



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA TIERRA**



**CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA E ISOTÓPICA
DEL ESTERO NONGUÉN Y SU RELACIÓN CON LOS
SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE PROVISIÓN Y
REGULACIÓN HÍDRICA DEL PARQUE NACIONAL
NONGUÉN (36°48'58''-36°56'13'' S y 72°56'40''-73°01'42''
W).
REGIÓN DEL BIOBÍO, CHILE.**

Memoria para optar al Título de Geólogo

Ignacio Paolo Bernard Barriga

**Profesor Patrocinante: Dra. Verónica Laura Oliveros Clavijo
Profesores Comisión: Dra. Laura Farías
Dr. Mauricio Iván Aguayo Arias**

Concepción, 2023

ÍNDICE

RESUMEN	1
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	2
1.1.1 Objetivo General	2
1.1.2 Objetivos Específicos	2
1.2 Ubicación y Accesos	2
1.3 Clima, Flora y Fauna	3
1.3.1 Clima	3
1.3.2 Flora	4
1.3.3 Fauna	4
1.4 Metodología de Trabajo	5
1.4.1 Recopilación y Análisis de la Información	5
1.4.2 Trabajos en Terreno y Análisis de Laboratorio	6
1.4.3 Integración e Interpretación de Resultados	6
1.5 Agradecimientos	6
2 MARCO GEOLÓGICO	8
2.1 Geología Regional	8
2.2 Geología Local	9
2.2.1 Paleozoico	9
2.2.2 Cenozoico	10
3 MARCO HIDROLÓGICO	12
3.1 Hidrología Regional	12
3.2 Hidrología Local	12
3.2.1 Cuerpos de Agua	13

3.2.2	Antecedentes Pluviales y Fluviales	14
4	HIDROLOGÍA	17
4.1	Series de Suelo.....	17
4.2	Usos de Suelo.....	17
4.3	Caracterización de Subcuencas.....	18
4.3.1	Caracterización Fisiográfica	19
4.3.2	Caracterización Hidrológica.....	20
5	HIDROQUÍMICA	32
5.1	Parámetros Físicoquímicos	32
5.1.1	PH.....	33
5.1.2	Temperatura.....	35
5.1.3	Electroconductividad (EC)	37
5.2	Nutrientes.....	39
5.2.1	Nitritos (NO ₂) y Nitratos (NO ₃).....	40
5.2.2	Fosfatos (PO ₄).....	44
5.2.3	Silicatos (SiO ₄)	47
5.3	Isótopos estables de ² H y ¹⁸ O.....	49
6	SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE PROVISIÓN Y REGULACIÓN HÍDRICA	55
6.1	Provisión hídrica	55
6.2	Regulación hídrica	55
7	CONCLUSIONES	57
8	RECOMENDACIONES	58
9	REFERENCIAS	59
	ANEXO I: Tablas de resultados hidroquímicos e isotópicos	64
	ANEXO II: Tablas de parámetros HRU utilizados en la Cuenca Nonguén según subcuenca	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1:	Mapa de ubicación del área de estudio (Cuenca Nonguén).....	3
Figura 2.1:	Geología del área de estudio.	10
Figura 3.1:	Mapa hidrográfico, donde se muestra la Subcuenca Nonguén ubicada dentro de la Cuenca Andalién.....	12
Figura 3.2:	Nombres y ubicación de esteros dentro de la Cuenca Nonguén. Los puntos negros corresponden a tomas de datos fluviales del estudio EULA (2002), mientras que los puntos rojos, son captaciones superficiales destinadas para agua potable de la empresa Essbio. Ilustración modificada de EULA (2002).	13
Figura 3.3:	Precipitaciones (arriba) y caudales de salida mensuales (abajo) registrados por la estación meteorológica de la DGA “Estero Nonguén, frente Universidad del Biobío”, entre los años 2009 y 2022.	15
Figura 3.4:	En 1 (izquierda) se aprecian las cuencas de los afluentes principales del Estero Nonguén, en 2 (esquina superior derecha) se caracterizan las morfologías de los cauces de los afluentes del Estero Nonguén y en 3, se presenta la variación de los caudales en base al área de su cuenca (escorrentía) durante un año (2014 – 2015). Figuras modificadas de Espinoza, 2015.	16
Figura 4.1:	Cuenca Nonguén con las 3 subdivisiones de cuenca realizadas en este estudio y los usos de suelo utilizados. Siendo los del Parque Nacional Nonguén, los usos determinados por Echeverría y otros (2013) y los del resto de la cuenca, de CIREN (2015).....	18
Figura 4.2:	Resultados de los HRU según la precipitación para los 4 muestreos del año.....	22
Figura 4.3:	Resultados de los HRU según la evapotranspiración para los 4 muestreos del año.	24
Figura 4.4:	Resultados de los HRU según la recarga de aguas subterráneas para los 4 muestreos del año.	26
Figura 4.5:	Resultados de los HRU según la escorrentía superficial para los 4 muestreos del año.	28
Figura 4.6:	Resultados de los HRU según la escorrentía subterránea para los 4 muestreos del año.	30

