/i	s/i	1,03	s/i	s/i	-0,16	s/i	s/i	-0,95	s/i
San Pedro en desagüe Lago Riñihue	s/i	-0,10	s/i	s/i	0,03	s/i	s/i	-0,94	s/i	s/i	-0,25	s/i
Damas en Tacamo	s/i	-0,62	s/i	s/i	0,75	s/i	s/i	s/i	s/i	s/i	1,33	s/i
Coihúeco antes de junta Pichicope	s/i	-0,55	s/i	s/i	0,16	s/i	s/i	1,14	s/i	s/i	0,28	s/i

75°-94°: Periodo 1975-1994 95°-14°: Periodo 1995-2014 75°-14°: Periodo 1975-2014 s/i: sin información para el periodo total.

(Continuación de la Tabla 7)

Estación	Agosto			Septiembre			Octubre			Anual		
	75°-94°	95°-14°	75°-14°	75°-94°	95°-14°	75°-14°	75°-94°	95°-14°	75°-14°	75°-94°	95°-14°	75°-14°
Claro en Hacienda Las Nieves	0,38	-0,03	0,08	0,61	-0,55	0,93	-0,84	0,03	-1,20	0,68	0,76	-0,18
Claro en El Valle	-0,29	-0,70	-0,24	-0,81	-1,19	-0,19	-1,59	-1,12	-1,40	-0,98	-0,54	-1,36
Tinguiririca bajo Briones	s/i	0,21	s/i	s/i	-0,49	s/i	s/i	-1,33	s/i	s/i	0,00	s/i
Mataquito en Licantén	s/i	-0,36	s/i	s/i	-0,36	s/i	s/i	-0,75	s/i	s/i	-0,55	s/i
Teno después de junta con Claro	-0,14	0,28	0,50	0,42	-0,49	1,43	-0,94	0,76	-0,10	-0,23	-0,76	0,40
Teno en quebrada Infiernillo	s/i	-0,29	s/i	s/i	-0,81	s/i	s/i	-0,94	s/i	s/i	-1,72	s/i
Claro en Los Queñes	s/i	-0,38	s/i	s/i	-1,67	s/i	s/i	-1,44	s/i	s/i	-1,89	s/i
Upeo en Upeo	-0,79	0,03	0,60	-0,32	-0,68	0,20	-0,59	-0,04	-0,85	0,30	-1,14	-0,45
Palos en junta con Colorado	0,14	-0,14	0,50	0,08	-1,78	-0,08	-0,39	-1,33	-0,54	-0,49	-0,91	-0,80
Colorado en junta con Palos	0,91	0,23	1,04	0,63	-0,88	0,92	0,28	0,49	0,10	0,84	-0,91	0,68
Maule en Forel	s/i	0,08	s/i	s/i	-1,67	s/i	s/i	-0,76	s/i	s/i	-1,36	s/i
Maule en longitudinal	-0,54	-1,78	-1,40	-1,06	-1,40	-2,01	-2,12	-1,88	-3,28	-1,85	-1,65	-3,13
Lircay en puente Las Rastras	-0,56	1,26	1,08	-0,21	0,68	0,97	-0,14	1,40	0,94	-0,35	-0,10	-0,17
Loncomilla en Las Brisas	s/i	0,68	s/i	s/i	-0,42	s/i	s/i	0,75	s/i	s/i	-0,36	s/i
Loncomilla en Bodega	0,42	0,35	1,19	0,36	-0,56	-0,60	-1,46	-0,28	-1,86	1,82	-0,62	-0,65
Achibueno en La Recova	s/i	1,07	s/i	s/i	-0,36	s/i	s/i	0,10	s/i	s/i	-0,56	s/i
Cauquenes en desembocadura	s/i	0,28	s/i	s/i	-0,56	s/i	s/i	-0,63	s/i	s/i	-0,84	s/i
Perquilauquén en Quella	0,10	1,14	1,74	0,68	-0,35	-0,51	-1,20	-0,07	-1,09	0,03	-0,42	-1,95
Purapel en Nirivilo	0,75	0,70	1,66	0,55	-0,95	1,16	-0,42	0,05	-0,94	-0,42	0,04	0,00
Itata en Coelemu	s/i	0,62	s/i	s/i	-0,23	s/i	s/i	-0,49	s/i	s/i	-1,19	s/i
Itata en General Cruz	1,28	0,83	2,81	1,74	-0,21	0,38	0,23	0,16	-0,73	0,32	-1,52	-0,36
Cato en puente Cato	-0,03	0,61	1,61	0,35	-0,45	-0,48	-0,91	-0,08	-1,69	2,37	-0,21	0,73
Ñuble en San Fabián	0,14	0,21	1,38	-0,04	-0,30	-0,28	-0,56	0,21	-1,33	1,03	0,21	-0,72
Ñuble en La Punilla	-0,55	-0,70	0,98	0,53	-0,35	0,00	-0,91	-0,42	-2,13	0,64	-0,21	0,52
Diguillín en longitudinal	0,33	0,23	1,57	0,66	-0,68	-0,53	-1,20	0,03	-1,36	1,58	-1,54	-0,61
Diguillín en San Lorenzo	0,00	0,62	1,69	-0,03	-0,23	0,22	-0,75	0,23	-0,80	0,62	-0,42	-0,38
Biobío en desembocadura	1,58	0,10	1,14	1,78	0,11	0,73	-0,79	-0,21	-1,28	1,88	0,21	0,24
Biobío en Rucalhue	0,36	-1,21	0,58	0,10	-0,53	-0,30	-0,03	-0,68	-2,14	1,56	-0,98	-1,42
Laja en puente Perales	0,10	-0,49	0,65	-0,70	0,15	-0,31	-1,58	-0,30	-2,16	-0,49	0,45	-0,08
Minínco en longitudinal	0,29	-0,23	0,05	1,46	0,54	1,32	0,00	-0,62	-1,50	0,26	0,77	-1,22
Cautín en Almagro	s/i	1,72	s/i	s/i	0,68	s/i	s/i	0,10	s/i	s/i	0,55	s/i
Cautín en Cajón	0,10	0,42	1,29	0,81	-0,10	0,50	0,49	-0,68	-1,97	1,74	-0,16	-0,98
Cautín en Rari-Ruca	-0,05	0,29	1,46	-0,45	0,29	-0,08	0,77	-0,42	-1,52	-0,29	-0,42	-1,32
Quepe en Quepe	0,28	-0,70	-0,03	0,70	-0,84	0,18	-0,35	-1,54	-2,24	0,23	-0,88	-1,18
Toltén en Teodoro Schmidt	s/i	0,19	s/i	s/i	0,00	s/i	s/i	-0,36	s/i	s/i	0,00	s/i
Toltén en Villarrica	-1,40	0,10	-0,19	1,07	-0,10	0,66	-0,58	-0,35	-1,03	-2,03	-0,03	-0,31
Donguil en Gorbea	s/i	1,46	s/i	s/i	0,07	s/i	s/i	-0,28	s/i	s/i	0,00	s/i
Allipén en Los Laureles	-0,16	-0,88	0,64	0,55	-0,35	0,24	0,03	-0,56	-1,98	-1,82	-0,56	-1,13
Curaco en Colico	s/i	0,04	s/i	s/i	-0,99	s/i	s/i	-0,40	s/i	s/i	-1,48	s/i
San Pedro en desagüe Lago Riñihue	s/i	0,23	s/i	s/i	0,03	s/i	s/i	-0,29	s/i	s/i	-0,88	s/i
Damas en Tacamo	s/i	1,07	s/i	s/i	0,94	s/i	s/i	-0,55	s/i	s/i	0,75	s/i
Coihúeco antes de junta Pichicope	s/i	0,14	s/i	s/i	0,07	s/i	s/i	0,29	s/i	s/i	0,55	s/i

75°-94°: Periodo 1975-1994

95°-14°: Periodo 1995-2014

75°-14°: Periodo 1975-2014

s/i: sin información para el periodo total.

Tabla 8. Resumen de los resultados para las series mensuales de los caudales máximos.

Periodo	1975-1994	1995-2014	1975-2014
Tendencias Positivas	102 (56,0%)	100 (34,0%)	58 (31,9%)
Tendencias Negativas	73 (40,1%)	186 (63,3%)	123 (67,6%)
Tendencias Positivas Significativas	16 (8,8%)	1 (0,3%)	4 (2,2%)
Tendencias Negativas Significativas	4 (2,2%)	32 (10,9%)	25 (13,7%)
Sin Tendencias	7 (3,8%)	8 (2,7%)	1 (0,6%)
Total	182	294	182

Los resultados del análisis de tendencias de los caudales máximos mensuales en el periodo 1995-2014 tampoco revela la existencia de una cantidad importante de tendencias negativas significativas, por lo que tampoco existiría evidencia de una disminución de los caudales máximos en la zona de estudio. El análisis de los meses por separado, reveló que la mayor cantidad de tendencias negativas significativas se concentró en abril, durante el cual alcanzaron el 42,9% de las estaciones, lo que tampoco permite generalizar esta tendencia a toda la zona centro sur. Los análisis de los periodos 1975-1994 y 1975-2014 tampoco mostraron una cantidad importante de casos significativos.

Tabla 9. Resumen de los resultados para las series anuales de los caudales máximos.

Periodo	1975-1994	1995-2014	1975-2014
Tendencias Positivas	16 (61,5%)	9 (21,4%)	5 (19,2%)
Tendencias Negativas	10 (38,5%)	30 (71,4%)	20 (76,9%)
Tendencias Positivas Significativas	4 (15,4%)	0 (0%)	0 (0%)
Tendencias Negativas Significativas	3 (11,5%)	3 (10,0%)	2 (7,7%)
Sin Tendencias	0 (0%)	3 (10,0%)	1 (3,8%)
Total	26	42	26

En cuanto a los resultados de los caudales máximos anuales, el periodo de 1995-2014 no mostró una cantidad importante de cifras significativas; las que tampoco se mostraron en los periodos de 1975-1994 o 1975-2014, por lo que no habría evidencia que corrobore una tendencia general en los caudales máximos anuales de a zona de estudio.

Tabla 10. Valores Z de los caudales mínimos, mensuales y anuales.

Estación	Abril			Mayo			Junio			Julio		
	75°-94°	95°-14°	75°-14°	75°-94°	95°-14°	75°-14°	75°-94°	95°-14°	75°-14°	75°-94°	95°-14°	75°-14°
Claro en Hacienda Las Nieves	0,56	-1,89	-1,82	1,33	-2,66	-2,24	1,47	0,08	-0,30	0,29	-1,19	-0,80
Claro en El Valle	0,00	1,29	0,00	1,47	1,40	-0,52	1,33	0,11	-0,49	0,27	-0,98	-0,65
Tinguiririca bajo Briones	s/i	-1,12	s/i	s/i	-2,52	s/i	s/i	-0,84	s/i	s/i	-1,89	s/i
Mataquito en Licantén	s/i	-0,77	s/i	s/i	-1,82	s/i	s/i	-0,68	s/i	s/i	-0,10	s/i
Teno después de junta con Claro	0,00	-1,54	-2,49	0,88	-2,10	-1,69	1,27	-2,24	-1,23	0,00	-2,45	-2,11
Teno en quebrada Infiernillo	s/i	0,35	s/i	s/i	-0,60	s/i	s/i	-0,94	s/i	s/i	0,00	s/i
Claro en Los Queñes	s/i	-1,25	s/i	s/i	-0,29	s/i	s/i	-0,56	s/i	s/i	-1,26	s/i
Upeo en Upeo	-1,04	1,44	-1,55	-0,77	-1,43	-3,54	-0,30	-0,23	-2,61	-0,59	-0,58	-2,26
Palos en junta con Colorado	-0,70	-1,23	-2,40	-0,63	-1,65	-2,93	0,49	-1,46	-1,84	-0,42	-1,86	-2,07
Colorado en junta con Palos	-2,24	-2,24	-2,08	-2,08	-2,37	-2,70	0,21	-1,46	-1,38	-1,33	-2,17	-2,27
Maule en Forel	s/i	0,21	s/i	s/i	0,61	s/i	s/i	-0,04	s/i	s/i	-0,91	s/i
Maule en longitudinal	1,29	-1,78	-0,68	-0,77	-1,01	-2,35	-0,91	-1,01	-2,35	-1,54	-1,46	-2,71
Lircay en puente Las Rastras	2,49	0,70	2,25	0,21	-0,10	-0,92	-0,28	-0,07	-0,63	-0,49	-0,84	-1,96
Loncomilla en Las Brisas	s/i	0,49	s/i	s/i	-0,26	s/i	s/i	0,36	s/i	s/i	0,29	s/i
Loncomilla en Bodega	0,52	-0,98	-1,27	-0,10	-1,82	-2,29	0,98	-0,42	-1,38	-0,61	-0,62	-2,44
Achibueno en La Recova	s/i	0,00	s/i	s/i	-0,10	s/i	s/i	0,00	s/i	s/i	-0,68	s/i
Cauquenes en desembocadura	s/i	-0,75	s/i	s/i	-1,63	s/i	s/i	0,00	s/i	s/i	0,34	s/i
Perquilauquén en Quella	0,03	-0,61	-2,24	0,55	-0,08	-1,17	0,94	-0,10	-1,11	-0,42	-1,75	-2,03
Purapel en Nirivilo	-0,34	0,53	-2,14	0,08	1,40	-2,00	-0,62	-0,08	-2,28	0,07	1,40	-1,73
Itata en Coelemu	s/i	-0,30	s/i	s/i	-1,40	s/i	s/i	0,28	s/i	s/i	-0,63	s/i
Itata en General Cruz	0,42	1,93	0,53	0,57	2,16	0,10	-0,03	0,03	-1,53	-1,29	-1,40	-3,04
Cato en puente Cato	-0,56	0,88	0,86	0,94	-0,81	-0,69	0,49	-0,62	-0,97	-0,83	-0,49	-1,41
Ñuble en San Fabián	0,30	-1,07	-1,63	0,76	-1,59	-2,16	0,70	-0,29	-1,19	-0,12	-0,81	-0,80
Ñuble en La Punilla	0,36	-2,00	-1,29	0,75	-2,56	-2,19	1,12	-0,49	-0,97	-0,89	-0,84	-1,41
Diguillín en longitudinal	1,04	0,15	2,23	1,78	-3,31	-1,65	0,30	-2,14	-2,71	-0,33	-1,56	-2,62
Diguillín en San Lorenzo	1,75	0,23	0,16	0,84	-0,62	-1,19	0,81	-0,19	-0,61	-1,04	0,03	0,07
Biobío en desembocadura	0,25	0,98	0,65	1,19	-0,42	-1,24	0,79	0,49	-1,14	0,59	-0,23	-1,31
Biobío en Rucalhue	-0,83	-0,15	-3,06	-0,04	0,61	-3,03	0,68	-0,49	-2,42	-0,55	-0,14	-2,78
Laja en puente Perales	0,95	-2,62	-1,55	0,11	-2,24	-2,01	-0,81	-1,12	-3,27	-1,46	-1,68	-2,49
Minínco en longitudinal	0,94	0,98	0,40	0,94	1,33	-0,21	0,62	0,56	-1,43	-0,91	-0,30	-2,18
Cautín en Almagro	s/i	-0,03	s/i	s/i	-0,29	s/i	s/i	0,75	s/i	s/i	0,06	s/i
Cautín en Cajón	0,49	0,03	0,38	-0,32	-1,20	-2,02	0,39	-0,16	-1,98	0,10	-0,03	-0,78
Cautín en Rari-Ruca	0,00	-1,47	-0,82	-0,04	-1,61	-1,48	0,38	-0,16	-2,06	-0,79	-0,23	-1,16
Quepe en Quepe	-0,45	-0,23	-1,09	0,00	-1,07	-1,58	0,53	0,03	-0,71	-0,91	-0,49	-1,26
Toltén en Teodoro Schmidt	s/i	-0,19	s/i	s/i	-1,07	s/i	s/i	0,26	s/i	s/i	-0,23	s/i
Toltén en Villarrica	0,03	0,91	-0,80	-0,11	-0,60	-1,48	-0,49	0,23	-1,38	-2,17	0,36	-1,96
Donguil en Gorbea	s/i	0,00	s/i	s/i	-0,35	s/i	s/i	0,16	s/i	s/i	-0,68	s/i
Allipén en Los Laureles	-0,35	-1,12	-2,84	0,28	-1,71	-2,62	1,07	-0,49	-1,67	0,00	-0,42	-1,13
Curaco en Colico	s/i	0,41	s/i	s/i	-0,04	s/i	s/i	1,32	s/i	s/i	0,12	s/i
San Pedro en desagüe Lago Riñihue	s/i	0,16	s/i	s/i	-0,23	s/i	s/i	0,81	s/i	s/i	-0,14	s/i
Damas en Tacamo	s/i	0,00	s/i	s/i	0,39	s/i	s/i	1,52	s/i	s/i	-0,35	s/i
Coihueco antes de junta Pichicope	s/i	-0,13	s/i	s/i	0,81	s/i	s/i	1,07	s/i	s/i	0,04	s/i

75°-94°: Periodo 1975-1994 95°-14°: Periodo 1995-2014 75°-14°: Periodo 1975-2014 s/i: sin información para el periodo total.

(Continuación de la Tabla 10)

Estación	Agosto			Septiembre			Octubre			Anual		
	75°-94°	95°-14°	75°-14°	75°-94°	95°-14°	75°-14°	75°-94°	95°-14°	75°-14°	75°-94°	95°-14°	75°-14°
Claro en Hacienda Las Nieves	-0,08	-1,27	-1,46	0,38	-2,17	-1,86	-0,70	-2,17	-1,79	0,00	-1,02	-2,75
Claro en El Valle	-0,49	-1,12	-1,21	0,06	-1,82	-1,16	-0,81	-1,75	-1,94	-0,57	1,90	-1,09
Tinguiririca bajo Briones	s/i	-1,33	s/i	s/i	s/i	-1,14	s/i	s/i	-2,17	s/i	-1,33	s/i
Mataquito en Licantén	s/i	0,55	s/i	s/i	-1,33	s/i	s/i	-1,98	s/i	s/i	-0,39	s/i
Teno después de junta con Claro	-0,70	-1,27	-1,79	-0,42	-1,72	-0,90	0,00	-2,50	-1,42	0,29	-1,12	-1,55
Teno en quebrada Infiernillo	s/i	-0,49	s/i	s/i	-1,65	s/i	s/i	-1,20	s/i	s/i	0,32	s/i
Claro en Los Queñes	s/i	-0,95	s/i	s/i	1,90	s/i	s/i	-1,82	s/i	s/i	-1,67	s/i
Upeo en Upeo	-0,99	-0,81	-1,73	-0,41	-0,91	-0,33	-0,50	-1,10	-1,05	-0,89	1,30	-1,41
Palos en junta con Colorado	-0,63	-1,82	-1,91	-0,23	-1,98	-1,86	0,28	-3,12	-1,88	-0,49	-1,33	-3,19
Colorado en junta con Palos	-1,40	-1,20	-1,94	-0,84	-0,81	-1,04	-0,07	-1,78	-1,23	-2,66	-1,82	-2,61
Maule en Forel	s/i	-0,08	s/i	s/i	-1,21	s/i	s/i	-0,53	s/i	s/i	0,98	s/i
Maule en longitudinal	-0,04	-1,85	-2,31	-2,05	-2,04	-3,72	-2,65	-0,62	-2,77	-0,54	-0,97	-1,10
Lircay en puente Las Rastras	0,77	-0,18	-0,57	0,70	-1,59	0,22	1,82	-0,42	1,91	3,15	-0,23	2,83
Loncomilla en Las Brisas	s/i	0,84	s/i	s/i	-0,11	s/i	s/i	-0,55	s/i	s/i	1,53	s/i
Loncomilla en Bodega	-1,52	0,00	-1,35	-1,07	0,28	-0,04	-1,52	-0,81	-2,02	-2,73	0,49	-4,02
Achibueno en La Recova	s/i	0,29	s/i	s/i	-0,62	s/i	s/i	-1,46	s/i	s/i	0,28	s/i
Cauquenes en desembocadura	s/i	0,07	s/i	s/i	-0,49	s/i	s/i	-1,47	s/i	s/i	-1,02	s/i
Perquilauquén en Quella	-0,23	-0,75	-0,64	-0,13	-1,33	-0,18	-1,27	-0,28	-1,33	0,52	0,25	-3,28
Purapel en Nirivilo	-1,07	0,08	-1,86	0,62	-0,77	-1,78	-0,16	-0,50	-2,04	-1,37	0,18	-3,76
Itata en Coelemu	s/i	0,23	s/i	s/i	-0,94	s/i	s/i	-1,20	s/i	s/i	2,35	s/i
Itata en General Cruz	-0,29	-0,53	-0,97	0,30	-0,98	-0,80	-0,16	-1,33	-1,55	0,41	1,41	-1,26
Cato en puente Cato	-0,94	0,00	-0,45	0,49	-0,64	0,60	-0,32	-0,08	-1,02	-2,43	1,96	-0,45
Ñuble en San Fabián	-0,91	-0,42	-1,48	0,00	-1,67	-0,20	-1,05	-1,75	-1,76	0,04	-0,88	-1,80
Ñuble en La Punilla	-0,99	-0,28	-0,88	-0,68	-2,14	-0,71	-0,76	-1,96	-1,37	-0,45	-2,21	-1,83
Diguillín en longitudinal	-1,64	-0,29	-1,27	-1,53	-0,78	-1,53	-0,44	-1,49	-2,48	0,62	2,63	3,72
Diguillín en San Lorenzo	-1,91	0,16	-0,44	-1,33	-0,65	-0,35	-2,40	-0,49	-1,60	1,36	0,42	-0,02
Biobío en desembocadura	-0,25	0,03	-0,64	0,00	-0,49	0,44	-0,92	-1,05	-0,86	-0,94	1,40	0,86
Biobío en Rucalhue	-0,97	-0,27	-4,15	-0,29	-0,53	-3,22	-1,14	-1,14	-4,40	-1,27	0,98	-4,32
Laja en puente Perales	-2,50	-0,84	-2,83	-2,68	-2,27	-3,32	-2,48	-1,67	-3,50	-0,49	-0,38	-4,32
Minínco en longitudinal	-0,49	-0,23	-1,33	0,10	0,12	0,04	-0,55	-0,88	-2,05	0,36	2,80	-0,84
Cautín en Almagro	s/i	0,62	s/i	s/i	-0,03	s/i	s/i	-0,42	s/i	s/i	0,81	s/i
Cautín en Cajón	-0,16	-0,29	-1,01	1,04	-1,01	-0,56	-0,75	-0,75	-2,02	-0,76	1,40	-0,10
Cautín en Rari-Ruca	-0,77	-0,94	-1,62	-0,11	-1,07	-0,92	-0,28	-0,75	-1,63	-0,33	-1,20	-0,94
Quepe en Quepe	-1,30	-0,28	-0,68	0,21	-0,42	0,49	-0,77	-0,88	-1,67	-0,95	0,42	-1,44
Toltén en Teodoro Schmidt	s/i	-0,19	s/i	s/i	-0,65	s/i	s/i	-1,17	s/i	s/i	0,81	s/i
Toltén en Villarrica	-1,68	0,00	-1,60	-0,16	-0,65	0,26	-0,78	-1,09	-1,78	-1,37	1,56	-0,87
Donguil en Gorbea	s/i	0,03	s/i	s/i	-0,25	s/i	s/i	-0,56	s/i	s/i	-0,98	s/i
Allipén en Los Laureles	-0,36	-1,61	-1,91	0,39	-1,33	-0,23	-0,75	-1,37	-2,00	-0,84	0,67	-3,08
Curaco en Colico	s/i	0,37	s/i	s/i	-0,59	s/i	s/i	-0,40	s/i	s/i	1,39	s/i
San Pedro en desagüe Lago Riñihue	s/i	-0,16	s/i	s/i	-0,55	s/i	s/i	-1,56	s/i	s/i	1,43	s/i
Damas en Tacamo	s/i	-1,04	s/i	s/i	0,49	s/i	s/i	-0,81	s/i	s/i	0,29	s/i
Coihueco antes de junta Pichicope	s/i	-1,75	s/i	s/i	-1,40	s/i	s/i	-1,43	s/i	s/i	-1,40	s/i

75°-94°: Periodo 1975-1994 95°-14°: Periodo 1995-2014 75°-14°: Periodo 1975-2014 s/i: sin información para el periodo total.

Tabla 11. Resumen de los resultados para las series mensuales de los caudales mínimos.

Periodo	1975-1994	1995-2014	1975-2014
Tendencias Positivas	68 (37,4%)	64 (21,8%)	17 (9,3%)
Tendencias Negativas	105 (57,7%)	221 (75,2%)	164 (90,1%)
Tendencias Positivas Significativas	4 (2,2%)	3 (1,0%)	3 (1,6%)
Tendencias Negativas Significativas	11 (6,0%)	47 (16,0%)	78 (42,9%)
Sin Tendencias	9 (4,9%)	9 (3,1%)	1 (0,6%)
Total	182	294	182

Los resultados del análisis de tendencias de los caudales mínimos mensuales en el periodo 1995-2014 tampoco mostró una cantidad importante de tendencias negativas, por lo que tampoco existiría evidencia de una disminución significativa de estos caudales en la zona de estudio. El análisis de los meses por separado para este periodo, reveló que la mayor cantidad de tendencias negativas significativas se concentró en octubre, con el 26,2% de los casos. El análisis del periodo 1975-1994 tampoco mostró una cantidad considerable de casos significativos. Sin embargo, los resultados del periodo 1975-2014 arrojaron una importante proporción de cifras negativas significativas, las que llegaron al 42,9%, aunque como se mencionó anteriormente, esto puede ser una expresión de la disminución progresiva de las precipitaciones desde la década lluviosa de los 80's.

Tabla 12. Resumen de los resultados para las series anuales de los caudales mínimos.

Periodo	1975-1994	1995-2014	1975-2014
Tendencias Positivas	8 (30,8%)	26 (61,9%)	3 (11,5%)
Tendencias Negativas	17 (65,4%)	16 (38,1%)	23 (88,5%)
Tendencias Positivas Significativas	1 (3,8%)	5 (19,2%)	2 (7,7%)
Tendencias Negativas Significativas	3 (11,5%)	3 (18,8%)	11 (42,3%)
Sin Tendencias	1 (3,8%)	0 (0%)	0 (0%)
Total	26	42	26

Por último, los resultados de los caudales mínimos anuales, señalan para el periodo 1995-2014, que existe casi un 20% de tendencias positivas y significativas y similar número de tendencias negativas y significativas.

