



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



Programa
Hidrológico
Intergubernamental

Plantaciones forestales, bosque nativo, y su efecto en la producción de agua en micro-cuencas del centro sur de Chile

Forest plantations, native forest, and its effect on water production in micro-basins of south central Chile

Oscar Hernández Acuña ^{1*}

Recibido: 29/09/2021

Aceptado: 02/10/2021

*Autor de correspondencia

Resumen

En este estudio se compararon variables hidrológicas de dos cuencas con distinta cobertura forestal, para determinar si esta cobertura diferencial incide en la producción de agua a nivel de escorrentía. La cuenca El Durazno, ubicada en la precordillera andina, posee una precipitación anual de 1520 mm y vegetación nativa. Por otra parte, la cuenca El Guanaco se encuentra en la cordillera costera; posee una precipitación anual de 788 mm y contiene plantaciones forestales de especies exóticas. Ambas cuencas pertenecen a la Región de Ñuble. Se usó información pluviométrica, fluviométrica y además topográfica, para estimar indicadores morfométricos. Las variables hidrológicas fueron las precipitaciones, caudal promedio, caudal punta, caudal específico, volumen de agua superficial y subterráneo. Estas fueron comparadas con pruebas estadísticas no paramétricas a escala anual, mensual y diaria. El único indicador morfométrico que mostró diferencias fue la altura media, favoreciendo a la cuenca andina. En variables hidrológicas, las pruebas indicaron que la precipitación de los últimos 30 años, la precipitación diaria y el caudal específico de los meses lluviosos, mostraron diferencias significativas. Sin embargo, las precipitaciones y escorrentías mensuales estudiadas, no presentaron diferencias significativas. Finalmente, El Durazno cubierto con bosque nativo y con precipitaciones superiores en 82%, mostró un caudal específico menor que El Guanaco, cubierto con plantaciones forestales. Esto señala que dicha producción de agua no depende linealmente de las lluvias y que existen otros factores como los hidrogeológicos, que explicarían estos comportamientos, los que no son atribuibles solo a las lluvias o a la cobertura vegetal presente.

Palabras clave: Plantaciones, bosque nativo, hidrología, cuencas, caudales, producción de agua.

Abstract

In this study, hydrological variables of two basins with different forest cover were compared to determine if this differential cover affects the production of water at the level of runoff. The El Durazno basin, located in the Andean foothills, has an annual rainfall of 1,520 mm and native vegetation. On the other hand, the El Guanaco basin is located in the coastal mountain range; it has an annual rainfall of 788 mm and contains forest plantations of exotic species. Both basins belong to the Ñuble Region. Rainfall, fluviometric and topographic information were used to estimate morphometric indicators. The hydrological variables were rainfall, average flow, peak flow, specific flow, volume of surface and underground water. These were compared with non-parametric statistical tests on an annual, monthly and daily scale. The only morphometric indicator that showed differences was the mean height, favoring the Andean basin. In hydrological variables, the tests indicated that the precipitation of the last 30 years, the daily precipitation and the specific flow of the rainy months, showed significant differences. However, the monthly rainfall and runoff studied did not show significant differences. Finally, El Durazno covered with native forest and with 82% higher rainfall, showed a lower specific flow than El Guanaco, covered with forest plantations. This indicates that said water production does not depend linearly on rainfall and that there are other factors, such as hydrogeological factors, that would explain these behaviors, which are not attributable only to the rains or to the vegetation cover present.

Keywords: Forest plantations, native forest, hidrology, watershed, flow, water production.

1. INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico es fundamental para el desarrollo de todo ser vivo, sin embargo, está siendo afectado tanto por variaciones climáticas, como también, por la sobrepresión por parte de la comunidad, que ha realizado un inadecuado aprovechamiento del recurso. Según un informe realizado por la Universidad de Chile (2010) acerca del estado medioambiental del país, en los últimos años el planeta ha registrado las temperaturas más altas en casi un siglo, provocando una alerta generalizada entre los sectores ambientalistas y académico-científicos, quienes consideran que estas temperaturas con el pasar del tiempo, podrían incrementarse, dando lugar a diversos impactos en el medio ambiente, principalmente en la disponibilidad de los recursos hídricos en el largo plazo. Asimismo, Chile sería particularmente sensible frente a un cambio climático global, puesto que gran parte del país está ubicado en una zona de transición climática. Junto con esta variabilidad climática, según declara la DGA (2014), el aumento de la demanda de agua dulce ha provocado el agotamiento de los derechos superficiales, tornándose cada vez más importante la conservación de los recursos hídricos subterráneos, de forma de intentar garantizar el abastecimiento, tanto de las actividades productivas como del consumo humano. Un componente importante para la conservación de aguas y suelos en las cuencas geográficas tiene que ver con la cobertura vegetal presente en ellas, la cual otorga protección al suelo frente a agentes erosivos. Sin embargo, la sustitución del bosque nativo por plantaciones forestales y la plantación masiva en diversas zonas descubiertas de vegetación, ha generado una sensibilidad por parte de la comunidad, quienes desconocen los efectos que provocaría esta nueva masa boscosa en la disponibilidad hídrica de la cuenca. El establecimiento de las plantaciones forestales ha sido cuestionado por su impacto en los recursos hídricos y el medio ambiente, tanto en el debate público, como también en los medios de comunicación, culpando a las plantaciones de ser causantes del déficit de agua en las zonas rurales, cuestiones que incluso han sido planteadas por miembros del parlamento chileno (González, 2007). Debido a estos antecedentes, surge el interés de cuantificar la relación que existe entre las distintas variables hidrológicas (precipitación, caudal promedio, caudal específico, caudal punta, volúmenes de escorrentía superficial y subterráneo a escala mensual) en diversas unidades hidrográficas.

En este marco, esta investigación apunta a determinar los comportamientos similares o diferenciales que se observan en dos cuencas de la región del Ñuble, sometidas a diferentes climas y estratos vegetacionales, para un mismo periodo de estudio.

2. METODOLOGÍA

2.1 Zona de estudio

La región de Ñuble se localiza cercana al límite sur de la zona central, específicamente entre los 36° y los 37° de latitud sur. Desde el punto de vista climático, la región marca la transición entre los climas templados secos de la zona central de Chile y los climas templados lluviosos que comienzan a desarrollarse desde el borde sur de la cuenca del Itata, por lo que se podría definir como el último tramo de la región mediterránea de estación seca prolongada del Chile Central. Estas condiciones le confieren un carácter con algunas variaciones extremas según la estación del año (BCN, 2018). Con respecto al uso del suelo y la vegetación, según información de CONAF (2018), la región de Ñuble posee 3,800 km² de plantaciones forestales y 2,480 km² de bosques nativos. Particularmente, en Quirihue se presenta una superficie de plantaciones forestales que abarca el 62.6% de la comuna, y solo el 6.5% corresponde a bosque nativo. Por el contrario, en San Fabián de Alico un 6.3% de la superficie de la comuna pertenece a plantaciones forestales y un 40.8% contiene bosque nativo. Las cuencas seleccionadas para realizar el análisis fueron El Durazno y El Guanaco. La primera está ubicada en la comuna de San Fabián de Alico, localizada en la precordillera Andina, específicamente en las coordenadas 36°27'3.5'' S, 71°32'32.85'' W. La segunda cuenca, El Guanaco, está ubicada en la comuna de Quirihue, cordillera de la costa, específicamente en las coordenadas 36°12'3.5'' S, 72°37'37.58'' W. Ambas cuencas son parte del patrimonio de la empresa Masisa S.A. La información fue registrada durante un periodo que fue desde el 25 de enero del 2013 hasta el 31 de mayo de 2014 para ambas cuencas.

2.2 Catastro vegetal

Un componente de relevancia en la metodología es la definición del uso del suelo de cada cuenca en estudio. Para ello, se investigó la información contenida en el sitio web del Ministerio de Bienes Nacionales, denominado Infraestructura de Datos Geoespaciales (IDE, 2016) y que corresponde al

catastro de uso de suelo y vegetal, cuya institución responsable fue la Corporación Nacional Forestal. Este catastro se presenta en archivos vectoriales representando el medio físico mediante una serie de polígonos.