Figura 5.1:	Interpolación de los resultados de pH en la Cuenca Nonguén durante los 4 periodos de muestreo.	34
Figura 5.2:	Interpolación de los resultados de temperatura en la Cuenca Nonguén durante los 4 periodos de muestreo.	36
Figura 5.3:	Interpolación de los resultados de electroconductividad en la Cuenca Nonguén durante los 4 periodos de muestreo.	38
Figura 5.4:	Límites de seguridad planetarios según el equilibrio en el ecosistema. En verde las zonas en equilibrio bajo el límite, en amarillo las zonas en riesgo y en rojo las zonas por sobre el límite planetario del equilibrio en el ecosistema (modificado de Steffen et al., 2015).	39
Figura 5.5:	Interpolación de los resultados de nitratos (NO_3^-) en la Cuenca Nonguén durante los 4 periodos de muestreo.	43
Figura 5.6:	Gráfico de comparación entre la concentración de fosfatos en el agua (mg/L) y el índice relativo porcentual de calidad del agua (Q-value). Figura modificada de Noori y otros (2019).	44
Figura 5.7:	Interpolación de los resultados de fosfatos (PO_4^{3-}) en la Cuenca Nonguén durante los 4 periodos de muestreo.	46
Figura 5.8:	Interpolación de los resultados de silicatos (SiO_4^{4-}) en la Cuenca Nonguén durante los 4 periodos de muestreo.	48
Figura 5.9:	Efecto de la altitud en la composición en $\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$ (Extraída de FCIHS, 2009).	50
Figura 5.10:	Gráficos modificados, comparando los valores de $\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$ obtenidos en los muestreos (puntos azules) con los valores de $\delta^2\text{H}$ obtenidos reemplazando $\delta^{18}\text{O}$ en la ecuación de la LAML (puntos naranjos) y con la pendiente de la LAML (línea verde). Arriba: primer muestreo y abajo: segundo muestreo.	51
Figura 5.11:	Gráficos modificados, comparando los valores de $\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$ obtenidos en los muestreos (puntos azules) con los valores de $\delta^2\text{H}$ obtenidos reemplazando $\delta^{18}\text{O}$ en la ecuación de la LAML (puntos naranjos) y con la pendiente de la LAML (línea verde). Arriba: tercer muestreo y abajo: cuarto muestreo.	52
Figura 5.12:	Interpolación de los resultados de variación de $\Delta\delta^2\text{H}$ respecto a la línea meteórica local en la Cuenca Nonguén durante los 4 periodos de muestreo.	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1:	Áreas y porcentajes de usos de suelo según subcuencas y la cuenca en general. ...	19
Tabla 4.2:	Promedio trimestral de precipitaciones por subcuenca y cuenca en general.....	21
Tabla 4.3:	Promedio trimestral de evapotranspiración real por subcuenca y cuenca en general.	23
Tabla 4.4:	Promedio trimestral de recarga de agua subterránea por subcuenca y cuenca en general.	25
Tabla 4.5:	Promedio trimestral de escorrentía superficial por subcuenca y cuenca en general.	27
Tabla 4.6:	Promedio trimestral de escorrentía subterránea por subcuenca y cuenca en general.	29
Tabla 4.7:	Balance hídrico en el cual el error anual (sumatoria de los 4 periodos en el año) es de 179,09 mm de agua.....	31
Tabla 5.1:	Clasificación de agua de acuerdo con su EC (Van der Aa, 2003).....	37

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 2.1:	Basamento granítico intensamente fracturado asociado a los cauces superficiales de la Cuenca Nonguén.....	8
------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---

RESUMEN

En la zona costera del centro-sur de Chile, más de seis décadas de industria forestal y subsidios del gobierno que promueven los reemplazos de bosques nativos por plantaciones exóticas de rápido crecimiento (*Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus/nitens*), probablemente han desencadenado o al menos aumentado, una extensa degradación del suelo y de las cuencas. Como consecuencia, ha disminuido el suministro de agua y afectado fuertemente el ciclo natural de los nutrientes. Estudios recientes en esta área han señalado la mayor eficiencia del bosque nativo en la retención de humedad y provisión de agua en comparación con las plantaciones exóticas (Lara y otros, 2021).