Llama la atención el 42,3% de tendencias negativas y significativas en el periodo 1975-2014, lo que más parece responder a la situación comparativa que define la década del 80, que es la más lluviosa del siglo pasado y afecta la producción de agua de las cuencas en estudio.

6.2. Correlación entre las Tendencias de los Caudales y la Cubierta Vegetal

Se describen a continuación, las relaciones analizadas entre los valores Z de Mann-Kendall, para las tendencias en los caudales medios, máximos y mínimos para las 42 estaciones y sus respectivos porcentajes de cubierta vegetal para los tipos estudiados, a saber, bosque nativo (BN), plantaciones forestales (PF) y cultivos agrícolas (CA). Se limitó este análisis al periodo 1995-2014, dado que como se ha señalado, se cuenta con la proporción de uso del suelo en base al catastro vegetacional de CONAF (2013). El detalle de cada relación, incluyendo los puntos para cada estación pluviométrica, se adjuntan en el Apéndice.

6.2.1. Relaciones gráficas

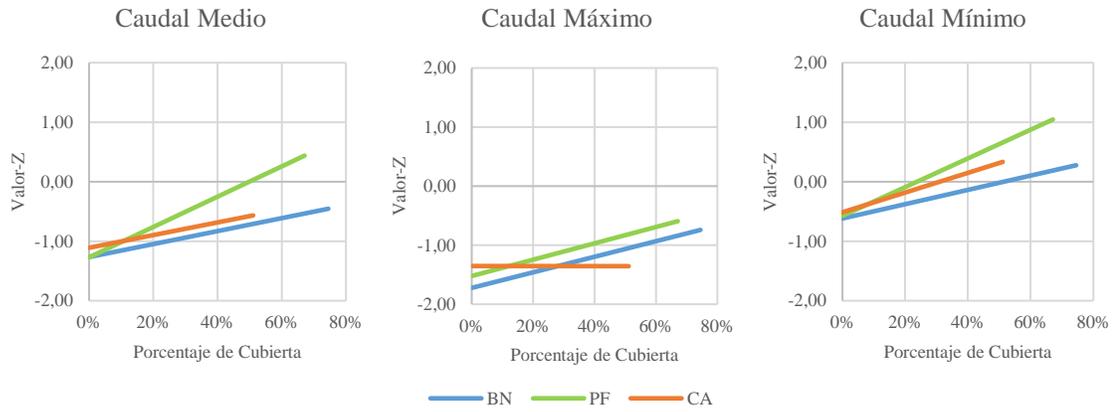


Figura 10. Relación lineal entre las tendencias de los caudales y la cubierta vegetal durante abril.

Durante abril parece existir una relación positiva de las tendencias entre los caudales y las plantaciones forestales, y en menor escala en los bosques nativos. También se aprecia que los cultivos agrícolas denotan una tendencia negativa en los caudales máximos. Las tendencias no parecen alcanzar valores Z por fuera del rango significativo ($\pm 1,65$).

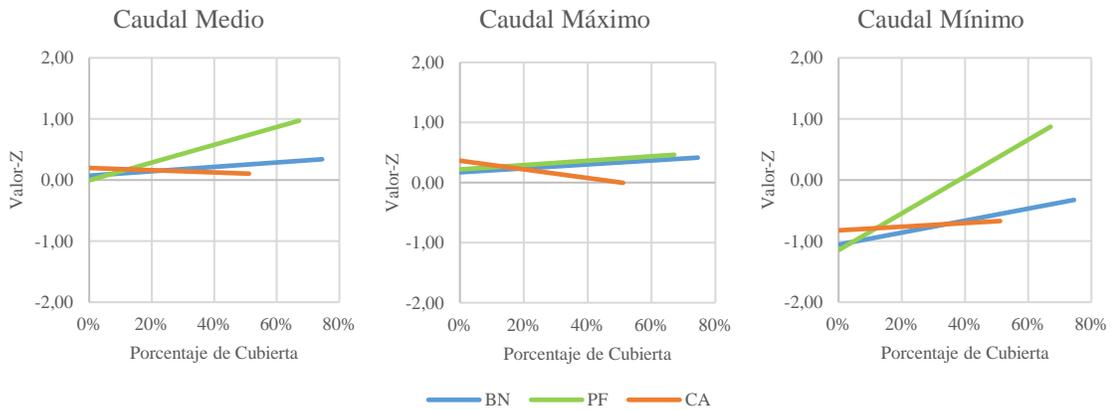


Figura 11. Relación lineal entre las tendencias de los caudales y la cubierta vegetal durante mayo.

Mayo muestra una relación positiva entre las tendencias de los caudales máximos y las plantaciones, pero nuevamente no parecen los valores Z acercarse a valores significativos. Destaca el hecho que las plantaciones forestales son de tendencia notoriamente positiva, contrastando con los cultivos agrícolas.

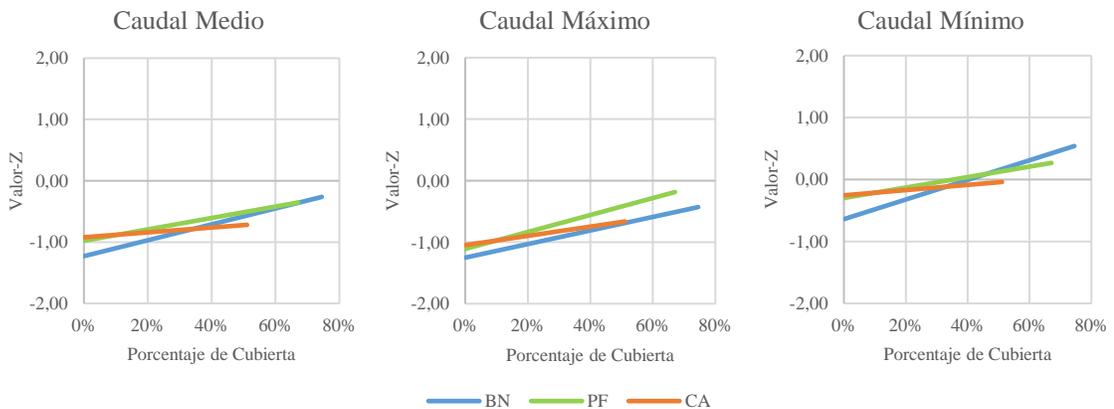


Figura 12. Relación lineal entre las tendencias de los caudales y la cubierta vegetal durante junio.

En el mes de junio resalta el hecho que el bosque nativo supera en tendencia a las plantaciones en el caudal medio y el caudal mínimo, los cultivos agrícolas, siendo de tendencia positiva, denotan valores menores tendenciales.

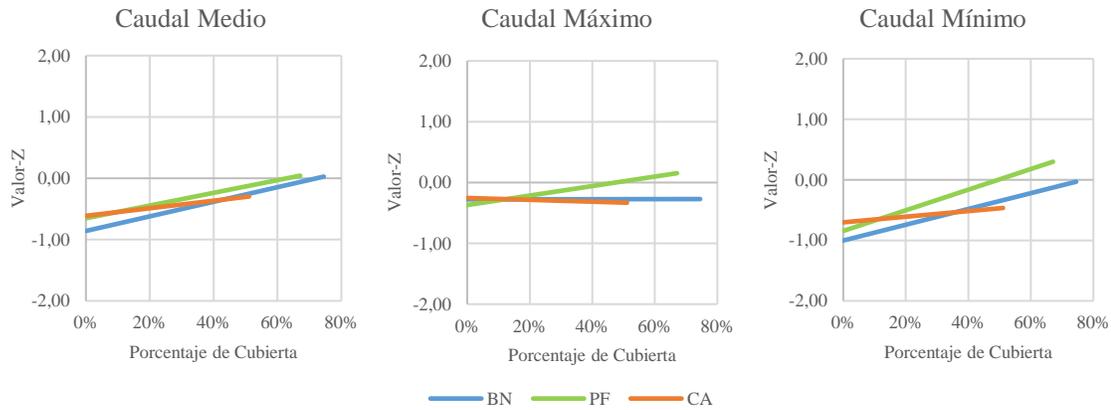


Figura 13. Relación lineal entre las tendencias de los caudales y la cubierta vegetal durante julio.

En julio, las tendencias positivas de las plantaciones forestales nuevamente destacan por sobre el bosque nativo y muy especialmente sobre los cultivos agrícolas.

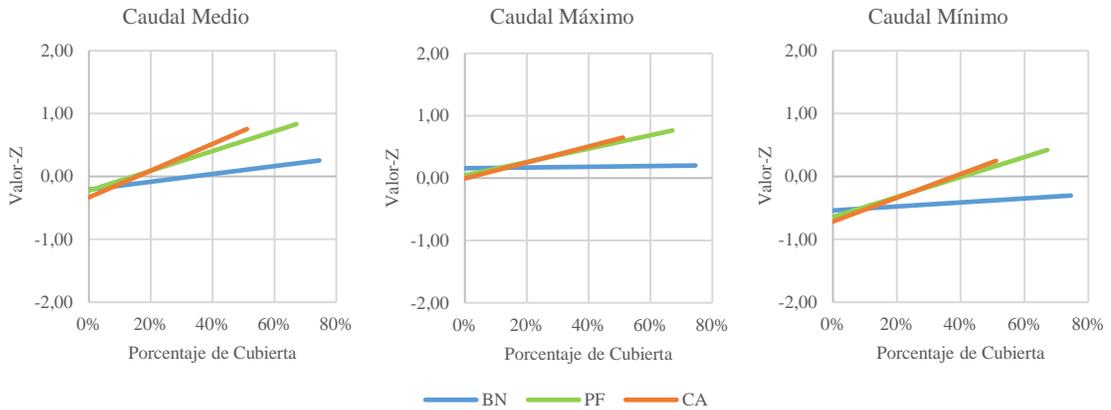


Figura 14. Relación lineal entre las tendencias de los caudales y la cubierta vegetal durante agosto.

Agosto es un mes en que se expresa una tendencia que tiende a equiparar el comportamiento tendencial de las plantaciones con los cultivos agrícolas, siendo el bosque nativo el de más bajo valor tendencial, especialmente en los caudales máximos.

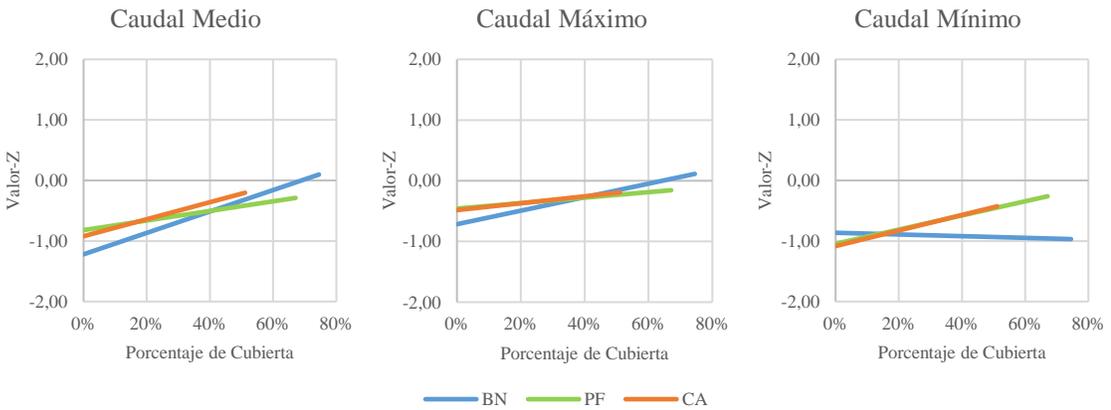


Figura 15. Relación lineal entre las tendencias de los caudales y la cubierta vegetal durante septiembre.

En el mes de septiembre destaca el hecho que en los caudales mínimos la tendencia es negativa en el caso del bosque nativo.

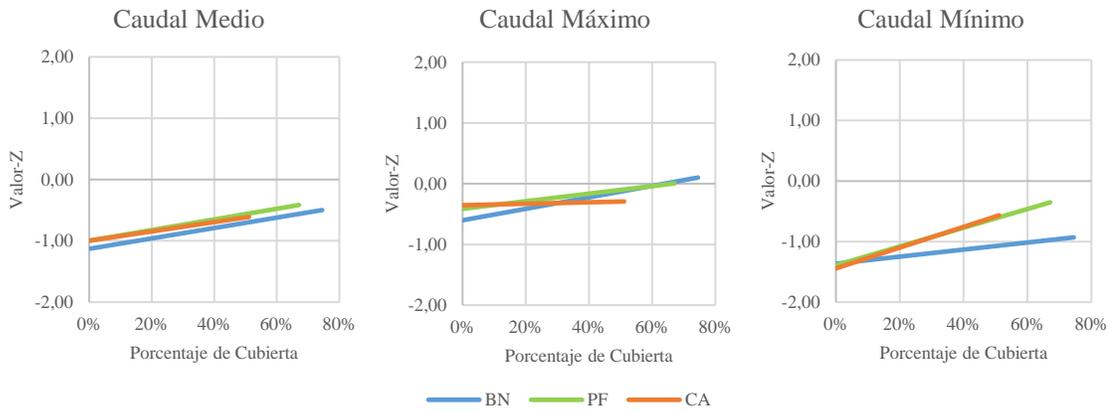


Figura 16. Relación lineal entre las tendencias de los caudales y la cubierta vegetal durante octubre.

Octubre, siendo un mes en que se asume que la vegetación empieza a salir del periodo de latencia y debería consumir más agua, muestra tendencias más positivas en el caso de las plantaciones forestales que en el caso del bosque nativo, especialmente en el caso de los caudales mínimos.

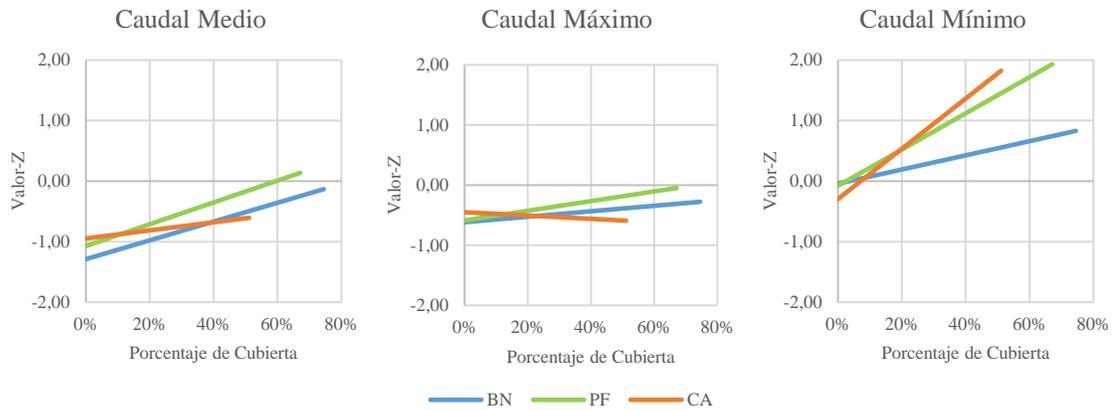


Figura 17. Relación lineal entre las tendencias de los caudales y la cubierta vegetal a nivel anual.

A nivel anual, es destacable el hecho que las plantaciones forestales muestran tendencias claramente positivas, en tanto que los cultivos agrícolas denotan comportamientos erráticos. Por otra parte, hay un cambio sustancial al analizar las series anuales de los caudales mínimos, los cuales muestran una cercanía a la zona de tendencias significativas positivas por sobre el $Z=+1,65$ cuando el porcentaje cubierto por cultivos agrícolas o plantaciones forestales supera el 50%.

6.2.2. Correlación r de Pearson

La Tabla 13 muestra los coeficientes de correlación r de Pearson resultantes de la regresión lineal entre los valores Z de las tendencias en los caudales y los porcentajes de cubierta vegetal, donde las celdas marcadas en verde corresponden a valores estadísticamente significativos para un $\alpha=0,05$. Los resultados muestran una relación positiva entre las tendencias de los caudales y el porcentaje de cubierta vegetal, especialmente en plantaciones forestales y en los caudales medios y

mínimos. Por su parte, los cultivos agrícolas también mostraron relaciones positivas, aunque varios casos fueron negativos, pero no significativos.

Si bien los coeficientes de correlación de Pearson indicarían una baja relación lineal entre las tendencias y la vegetación, las cifras significativas sí corroboran una pendiente positiva entre ambas, lo que podría indicar que la vegetación tendría un efecto amortiguador ante la presencia de tendencias negativas en los caudales, hecho que se verifica con mayor fuerza en el caso de las plantaciones forestales.

Tabla 13. Coeficientes r de Pearson para cada tipo de caudal y cubierta vegetal, a nivel mensual y anual.

Mes	Caudal	Bosque Nativo	Plantación	Agrícola
Abril	Promedio	0,2043	0,4097	0,1728
	Máximo	0,2834	0,2481	-0,0010
	Mínimo	0,2190	0,3651	0,2528
Mayo	Promedio	0,1085	0,3456	-0,0439
	Máximo	0,1027	0,1051	-0,2098
	Mínimo	0,1580	0,3867	0,0387
Junio	Promedio	0,3674	0,2234	0,0961
	Máximo	0,2664	0,2840	0,1565
	Mínimo	0,3779	0,1700	0,0858
Julio	Promedio	0,3556	0,2512	0,1509
	Máximo	0,0057	0,1885	-0,0368
	Mínimo	0,3122	0,3456	0,0950
Agosto	Promedio	0,1659	0,3610	0,4916
	Máximo	0,0160	0,2437	0,2945
	Mínimo	0,0830	0,3701	0,4440
Septiembre	Promedio	0,4330	0,1627	0,2910
	Máximo	0,3412	0,1177	0,1493
	Mínimo	-0,0399	0,2301	0,2551
Octubre	Promedio	0,2694	0,2199	0,1943
	Máximo	0,2829	0,1532	0,0298
	Mínimo	0,1699	0,3733	0,4172
Anual	Promedio	0,3955	0,3789	0,1418
	Máximo	0,1104	0,1788	-0,0619
	Mínimo	0,1666	0,3668	0,5129

6.2.3. Correlación τ de Kendall

Los resultados de la regresión por rangos, obtenidos por medio del Coeficiente de correlación τ de Kendall, mostrados en la Tabla 14, refuerzan la existencia de una relación positiva y significativa entre las tendencias de los caudales y el porcentaje de cubierta por plantaciones forestales, las cuales mantienen una especial significancia en los caudales medios y mínimos. Los bosques nativos también mantienen relaciones positivas en la mayoría de los casos, aunque con un menor número de casos. Por último, los cultivos agrícolas no muestran una relación persistente a lo largo de los meses, aunque concentran algunos casos positivos significativos entre agosto y octubre.

Tabla 14. Coeficientes τ de Kendall para cada tipo de caudal y cubierta vegetal, a nivel mensual y anual.

Mes	Caudal	Bosque Nativo	Plantación	Agrícola
Abril	Promedio	0,1278	0,3353	0,1854
	Máximo	0,1985	0,2007	0,0714
	Mínimo	0,1716	0,3275	0,1698
Mayo	Promedio	0,0147	0,2600	0,0857
	Máximo	0,0062	0,0448	-0,0941
	Mínimo	0,1312	0,2409	0,0645
Junio	Promedio	0,1706	0,2237	0,1287
	Máximo	0,1707	0,1693	0,1501
	Mínimo	0,2110	0,2174	0,1442
Julio	Promedio	0,2993	0,1701	0,1084
	Máximo	-0,0258	0,0894	-0,0282
	Mínimo	0,2451	0,1363	0,0832
Agosto	Promedio	0,1707	0,3706	0,3627
	Máximo	0,0098	0,2438	0,2009
	Mínimo	0,1178	0,3349	0,2919
Septiembre	Promedio	0,3387	0,2233	0,2415
	Máximo	0,2942	0,1273	0,0964
	Mínimo	-0,0049	0,2620	0,2356
Octubre	Promedio	0,1616	0,1609	0,0944
	Máximo	0,1901	0,1045	-0,0211
	Mínimo	0,1350	0,3443	0,3013
Anual	Promedio	0,2769	0,3076	0,1340
	Máximo	0,0750	0,0872	-0,0353
	Mínimo	0,1863	0,3453	0,3773

6.2.4. Análisis de los Coeficientes de Correlación

Tabla 15. Valores promedio de los coeficientes r de Pearson y τ de Kendall, para cada tipo de caudal y cubierta vegetal.

Coeficiente	Caudal	Bosque Nativo	Plantación	Agrícola
r de Pearson	Promedio	0,2724	0,2819	0,1933
	Máximo	0,1888	0,1915	0,0546
	Mínimo	0,1858	0,3201	0,2269
τ de Kendall	Promedio	0,1862	0,2491	0,1724
	Máximo	0,1239	0,1400	0,0536
	Mínimo	0,1487	0,2662	0,1844

Al analizar los valores promedio del coeficiente de correlación r de Pearson y τ de Kendall, se aprecia claramente que no existe una relación clara y fuerte entre la proporción de uso del suelo (bosque nativo, plantación forestal y cultivo agrícola) y la tendencia de los caudales máximos, mínimos y medios a nivel mensual. Sin embargo, sí se advierte una relación positiva entre la existencia de una mayor proporción de masa forestal y la presencia de una tendencia positiva en los caudales máximos, mínimos y medios mensuales, según Kendall.

Otro aspecto que destaca notablemente, es que los valores promedio de los coeficientes r de Pearson y τ de Kendall, son más altos en el caso de las plantaciones forestales que con respecto al bosque nativo, especialmente en el caso de los caudales mínimos. Esto es muy importante, porque se trata del análisis de 42 cuencas con datos en la zona centro sur de Chile, lo que define una evidencia notable, sobre todo en el caso de los caudales mínimos, que reflejan los caudales base de una cuenca.

Lo expresado anteriormente, no quiere decir que las plantaciones forestales posean una mejor eficiencia hidrológica que el bosque nativo; al parecer este mejor comportamiento se debería a que gran parte de las plantaciones se han ubicado en suelos muy degradados en el tiempo y se

estarían empezando a notar los efectos de la restauración hidrológico-forestal.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

7.1.1. Los resultados del análisis de tendencias revelan que no existe evidencia para determinar que los caudales de la zona centro sur estén disminuyendo significativamente, (ya sean los caudales medios, máximos o mínimos, tanto a nivel mensual como anual), en el periodo 1995-2014, por lo que tampoco es posible vincular este supuesto comportamiento a la masa vegetal.

7.1.2. Los periodos 1975-2014, muestran una clara tendencia negativa y significativa en los caudales mínimos, cercana al 50% de los casos estudiados. Sin embargo y dado que, en ese periodo, en los inicios no existían las plantaciones forestales como lo es hoy en día y, por otra parte, se cuenta con la presencia de la década del 80, la más lluviosa del siglo XX, entonces la tendencia es negativa en los caudales más bien por una característica climática, que por el uso del suelo.

7.1.3. Los valores Z obtenidos (sean significativos o no), permitieron correlacionar estas tendencias con la proporción del uso del suelo, ya sea para bosques nativos, plantaciones forestales o cultivos agrícolas; los resultados permiten comprobar que existe una relación positiva y significativa entre las tendencias de los caudales y la vegetación arbórea, especialmente de los caudales mínimos con las plantaciones forestales, aunque la magnitud de esta relación no puede ser explicada por modelos lineales.

7.1.4. Es importante recalcar que, en la mayoría de los meses, la relación entre los caudales y las plantaciones tienden a incrementar el valor Z de

valores negativos a cero, lo que sugiere que las cuencas con abundante cubierta forestal tienden a estabilizar sus caudales, eliminando la existencia de tendencias negativas. Esto podría ser explicado por el fortalecimiento de la recarga de acuíferos y, por ende, a la generación del caudal base gracias a las mejores condiciones de infiltración que permite la vegetación, por medio de la reducción de la energía cinética de la lluvia, la protección de la estructura del suelo y el efecto de la escorrentía fustal, sumando a esto además que durante la época invernal, las precipitaciones aumentan y la temperatura disminuye, reduciendo la evapotranspiración, además de un menor consumo de agua, debido al periodo de latencia de la planta.

7.1.5. Los resultados alcanzados coinciden con lo obtenido por Pizarro *et al* (2014), quienes para el mismo grupo de cuencas analizaron los valores en los meses estivales, concordando en que no parece haber una relación entre la tendencia de los caudales y el tipo de uso del suelo, (bosque nativo, plantación forestal y cultivos agrícolas).

7.2. Recomendaciones

Los resultados del presente estudio abren las puertas a la generación de nuevos estudios que permitan complementar la visión de los efectos hidrológicos del uso del suelo, para lo cual se recomienda la incorporación de otros factores que influyen tanto en la generación de escorrentía (como las precipitaciones o la temperatura), así como a factores vegetacionales que incluyen en el consumo y la evapotranspiración potencial (como la especie, manejo, sitio, etc.).

Otros puntos de vista que podrían complementar este o nuevos estudios para la hidrología forestal corresponden a las propiedades del suelo (como la porosidad o la textura) y los beneficios de la aplicación de la restauración hidrológico forestal en espacios degradados.

Finalmente se recomienda establecer estudios que permitan definir los niveles de reserva de agua de los acuíferos en diversos periodos temporales, para intentar determinar de mejor forma el comportamiento de las masas forestales, nativas o plantaciones, en el proceso precipitación-escorrentía, en zonas mediterráneas de Chile.

8. BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Banco Mundial. 2011. Chile: Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos. Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Región para América Latina y el Caribe.
- ❖ Blume, T.; Zehe, E.; Bronstert, A. 2010. Rainfall-runoff response, event based runoff coefficients and hydrograph separation. *Hydrological Sciences Journal*. 843 p.
- ❖ Candela, L.; Tamoh, K.; Olivares, G.; Gómez, M. 2016. Climate and Land Use Changes on Streamflow and Subsurface Recharge in the Fluvia Basin, Spain. *Water*. 228 p.
- ❖ Canavos, G.C. 1988. Probabilidad y estadística. Aplicaciones y métodos. McGraw-Hill.
- ❖ DGA (Dirección General de Aguas, Chile). 2016. Atlas del Agua. Chile 2016. Ministerio de Obras Públicas.
- ❖ DMC (Dirección Meteorológica de Chile). 2001. Climatología Regional. Departamento de Climatología y Meteorología.
- ❖ Helsel, D.R.; Hirsch, R.M. 2002. Hydrologic Analysis and Interpretation. Statistical Methods in Water Resources. U.S. Geological Survey.