2.3 Morfometría de cuencas

Para llevar a cabo la caracterización morfométrica de las cuencas, fue necesario contar con información geográfica de la zona de estudio, principalmente información de la topografía, representada mediante un modelo digital de elevación, el cual fue obtenido de la Infraestructura de Datos Geoespaciales de Chile IDE (2016), cuya institución responsable fue el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). Este modelo digital de elevación corresponde a Alos Palsar cuya resolución es de 12.5 metros, con lo cual se pudieron construir curvas de nivel cada 25 metros. Como detallan Zamfir y Simulescu (2011), los modelos digitales de elevación permiten realizar análisis relacionados con una serie de procesos hidrológicos, como zonas de inundación, red de flujo, erosión, etc. Así también, los autores indican cómo realizar una delimitación automática de cuencas utilizando softwares de dominio público y cerrado.

$$K_c = 0.28 P/\sqrt{A} \quad (1)$$

Donde

P es el perímetro de la cuenca en metros
A es el área de la cuenca en m²

b) Pendiente media simple (Pm). La Pendiente Media Simple se calcula identificando cada curva de nivel presente en la cuenca, determinando su longitud y la

2.4 Indicadores de forma y relieve

Con la información topográfica contenida en el modelo digital de elevación, fue posible llevar a cabo la caracterización del área de estudio mediante la aplicación de distintos indicadores que definen la morfometría de cuencas hidrográficas, detallados por Pizarro y Novoa (1986). Estos son definidos específicamente en términos cuantitativos y a partir de ecuaciones matemáticas, las que se mencionan a continuación.

a) Coeficiente de compacidad (Kc). Este índice fue creado por Gravelius en 1914. Está definido por el cociente entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo con la misma superficie de la cuenca. Permite conocer a qué figura geométrica de naturaleza circular se asemeja la cuenca hidrográfica. Por lo tanto, conociendo el perímetro y área de la cuenca, se puede deducir si la cuenca es de carácter oblonga, ovalada o redonda. Mientras más alejado del valor uno, el coeficiente define una mayor irregularidad, con respecto a un círculo. La expresión matemática definida es la siguiente:

superficie que ocupa dentro de la cuenca. Con esta información fue posible calcular la Pendiente Media mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$P_m = D \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{A} \quad (2)$$

Donde

D es la diferencia entre cada curva de nivel (en metros)
li es la longitud de la curva de nivel i (en metros)
A es el área de la cuenca en m²

c) Curva hipsométrica. Otra forma de describir el relieve de una cuenca es la curva hipsométrica. Esta curva establece una relación entre las distintas curvas de nivel de la cuenca y la superficie acumulada que cada una de ellas sostiene. Ello, considerando que, en la cota de altitud mínima de la cuenca, está contenido el 100% de la superficie. Asimismo, la cota máxima de la cuenca detendrá un 0% de la superficie, sobre

ese nivel de altura. Llamas (1993) señala que la curva hipsométrica es un reflejo del estado de equilibrio dinámico potencial de la cuenca. Este nivel de equilibrio se representa en la figura 1, donde la curva A indica una cuenca con gran potencial erosivo por su forma de meseta. La curva B representa una etapa de equilibrio, geológicamente madura y, por último, la curva C refleja una cuenca de valle o erosionada.

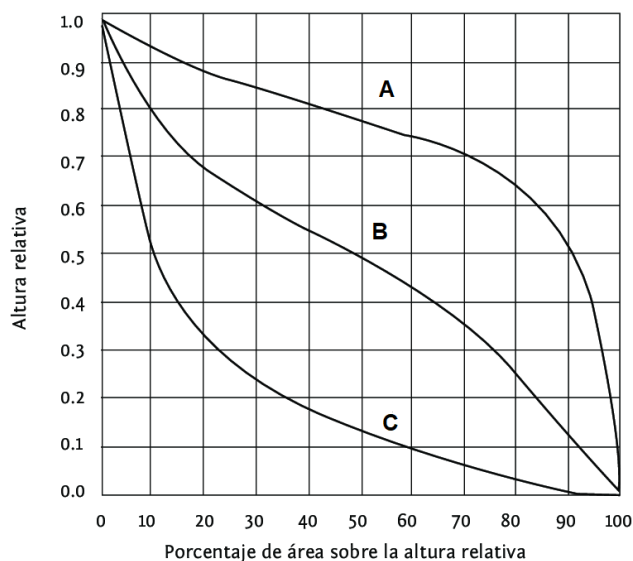


Figura 1. Características de la curva hipsométrica. Fuente: Campos (1992)

d) **Altura media (Hm).** La altura media relaciona el volumen del relieve (definido por la curva hipsométrica) y la superficie de la cuenca. Para determinar el volumen de relieve, se tuvo que calcular el área bajo la curva hipsométrica. Sin

embargo, Pizarro y Novoa (1986) advierte que este índice de relieve posee un sesgo, ya que pueden existir tres cuencas disímiles que entreguen una altura media similar. Está definida por la siguiente ecuación:

$$Hm = \frac{\text{Volumen del relieve}}{\text{Superficie de la cuenca}} \quad (3)$$

e) **Coefficiente orográfico (Co).** El coeficiente orográfico se define como el producto de la altura media por la tangente del ángulo que define la altura media, dividida por la superficie. Esto define que su expresión sea igual a la altura media al cuadrado

dividido por la superficie. Pizarro y Novoa (1986) indica que valores bajo 25 denotan cuencas gastadas, y sobre este valor, representa cuencas recientes o bien, con caracteres de erodabilidad bajos. La expresión analítica es la siguiente:

$$Co = \frac{Hm^2}{\text{Superficie de la cuenca}} \quad (4)$$

2.5 Parámetros de la red de drenaje

El modelo digital de elevación es esencial para estimar los parámetros hidrológicos, como la dirección del flujo, la acumulación del flujo, las redes de corrientes, la longitud del flujo más larga y la delineación de la cuenca (Ezz et al., 2019). El cálculo de los parámetros de la red de drenaje se llevó a cabo mediante técnicas proporcionadas por ArcGIS 10.5. Estas se encuentran en la sección Análisis espacial y

sus herramientas: Superficie, Hidrología, Cuenca (Zamfir y Simulescu, 2011). Una vez que se trazaron los cursos de agua y se representaron mediante archivos vectoriales, se procedió a calcular las longitudes de todos los cursos de agua presentes en el área de estudio, considerando cursos de agua permanentes y también temporales. Con esta información fue posible llevar a cabo la caracterización de la red de drenaje del área de estudio, mediante la aplicación de distintos

parámetros; estos son definidos en términos cuantitativos a partir de ecuaciones matemáticas, que se expresan a continuación.

a) Densidad de drenaje (Dd). Este parámetro fue descrito por Horton (1932), el cual relaciona las longitudes de todos los afluentes presentes en la

cuenca, con su superficie. Su expresión determina en promedio cuantos kilómetros de cursos de agua drenan un kilómetro cuadrado de la superficie de la cuenca hidrográfica. La expresión matemática que define el indicador es la siguiente:

$$Dd = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{A} \quad (5)$$

Donde

l_i es la longitud del cauce i , incluido el principal (en km)

A es el área de la cuenca en (km^2)

b) Tiempo de concentración (t_c). Este indicador permitió estimar lo que teóricamente demora una gota en recorrer desde el punto más alejado de la cuenca hasta la salida de la misma, aguas abajo. El método escogido para determinar esta variable

correspondió al parámetro de Giandotti (1934), el cual se aplica para cuencas pequeñas y con pendientes accidentadas (Pizarro, 1993). La expresión matemática es la siguiente:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5 L}{0.8\sqrt{H}} \quad (6)$$

Donde

A es el área de la cuenca (km^2)

L es la longitud del cauce principal (km)

H es la altura media de la cuenca descontando la cota de origen (m)

c) Perfil longitudinal. Este parámetro representa la trayectoria longitudinal que presenta el curso de agua principal. En el gráfico generado, se puede observar a qué altitud el cauce presentó zonas con pendientes pronunciadas, o zonas de depositación de cuerpos de agua, producto de la presencia de pendientes más suaves.

caídas en las últimas décadas, en estaciones meteorológicas pertenecientes a la Dirección General de Aguas (DGA, 2019). Este hecho permitió contrastar en un tiempo mucho mayor (27 años), el comportamiento pluviométrico de las dos cuencas de estudio. Para ello, se localizaron las estaciones meteorológicas que se encontraran más cercanas a las cuencas en estudio. Estas estaciones fueron Mangarral, ubicada en la comuna de Quirihue, y San Fabián, localizada en la comuna homónima. La información pluviométrica correspondió a la cantidad de precipitaciones caída en cada año, expresada en milímetros.