Las herramientas utilizadas para evaluar los servicios ecosistémicos proporcionados por el bosque nativo, son en su mayoría mediciones directas del caudal, la escorrentía, la presión atmosférica y la de calidad del agua y suelo. En el presente estudio, se probó el uso de proxies geoquímicos como herramientas adicionales para monitorear la eficiencia de los servicios ecosistémicos de provisión de agua y regulación en la calidad del agua. El caso de estudio es el “Parque Nacional Nonguén”, un relicto de 3000 hectáreas de los bosques esclerófilos del centro-sur de Chile, ubicado en el área metropolitana de Concepción. Se encuentra rodeado de plantaciones exóticas y tierras agrícolas, asociadas entre sí en la Cuenca Nonguén, la cual es una importante proveedora de agua potable para aproximadamente 100.000 habitantes. Se realizaron mediciones de parámetros fisicoquímicos (pH, temperatura y electroconductividad), isótopos estables ($\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$) y concentración de nutrientes (nitratos, nitritos, fosfatos y silicatos) en 33 localidades de cursos permanentes de aguas superficiales asociados a afluentes y al cauce principal (Estero Nonguén) al inicio de las estaciones del año (verano, otoño, invierno y primavera). Para caracterizar la cuenca, se definieron tres subcuencas: la cabecera de la cuenca con bosque nativo (SCN) por el suroeste, la cabecera de la cuenca con una mezcla entre bosque nativo y plantaciones exóticas (SCP) al sureste y la desembocadura de la cuenca con plantaciones exóticas (SDP) al norte.

Nuestros resultados muestran que, durante las épocas de inicio del verano, otoño y primavera, hay una ligera diferencia entre el agua superficial de SCN respecto a la línea de agua meteórica local (LAML) en comparación a la SCP que posee una fisiografía similar, lo que sugiere tasas de retención más altas y una mayor contribución del agua subterránea para los periodos de menor precipitación. Los nutrientes, por otro lado, están más diluidos en las muestras de la SCN principalmente y en la SCP, registrándose un aumento significativo aguas abajo, donde predominan las plantaciones exóticas y las actividades urbanas, evidenciando una mejor captación de nutrientes por el bosque nativo, lo que sugiere que el suelo menos degradado en el área de bosque nativo, actúa como un sistema de intercambio iónico más eficiente, ayudando a retener los nutrientes de las aguas.

Los resultados de este estudio geológico e hidrogeoquímico exploratorio sugieren que estas herramientas geoquímicas pueden ayudar a caracterizar y monitorear los servicios ecosistémicos de las áreas actuales de interfase entre dominio de bosques nativos y plantaciones exóticas y/o urbanización, con la intención de cuantificar el aporte de la cobertura de suelo para la implementación futura de soluciones basadas en la naturaleza para el mejoramiento del suministro y la calidad del agua.

1 INTRODUCCIÓN

La provisión de cantidad y la regulación de la calidad del agua, se determina como un servicio ecosistémico (SE) generado en el territorio de una cuenca, este junto con otros se constituyen como recursos prioritarios para el desarrollo nacional, tanto en las actividades productivas como en la disponibilidad para la población (Little y otros, 2010). Los cambios en el clima y en los usos del suelo producen la disminución de cantidad y calidad de servicios ecosistémicos cruciales para el bienestar social, tales como la provisión de agua en cantidad y calidad para consumo, fines turísticos, pesca recreacional y conservación de la biodiversidad (Nahuelhual y otros, 2007). En el centro sur de Chile (y mayoritariamente en la Región del Biobío), la principal causa de pérdida del bosque nativo durante las últimas décadas ha sido la expansión de la industria forestal basada en plantaciones de rápido crecimiento (Aguayo y otros, 2009).

La rápida conversión y la degradación de los bosques nativos, ha provocado una serie de alteraciones en el balance hídrico en general (Huber y otros, 2008) y sustantivas modificaciones en los patrones hidrológicos en pequeñas (Iroumé y otros, 2006) y en grandes cuencas hidrográficas (Little y otros, 2009). Lara y colaboradores (2009) establecieron que una mayor proporción de bosques nativos que plantaciones forestales de rápido crecimiento, producen más agua en el año, especialmente en la estación de verano cuando existe mayor demanda por este recurso y una carencia de precipitación. Por lo que los ecosistemas que aumenten la infiltración como los bosques nativos, tendrán un mayor caudal en relación.

Debido a lo anterior, en este trabajo se investiga la influencia que tiene el Parque Nacional Nonguén (PNN) en la Cuenca Nonguén, respecto a la provisión de una mejor calidad y cantidad de agua, en conjunto a otros SE que provee el bosque nativo presente en el parque. Gracias a sus características hidrográficas y la distribución de los usos de suelo, esta se posiciona como un excelente ejemplo de la influencia del bosque nativo como uso de suelo para cuencas pequeñas, ya que el PNN alberga prácticamente el último remanente del bosque nativo cordillerano costero de la Región del Biobío y actualmente, se utiliza como cuenca productora de agua para la captación de agua potable de la empresa ESSBIO y se encuentra rodeada e incluso mezclada (en ciertas zonas) con plantaciones exóticas de rápido crecimiento como son las especies de *Eucalyptus spp* y *Pinus radiata*.