- ❖ Huber, A.; Iroumé, A.; Mohr, C.; Frêne, C. 2010. Efecto de las plantaciones de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* sobre el recurso agua en la Cordillera de la Costa de la región del Biobío, Chile. *Bosque*. 219 p.

- ❖ IGM (Instituto Geográfico Militar). 1984. Geografía de Chile. Tomo V. Geografía de los Suelos.

- ❖ INE (Instituto Nacional de Estadísticas). 2015. Medio Ambiente. Informe Anual.

- ❖ INE (Instituto Nacional de Estadísticas). 2016. Actualización de población 2022-2012 y proyecciones 2013-2020.

- ❖ INFOR-FIA (Instituto Forestal, Chile - Fundación para la Innovación Agraria, Chile). 2013. Estado del Arte: Las Plantaciones Forestales y el Agua.

- ❖ INFOR (Instituto Forestal, Chile). 2016. Anuario Forestal 2016.

- ❖ Iroumé, A.; Palacios, H. 2013. Afforestation and changes in forest composition affect runoff in large river basins with pluvial regime and Mediterranean climate, Chile. Valdivia. *Journal of Hydrology*. 113 p.

- ❖ Laurencelle, L. 2009. Le tau et le tau-b de Kendall pour la corrélation de variables ordinales simples ou catégorielles. *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*. 51 p.

- ❖ Linsley, R.K.; Kohler, M.A.; Paulus, J.L.H. 1977. Hidrología para ingenieros. 2da edición. Editorial McGraw-Hill Latinoamericana.

- ❖ Little, C.; Lara, A.; McPhee, J.; Urrutia, R. 2009. Revealing the impact of forest exotic plantations on water yields in large scale watersheds in South-Central Chile. *Journal of Hydrology*. 162 p.
- ❖ Llamas, J. 1993. *Hidrología General. Principios y Aplicaciones*. 636 p.
- ❖ López-Moreno, J.I.; Zabalza, J.; Vicente-Serrano, S.M.; Revuelto, J.; Gilaberte, C.; Azorin-Molina, C. 2013. Impact of climate and land use change on water availability and reservoir management: Scenarios in the Upper Aragón River, Spanish Pyrenees. *Science of the Total Environment*.
- ❖ Machiwal, D.; Jha, M.K. 2012. *Hydrologic Time Series Analysis: Theory and Practice*.
- ❖ Maetens, W.; Vanmaercke, M.; Poesen, J.; Jankauskas, B.; Jankauskiene, G.; Ionita, I. 2012. Effects of land use on annual runoff and soil loss in Europe and the Mediterranean: A meta-analysis of plot data. *Progress in Physical Geography*.
- ❖ Nunes, A.; de Almeida, A.; Coelho, C. 2010. Impacts of land use and cover type on runoff and soil erosion in a marginal area of Portugal. *Applied Geography*.
- ❖ Oyarzún, C.E.; Frêne, C.; Lacrampe, G.; Huber, A.; Hervé, P. 2011. Propiedades hidrológicas del suelo y exportación de sedimentos en dos microcuencas de la Cordillera de la Costa en el sur de Chile con diferente cobertura vegetal. *Bosque*. 10 p.

- ❖ Pizarro, R.; Araya, S.; Jordán, C.; Farías, C.; Flores, J.P.; Bro, P.Bj. 2005. The effects of changes in vegetative cover on river flows in the Purapel river basin of central Chile. *Journal of Hydrology*.
- ❖ Pizarro, R. 2014. Estudio de análisis temporal y espacial de la producción de agua superficial en sub sub cuencas con aprovechamiento humano, en las regiones del Maule, Biobío y la Araucanía, y su relación con el uso actual del suelo. Seminario Programa Agua y Sistemas Forestales. Centro Tecnológico de Hidrología Ambiental.
- ❖ Prado, J.A. 2015. Plantaciones Forestales. Más Allá de los Árboles. Colegio de Ingenieros Forestales. Chile.
- ❖ Programa Chile Sustentable. 2004. Impactos Ambientales en Chile. Desafíos para la Sustentabilidad.
- ❖ Raghunath, H.M. *Hydrology. Principles, analysis and design*. 463 p.
- ❖ Salmi, T.; Määttä, A. Ruoho-Airola, T.; Amnell, T. 2002. Detecting trends of anual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's Slope estimates. The Excel template applications MAKESENS. Helsinki. Finish Meteorological Institute.
- ❖ Taylor, M.; Mulholland, M.; Thornburrow, D. 2008. Infiltration Characteristics of Soils Under Forestry and Agriculture in the Upper Waikato Catchment. Environment Waikato Regional Council.
- ❖ UNEP (United Nations Environment Programme). GRID-Arendal. 2008. Vital Water Graphics. An overview of the State of the World's Fresh and Marine Waters. 2nd Edition.

APÉNDICE

Apéndice I: Relaciones gráficas entre las tendencias de los caudales y los porcentajes de cubierta vegetal para cada cuenca a nivel mensual.

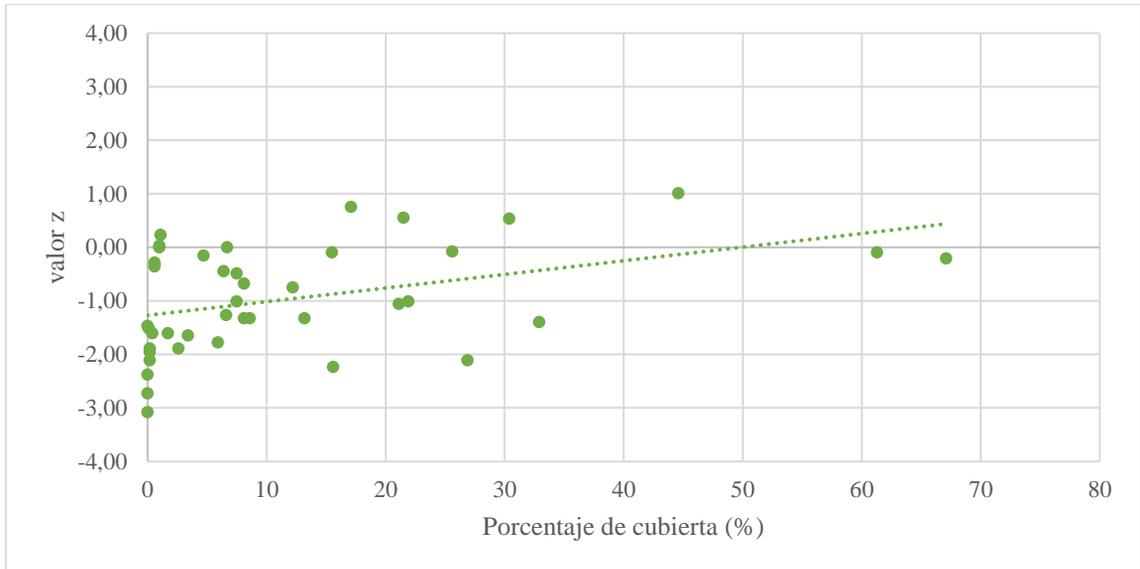


Figura 18. Relación entre las tendencias en los caudales medios y el porcentaje de cubierta de Plantaciones Forestales en abril.

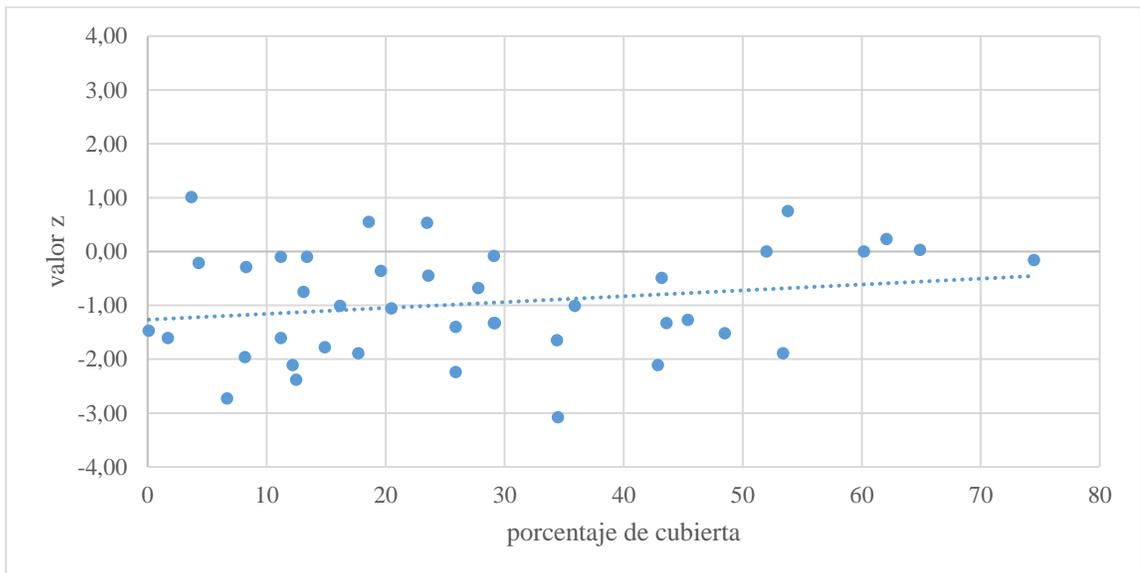


Figura 19. Relación entre las tendencias en los caudales medios y el porcentaje de cubierta de Bosques Nativos en abril.

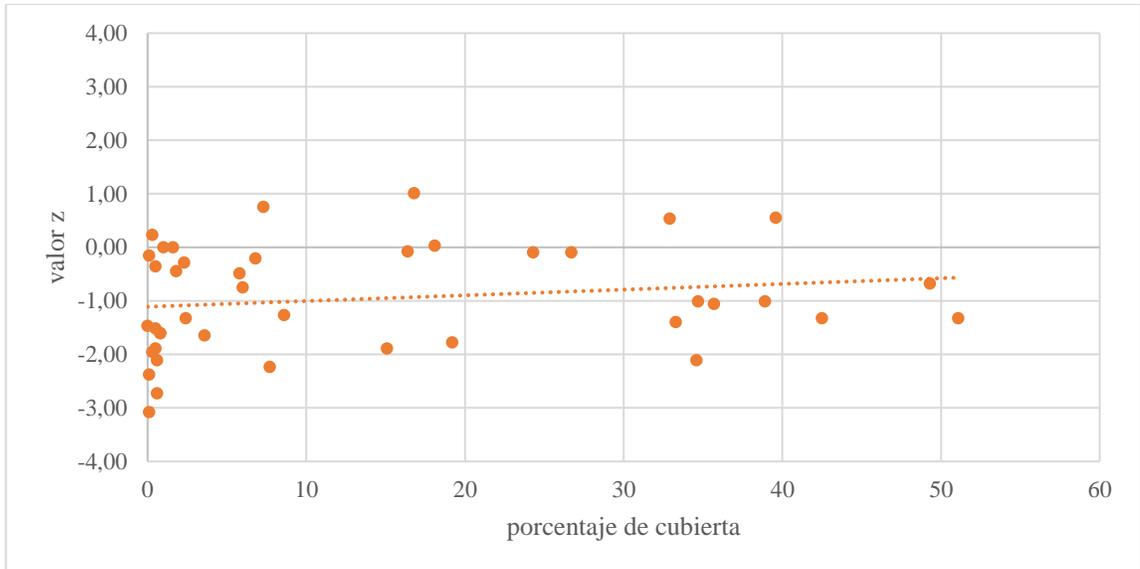
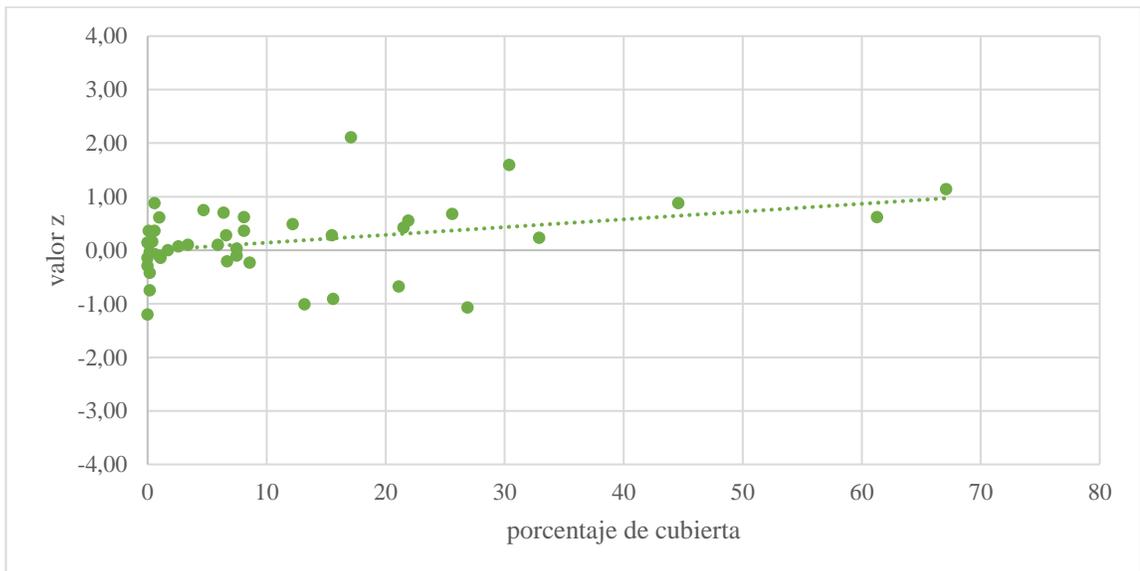


Figura 20. Relación entre las tendencias en los caudales medios y el porcentaje de cubierta de Cultivos Agrícolas en abril.



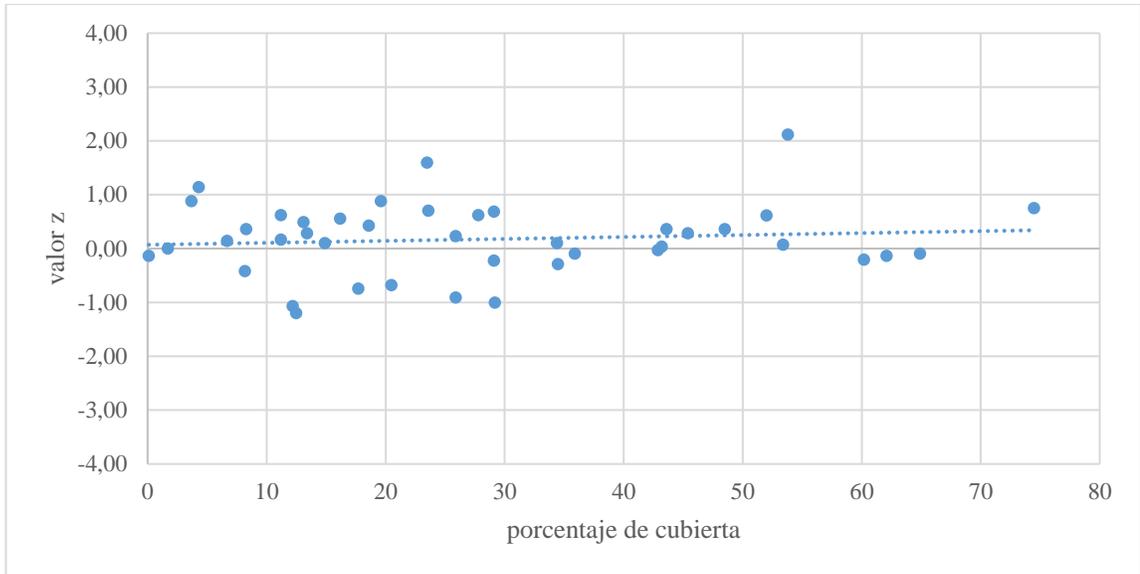


Figura 22. Relación entre las tendencias en los caudales medios y el porcentaje de cubierta de Bosques Nativos en mayo.

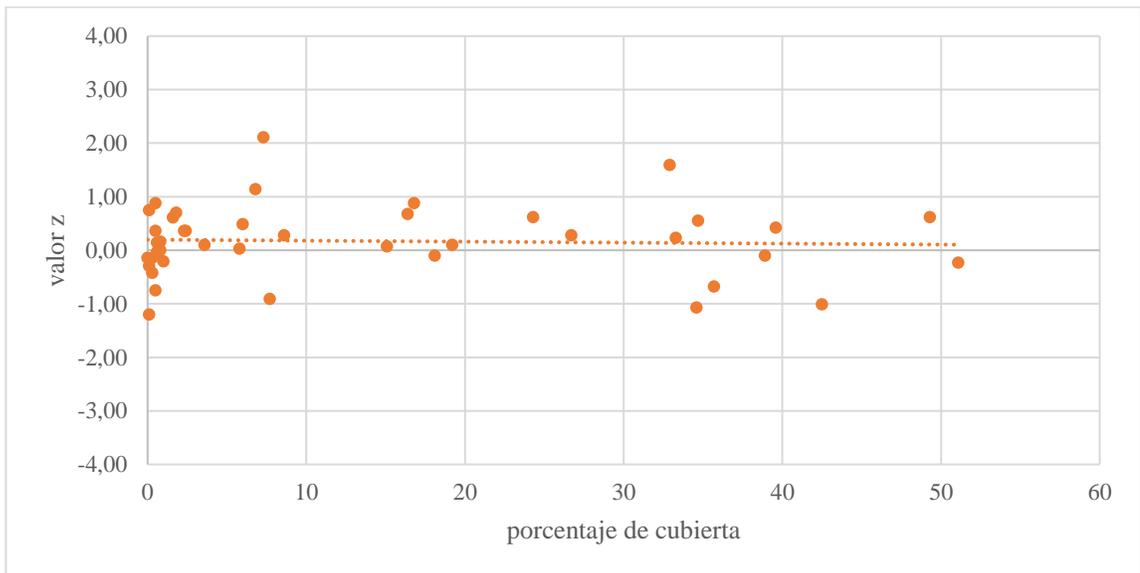


Figura 23. Relación entre las tendencias en los caudales medios y el porcentaje de cubierta de Cultivos Agrícolas en mayo

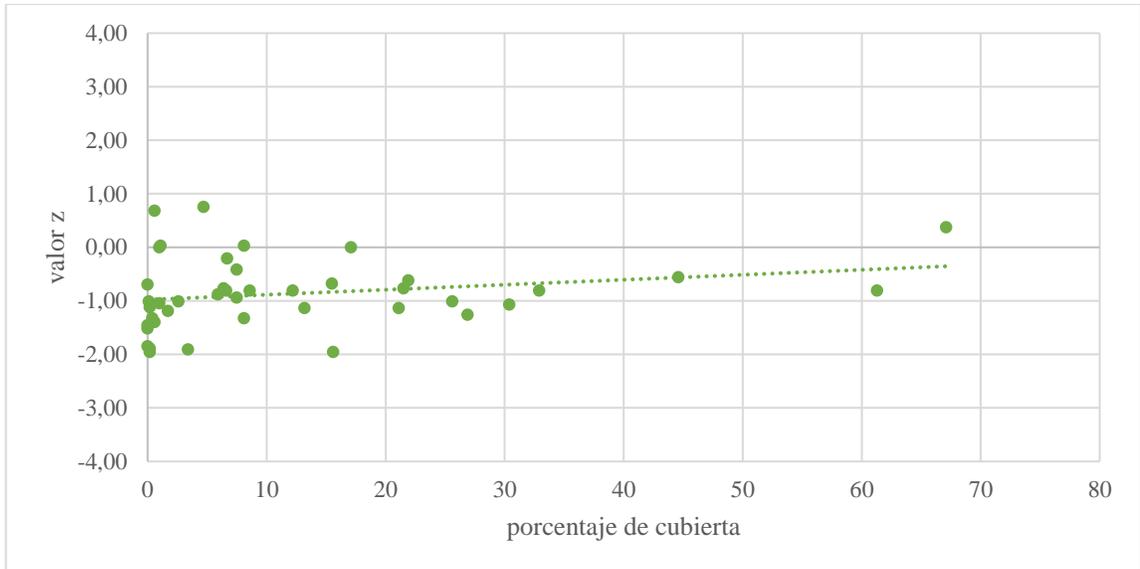


Figura 24. Relación entre las tendencias en los caudales medios y el porcentaje de cubierta de Plantaciones Forestales en junio.

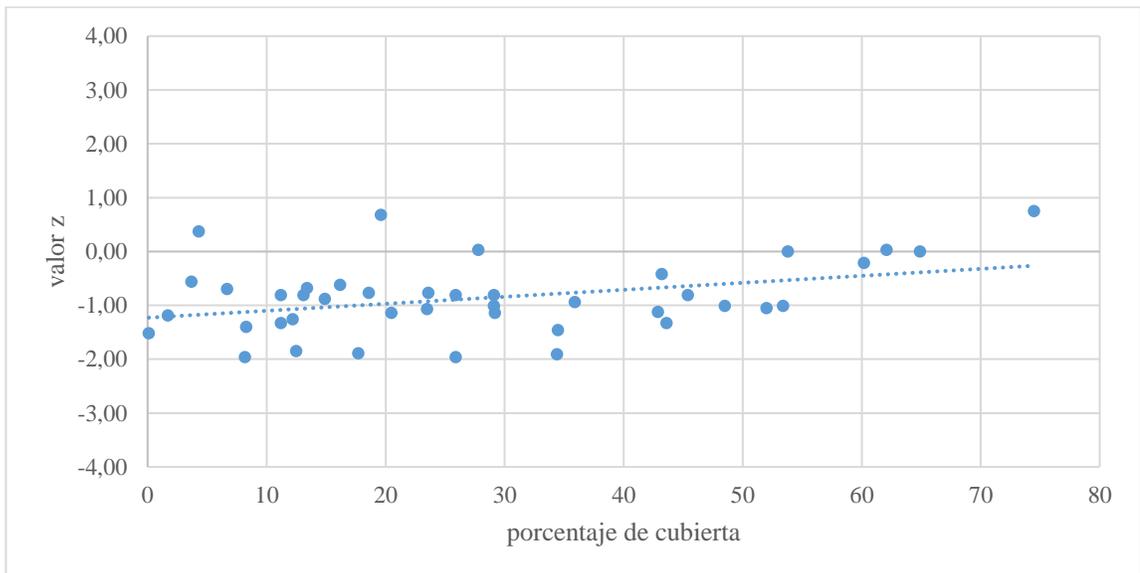


Figura 25. Relación entre las tendencias en los caudales medios y el porcentaje de cubierta de Bosques Nativos en junio.

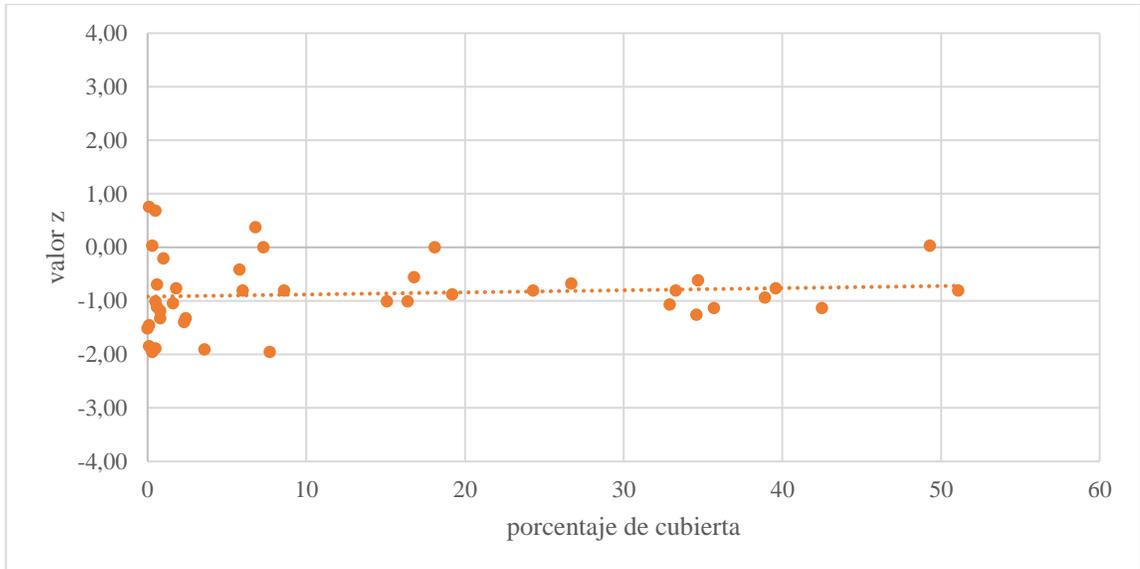


Figura 26. Relación entre las tendencias en los caudales medios y el porcentaje de cubierta de Cultivos Agrícolas en junio

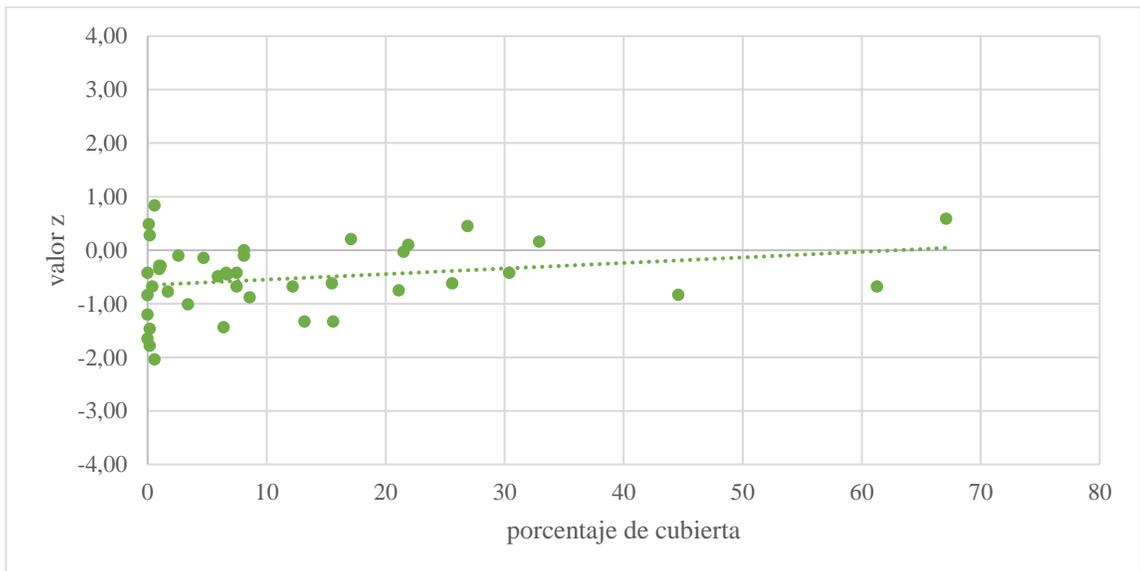


Figura 27. Relación entre las tendencias en los caudales medios y el porcentaje de cubierta de Plantaciones Forestales en julio.