2.2 Información pluviométrica

Para realizar el estudio del comportamiento y régimen pluviométrico de ambas cuencas hidrográficas durante el periodo de estudio, se debió recopilar información pluviométrica. La información fue obtenida desde estaciones de la empresa Masisa S.A., por parte del personal de ingeniería hidrológica del Centro Tecnológico de Hidrología Ambiental de la Universidad de Talca (CTHA). Las estaciones pluviométricas correspondieron a la Estación Los Coigües en la cuenca El Durazno, y la Estación San Agustín de Puñual en la cuenca El Guanaco. La información obtenida fueron los datos de precipitación diaria para ambas estaciones, expresados en milímetros. Complementariamente a este análisis pluviométrico, se decidió recopilar la información histórica acerca de las precipitaciones

2.3 Información fluviométrica

La información fluviométrica fue entregada por personal de CTHA, que previamente la capturó de las estaciones fluviométricas que la empresa Masisa S.A. posee en ambas cuencas. Este registro proviene de un limnógrafo, el cual midió la altura del cauce en función del tiempo, cada quince minutos. Luego y mediante curvas de descarga, se estimó un caudal según la altura determinada de la sección del cauce. La curva de descarga es el resultado de una serie de aforos que se realizaron durante un periodo de

tiempo, creando con ellos una relación del caudal y el nivel del agua en un tramo determinado de un cauce o río. Las estaciones fluviométricas se ubican en el punto de desagüe de ambas cuencas. El caudal de la sección se midió en metros cúbicos por segundo. Con esta información fue posible estimar las siguientes variables; caudal promedio mensual, caudal específico medio mensual, caudal punta específico del mes y volúmenes de caudales específicos superficiales y recesivos. Con la información fluviométrica original, fue posible obtener los caudales máximos y mínimos diarios para cada mes del periodo de estudio, contando así con 16 datos, correspondientes a los meses del periodo de estudio. Para calcular el caudal específico, fue necesario dividir el caudal promedio del mes, por la superficie de drenaje de cada cuenca hidrográfica correspondiente. Esta variable se empleó con el objetivo de considerar la superficie de cada cuenca en la comparación de caudales promedio mensuales y permite definir la productividad de agua de la cuenca por unidad de superficie. Por otra parte, los volúmenes de reserva se definen como el agua almacenada en la cuenca en un determinado tiempo, que para este caso se evaluó en meses. Para estimar estos volúmenes, es necesario identificar los hidrogramas correspondientes (caudal como función del tiempo), y en cada crecida, establecer la separación entre los volúmenes correspondiente a aguas superficiales y aguas subterráneas. Para separar los volúmenes, es necesario identificar el segundo punto de quiebre de la curva de bajada de cada hidrograma, puesto que en este se define el término

de la afluencia de aguas superficiales y el inicio de los caudales recesivos, que provienen exclusivamente de alimentación subterránea (Pizarro, 1993). La estimación de las reservas de agua de la cuenca, es posible realizarla contando con una función matemática que permita modelar el comportamiento de los caudales recesivos, en donde $Q = Q(t)$. La función $Q(t)$ es decreciente, derivado que los caudales recesivos en el tiempo deben ir disminuyendo. Si se cuenta con la función, es posible integrarla entre el tiempo cero (tiempo en el cual se inicia la escorrentía exclusiva de tipo recesiva) y el tiempo infinito (se asume que no hay nuevas aportaciones de agua a la cuenca en el tiempo y por tanto la cuenca terminará por vaciarse en el infinito). El área bajo la curva corresponderá al volumen recesivo remanente, después de cada crecida. Esta estimación corresponde a una por defecto o que subestima, derivado que solo se están considerando las aguas que fluyen por el punto de desagüe de la cuenca y no se consideran volúmenes de aguas subterráneas correspondientes a evapotranspiración, salidas al mar o salidas hacia cuencas cercanas. Para realizar el ajuste de la curva recesiva fue necesario recurrir al modelo matemático planteado por Remenieras (1971), que es una curva de naturaleza exponencial negativa que representa el comportamiento del caudal subterráneo en función del tiempo a partir de los parámetros; caudal inicial (Q_0), coeficiente de agotamiento (a), número de Euler (e), y el tiempo (t_0) como se representa a continuación:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5 L}{0.8\sqrt{H}} \quad (7)$$

Cabe señalar que se realizó un ajuste tras cada hidrograma de crecida, teniendo que recalcularse los parámetros en función de dos coordenadas de caudal y tiempos distintos en la curva recesiva del hidrograma. Una corresponde al caudal inicial, la cual coincide con el segundo punto de quiebre mencionado anteriormente, y la otra coordenada correspondió al caudal mínimo obtenido antes de comenzar la siguiente crecida. Una vez obtenidas estas coordenadas, se procedió a calcular el coeficiente de agotamiento (a) a través de sistemas de ecuaciones y el posterior despeje algebraico.

2.2 Análisis estadístico

El análisis comparativo de la información hidrológica se realizó en base a parámetros estadísticos básicos (medias, mínimos, máximos), a relaciones gráficas y a la utilización de la prueba U de Mann-Whitney, prueba recomendada para datos no paramétricos. El uso de la prueba estadística U de Mann-Whitney aplicada para muestras independientes, se utilizó con el objetivo de comprobar si existieron diferencias estadísticamente significativas en las variables hidrológicas (precipitación, caudal medio total, caudal específico medio, caudal punta, volumen de escorrentía superficial y volumen de escorrentía subterránea) entre ambas cuencas hidrográficas.

3. RESULTADOS

3.1 Catastro vegetacional

En la Cuenca El Durazno, se comprobó un único sub-uso correspondiente a Bosque Nativo. Este bosque corresponde al tipo forestal Roble-Hualo, con presencia de raulí. En la Cuenca El Guanaco, se apreciaron tres sub-usos; Bosque mixto, Bosque nativo y Plantaciones forestales. El Bosque mixto corresponde a bosque nativo (*Nothofagus obliqua*) y, con plantaciones forestales o especies exóticas asilvestradas, donde predominan el pino y el

eucalipto. Este bosque mixto se encuentra bordeando los cursos de agua y constituye una superficie de 24.7 ha. El bosque nativo presente en esta cuenca se encuentra representado por un pequeño polígono de apenas 5.13 ha y corresponde al tipo forestal esclerófilo con presencia de especies como peumo, boldo y litre. Por último, más de la mitad de la superficie de esta cuenca, está cubiertas por plantaciones forestales, principalmente de pino, abarcando un área de 37.14 ha. Toda esta información se representa en la figura 2.

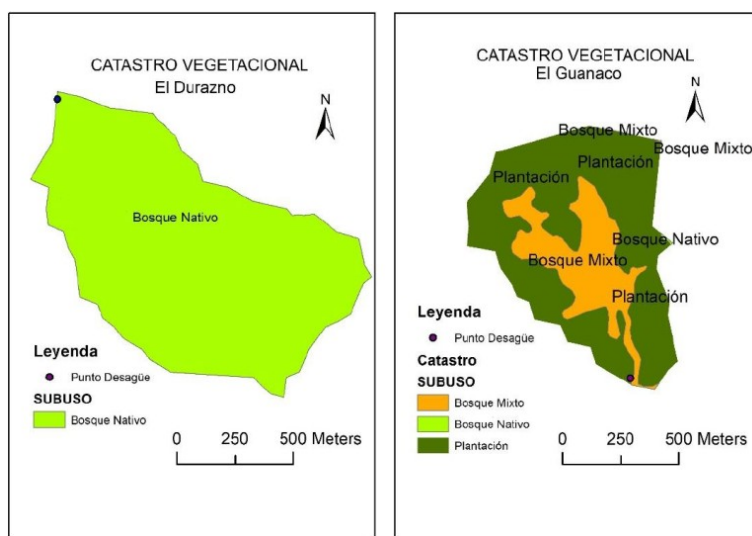


Figura 2. Mapas del catastro vegetacional de las cuencas de estudio

2.2 Indicadores de forma y relieve

El cálculo de superficie en ambas cuencas determinó que El Durazno presenta un área mayor con relación a El Guanaco, donde la primera registró un área de 103.9 ha y la segunda 67.03 ha. Con respecto al Coeficiente de Compacidad, González (2002) indica que si el valor oscila entre 1-1.25 la cuenca tendrá una forma más redondeada; si el valor oscila entre los 1.25-1.5 la cuenca será ovalada, y por último, si el valor supera los 1.5 será oblonga. En este caso, el valor del Coeficiente de Compacidad para ambas cuencas fue menor a 1.25. Con esto, se determinó que ambas unidades son relativamente redondas, sin mayor diferencia entre las cuencas de estudio, según este indicador. En relación con la Pendiente Media, la cuenca El Durazno presenta un mayor valor en comparación con El Guanaco, en donde la primera registró una pendiente de 32% y la segunda de 27%.