Como estrategias frente al cambio climático y la disminución de servicios ecosistémicos vitales para la subsistencia del ser humano, se plantea aumentar la resiliencia de los sistemas sociales y los ecosistemas a los impactos del cambio. Estas medidas deberían incluir la protección o

restauración de los ecosistemas que proporcionan servicios de cuencas, implicando importantes desafíos científico-tecnológicos, debido a que hasta ahora estos se han visto como objetivos de conservación o preservación, sin embargo, no de recuperación (Little et al. 2010), por lo que los resultados de este estudio pueden resultar vitales para políticas públicas de restauración de cuencas tanto rurales como urbanas, para la mitigación del déficit hídrico y la regulación de la calidad del agua y junto con ella, la calidad de vida.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Aproximar la magnitud de los servicios ecosistémicos de provisión y regulación del agua provistos por el bosque nativo del Parque Nacional Nonguén a la Cuenca Nonguén, mediante análisis hidroquímicos e isotópicos de $\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$.

1.1.2 Objetivos Específicos

1. Caracterizar la Cuenca Nonguén y definir subcuencas según sus usos de suelo para identificar la influencia de estos en la cuenca.
2. Determinar la influencia de la cobertura de suelo en la hidroquímica de las subcuencas y como se relaciona con el servicio ecosistémico de regulación de calidad de las aguas.
3. Determinar la influencia relativa de las aguas subterráneas en las subcuencas respecto a aguas superficiales con isótopos estables de ^2H y ^{18}O , y su relación con el servicio ecosistémico de provisión hídrica.

1.2 Ubicación y Accesos

La Cuenca Nonguén es una subcuenca de la Cuenca del Río Andalién (cuenca costera entre Río Itata y Río Biobío). Se encuentra ubicada en el cuadrante $36^{\circ}48'58''$ - $36^{\circ}56'13''$ S y $72^{\circ}56'40''$ - $73^{\circ}01'42''$ W, en la Región del Biobío, Chile. Adyacente a la ciudad de Concepción por el SE y a unos 500 kilómetros al sursuroeste de la ciudad de Santiago, accediendo mediante la Ruta 5 sur y posteriormente por la ruta 146 (camino a Florida). Posee diferencias de elevación entre 16 y 430 ms.n.m. aproximadamente en una superficie de 53 km^2 y su distribución espacial abarca las comunas de Concepción por el norte, Chiguayante en el centro y en menor medida Hualqui por el sur.