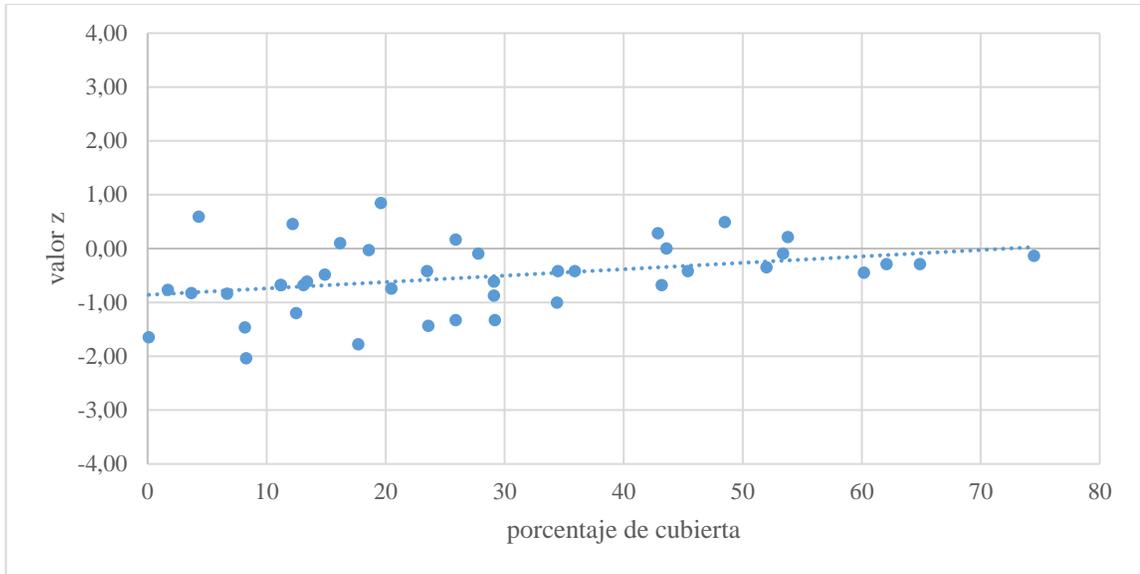


Figura 28. Relación entre las tendencias en los caudales medios y el porcentaje de cubierta de Bosques Nativos en julio.

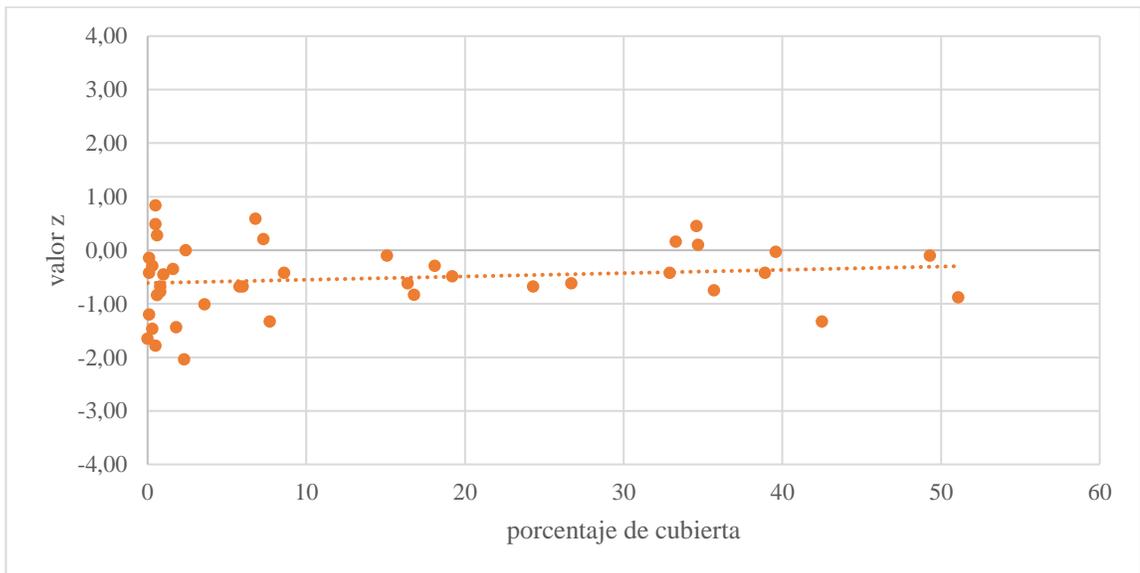


Figura 29. Relación entre las tendencias en los caudales medios y el porcentaje de cubierta de Cultivos Agrícolas en julio.

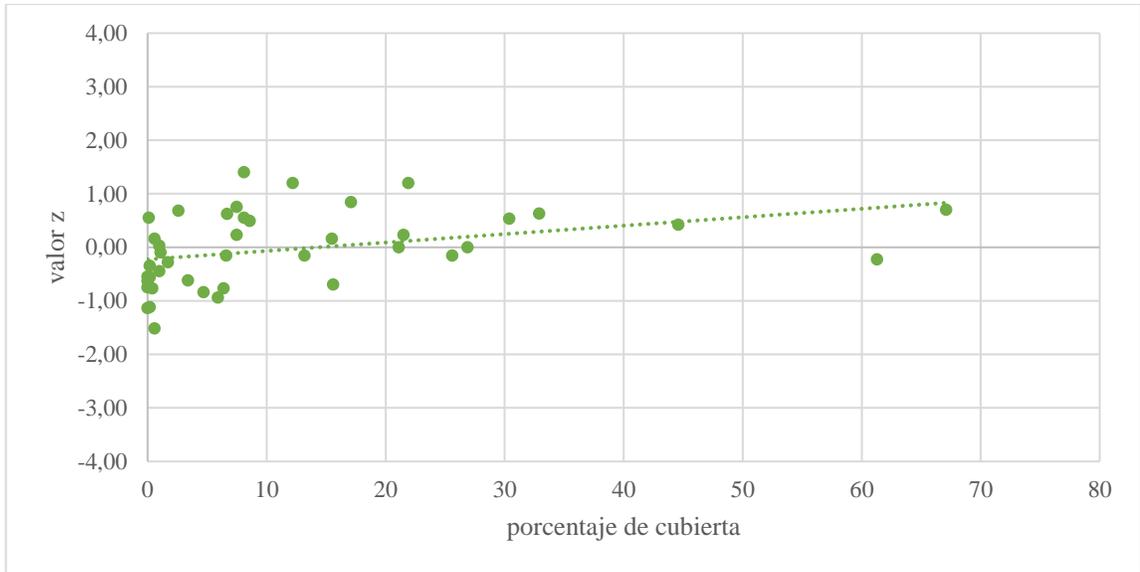


Figura 30. Relación entre las tendencias en los caudales medios y el porcentaje de cubierta de Plantaciones Forestales en agosto.

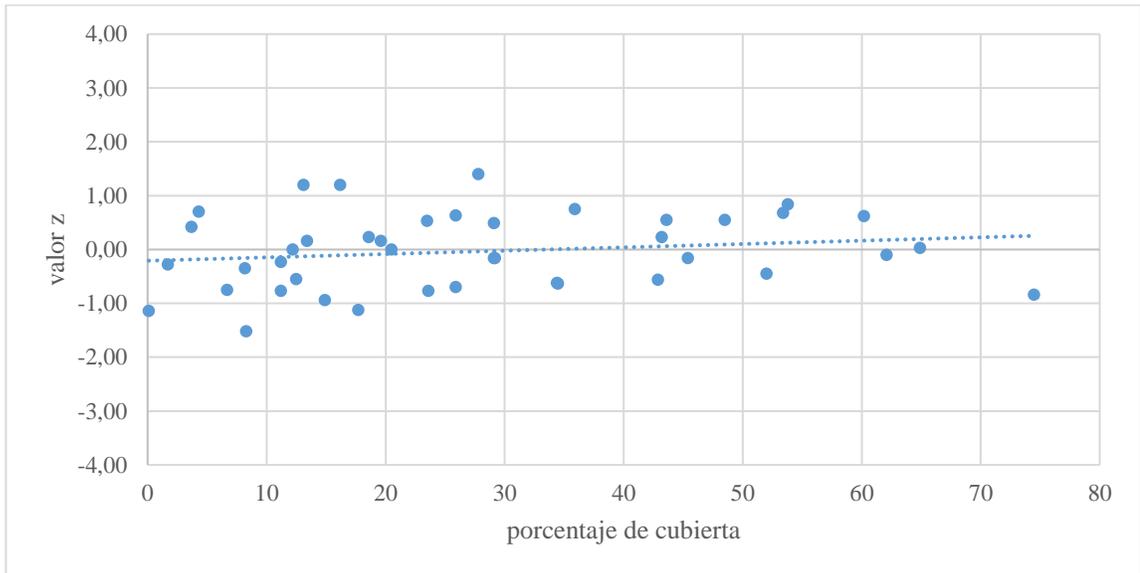


Figura 31. Relación entre las tendencias en los caudales medios y el porcentaje de cubierta de Bosques Nativos en agosto.

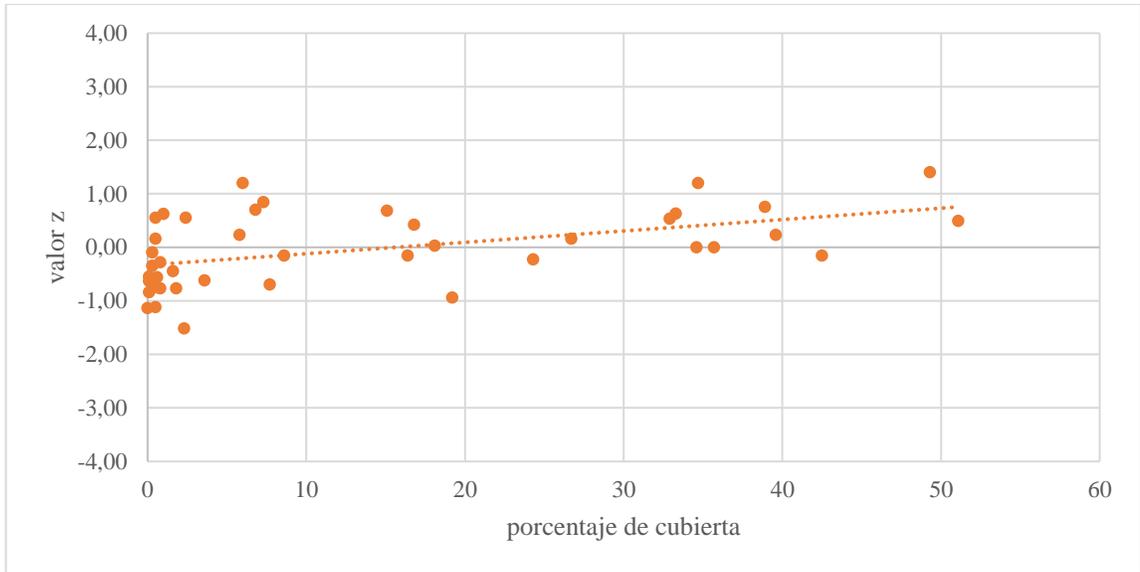


Figura 32. Relación entre las tendencias en los caudales medios y el porcentaje de cubierta de Cultivos Agrícolas en agosto.

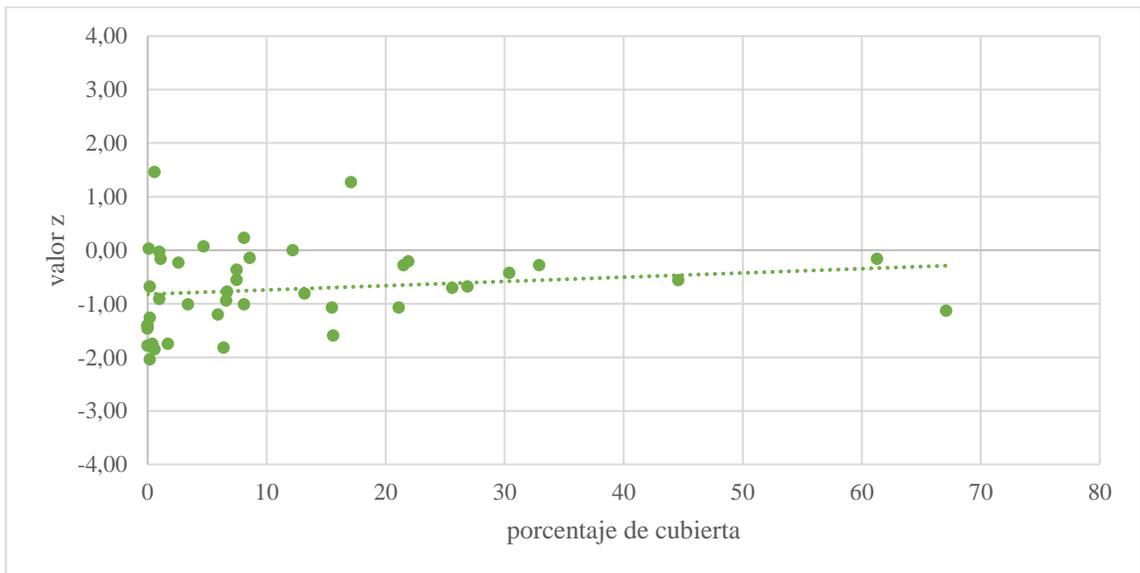


Figura 33. Relación entre las tendencias en los caudales medios y el porcentaje de cubierta de Plantaciones Forestales en septiembre.

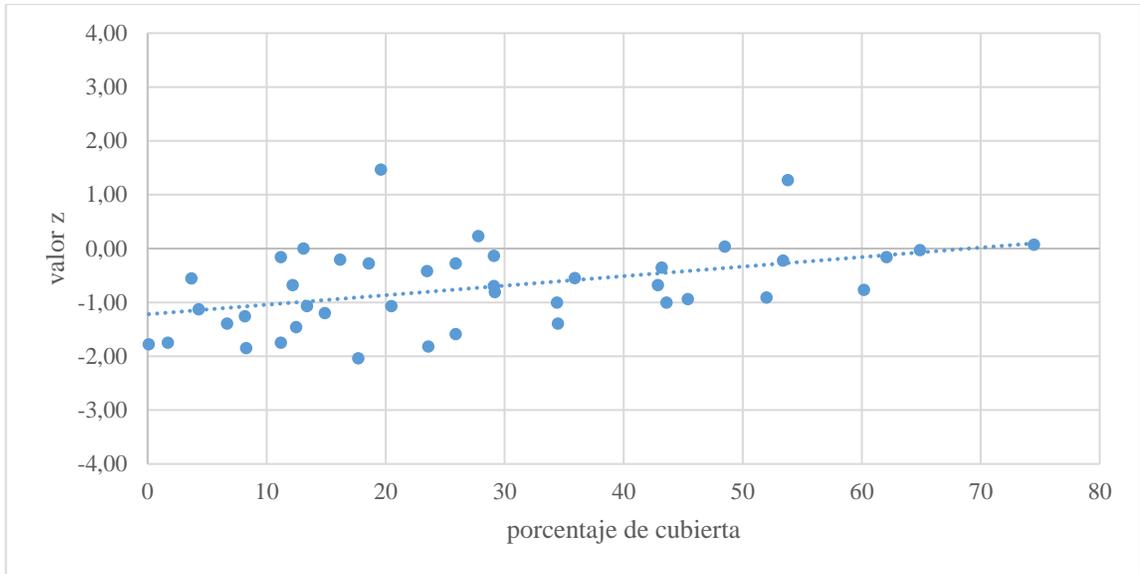


Figura 34. Relación entre las tendencias en los caudales medios y el porcentaje de cubierta de Bosques Nativos en septiembre.

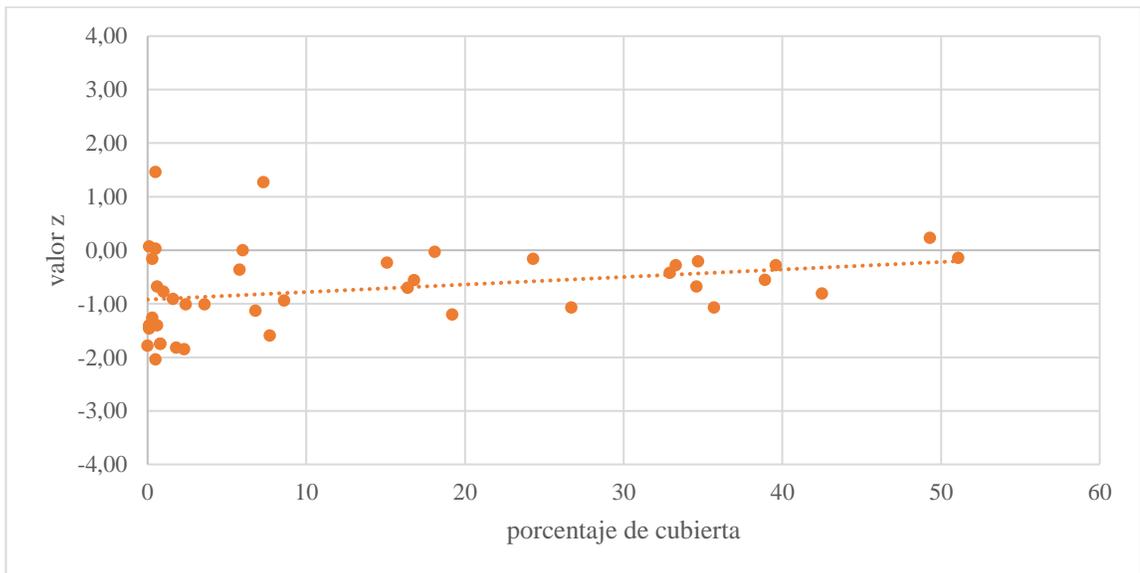


Figura 35. Relación entre las tendencias en los caudales medios y el porcentaje de cubierta de Cultivos Agrícolas en septiembre

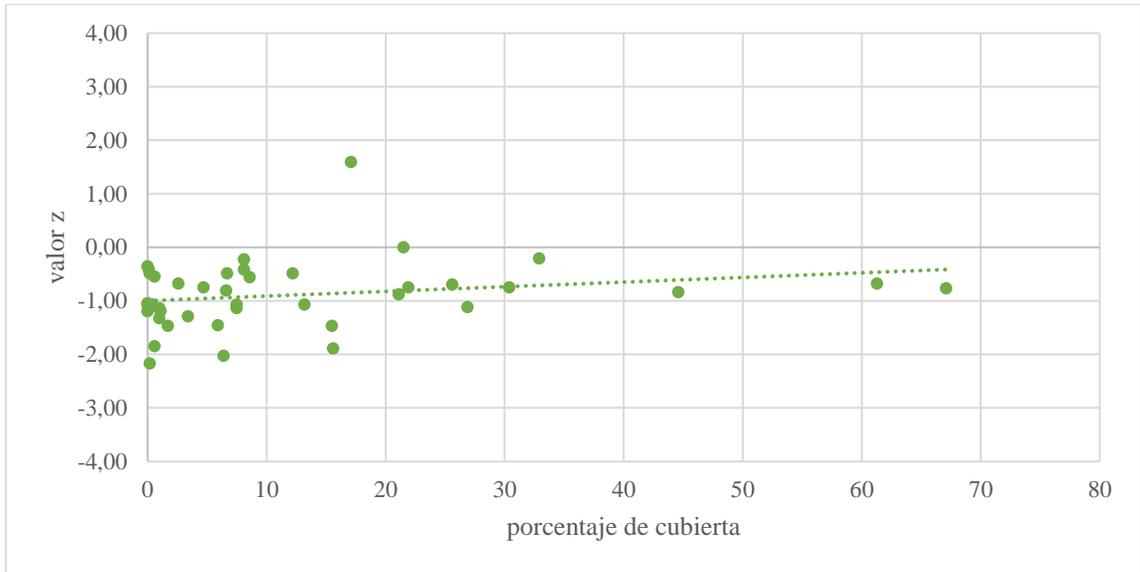


Figura 36. Relación entre las tendencias en los caudales medios y el porcentaje de cubierta de Plantaciones Forestales en octubre.

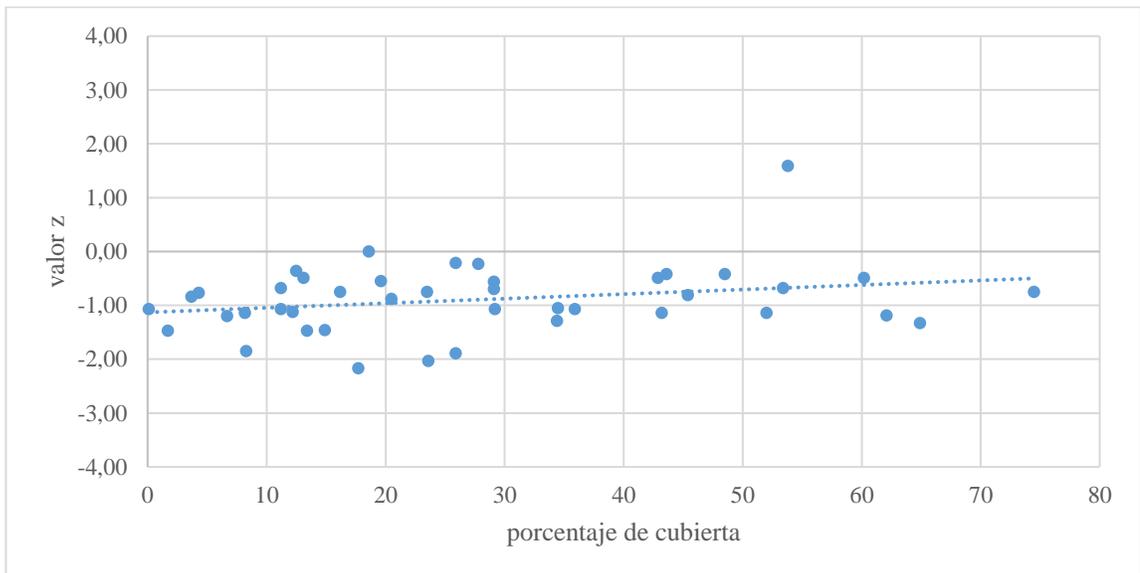


Figura 37. Relación entre las tendencias en los caudales medios y el porcentaje de cubierta de Bosques Nativos en octubre.

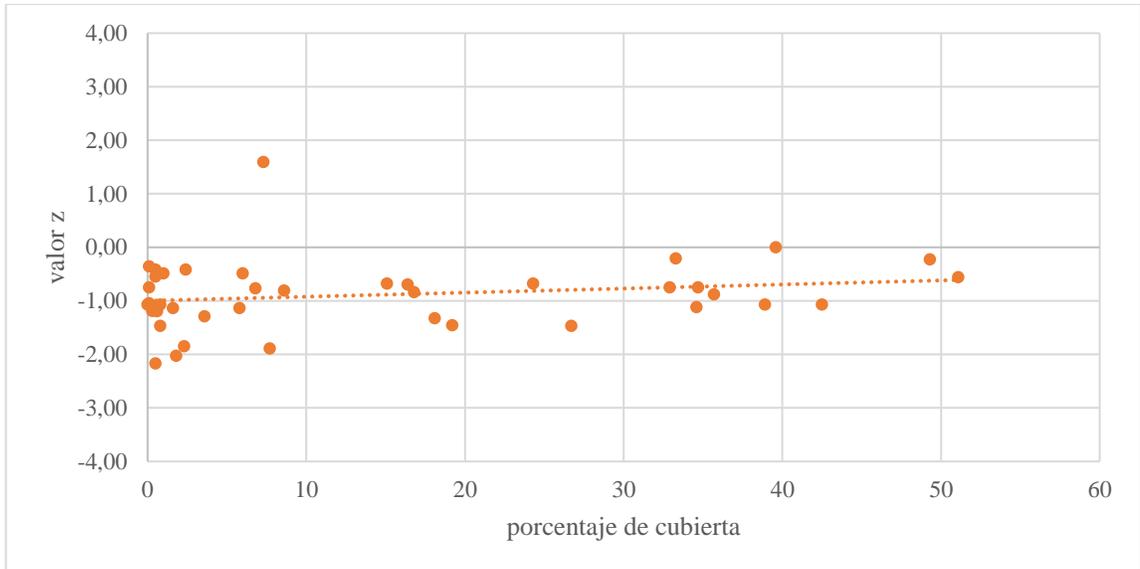
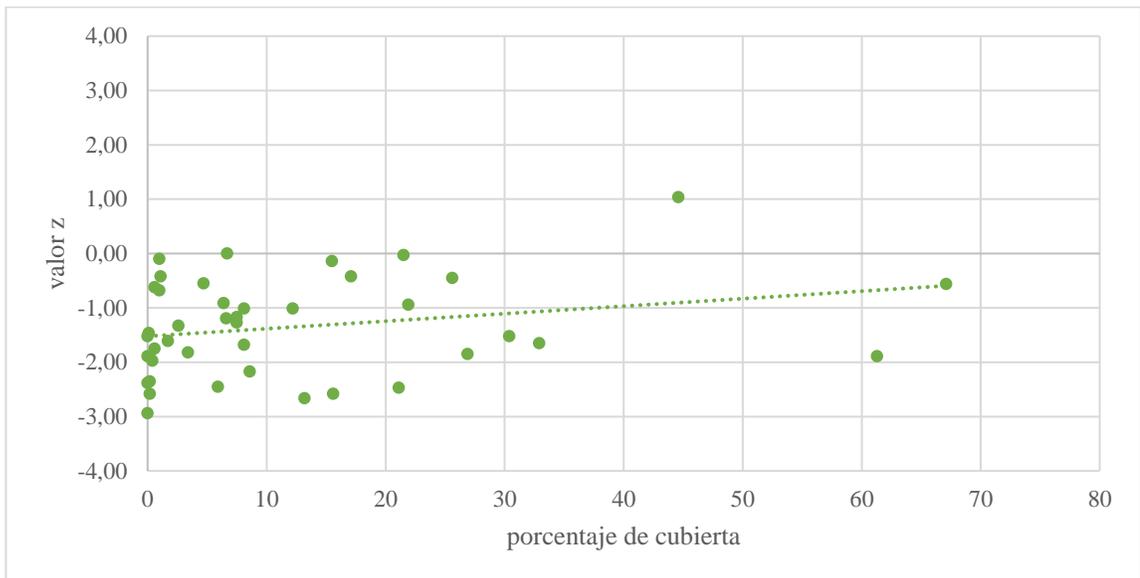


Figura 38. Relación entre las tendencias en los caudales medios y el porcentaje de cubierta de Cultivos Agrícolas en octubre.