En relación con este resultado, se puede inferir que existe una pequeña diferencia porcentual entre ambas unidades. Debido a la ubicación geográfica y a la diferencia longitudinal de ambas cuencas, la Altura media para la cuenca andina fue aproximadamente de 917 msnm, mientras que para la cuenca costera fue menor, con un valor aproximado de 492 msnm. Por otra parte, con respecto al coeficiente orográfico, Pizarro y Novoa (1986) afirma que este coeficiente es uno de los más utilizados y confiables para la definición del relieve. Para el caso de estudio, ambas cuencas presentaron valores mayores a 25%, por lo cual se pudo determinar que ambas son de edad geológica reciente o presentan bajo desgaste. En la figura 3, se pueden apreciar las curvas hipsométricas de ambas cuencas, donde se observó que ambas presentan una curva característica de cuencas de meseta, sin presentar mayores diferencias entre sí.

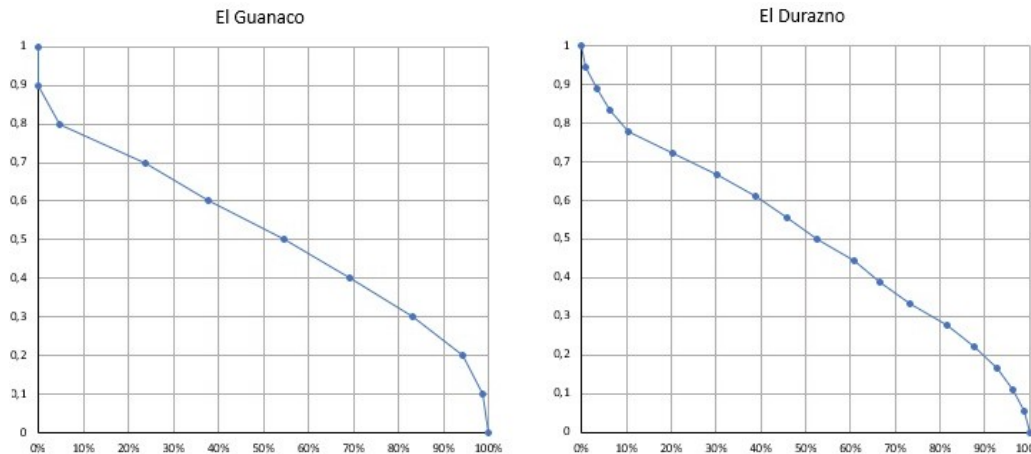


Figura 3. Curvas hipsométricas de ambas cuencas. En el eje vertical se observa la altura en proporciones y en el eje horizontal, la superficie en porcentaje.

2.2 Parámetros de la red de drenaje

Con respecto a los resultados obtenidos en los parámetros de la red de drenaje, se pudo apreciar que El Durazno presentó un curso principal de agua más largo y, una mayor presencia de cauces secundarios que El Guanaco. Debido a esto, en la cuenca El Durazno el valor del parámetro densidad de drenaje fue levemente mayor, presentando un valor de 4.3 km/km². Mientras que El Guanaco evidenció una menor presencia de cursos de agua secundarios, obteniendo una densidad de drenaje de 3.9 km/km². Con relación al tiempo de concentración, cuyo valor indica cuánto tarda una gota de agua en trasladarse del punto más alto de la cuenca hacia el punto más bajo de esta, se obtuvo que ambas cuencas

presentaron el mismo valor, correspondiente a 36 minutos. En la figura 4, se expone el perfil longitudinal del cauce principal de ambas cuencas, donde se puede observar que El Guanaco presenta una curva relativamente uniforme. Así también, se observó que el curso de agua comenzó en la cota 600 metros de altitud y desembocó a la altitud de 425 msnm. Por otro lado, en la cuenca El Durazno, el perfil longitudinal se caracteriza por ser más irregular, dando lugar a zonas de acumulación y también a zonas de altas pendientes, representado por una inclinación más pronunciada a la altitud de 875 msnm. Además, la escorrentía en El Durazno comenzó en la cota 1,050 metros de altitud y desembocó a los 700 msnm.

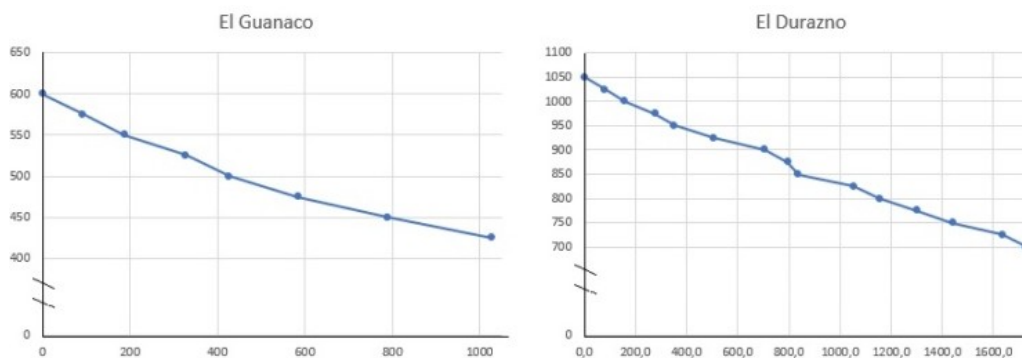


Figura 4. Perfil longitudinal del cauce principal de ambas cuencas. En el eje vertical se muestra la altitud y en el horizontal las longitudes en metros

3.4 Resultados pluviométricos

Las estaciones meteorológicas pertenecientes a la Dirección General de Aguas (DGA, 2019) seleccionadas para obtener la información pluviométrica histórica, correspondieron a la estación Mangarral en la comuna de Quirihue, la cual se ubica

en la coordenada 36° 14' 07" latitud Sur y 71° 31' 29" longitud Oeste. Esta estación representa a la cuenca El Guanaco. Asimismo, la estación San Fabián, que representa a la cuenca El Durazno, se encuentra en la comuna del mismo nombre, y se ubica en la coordenada 36° 35' 01" latitud Sur y 71° 31' 29" de

longitud Oeste. La información pluviométrica histórica se resume en la Figura 5, donde se compara la cantidad de precipitaciones caídas en 28 años para la estación San Fabián (1991-2018) y 27 años para la estación Mangarral (1992-2018). Además, se observó

que el régimen pluviométrico fue mayor en la estación de San Fabián, obteniendo una precipitación media anual de 1,520 mm, y de solo 788 mm en la estación de Mangarral, lo que define una diferencia porcentual de un 93%.

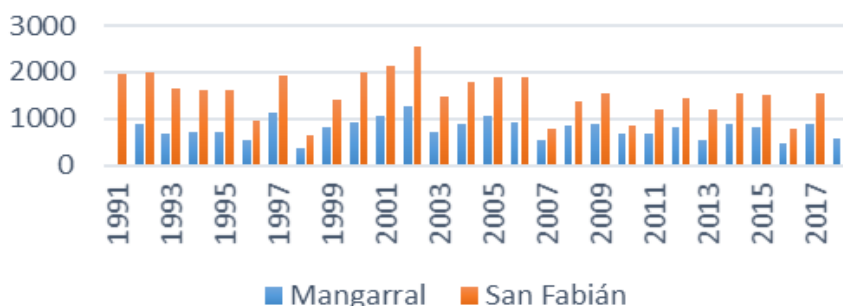


Figura 5. Gráfico comparativo de precipitaciones históricas de la comuna de Quirihue y San Fabián

Por otra parte, según la información pluviométrica obtenida por la empresa Masisa y en el periodo de estudio (2013-2014), se observa que en la cuenca El Guanaco, los valores fueron desde el mínimo de 0 a un máximo de 209.4 mm, con un promedio mensual de 47.8 mm. En contraste, en la cuenca El Durazno se registró un mínimo de 4.3, y un máximo de 335.1 mm, con un promedio mensual de 87,2 mm. El total

de agua caída durante el periodo de estudio en El Guanaco fue de 764.9 mm y en El Durazno fue de 1,395.3 mm. Con estos antecedentes, se puede inferir que esta última cuenca presenta un mayor aporte pluviométrico de un 82% para el periodo en estudio. Estas precipitaciones se representan mensualmente en la figura 6.