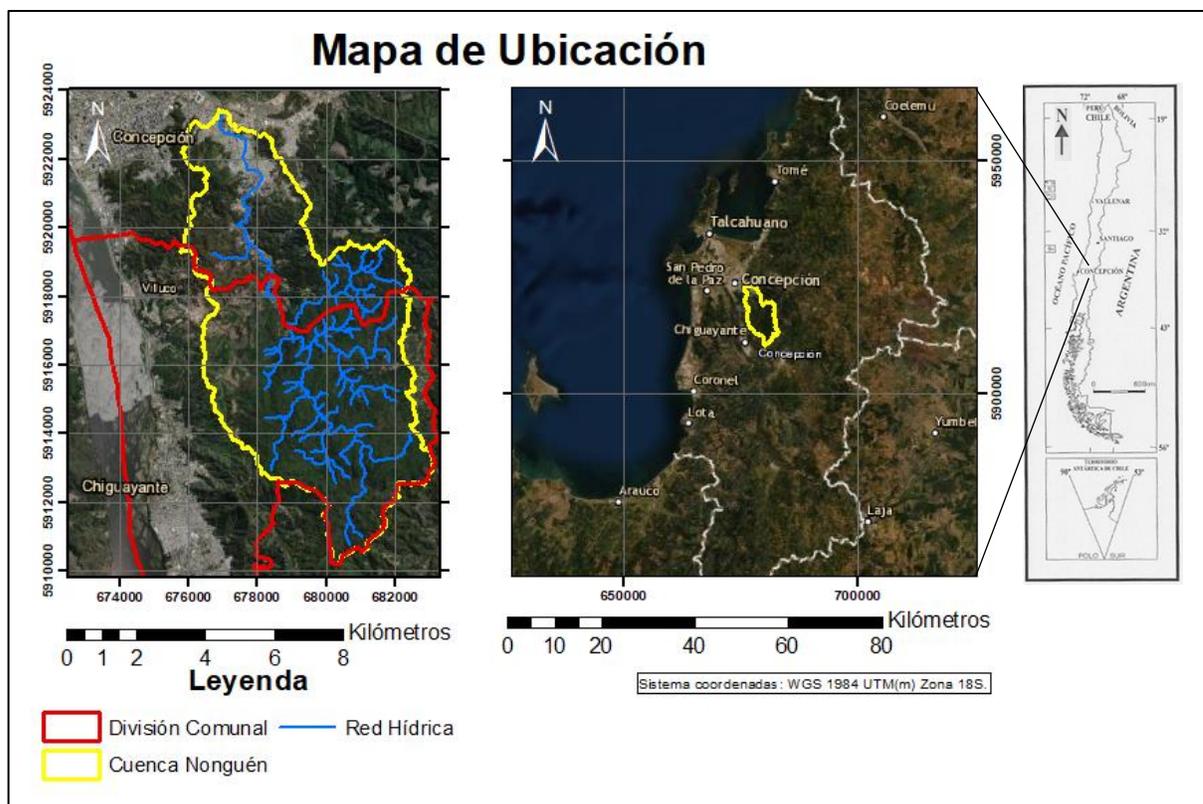


Figura 1.1: Mapa de ubicación del área de estudio (Cuenca Nonguén).

1.3 Clima, Flora y Fauna

Debido a que la cuenca posee fuertes cambios de elevación en una superficie pequeña y está ubicada en la ladera occidental de la Cordillera de la Costa, su clima tiene variaciones tanto en temperatura, precipitaciones y humedad. Y al existir un bosque nativo protegido como Parque Nacional en la zona de recarga de la cuenca, posee una gran diversidad tanto en flora como en fauna.

1.3.1 Clima

Según la DMC (Dirección Meteorológica de Chile), el clima para la ciudad de Concepción y para el borde occidental de la cordillera de la costa en esa zona es Templado cálido con lluvias invernales y gran humedad atmosférica. Lo cual implica una humedad relativamente alta y constante debido a la influencia marina, variaciones de temperatura entre los 8 y 18 °C con medias de 12°C y precipitaciones anuales de 1200 mm aproximadamente.

La cordillera de la Costa, es el principal factor de diferenciación climática, actuando como una barrera en la distribución E-W de las temperaturas y precipitaciones. Su vertiente occidental recibe

de frente las perturbaciones del mal tiempo, lo que contribuye a incrementar las precipitaciones, creando un dominio con más de 2.000 mm de lluvia anual en los sectores altos de la cordillera. La vertiente oriental es siempre más seca y las temperaturas, con escasa influencia marina, presentan rasgos de continentalidad, caracterizados por veranos cálidos e inviernos secos en la depresión central (CIER-SERPLAC, 1976).

1.3.2 Flora

En gran parte de la Cuenca de Nonguén, así como la mayoría de los cerros costeros de la Región del Biobío, posee una gran cobertura de plantación forestal (principalmente de las especies *Eucalyptus spp.* (eucalipto) y *Pinus radiata* (pino)), sin embargo, en las cabeceras de la cuenca, ubicadas principalmente en el Parque Nacional Nonguén, poseen cobertura de bosque nativo adulto y joven (principalmente), además de diversos matorrales y praderas distribuidos en la cuenca, mayoritariamente fuera del parque.

Dentro del parque, donde está principalmente el bosque nativo de la cuenca, se encuentra particularmente bien representado el juego de interacciones comunitarias que se establece entre los extremos más xéricos representados por el bosque de roble (*Nothofagus obliqua*) y los más húmedos en fondos de quebradas con coigüe (*Nothofagus dombeyi*) y de esas especies de *Nothofagus* con otros elementos representativos de la flora regional como peumo (*Cryptocarya alba*), olivillo (*Aextoxicon punctatum*), boldo (*Peumus boldus*), lingue (*Persea lingue*), laurel (*Laurelia sempervirens*) etc. Esto es particularmente notable si se considera que el bosque ha sido intervenido en forma reiterada en el pasado (EULA, 2002).

Una porción significativa del área sureste de la cuenca ha sido alterada y se encuentra en la actualidad cubierta de matorrales fuertemente dominado por especies foráneas con gran capacidad invasora, como eucaliptos (*Eucalyptus spp.*), pinos (*Pinus radiata*), aromos (*Acacia melanoxylon*) y zarzamora (*Rubus ulmifolius*).

1.3.3 Fauna

Según CONAF (2019), durante el otoño del 2018 en el Parque Nacional Nonguén, se realizó un monitoreo con 60 puntos al azar con cámaras trampa, por un periodo mínimo de 30 días. Registrando cinco especies nativas de mamíferos: Chingue (*Conepatus chinga*), Güiña (*Leopardus*

guigna), Monito del Monte (*Dromiciops gliroides*), Pudú (*Pudu puda*), Zorro culpeo (*Lycalopex culpaeus*) y Quique (*Galictis cuja*), además de especies no identificadas de roedores.