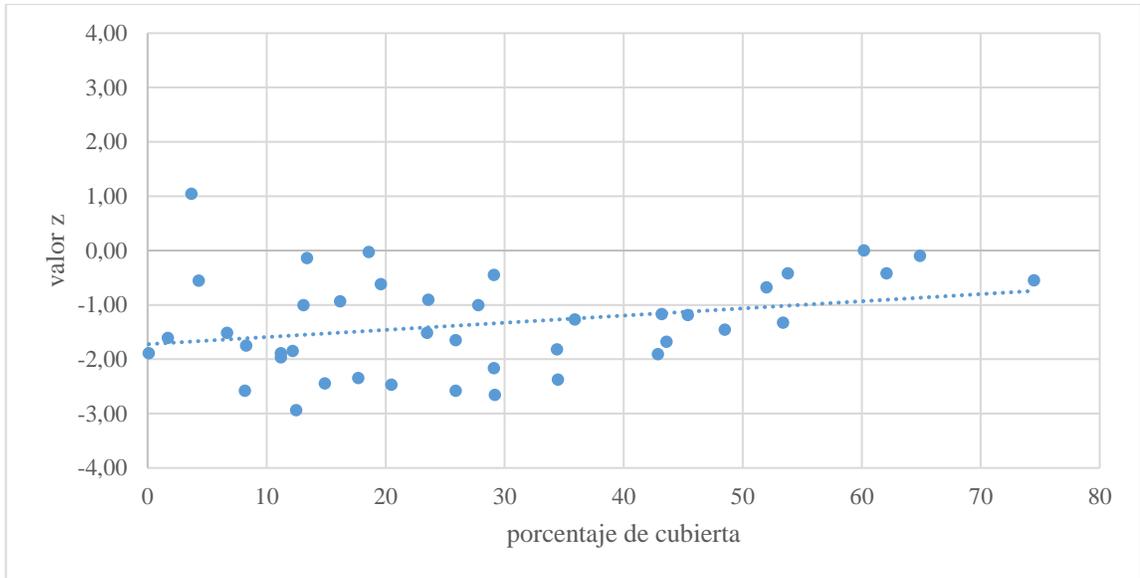


Figura 40. Relación entre las tendencias en los caudales máximos y el porcentaje de cubierta de Bosques Nativos en abril.

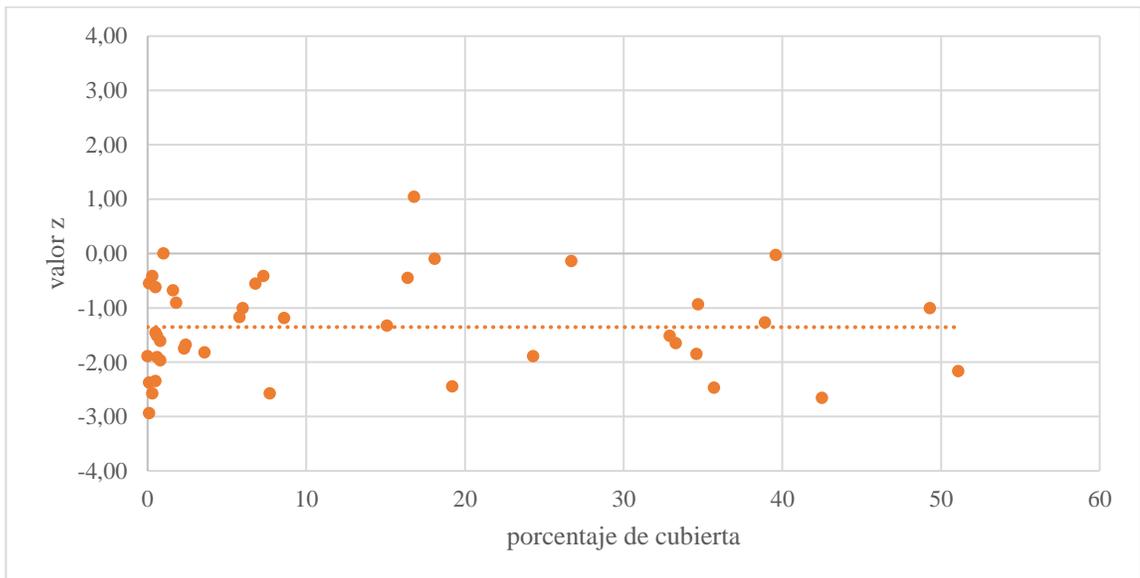


Figura 41. Relación entre las tendencias en los caudales máximos y el porcentaje de cubierta de Cultivos Agrícolas en abril.

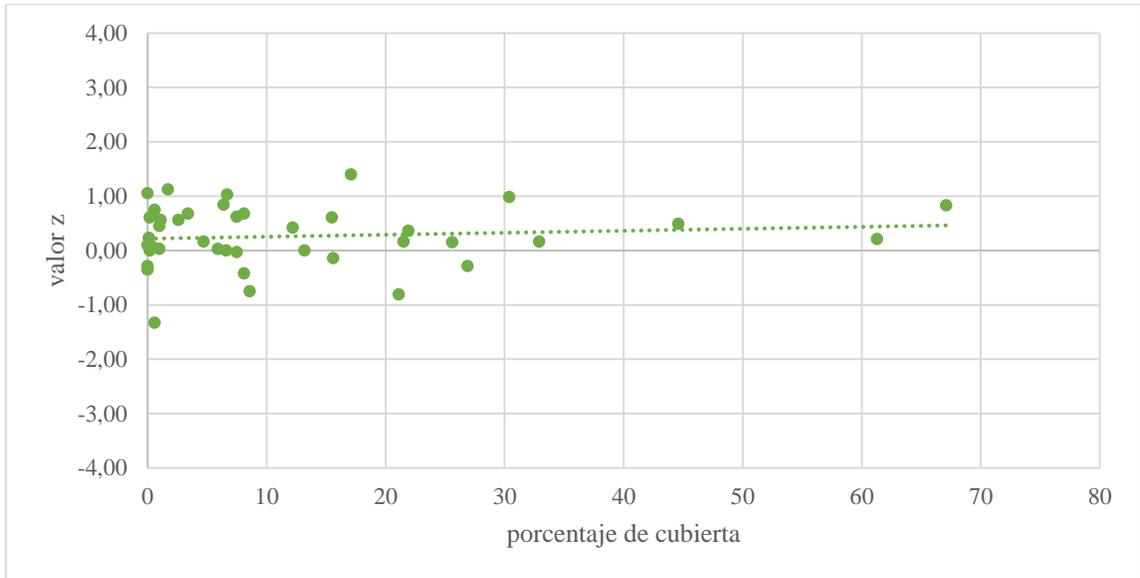


Figura 42. Relación entre las tendencias en los caudales máximos y el porcentaje de cubierta de Plantaciones Forestales en mayo.

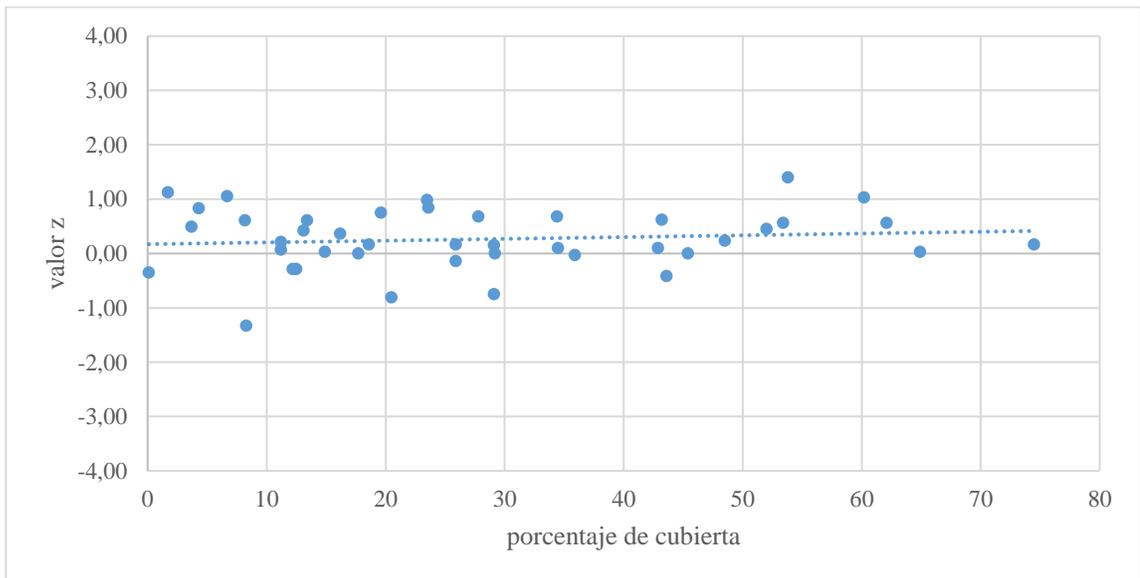


Figura 43. Relación entre las tendencias en los caudales máximos y el porcentaje de cubierta de Bosques Nativos en mayo.

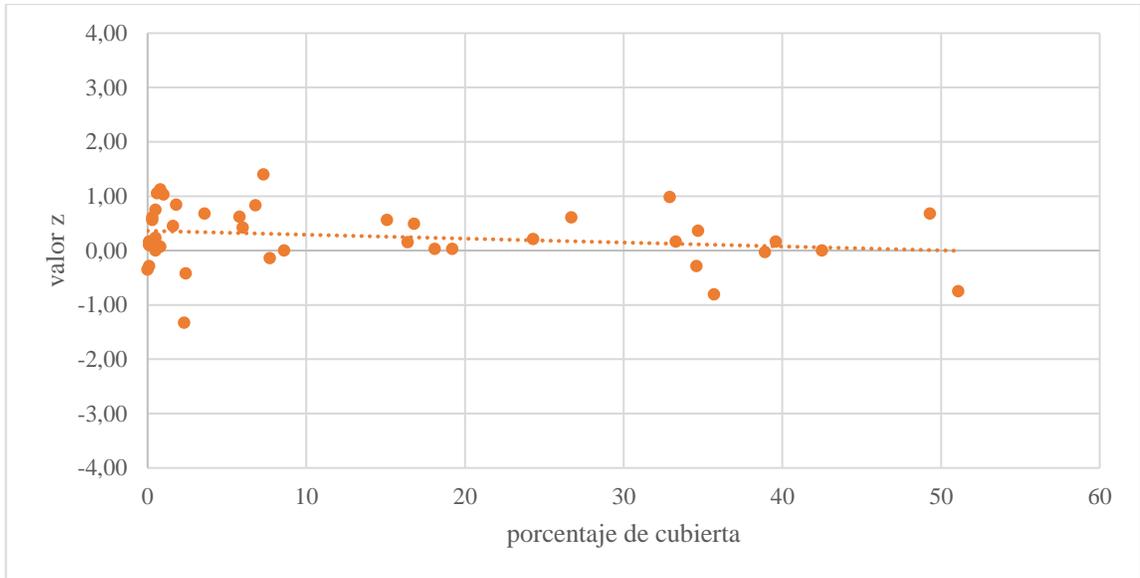


Figura 44. Relación entre las tendencias en los caudales máximos y el porcentaje de cubierta de Cultivos Agrícolas en mayo.

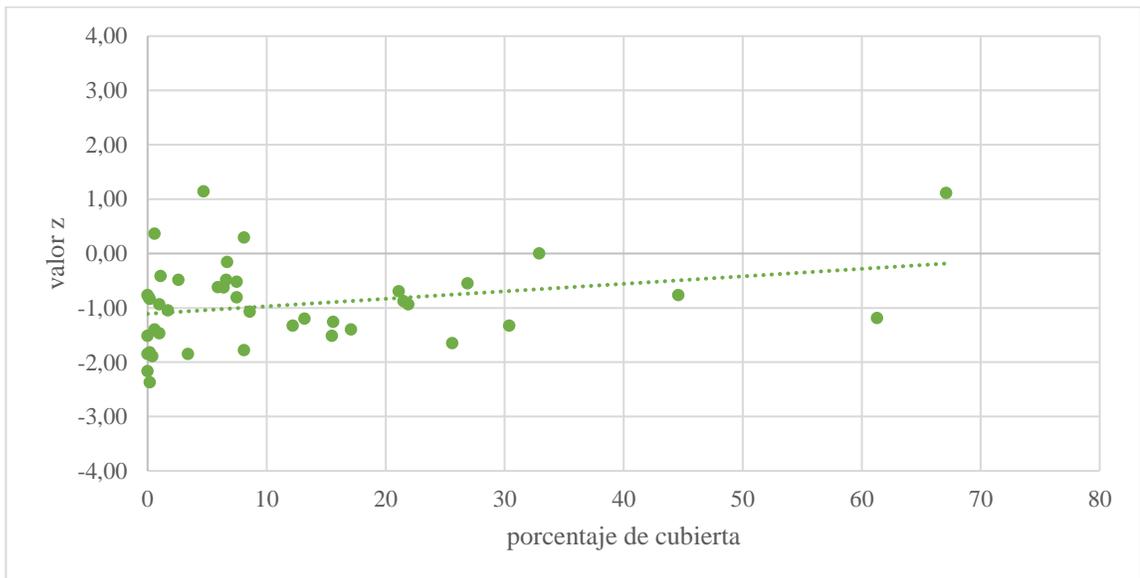


Figura 45. Relación entre las tendencias en los caudales máximos y el porcentaje de cubierta de Plantaciones Forestales en junio.

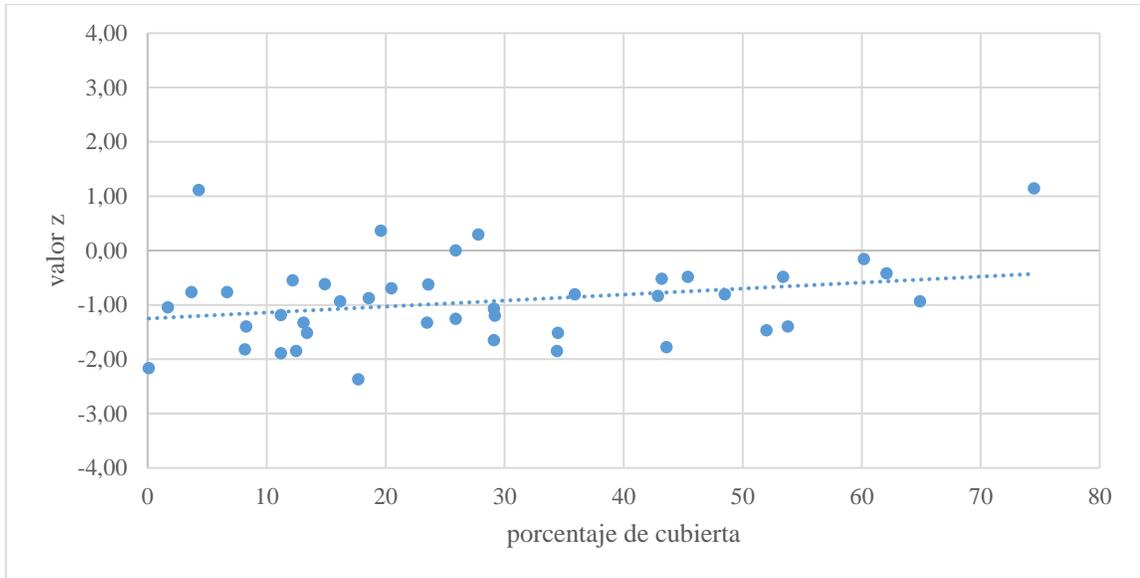


Figura 46. Relación entre las tendencias en los caudales máximos y el porcentaje de cubierta de Bosques Nativos en junio.

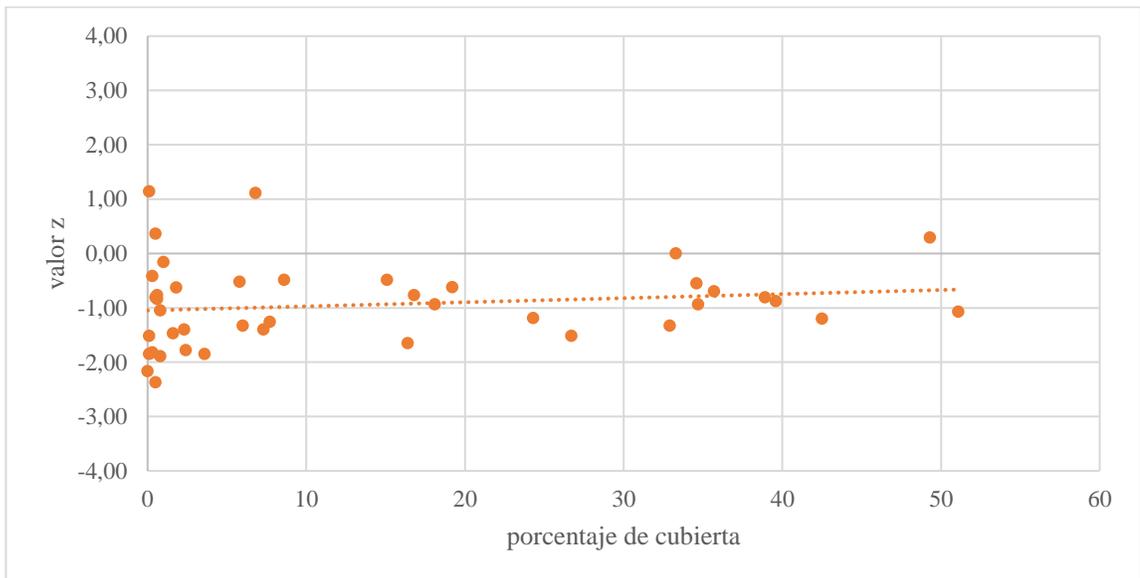


Figura 47. Relación entre las tendencias en los caudales máximos y el porcentaje de cubierta de Cultivos Agrícolas en junio.

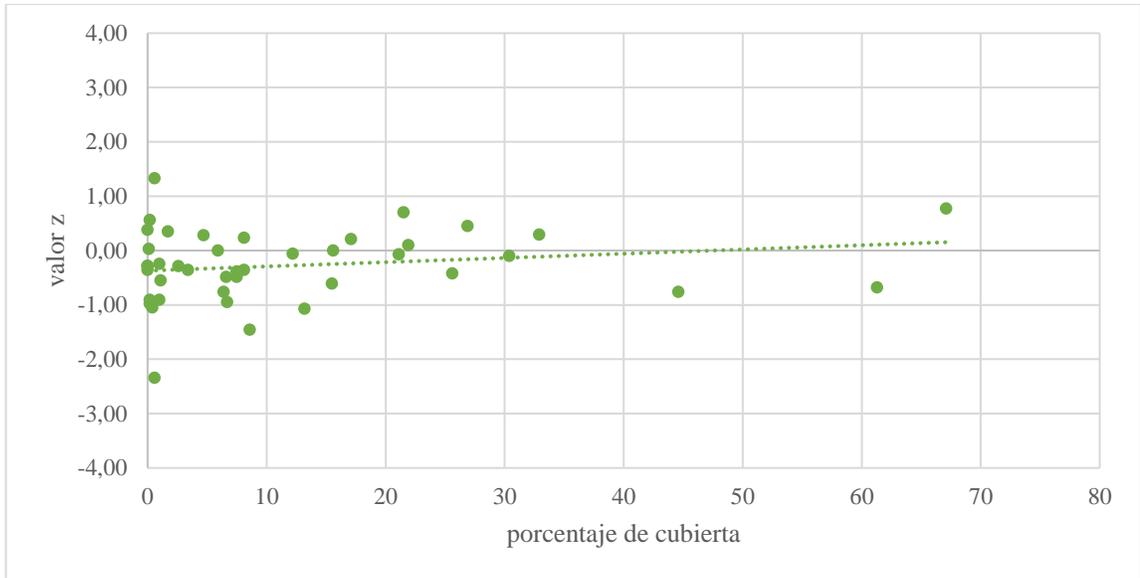


Figura 48. Relación entre las tendencias en los caudales máximos y el porcentaje de cubierta de Plantaciones Forestales en julio.

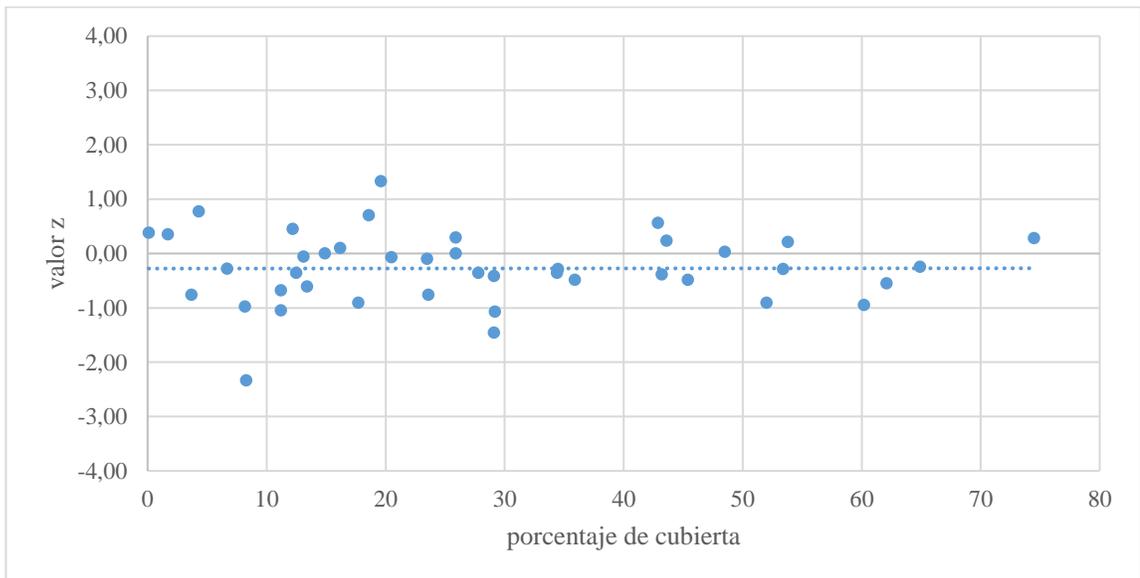


Figura 49. Relación entre las tendencias en los caudales máximos y el porcentaje de cubierta de Bosques Nativos en julio.

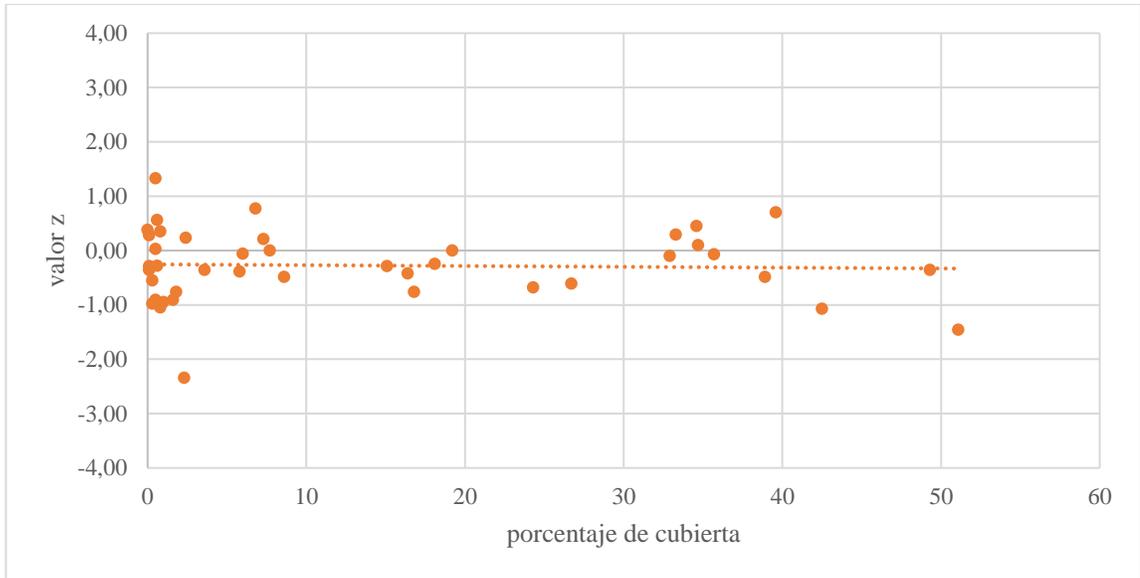


Figura 50. Relación entre las tendencias en los caudales máximos y el porcentaje de cubierta de Cultivos Agrícolas en julio.