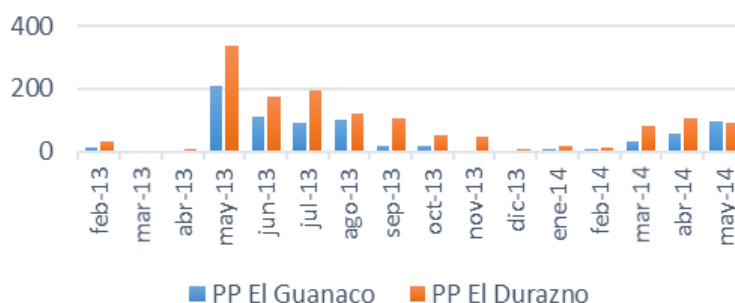


Figura 6. Gráfico comparativo entre las precipitaciones mensuales en milímetros de cada cuenca y, para el periodo de estudio

De la misma manera, fueron comparadas las precipitaciones diarias caídas en los meses lluviosos, específicamente en los meses de mayo, junio, julio y agosto, constituyendo así 152 días para ser comparados. Esto, porque las precipitaciones diarias definen el comportamiento de los caudales en cuencas pequeñas. Este comportamiento está representado en la figura 7, donde se logra apreciar que existieron precipitaciones en los mismos periodos en ambas cuencas; así, la cuenca El Durazno presentó un mayor aporte a nivel diario en los

distintos eventos, llegando a un máximo registrado de 59 mm caídos en un día. Por otra parte, la cuenca El Guanaco mostró un máximo de 52 mm para esta cuenca costera. Esta diferencia se representa de mejor forma en la media aritmética, donde El Durazno presentó un promedio diario de 6 mm y El Guanaco presentó un promedio diario de 4 mm. Además, cabe señalar que en los meses lluviosos (mayo a agosto), y en el periodo de estudio, se registró un 66% de la lluvia caída en la cuenca El Durazno, y un 80% de la lluvia caída en la cuenca El Guanaco.

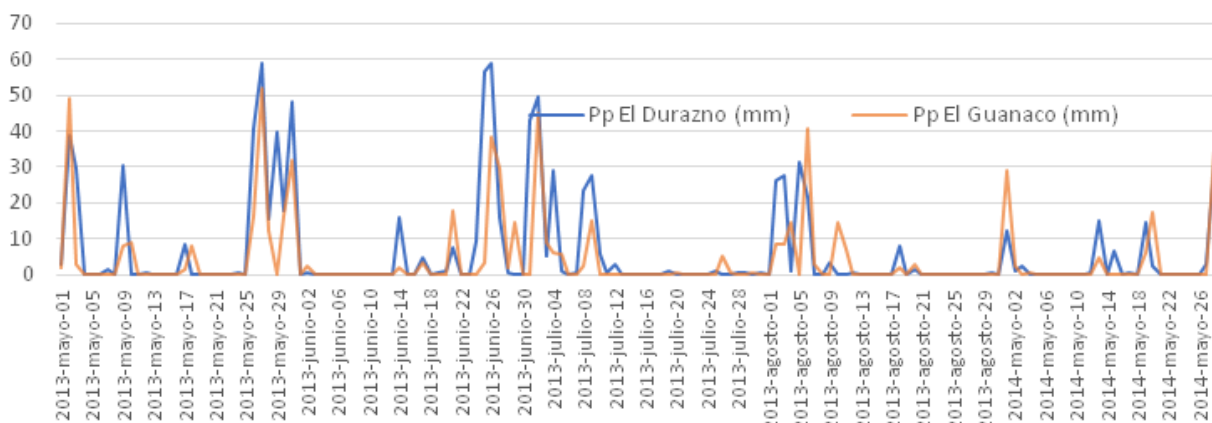


Figura 7. Comparación de precipitaciones diaria de meses lluviosos

2.2 Resultados fluviométricos

Las variables obtenidas correspondieron al caudal promedio, caudales punta, caudales específicos y el volumen de escorrentía superficial y subterránea, correspondiente a cada mes del periodo de estudio. En relación con e, en El Guanaco se observaron los mayores registros en los meses de julio y agosto del 2013, en donde el caudal promedio mensual alcanzó valores de 0.023 m³/s y 0.022 m³/s respectivamente. Posterior a estas crecidas, el caudal fue disminuyendo paulatinamente llegando a un mínimo de 0.0008 m³/s en el mes de marzo del 2014. Asimismo, el promedio del caudal de todos los meses fue de 0.0074 m³/s. Por otra parte, en El Durazno se observaron los mayores registros en los meses de mayo y junio del 2013, en donde el caudal promedio mensual alcanzó valores de 0.038 m³/s y 0.034 m³/s respectivamente. Tras estas crecidas, el caudal menguó paulatinamente, llegando a un mínimo de 0.0015 m³/s en el mes de febrero del 2014. Asimismo, el promedio del caudal de todos los

meses fue de 0.0094 m³/s. En comparación, se puede observar que en los meses de mayo y junio de 2013, los caudales fueron mayores para la cuenca El Durazno. Sin embargo, posteriormente en los meses de julio a agosto, El Guanaco registró un mayor caudal promedio que la cuenca en comparación. Además, se puede analizar que ambos caudales comienzan a disminuir desde el mes de septiembre de 2013, hasta el mes de abril de 2014. Todo lo anterior estaría ratificando, en una primera aproximación, el hecho que en la cuenca El Durazno son esperables mayores caudales como producto de una mayor precipitación aportante. No obstante, llama la atención el hecho que las precipitaciones de la cuenca El Durazno superan a la de El Guanaco en un 82% y esa proporción no se mantiene en los caudales que en promedio y en todo el periodo analizado, denotan una superioridad de solo un 24%. El comportamiento del caudal promedio mensual para ambas cuencas puede observarse en la figura 8 expuesta a continuación.

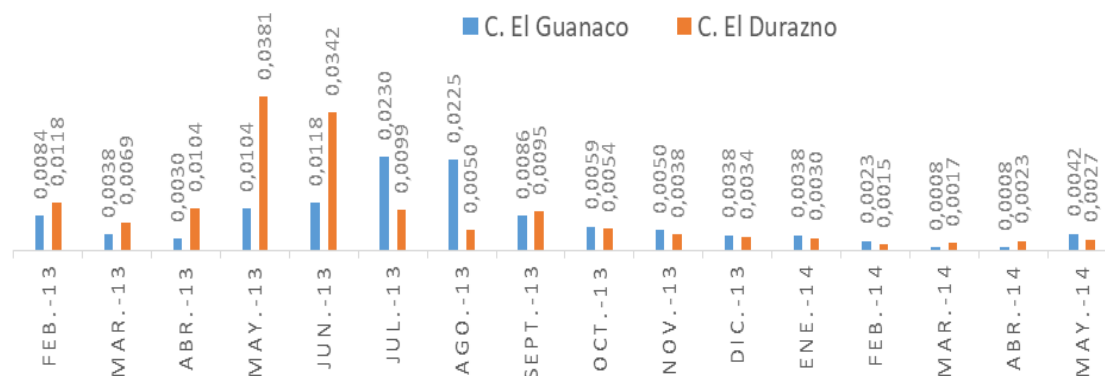


Figura 8. Valores de los caudales promedios mensuales para ambas cuencas en metros cúbicos por segundo

Con respecto al caudal específico, el cual define la producción de agua de la cuenca por unidad de superficie, se observa en la figura 9 que ambas cuencas mantienen la naturaleza observada anteriormente, donde la cuenca El Guanaco registro los mayores valores en los meses de julio y agosto de 2013, con montos de $0.034 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ y $0.033 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ respectivamente. Posterior a estas crecidas, el caudal específico disminuyó hasta un mínimo de $0.0012 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ en el mes de marzo del 2014. Asimismo, el promedio del caudal específico de todos los meses fue de $0.011 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$. Por otra parte, en la cuenca el Durazno se observaron los mayores registros en los meses de mayo y junio del 2013, con valores de $0.036 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ y $0.032 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ respectivamente. Tras estas crecidas, el caudal fue

disminuyendo, llegando a un mínimo de $0.0014 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ en el mes de febrero del 2014. Asimismo, el promedio del caudal específico de todos los meses para El Durazno fue de $0.009 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$. En relación con esta variable en particular, se pudo observar que, al aplicarle una ponderación considerando la superficie de cada cuenca, las diferencias entre ambas unidades disminuyen, lo cual se ve reflejado en el caudal medio mensual específico. Esto, porque El Durazno, que presenta una mayor aportación de precipitaciones en el periodo estudiado (82%), denota caudales promedios específicos muy similares y por bajo los valores de El Guanaco. Este hecho habla de una situación que hay que intentar explicar y que se relaciona con el proceso precipitación-escorrentía.