En relación a los mesomamíferos, es decir, la güiña, el pudú y el zorro, la especie que obtuvo mayor frecuencia relativa de registros, fue el zorro culpeo con un 43%, seguido por la Güiña con un 41% y con un 16% el Pudú.

Dentro de los esteros existe una biota compuesta por peces principalmente, los cuales, según Habit y otros (2003), se dividen en dos grupos: dentro del Parque Nacional Nonguén con especies introducidas de *Salmo trutta* (trucha común) y *Oncorhynchus mykiss* (trucha arcoíris), y especies nativas de *Trichomycterus areolatus* (bagre o bagresito) y *Nematogenys inermis* (bagre grande), mientras que el otro grupo corresponden a muestras fuera del parque con especies introducidas de *Salmo trutta*, *Oncorhynchus mykiss* (al igual que dentro del parque) y especies nativas de *Nematogenys inermis*, *Percichthys trucha* (trucha criolla), *Cheirodon galusdae* (pocha de los lagos), *Geotria australis* (lamprea de bolsa) y *Basilichthys australis* (pejerrey chileno).

Además, en los esteros del Parque Nacional Nonguén, existe la presencia de *Aegla conceptionensis* (cangrejo tigre), crustáceo endémico de la Región del Biobío que se encuentra clasificado por el RCE (reglamento para clasificar especies) en peligro (Iraira y otros, 2018).

1.4 Metodología de Trabajo

Para el desarrollo del presente estudio, se realizaron las siguientes etapas de trabajo:

1.4.1 Recopilación y Análisis de la Información

- Recopilación de los trabajos y estudios anteriores que aportaron con información y archivos (como archivos de capas, modelos de elevación, mapas de usos de suelo, etc.) referentes al área de estudio y línea de investigación.
- Se reunieron datos hidrometeorológicos de la zona de estudio para caracterizar la red hídrica y realizar comparaciones del agua según distintos periodos.
- Se definieron los muestreos de aguas superficiales según los relieves, usos de suelo y microcuencas de la Cuenca Nonguén, definiendo 3 subcuencas principales que permiten evaluar la influencia de la cobertura de suelo en la Cuenca Nonguén.

1.4.2 Trabajos en Terreno y Análisis de Laboratorio

- Se determinaron 33 lugares de muestreo de agua en los cauces superficiales de la Cuenca Nonguén (en zonas accesibles, lo más cercanas posibles a las definidas en gabinete) de parámetros fisicoquímicos (pH, temperatura y electro conductividad), nutrientes (nitratos, nitritos, silicatos y fosfatos) e isótopos estables de ^2H y ^{18}O a los inicios de cada estación del año, teniendo 4 periodos de muestras relativamente equidistantes en el año que representan la influencia de las distintas épocas (desde noviembre 2018 a septiembre 2019). Todos los muestreos se realizaron con al menos 24 horas sin lluvia, con el fin de no alterar las muestras de isótopos estables por una escorrentía superficial reciente ocasionada por la lluvia.

1.4.3 Integración e Interpretación de Resultados

- Análisis del comportamiento hidrológico de las subcuencas, utilizando los resultados de un balance hídrico regional de un estudio anterior.
- Comparación de todos los resultados hidroquímicos en las subcuencas para determinar la variación en la provisión de agua subterránea mediante los isótopos estables de ^2H y ^{18}O y la regulación en la calidad del agua mediante muestras de nutrientes y parámetros fisicoquímicos. Con el fin de analizar los resultados como parte de los cursos superficiales de la cuenca y a la vez mostrar la influencia de la zona circundante al flujo superficial, los mapas de resultados se obtuvieron mediante una interpolación kernel con barreras en el software ArcGIS, la cual permite interpolar un parámetro numérico con una barrera absoluta que genera resultados con una distancia máxima de 250 m de un curso de agua superficial y una barrera de flujo que permite guiar la interpolación del valor numérico según el flujo preferente del agua, el cual fue calculado con un modelo de elevación digital.

1.5 Agradecimientos

Agradezco enormemente la posibilidad y el acompañamiento brindado por el (CR)2 (Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia), que mediante la profesora Laura Farías, se me acompañó en todo el proceso de la investigación, financiaron y realizaron los análisis de nutrientes y de isótopos estables. Además, agradezco al Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Concepción por prestarme el equipo para realizar las mediciones de parámetros fisicoquímicos y

apoyarme en todo momento con mis necesidades como alumno tanto en mi formación académica como para realizar mi memoria de título.

Parte muy importante de mi formación académica, personal y de lograr iniciar, así como llevar a cabo mi memoria, es gracias a mi profesora guía, la profesora Verónica Oliveros Clavijo del Departamento de Ciencias de la Tierra en la Universidad de Concepción. Además de ser excelente e intachable ejemplo profesional a seguir, demuestra ampliamente una comprensión empática que es fundamental para arraigar entusiasmo y confianza profesional, tanto en mí como en los demás alumnos de la carrera de geología.