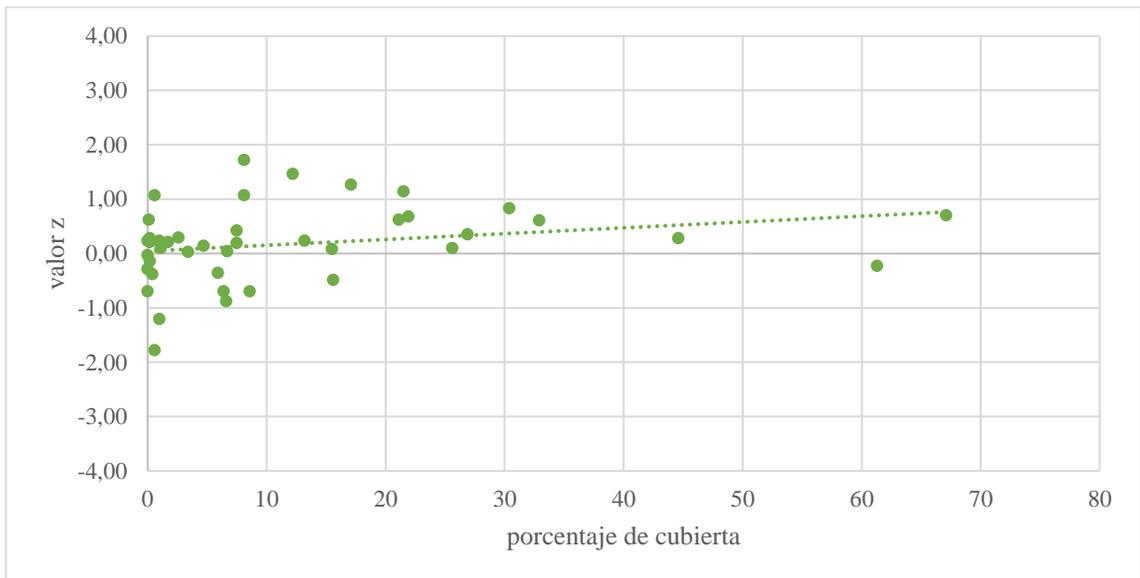


Figura 51. Relación entre las tendencias en los caudales máximos y el porcentaje de cubierta de Plantaciones Forestales en agosto.

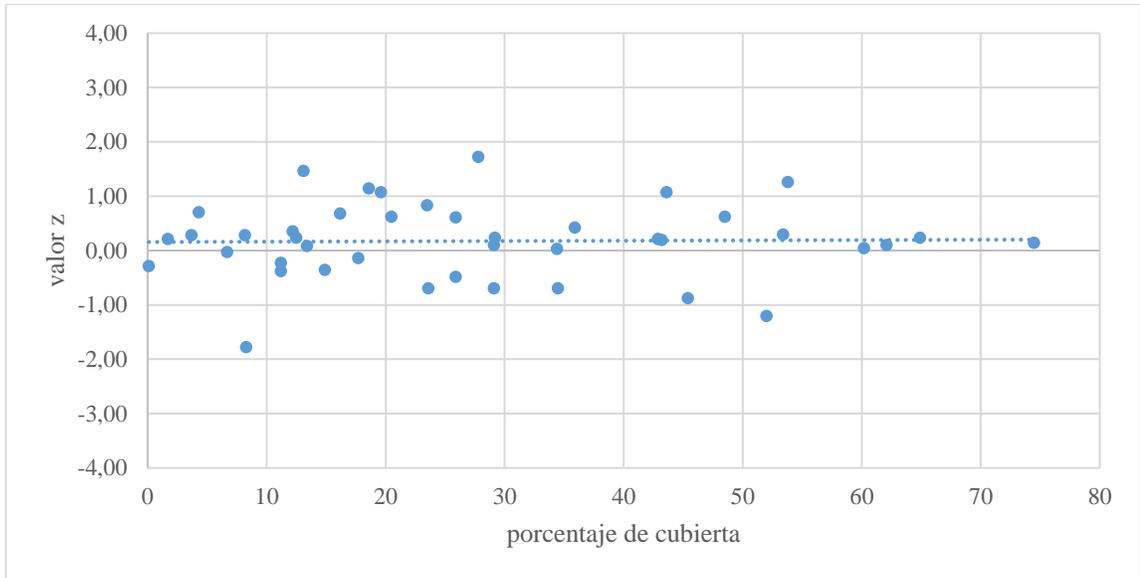


Figura 52. Relación entre las tendencias en los caudales máximos y el porcentaje de cubierta de Bosques Nativos en agosto.

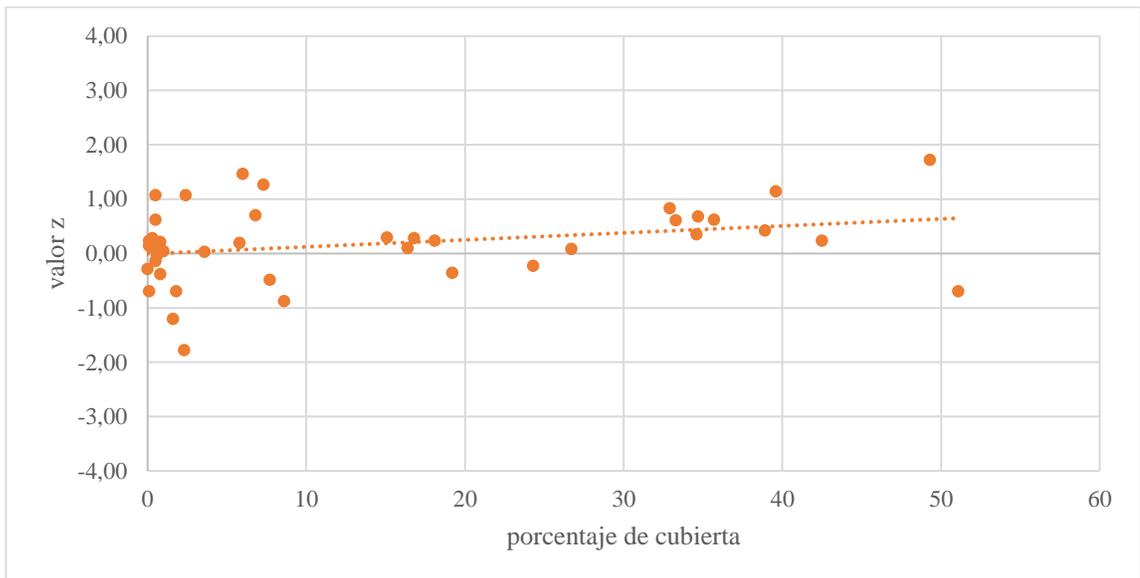


Figura 53. Relación entre las tendencias en los caudales máximos y el porcentaje de cubierta de Cultivos Agrícolas en agosto.

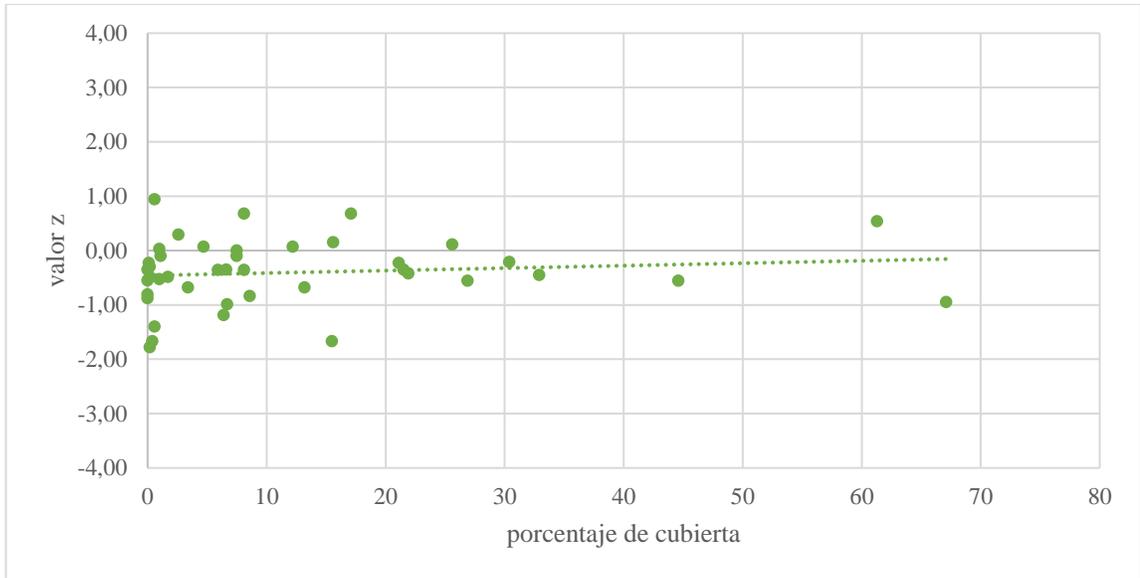


Figura 54. Relación entre las tendencias en los caudales máximos y el porcentaje de cubierta de Plantaciones Forestales en septiembre.

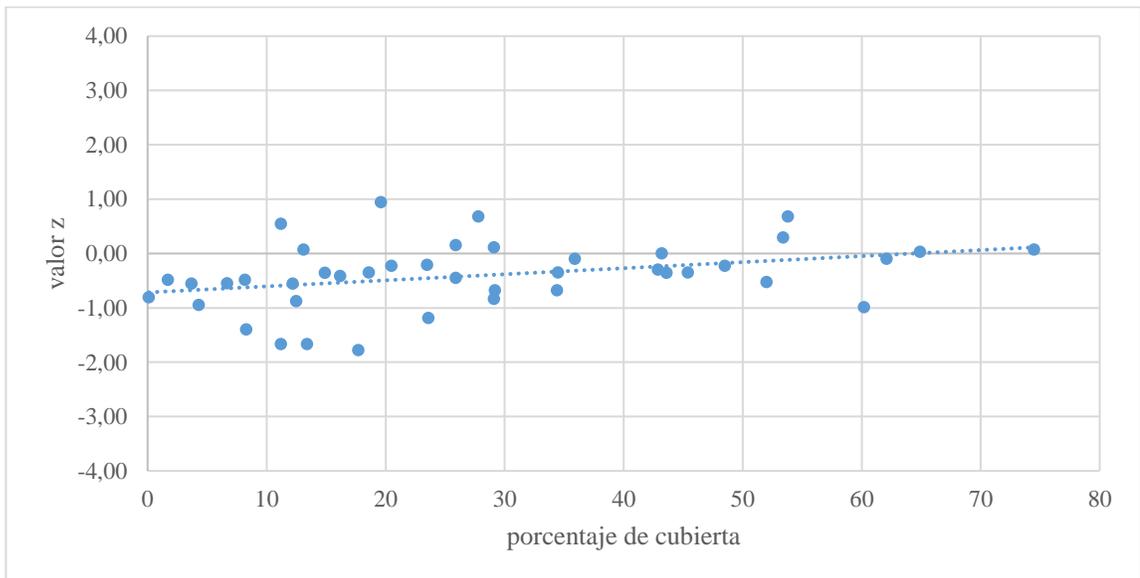


Figura 55. Relación entre las tendencias en los caudales máximos y el porcentaje de cubierta de Bosques Nativos en septiembre.

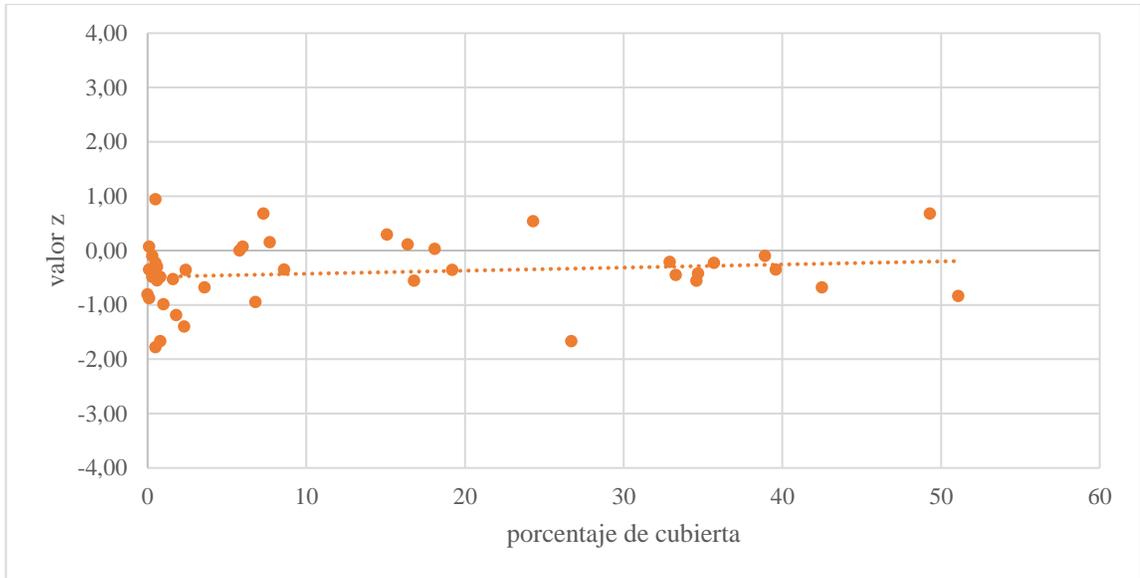


Figura 56. Relación entre las tendencias en los caudales máximos y el porcentaje de cubierta de Cultivos Agrícolas en septiembre.

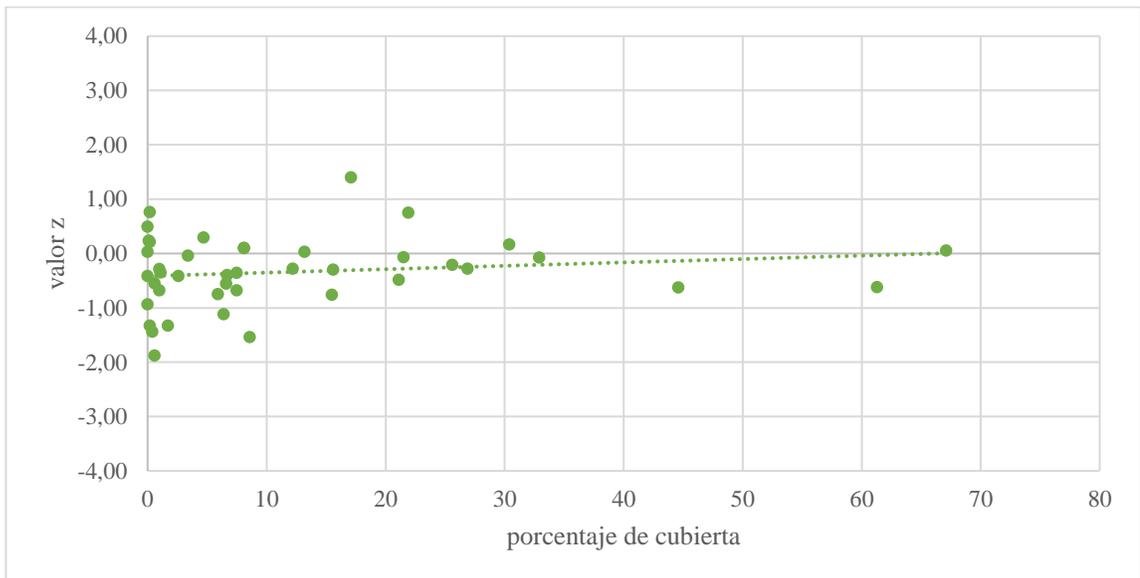


Figura 57. Relación entre las tendencias en los caudales máximos y el porcentaje de cubierta de Plantaciones Forestales en octubre.

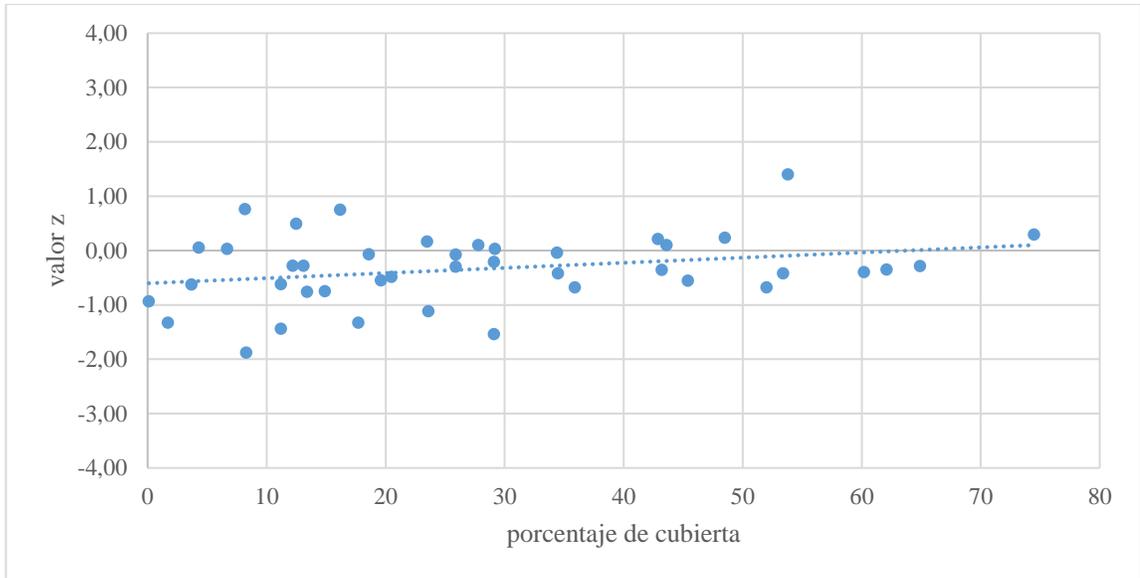


Figura 58. Relación entre las tendencias en los caudales máximos y el porcentaje de cubierta de Bosques Nativos en octubre.

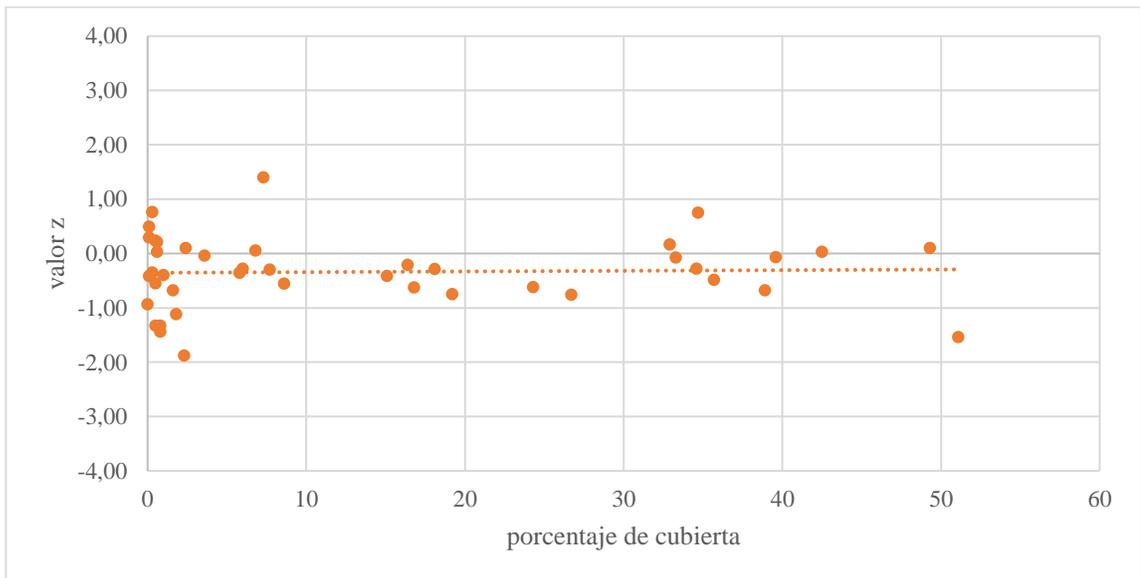
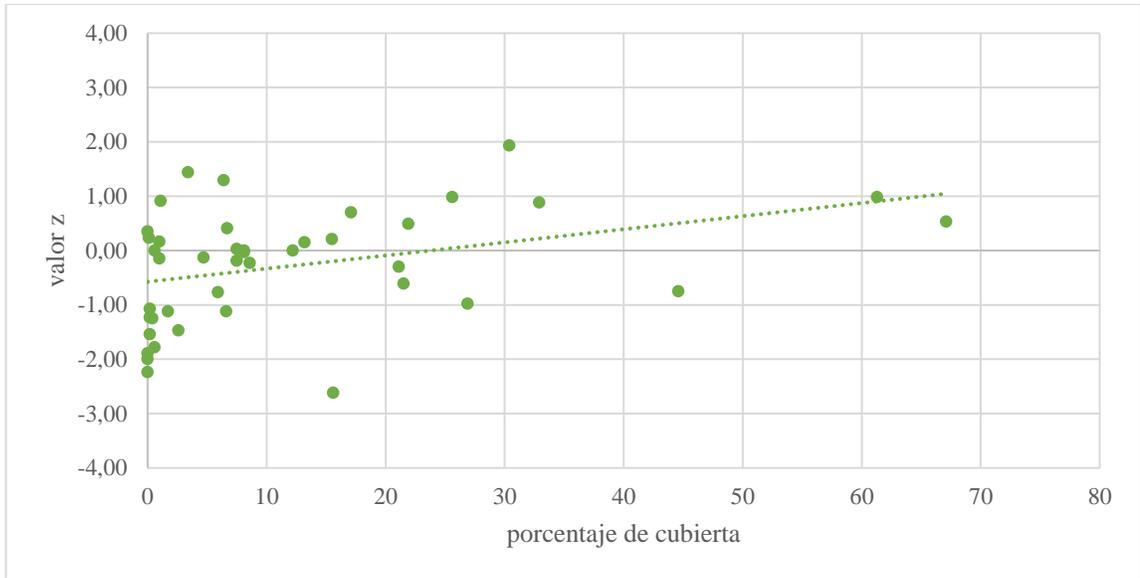
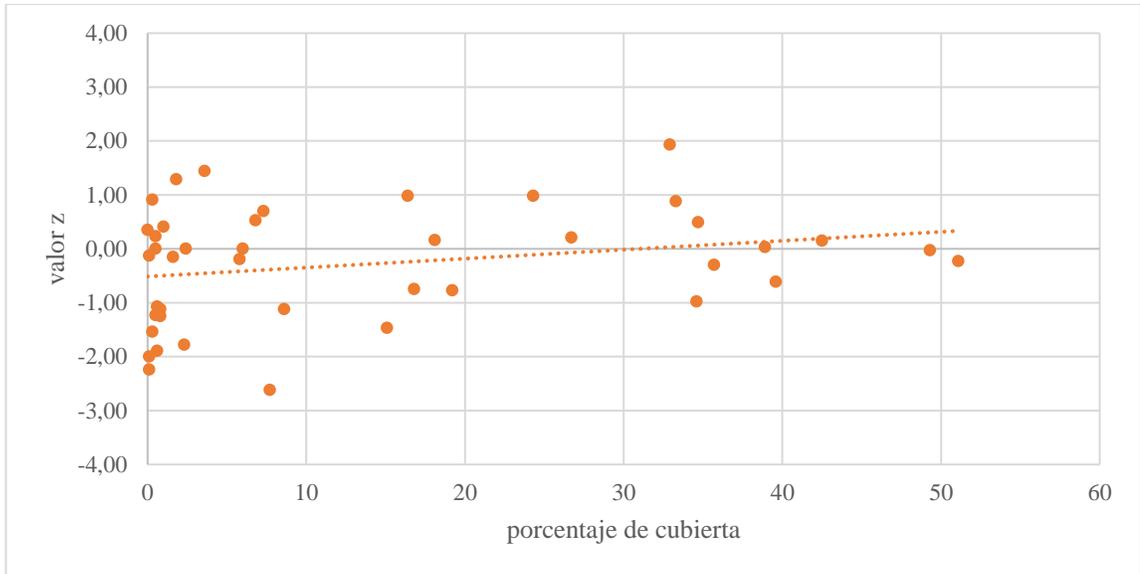


Figura 59. Relación entre las tendencias en los caudales máximos y el porcentaje de cubierta de Cultivos Agrícolas en octubre.





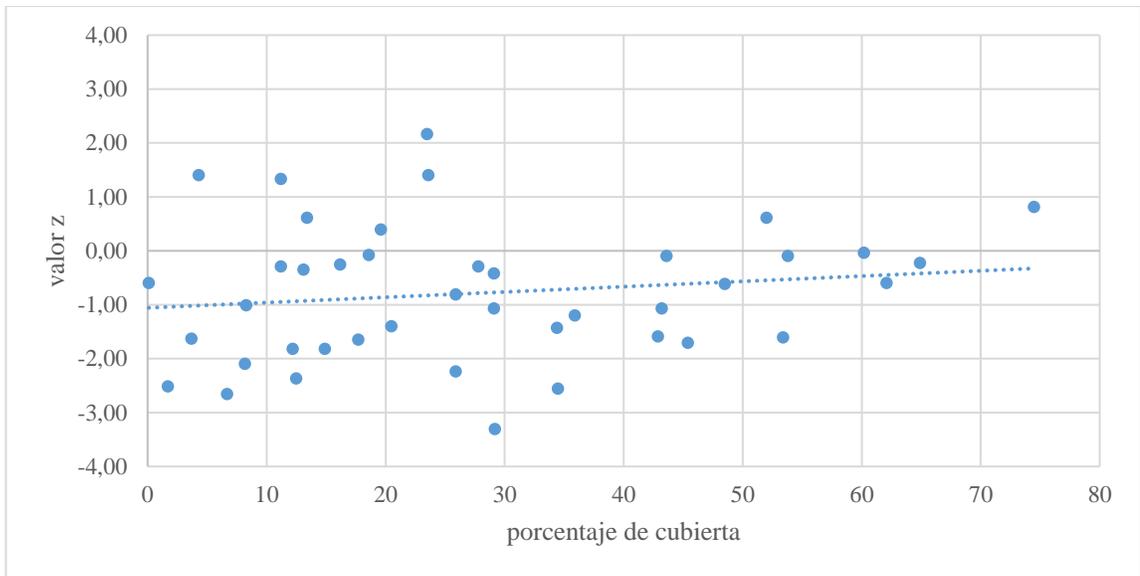


Figura 64. Relación entre las tendencias en los caudales mínimos y el porcentaje de cubierta de Bosques Nativos en mayo.