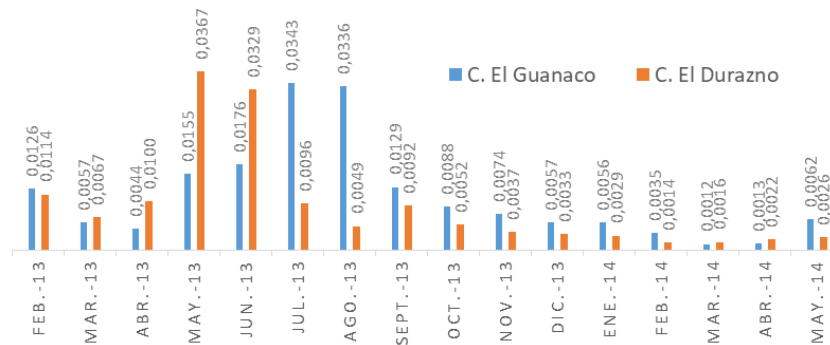


Figura 9. Caudales específicos mensuales para ambas cuencas en $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$

Con relación a los caudales punta específicos, se puede señalar que en El Guanaco, se observaron los mayores registros en los meses de julio y agosto del 2013, en donde alcanzó valores de $0.187 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ y $0.193 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ respectivamente. Posteriormente a estos meses, los caudales punta específicos fueron disminuyendo llegando a un mínimo de $0.0028 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ en el mes de abril del 2014. Del mismo modo, el promedio para el caudal punta específico del periodo de estudio fue de $0.043 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$. En la cuenca El Durazno, el comportamiento del caudal punta específico obtuvo los mayores registros en los meses de mayo y junio del 2013, en donde el caudal punta específico alcanzó valores de $0.137 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ y $0.152 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ respectivamente. Luego de estos meses, los caudales punta específicos fueron decreciendo, encontrando un mínimo de $0.0019 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ ocurrido en el mes de febrero del 2014. Por último, el promedio del caudal punta específico del periodo de estudio resultó ser de $0.029 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$. En base a lo anteriormente mencionado, se puede extraer que en la cuenca El Guanaco, el promedio de caudal

punta específico en el periodo de estudio fue mayor en comparación a la cuenca El Durazno, superándolo en un 48%. El comportamiento de esta variable se ilustró en la figura 10, la cual se expone a continuación. Con respecto a los caudales específicos medios diarios de los meses lluviosos (mayo a agosto), se logra observar en la figura 11 que los valores fluviométricos pertenecientes a El Guanaco muestran valores superiores a los de la cuenca El Durazno. Así, la primera cuenca obtuvo un máximo de $0.19 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ y la segunda un valor de $0.15 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$. Esto determina que la producción media diaria, por unidad de superficie y en los meses lluviosos, es mayor en una cuenca con menor superficie, menores precipitaciones y cobertura de plantaciones exóticas. De la misma forma, el caudal medio específico mensual, para los meses lluviosos, define una situación similar. Así, el promedio de caudal específico de meses lluviosos para El Guanaco alcanzó los $0.021 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, en tanto que para El Durazno el valor fue de $0.017 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$.

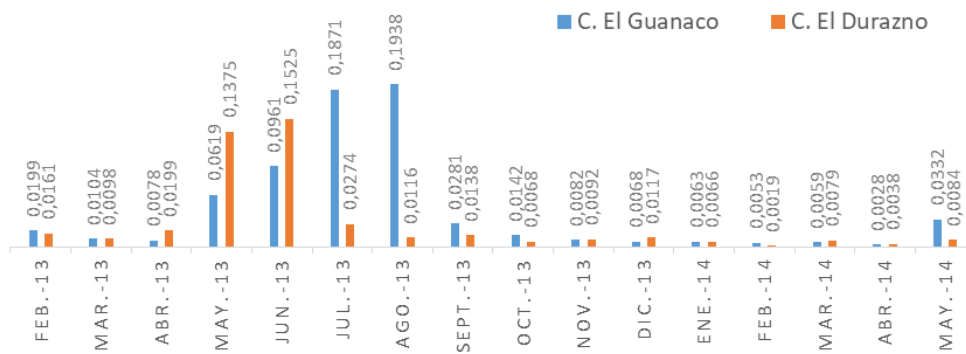


Figura 10. Caudales punta específicos mensuales para ambas cuencas en m³/s/km²

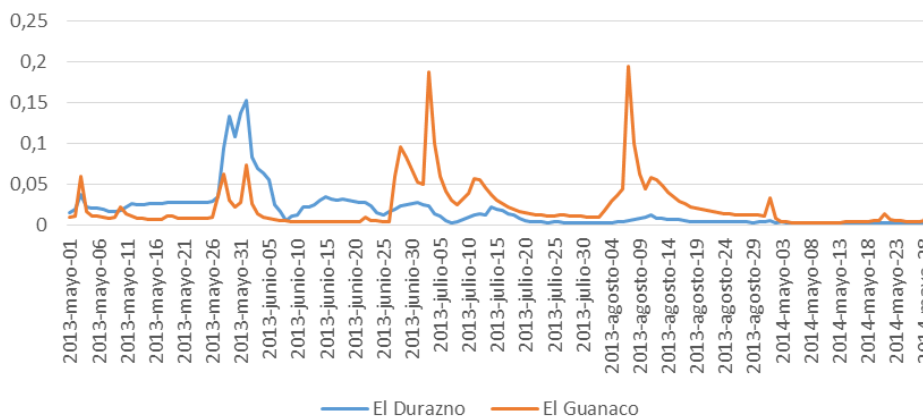


Figura 11. Comparación de caudales específicos diarios de meses lluviosos en m³/s/km²

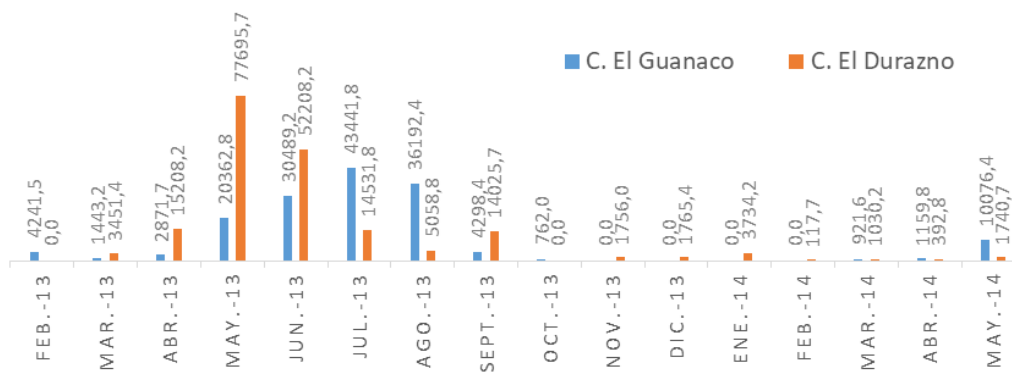


Figura 12. Volúmenes de escorrentías superficiales mensuales en m³/km²

Los volúmenes de escorrentía se separaron en dos partes, la superficial y la subterránea. Con respecto al volumen de escorrentía superficial, en El Guanaco se observa que los mayores aportes superficiales correspondieron a los valores de 43,441 m³/km² y 36,192 m³/km², los cuales ocurrieron en los meses de julio y agosto, coincidiendo así, con los meses en lo

que se obtuvo un mayor caudal total. Así también, se observa que el volumen de caudal superficial fue nulo en los meses de noviembre y diciembre de 2013, junto con enero y febrero de 2014, presentándose para estos meses, caudales de origen netamente recesivos. Por último, se obtuvo que el promedio para esta variable fue de 9,766 m³/km² durante el periodo

de estudio. En El Durazno, los mayores valores corresponden a $77,695 \text{ m}^3/\text{km}^2$ y $52,208 \text{ m}^3/\text{km}^2$, registrados en los meses de mayo y junio, meses en los que esa cuenca presentó un mayor caudal total y, por otra parte, se observa que el volumen de caudal superficial específico estuvo ausente en el mes de octubre, dando origen a caudales recesivos. Junto con esto, se obtuvo un promedio de volumen superficial específico de $12,045 \text{ m}^3/\text{km}^2$. En base a estos antecedentes, se puede inferir que El Durazno presentó un promedio 23% mayor que El Guanaco. En la misma línea, el total de volumen superficial durante el periodo de estudio fue mayor en la cuenca El Durazno, obteniendo un valor de $0.2 \text{ Hm}^3/\text{km}^2$, en comparación con El Guanaco que obtuvo un valor de $0.16 \text{ Hm}^3/\text{km}^2$. Esta diferencia en el total del volumen de caudal superficial específico, representa que la cuenca El Durazno presentó una diferencia del 25% con respecto a la cuenca El Guanaco durante el periodo de estudio. El comportamiento de los volúmenes superficiales específicos se representa en la figura 12 expuesta a continuación. En relación con los caudales subterráneos específicos, se logra apreciar que los valores se distribuyen de manera disímil con respecto a la variable mencionada anteriormente. De esta forma, se logra apreciar que para El Guanaco, el máximo volumen se obtuvo en el