Reconozco con orgullo haber sido parte de las generaciones que recibieron las enseñanzas no solo profesionales, sino personales y humanas que me entregó principalmente el profesor Abraham González Martínez y el profesor Arturo Quinzio Sinn, que ambos con sus clases y métodos particulares logran crear ese sentimiento de pertenencia a la gran familia de geología, dentro de la cual nunca faltaron espacios y momentos para compartir y disfrutar aprendiendo.

Estoy completamente convencido que el destino me dio el privilegio de elegir de la mejor manera mi carrera y además haberla cursado en compañía de personas de tanto valor como lo son mis compañeros y profesores.

Siempre he contado con el apoyo incondicional de toda mi familia (que es bastante grande) y me siento cada día agradecido de estar viviendo una vida plena y en un muy buen camino para lograr todas mis metas. Agradezco puntualmente a mis padres que siempre me han amado incondicionalmente, a hermana y hermano menor que los vi nacer, crecer y ahora convertirse uno de mis más grandes orgullos en conjunto con mi pareja, Alejandra Pinto Parra, que su paciencia y amor incondicional me han permitido lograr tener una excelente relación y autodescubrimiento a lo que soy y quiero ser como persona, como profesional, como padre y como pareja. Agradezco a la vida poder ser padre de Lucía Carolina Bernardita Pinto Parra, que es lo más importante en mi vida y me hace sentir enormemente feliz y entusiasmado de ser su padre.

Y, por último, pero no menos importante, agradezco el acompañamiento y la amistad de mi socio, Bratian Antonio Buzolic Cárdenas (tercero de seis hermanos), que juntos hemos aprendido y trabajado mucho para mejorar profesionalmente y realizar cambios relevantes con nuestra entrega laboral y personal.

2 MARCO GEOLÓGICO

Geomorfológicamente la Cuenca Nonguén representa a una cuenca intermontana inserta en la vertiente occidental de la Cordillera de la Costa, desarrollada sobre un basamento paleozoico, que está compuesto principalmente por granitoides y la Serie Oriental del basamento metamórfico (principalmente rocas sedimentarias marinas metamorfizadas), ambos se encuentran fuertemente diaclasados e intensamente meteorizados (Fotografía 2.1), producto del fuerte control estructural que se observa en las direcciones principales de los drenajes (rumbo NNW) y a la mayor cantidad de precipitaciones producidas en altura. Además, posee una cubierta parcial de sedimentos no consolidados, formados por la erosión de cordones montañosos que varían sus pendientes entre moderadas y fuertes.



Fotografía 2.1: Basamento granítico intensamente fracturado asociado a los cauces superficiales de la Cuenca Nonguén.

2.1 Geología Regional

En los alrededores de la provincia de Concepción, se encuentra la Cordillera de la Costa, la cual está formada por un basamento paleozoico, compuesto principalmente por las rocas metamórficas

de la Serie Oriental y Serie Occidental del Basamento Metamórfico y distintos granitoides de composiciones entre dioritas y granito principalmente.

Fuera de la zona de estudio, se reconocen formaciones sedimentarias marinas del mesozoico, las cuales se distribuyen en el Triásico superior con la Formación Santa Juana y en el Cretácico superior con la Formación Quiriquina.

Además, en distintos valles, zonas costeras y llanuras aluviales o fluviales, se encuentran rocas sedimentarias marinas y continentales del Cenozoico y sedimentos no consolidados del Cuaternario.

2.2 Geología Local

2.2.1 Paleozoico

2.2.1.1 Serie Oriental – Carbonífero inferior

Definida por Aguirre y otros (1972), corresponde a una serie metamórfica con un metamorfismo de medio P/T y compuesta principalmente por filitas, metapelitas, corneas y esquistos (Gajardo, 1981).

En el área se encuentra distribuida en algunas zonas altas de la parte sur y este del parque como un roof pendant fracturado, se observó (en varios cortes de camino que bordean el parque) que se disponía sobre los granitoides y estaba siendo intruida por estos, demostrando que son posteriores al basamento metamórfico.

2.2.1.2 Granitoides Concepción – Carbonífero superior

Definidos por Creixell (2001), corresponden principalmente a Monzogranitos de biotita, tonalitas de muscovita y a microtonalitas, los cuales están considerablemente fracturados en superficie y componen parte del Batolito Costero del Sur definido por Hervé y otros (1987).

Estos representan la gran mayoría de la geología en la Cuenca Nonguén (Figura 2.1), encontrándose distribuidos en toda la cuenca como el basamento principal junto con el basamento metamórfico.