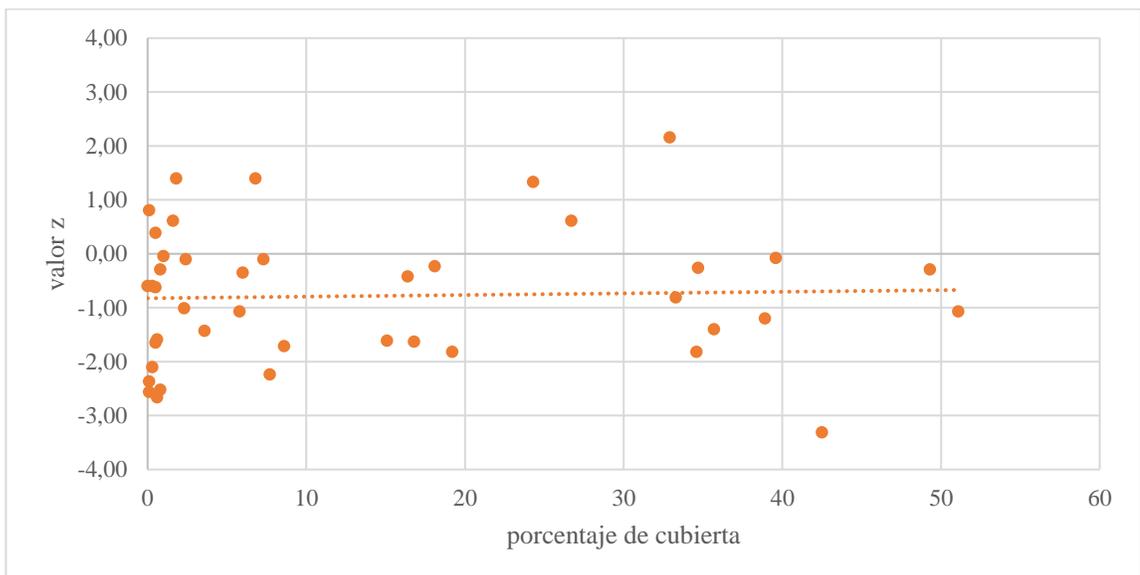


Figura 65. Relación entre las tendencias en los caudales mínimos y el porcentaje de cubierta de Cultivos Agrícolas en mayo.

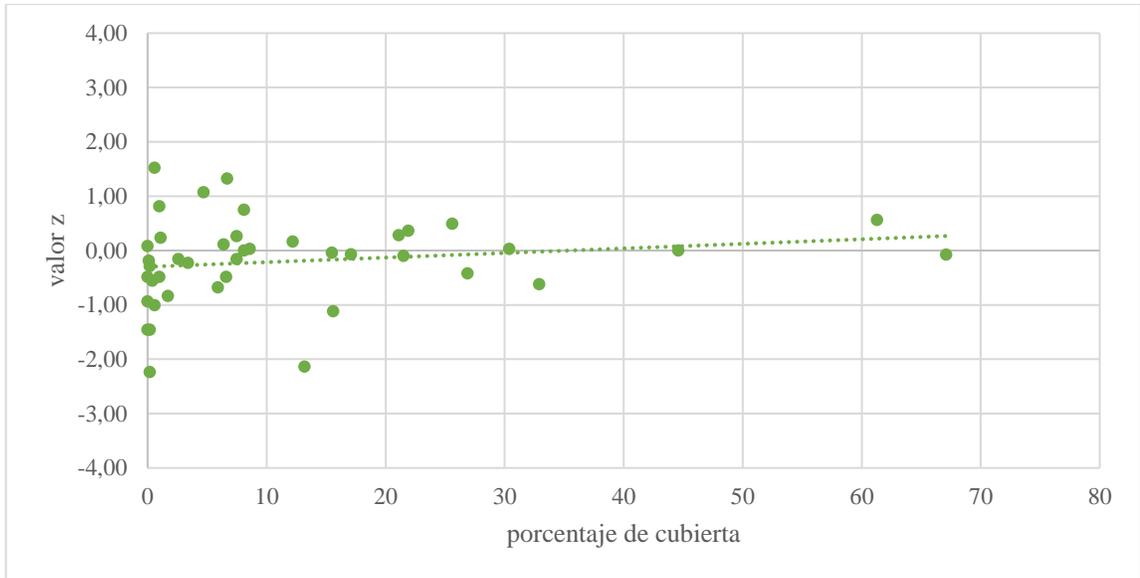


Figura 66. Relación entre las tendencias en los caudales mínimos y el porcentaje de cubierta de Plantaciones Forestales en junio.

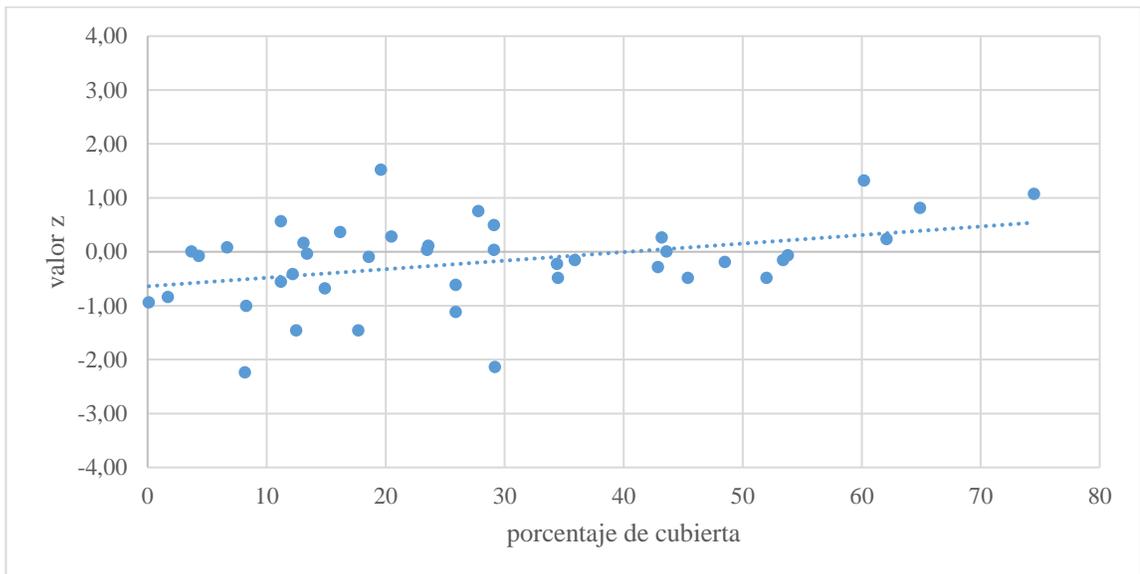


Figura 67. Relación entre las tendencias en los caudales mínimos y el porcentaje de cubierta de Bosques Nativos en junio.

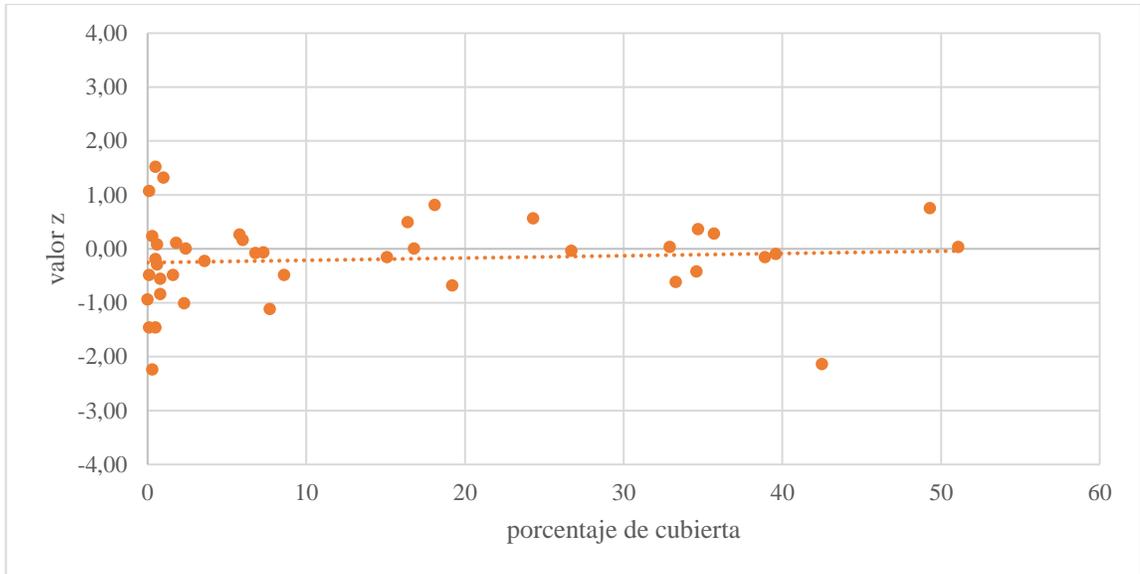


Figura 68. Relación entre las tendencias en los caudales mínimos y el porcentaje de cubierta de Cultivos Agrícolas en junio.

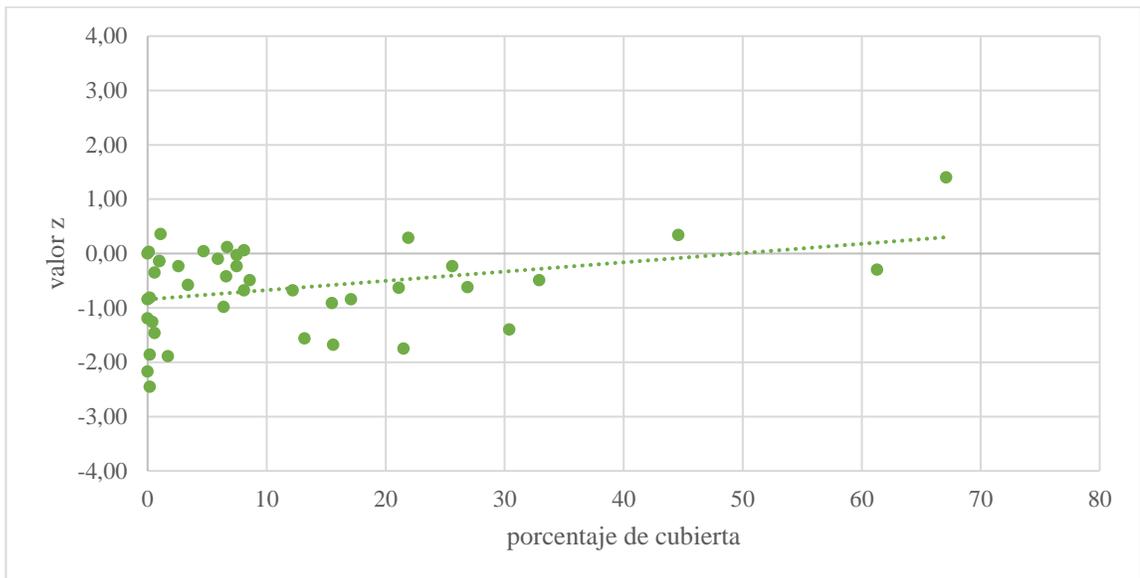


Figura 69. Relación entre las tendencias en los caudales mínimos y el porcentaje de cubierta de Plantaciones Forestales en julio.

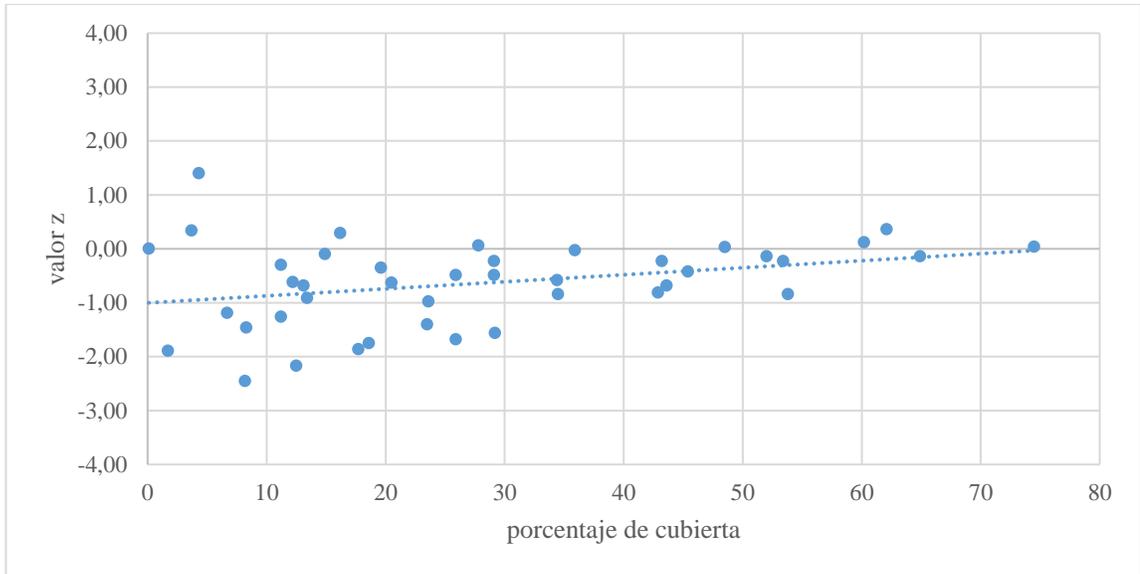


Figura 70. Relación entre las tendencias en los caudales mínimos y el porcentaje de cubierta de Bosques Nativos en julio.

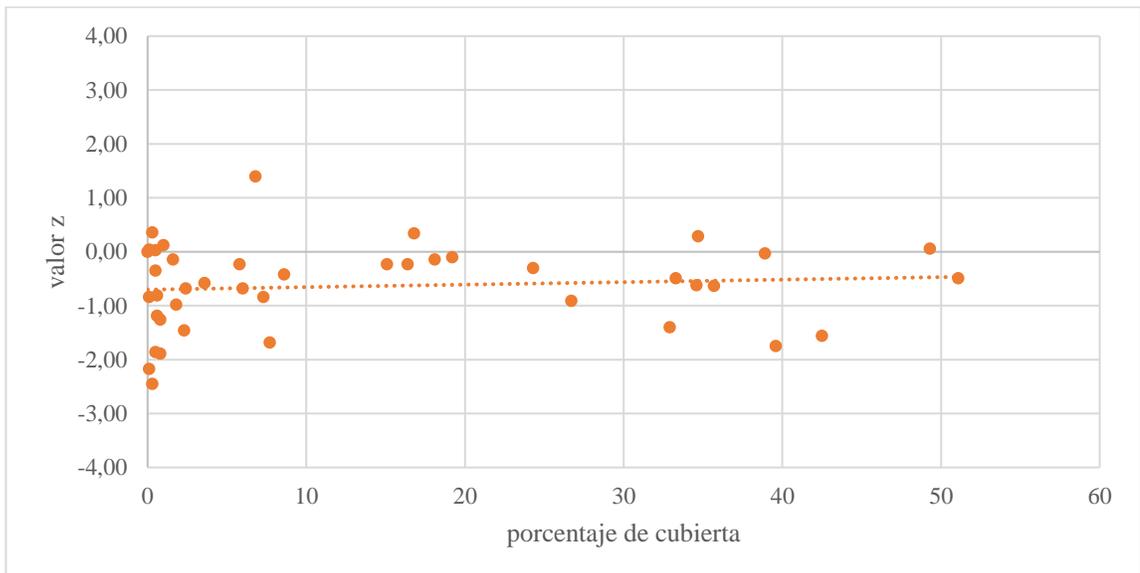


Figura 71. Relación entre las tendencias en los caudales mínimos y el porcentaje de cubierta de Cultivos Agrícolas en julio.

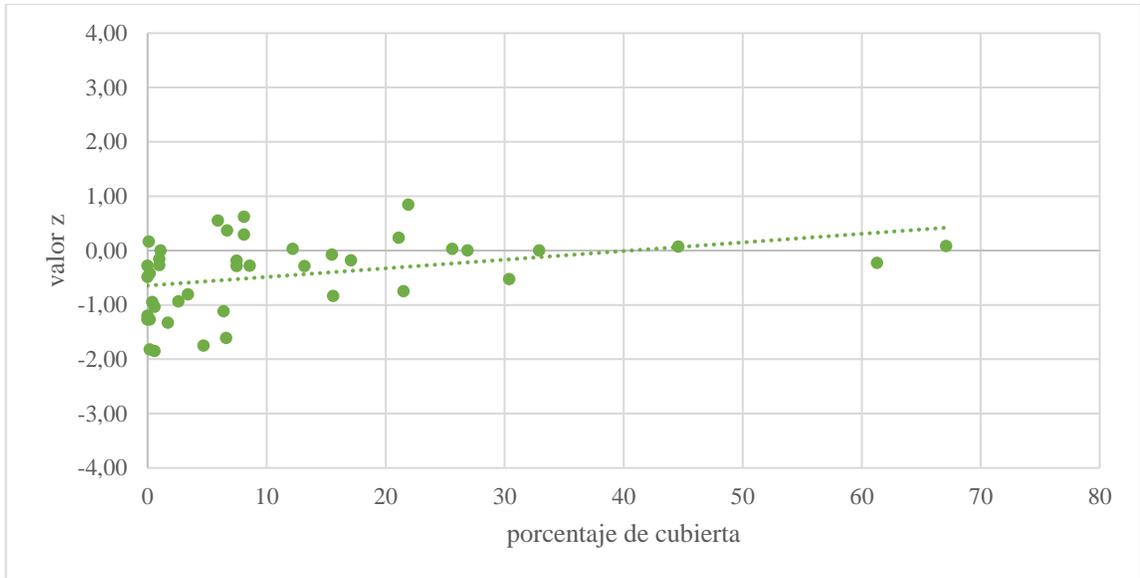


Figura 71. Relación entre las tendencias en los caudales mínimos y el porcentaje de cubierta de Plantaciones Forestales en agosto.

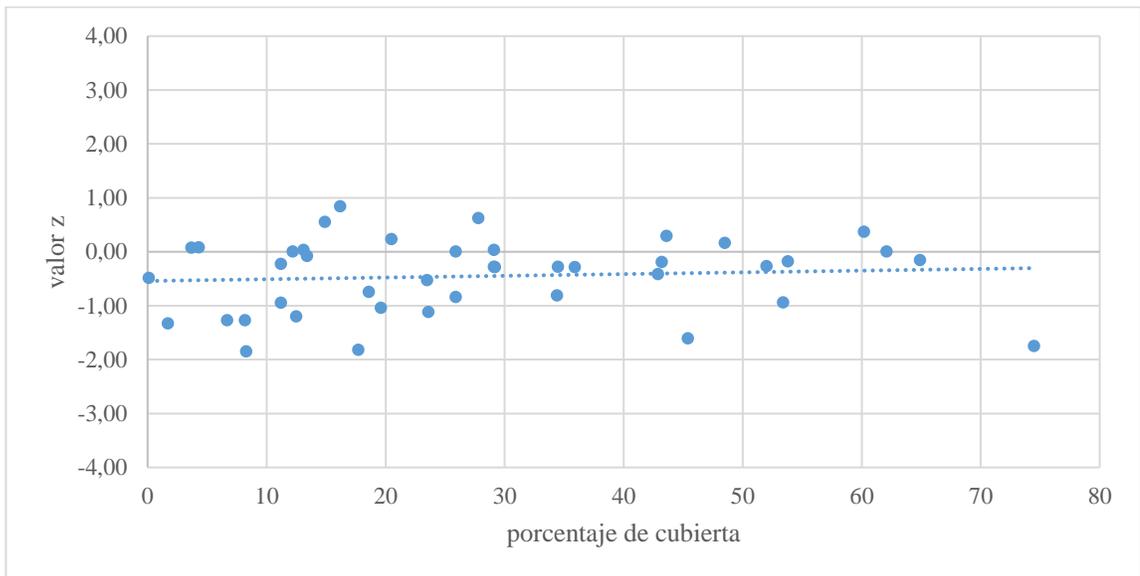


Figura 72. Relación entre las tendencias en los caudales mínimos y el porcentaje de cubierta de Bosques Nativos en agosto.

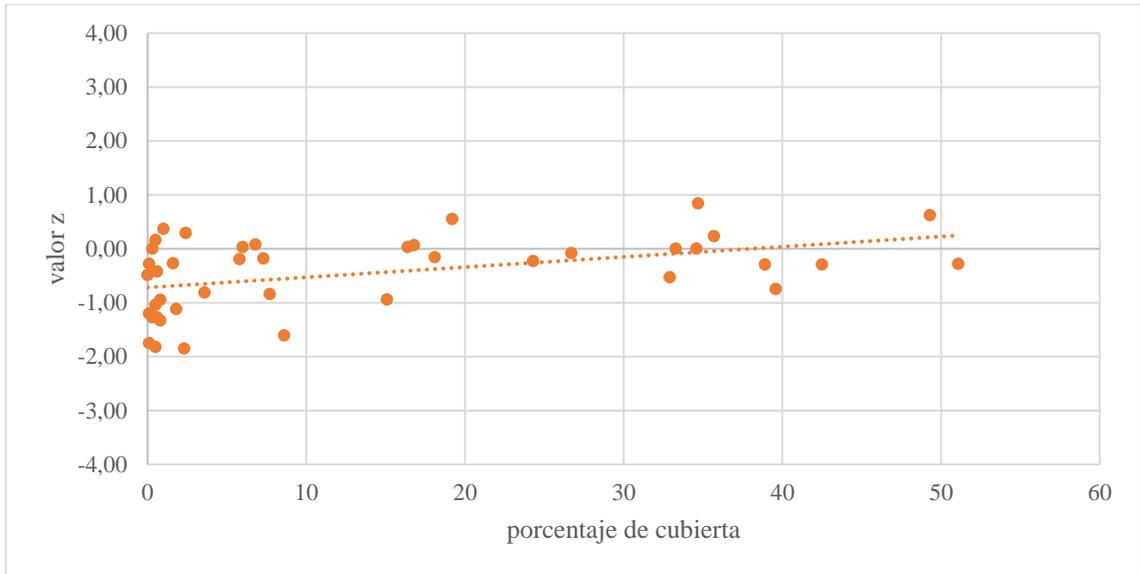


Figura 73. Relación entre las tendencias en los caudales mínimos y el porcentaje de cubierta de Cultivos Agrícolas en agosto.

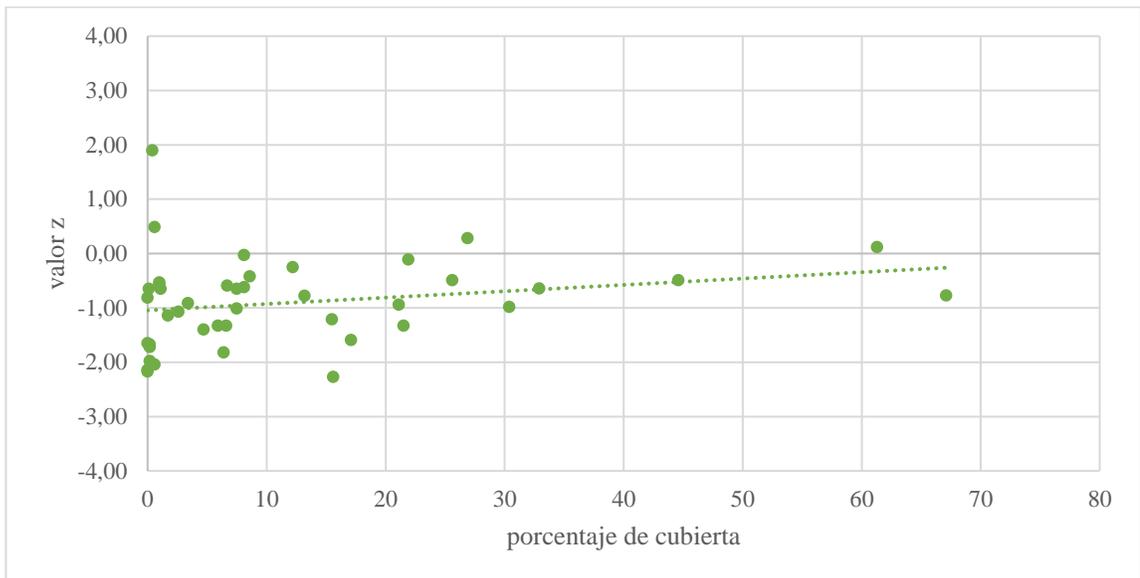


Figura 74. Relación entre las tendencias en los caudales mínimos y el porcentaje de cubierta de Plantaciones Forestales en septiembre.

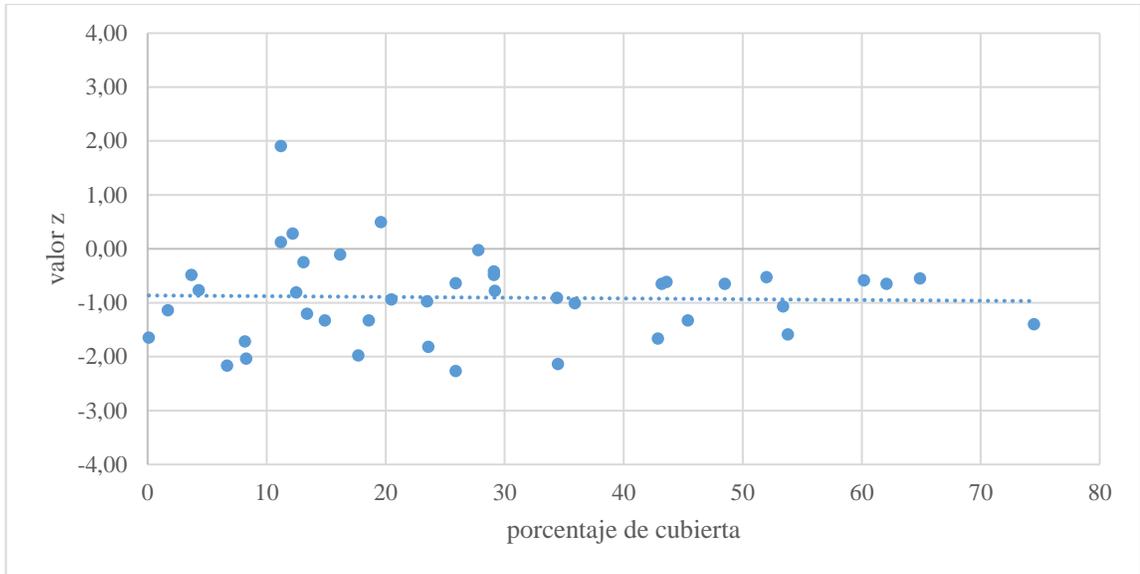


Figura 75. Relación entre las tendencias en los caudales mínimos y el porcentaje de cubierta de Bosques Nativos en septiembre.