mes de octubre, alcanzando $65,612 \text{ m}^3/\text{km}^2$, y por su parte, el valor más bajo fue de $2,575 \text{ m}^3/\text{km}^2$ ocurrido en el mes de febrero de 2014. Por último, el promedio de volumen de caudal subterráneo específico durante el periodo de estudio fue de $19,232 \text{ m}^3/\text{km}^2$. Posteriormente, para la cuenca El Durazno se observa que el mayor volumen de caudal subterráneo específico correspondió a $28,407 \text{ m}^3/\text{km}^2$ ocurrido en el mes de septiembre, y por otra parte, el mínimo de volumen subterráneo para esta cuenca fue de $1,084 \text{ m}^3/\text{km}^2$ que se produjo en el mes de abril de 2013. Paralelamente, el promedio de volumen de caudal subterráneo específico fue de $7,894 \text{ m}^3/\text{km}^2$ considerando los meses estudiados. En base a lo anteriormente expuesto, se puede señalar que el promedio de El Guanaco fue 143% superior al promedio de El Durazno. Esa diferencia también es visible en la cantidad total de volumen de escorrentía subterránea que se almacena en la cuenca por unidad de superficie a lo largo del periodo de estudio, obteniendo así que para la cuenca El Guanaco, se obtuvo un valor de $0.31 \text{ Hm}^3/\text{km}^2$, y para la cuenca El Durazno, se presentó un volumen total de $0.13 \text{ Hm}^3/\text{km}^2$. La distribución de los volúmenes de escorrentía subterránea se representa en la figura 13 expuesta a continuación.

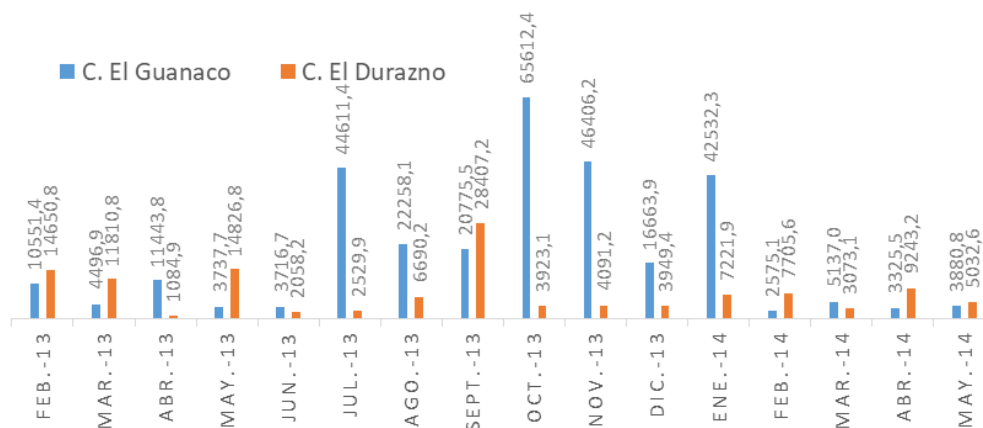


Figura 13. Volúmenes de escorrentías subterráneas

3.6 Estadístico U de Mann-Whitney

El análisis estadístico se llevó a cabo en el *software Statgraphics*, en donde se introdujeron los valores de las variables hidrológicas de ambas cuencas, con el objetivo de realizar una comparación entre dos muestras independientes y no paramétricas, a niveles anuales, mensuales y diarios. Para rechazar la hipótesis nula, el valor p debiese ser menor al nivel

de significancia, que en este caso fue de 5%. En la tabla 1 presentada a continuación, se registraron los valores correspondientes al estadígrafo de comparación y los valores p obtenidos para las distintas variables hidrológicas. En base a esta información, se infiere lo siguiente:

- En la comparación estadística realizada a las Precipitaciones históricas, a las

Precipitaciones diarias de meses lluviosos y a los Caudales específicos diarios de meses lluviosos, de acuerdo con el valor-P obtenido (menor que 0.05) se puede concluir que existe una diferencia estadísticamente significativa en estas variables entre cada cuenca con un nivel de confianza del 95%.

– En la comparación estadística realizada a las variables mensuales precipitaciones, caudal promedio, caudal punta, caudal específico, volumen superficial y recesivo a nivel mensual, se puede mencionar que no existen diferencias estadísticamente significativas entre estas cuencas.

Tabla 1. Resumen de valores estadísticos asociados a la prueba U de Mann-Whitney

VARIABLES HIDROLÓGICAS	ESTADÍSTICO W DE MANN-WHITNEY	VALOR P
Precipitaciones históricas	688	1.88E-07
Precipitaciones mensuales	171	0,109204
Precipitaciones diarias de meses lluviosos	8597.5	3.242E-05
Caudal total promedio mensual	134	0.83578
Caudal Punta mensual	145.5	0.521669
Caudal específico mensual	155	0.317867
Caudal promedio diario de meses lluviosos	10988	0.462127
Caudal específico diario de meses lluviosos	13394	0.0162574
Vol. Superficial mensual	148	0.460936
Vol. Subterráneo mensual	120	0.777428

4. DISCUSIÓN

Con respecto al catastro vegetacional IDE (2016), se estableció que efectivamente existe una diferencia en el tipo de cobertura forestal presente en ambas cuencas, en donde El Durazno (zona andina) se registró principalmente bosque nativo, mientras que en El Guanaco (zona costera) se identificó mayoritariamente plantaciones forestales. En cuanto a los indicadores de forma, se puede mencionar que, si bien existe una diferencia dimensional entre cuencas, (El Durazno alcanza las 103.9 hectáreas y El Guanaco las 67.03 hectáreas), se puede concluir que, según el coeficiente de compacidad, la pendiente media, el coeficiente orográfico y la curva hipsométrica, no existen grandes diferencias en la forma ni en el relieve de las cuencas en comparación, a pesar de las posibles diferencias geográficas entre cordilleras. El único factor diferencial fue la altura media que favoreció evidentemente a El Durazno como cuenca andina. Respecto a la pluviometría histórica anual de las últimas décadas (DGA, 2019), existe una diferencia significativa entre ambas cuencas, porque El Durazno muestra un 93% más de precipitación media anual. Al realizar la comparación del periodo estudiado, 16 meses, El Durazno presenta

una precipitación que es 82% mayor que El Guanaco, ratificando lo anterior. Sin embargo, al realizar la comparación estadística a escala mensual, se observó que según la prueba U de Mann Whitney, no existen diferencias significativas entre cuencas durante el periodo de estudio (16 meses), lo que es esperable por la alta presencia de meses sin lluvia. Debido a esto, se decidió comparar solo las precipitaciones diarias de los meses lluviosos (mayo, junio, julio y agosto) dando como resultado, la existencia de diferencias estadísticamente significativas. Según los resultados obtenidos a partir de los datos fluviométricos, se pudo concluir que, a nivel mensual no existen diferencias significativas en los caudales promedio ni en los caudales punta entre las dos cuencas durante el periodo de estudio. Tampoco se observaron diferencias en los caudales específicos mensuales y esto es muy llamativo, porque existen diferencias importantes de precipitaciones y estas no se expresan por unidad de superficie, lo que da a entender que hay otras variables fuera de las precipitaciones que explican estos comportamientos. Al contrario, con el análisis de los caudales medios diarios específicos de meses lluviosos, se pudo deducir que la cuenca que recibe menor aporte pluvial, presenta mayores caudales específicos,

encontrando diferencias significativas en estos. En relación que la con el volumen total de agua, se obtuvo cuenca El Durazno presentó un mayor volumen de escorrentía superficial específica (23%). Por otra parte, la cuenca El Guanaco, obtuvo un mayor valor de volumen de escorrentía subterránea específica (143%). No obstante, al comparar estadísticamente ambas variables a escala mensual, se evidenció que no existe una diferencia significativa para el periodo analizado.

5. CONCLUSIONES

Las cuencas geográficas no presentan grandes diferencias en términos morfológicos (forma, relieve y red de drenaje) lo cual permite que ambas cuencas puedan ser comparables entre sí. Así también, no existen diferencias significativas en varios aspectos fluviométricos (caudal promedio, caudal punta, caudal específico, volúmenes de caudal superficial y subterráneo) en circunstancias que sí existen diferencias significativas en el monto anual de lluvias, donde en el periodo de estudio, la cuenca El

Durazno presentó un 82% más de precipitaciones que en la cuenca El Guanaco. Por tanto, no existe una mayor relación entre la precipitación y la fluvimetría entre estas cuencas. Esto se puede corroborar al estudiar otra variable, que fueron los caudales específicos diarios de los meses lluviosos, donde si se encontraron diferencias significativas, pero justamente, a favor de la cuenca donde llueve menos, la cual está cubierta por plantaciones forestales. Finalmente, este estudio da cuenta que generalizar ideas preconcebidas parece ser riesgoso, debido que no solamente una mayor presencia de precipitación va a generar un mayor caudal, y tampoco eso se relaciona necesariamente con la cobertura forestal presente. Existen otras variables que están incidiendo y es necesario analizarlas e internalizarlas para realizar una adecuada gestión de los recursos hídricos en escenarios de variabilidad e incertidumbre climática, y propender con ello a adecuadas políticas públicas que nos aseguren una producción de agua sostenible en el tiempo y espacio, para la región de Ñuble y otras partes del país.

REFERENCIAS

- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN). (2018). Sistema integrado de información territorial. (En línea). [Consultado el 12 agosto de 2019]. Disponible en: <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region16>
- Campos, A. (1992). Procesos del ciclo hidrológico. Editorial universitaria potosina. San Luis, Potosí, México.
- Corporación Nacional Forestal (CONAF). (2018). Sistema de Información Territorial CONAF. (En línea). [Consultado el 19 julio de 2019]. Disponible en: <https://sit.conaf.cl>
- Dirección General de Aguas (DGA). 2014. Levantamiento hidrogeológico en cuencas pluviales costeras en las regiones del libertador Bernardo O'Higgins, Maule y Bío-Bío.
- Dirección General de Aguas (DGA). (2019) Información oficial hidrometeorológica y de calidad de aguas. (En línea). [Consultado el 21 noviembre de 2019]. Disponible en: <https://snia.mop.gob.cl/BNAConsultas/reportes>
- Ezz, H., Gomaah, M., Abdelwares, M. (2019). Watershed Delineation and Estimation of Groundwater Recharge for Ras Gharib Region, Egypt. *Journal of Geoscience and Environment Protection*. p 202-213.
- Giandotti, M. (1934). Previsione delle piene e delle magre dei corsi d'acqua. Istituto Poligrafico dello Stato. 8: 107-117.
- González, F. (2007). Entrevista. *LIGNUM (Chile)* 97, 20-23.
- González, P. (2002). Análisis comparativo sobre las características físicas de las cuencas de la Cordillera de la Costa y de la Cordillera de los Andes, VII Región del Maule. Tesis Ing. Forestal, Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Talca, Chile.
- Horton, R. (1932). Drainage basin characteristics. *Trans Am Geophys Union*. 13(1):350- 361.
- Infraestructura de Datos Geospaciales (IDE). (2016) Catastros de uso de suelo y vegetación (En línea). [Consultado el 30 abril de 2019]. Disponible en: <https://www.ide.cl/index.php/flora-y-fauna/item/1513-catastros-de-uso-de-suelo-y-vegetacion>

Infraestructura de Datos Geoespaciales (IDE). (2016) Modelo Digital de Elevación Alos Palsar Región de Ñuble. [Consultado el 30 abril de 2019]. Disponible en: <https://www.ide.cl/index.php/imagenes-y-mapas-base/item/1575-dem-alos-palsar-region-del-nuble>

Llamas, J. (1993). Hidrología general, principio y aplicaciones. España. Servicio Editorial Universidad del País Vasco.

Pizarro, R.; Novoa, P. (1986). Elementos técnicos de Hidrología 1. Instructivos técnicos. La Serena, Chile. Corporación Nacional Forestal, Ministerio de Agricultura.

Pizarro, R; Gonzáles, P; Wittersheim, M; Saavedra, J.; Soto, C. (1993). Elementos Técnicos de Hidrología III. Proyecto Regional Mayor sobre uso y conservación de recursos hídricos en áreas de America Latina y el Caribe. UNESCO-ORCYT. Editorial Universidad de Talca. Talca, Chile.

Remenieras, G. (1971). Tratado de Hidrología Aplicada. Madrid: Editores Asociados.

Universidad de Chile. (2010). Informe País. Estado del Medio Ambiente en Chile 2008. Geo Chile. Instituto de Asuntos Públicos. Centro de Análisis de Políticas Públicas. Capítulo 2, Aguas Continentales, pp. 75–80

Zamfir, A.; Simulescu, D. (2011). Automatic delineation of a watershed using a DEM. Case study – The Oltet watershed. GEOREVIEW: Scientific Annals of Stefan Cel Mare University of Suceava. Geography Series, 20(1), 83-92.

ANEXO

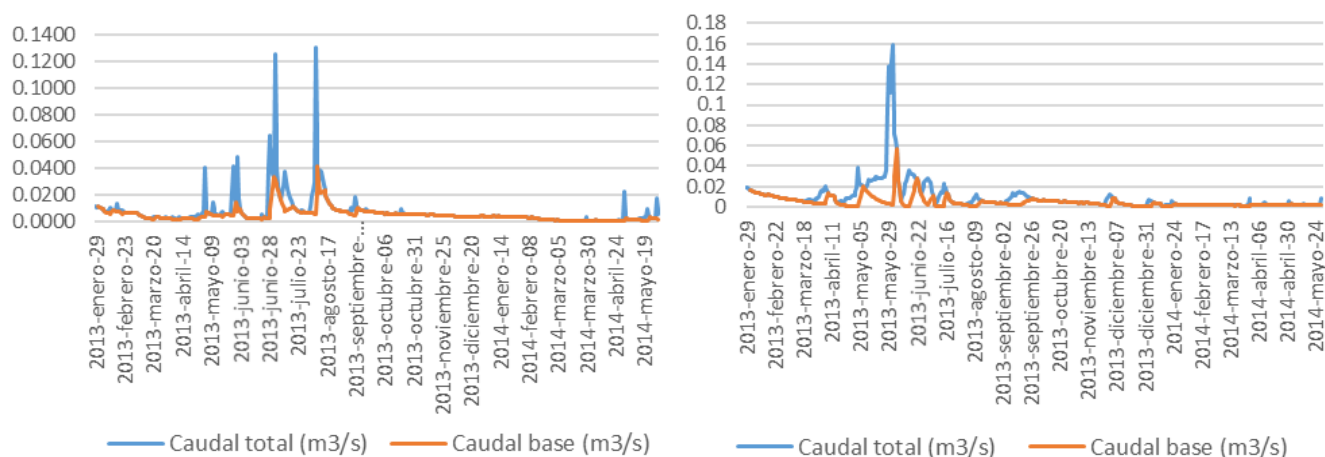


Figura 14. Hidrogramas de crecidas en El Guanaco y El Durazno

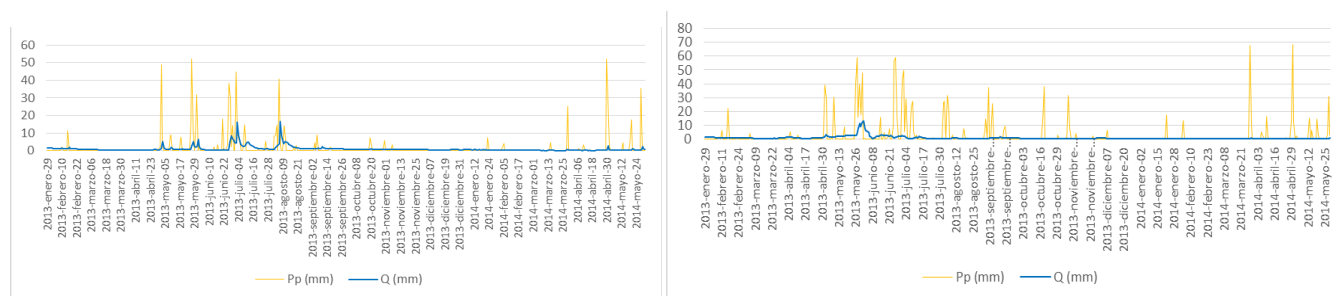


Figura 15. Gráfico del comportamiento fluviométrico y pluviométrico de El Guanaco y El Durazno (mm)



Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International
CC BY-NC-SA 4.0 license