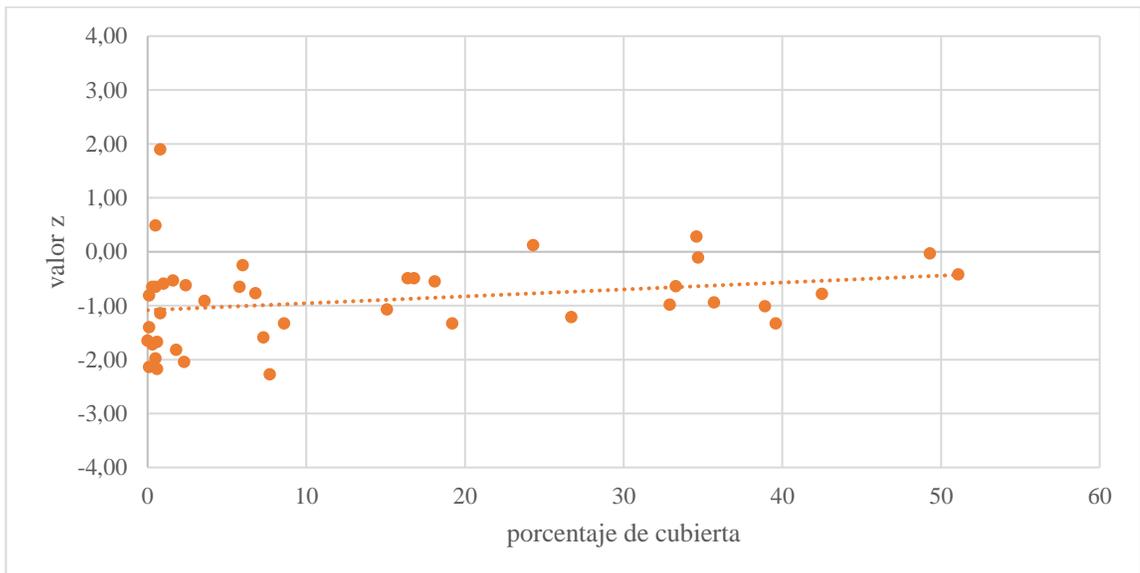
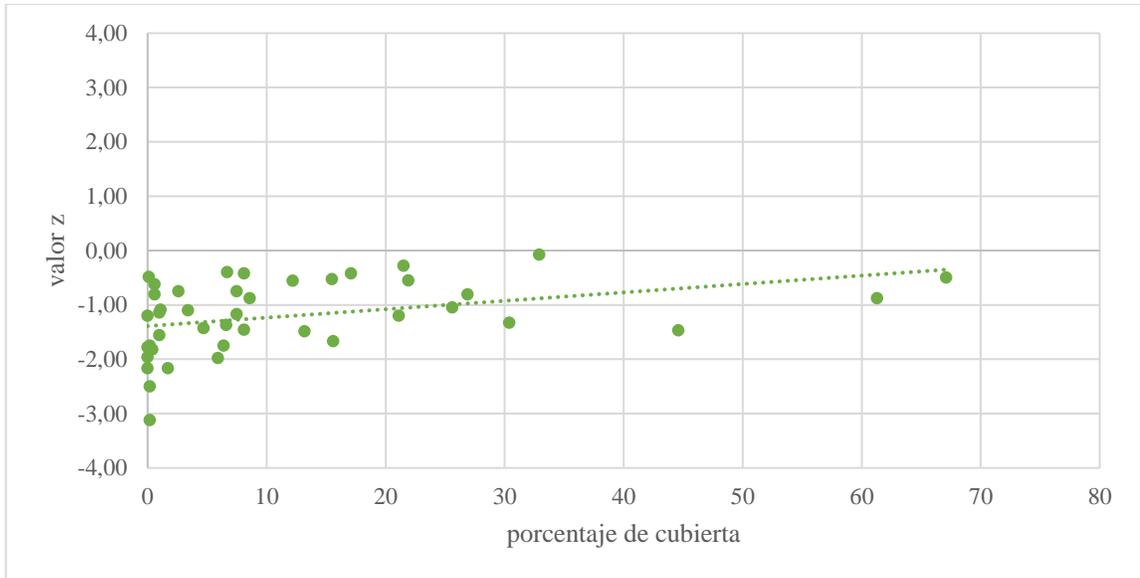


Figura 76. Relación entre las tendencias en los caudales mínimos y el porcentaje de cubierta de Cultivos Agrícolas en septiembre.



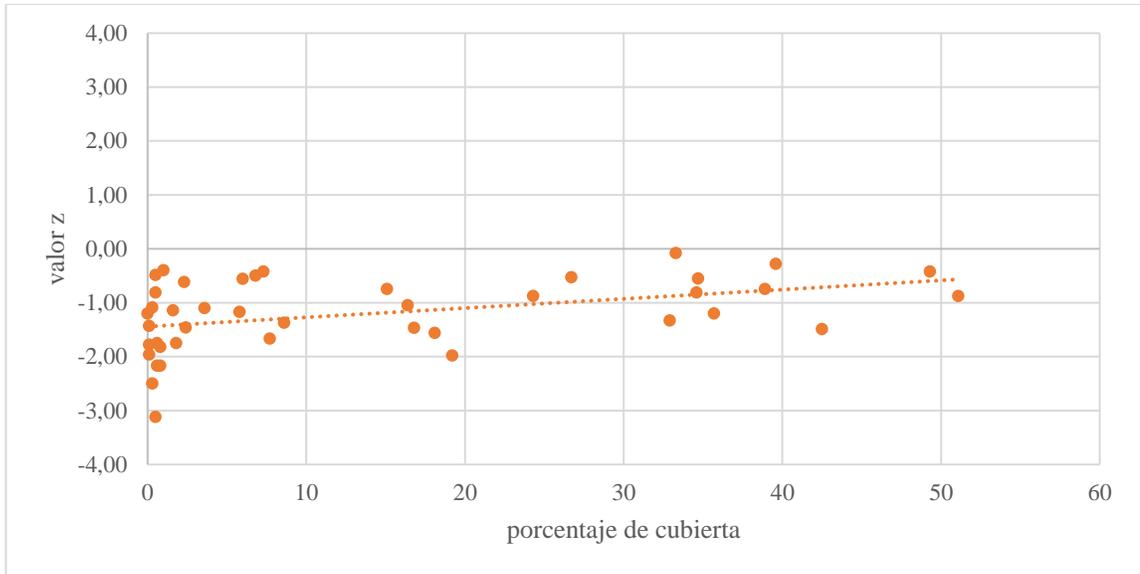


Figura 79. Relación entre las tendencias en los caudales mínimos y el porcentaje de cubierta de Cultivos Agrícolas en octubre.

Apéndice 2: Relaciones gráficas entre las tendencias de los caudales y los porcentajes de cubierta vegetal para cada cuenca a nivel anual.

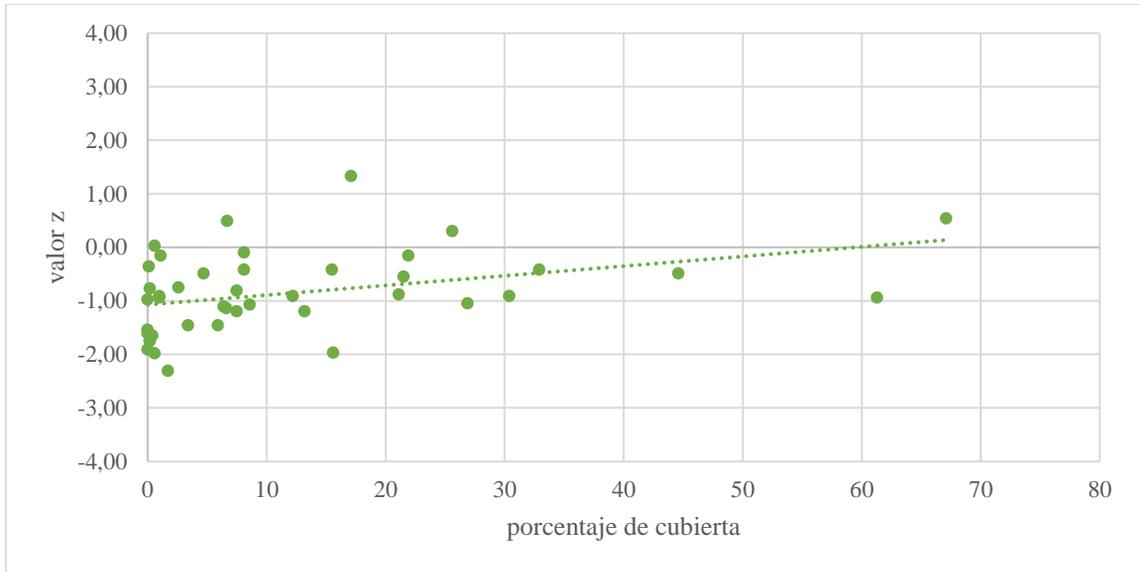


Figura 80. Relación entre las tendencias en los caudales medios y el porcentaje de cubierta de Plantaciones Forestales a nivel anual.

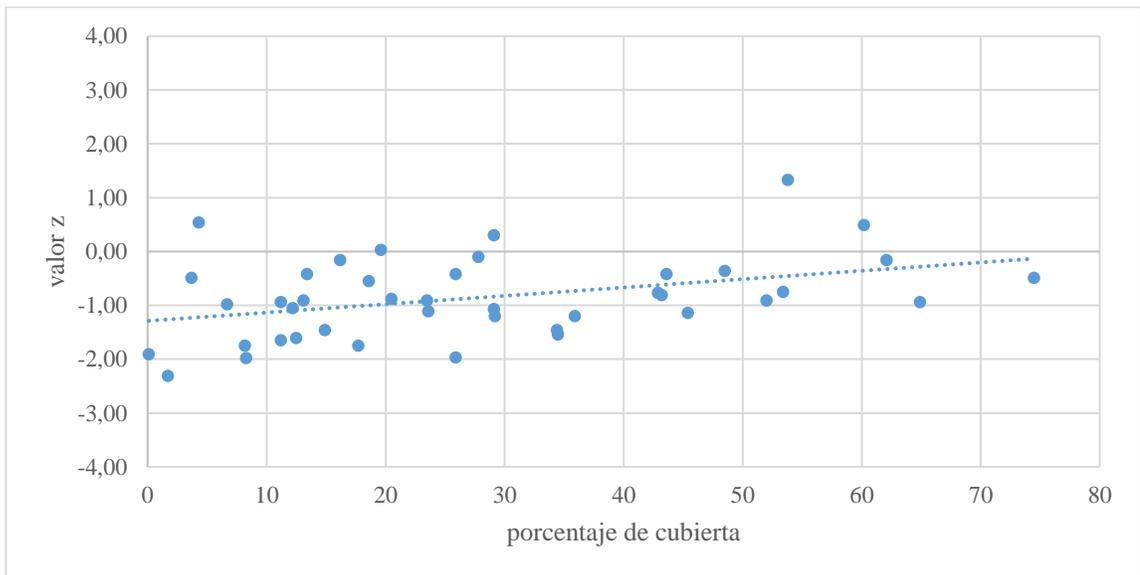


Figura 81. Relación entre las tendencias en los caudales medios y el porcentaje de cubierta de Bosques Nativos a nivel anual.

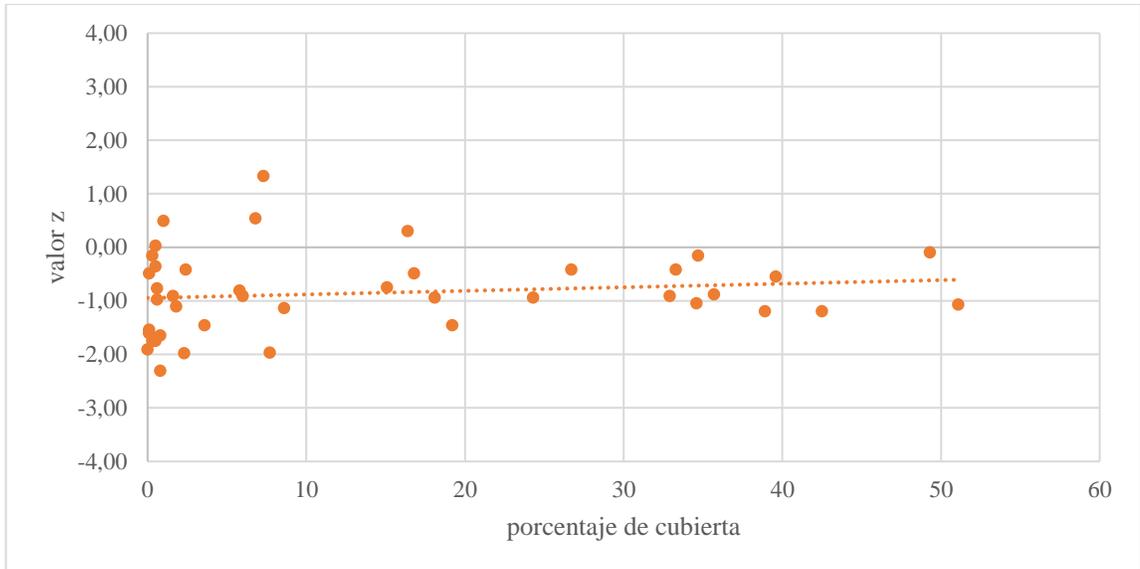


Figura 82. Relación entre las tendencias en los caudales medios y el porcentaje de cubierta de Cultivos Agrícolas a nivel anual.

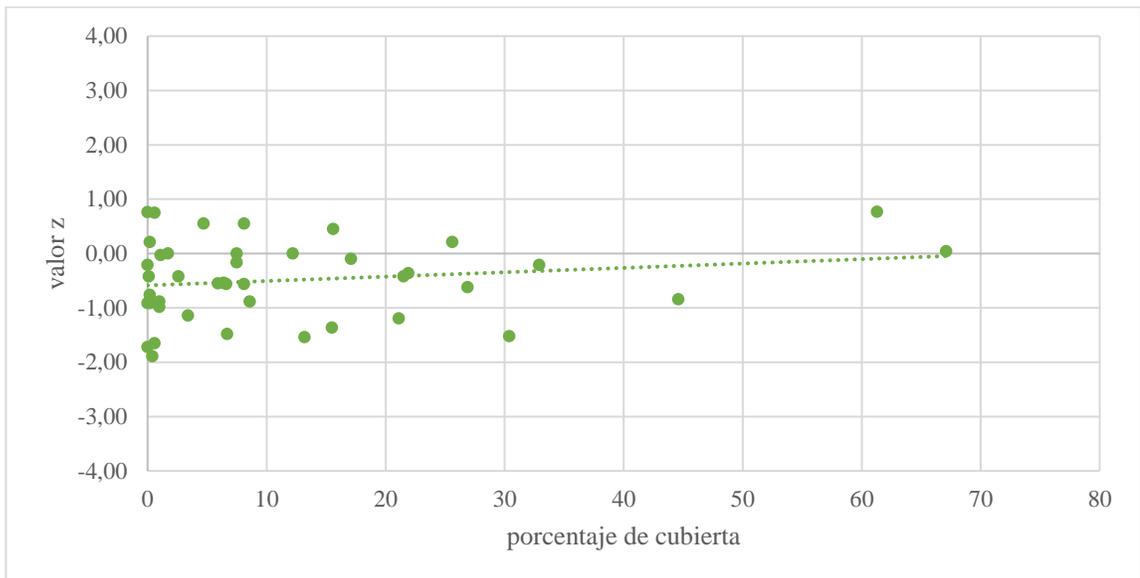


Figura 83. Relación entre las tendencias en los caudales máximos y el porcentaje de cubierta de Plantaciones Forestales a nivel anual.

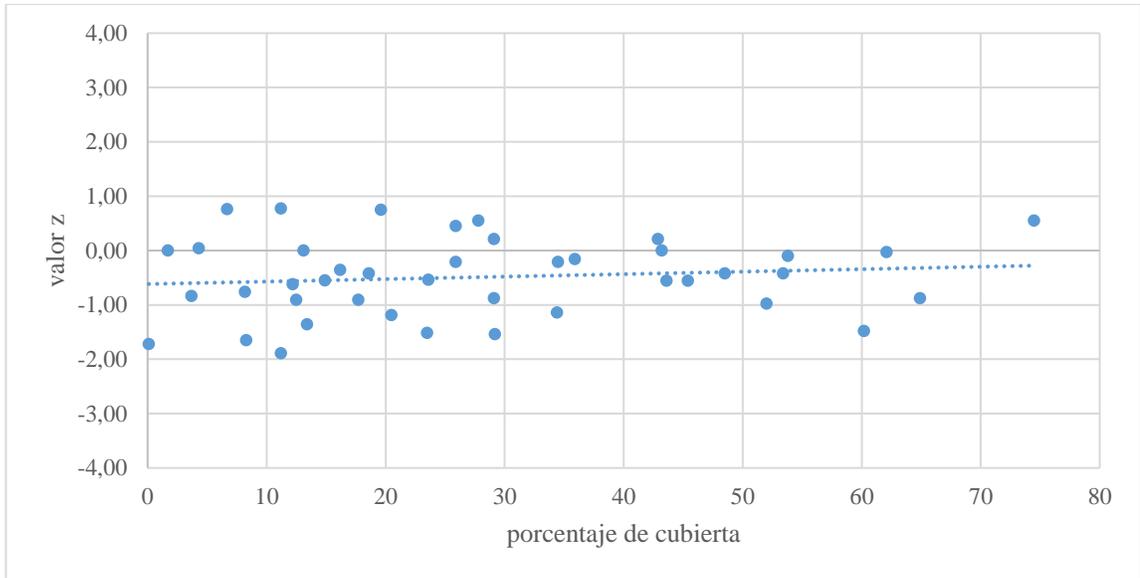


Figura 84. Relación entre las tendencias en los caudales máximos y el porcentaje de cubierta de Bosques Nativos a nivel anual.

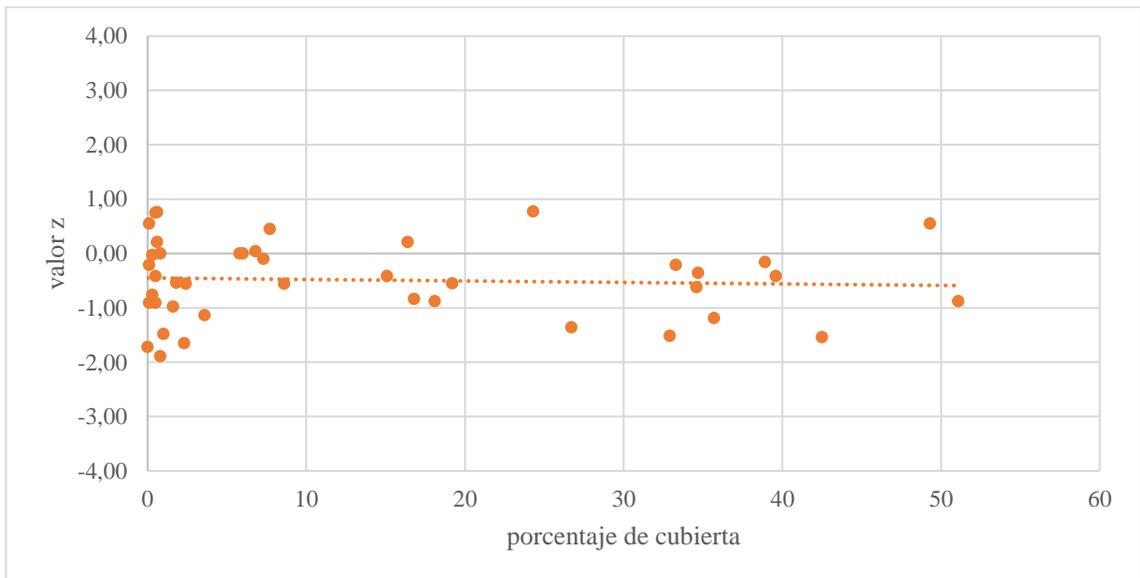


Figura 85. Relación entre las tendencias en los caudales máximos y el porcentaje de cubierta de Cultivos Agrícolas a nivel anual.

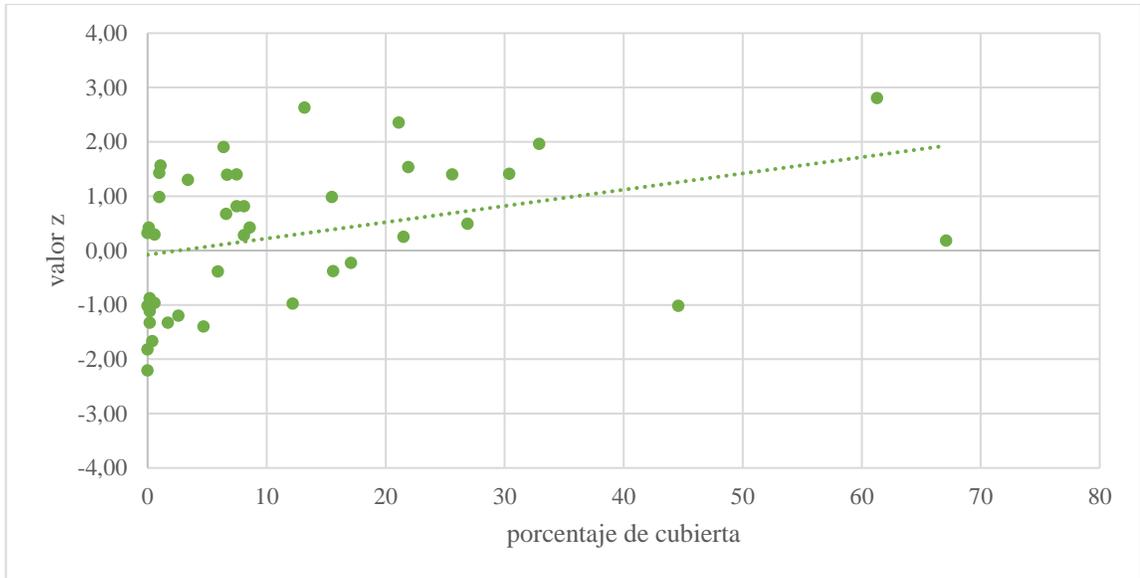


Figura 86. Relación entre las tendencias en los caudales mínimos y el porcentaje de cubierta de Plantaciones Forestales en a nivel anual.

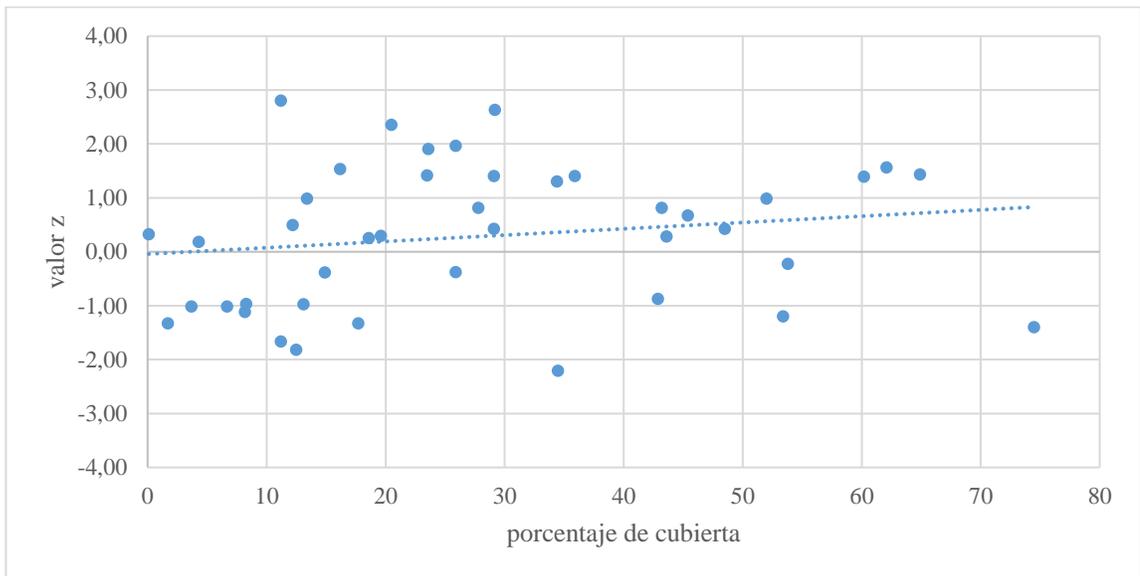


Figura 87. Relación entre las tendencias en los caudales mínimos y el porcentaje de cubierta de Bosques Nativos a nivel anual.

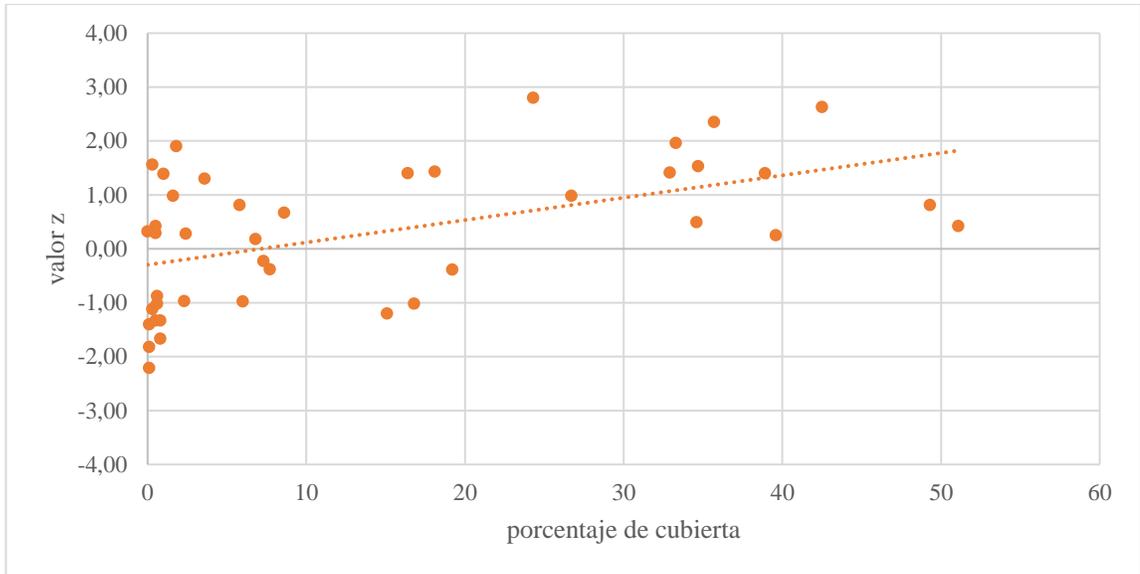


Figura 88. Relación entre las tendencias en los caudales mínimos y el porcentaje de cubierta de Cultivos Agrícolas a nivel anual.