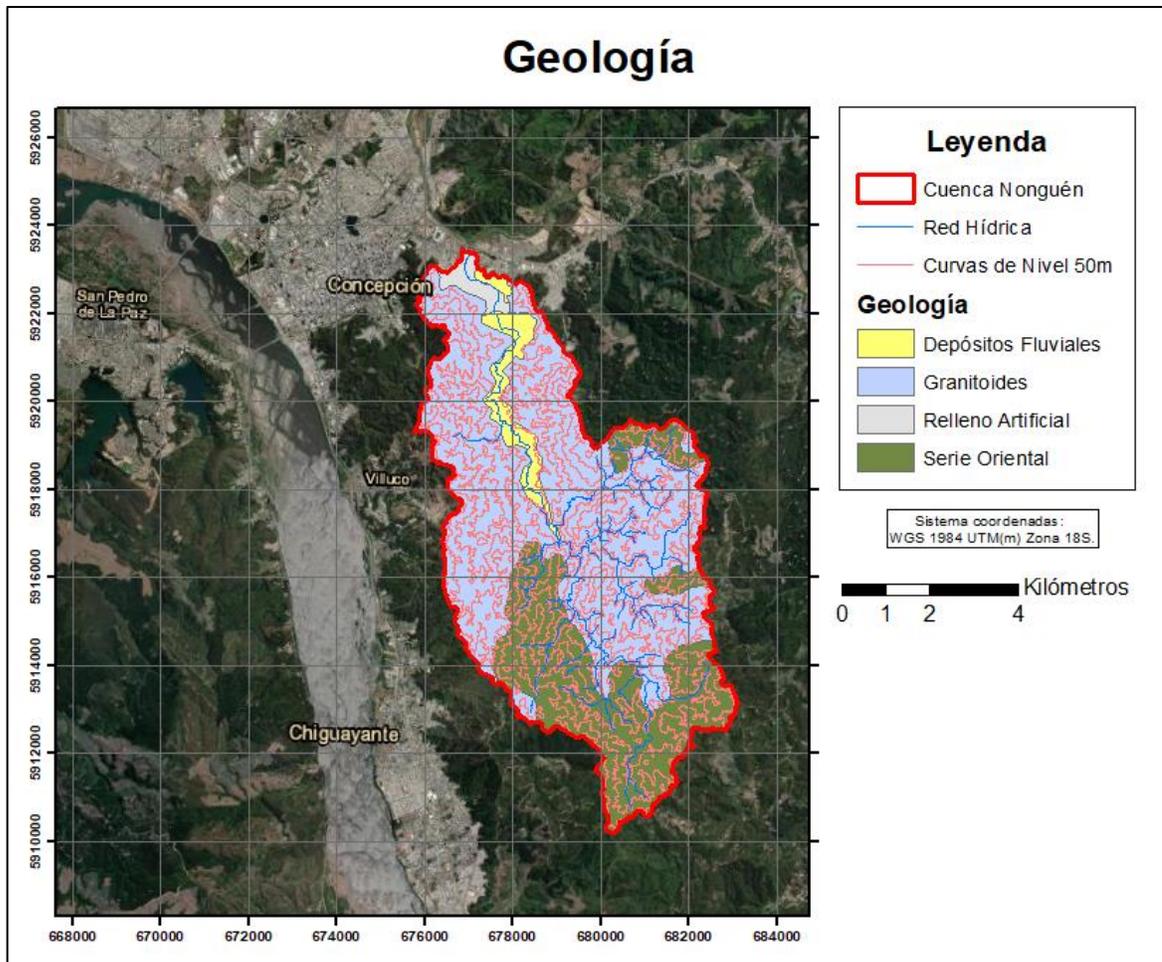


Figura 2.1: Geología del área de estudio.

2.2.2 Cenozoico

2.2.2.1 Depósitos sedimentarios no consolidados

Corresponden a depósitos de variadas fuentes y procesos relativamente recientes, que se encuentran en inconformidad sobre el basamento. Los cuales se dividen en:

Depósitos fluviales: En la desembocadura de la cuenca se encuentran los formados principalmente por los ríos Biobío y Andalién, los cuales están formados por gravas y arenas limosas de origen volcánico principalmente y dentro de la cuenca se encuentran los rellenos formados por el Estero Nonguén, los cuales están compuestos por la erosión del basamento ígneo y metamórfico, rellenando los valles actuales de la cuenca.

Depósitos aluviales: Formados mayoritariamente cercanos a fuertes pendientes de dominio estructural, las cuales, junto con fuertes precipitaciones, se producen deslizamientos y flujos aluviales. Formando depósitos de bajo espesor con rocas de hasta 150 cm de diámetro aproximadamente, provenientes del basamento.

Depósitos de relleno artificial: Debido al fuerte aumento de la urbanización en la cuenca en los últimos años y además de obras viales de alto impacto como la canalización del estero Nonguén, existen una serie de rellenos artificiales de composiciones muy variables, los cuales se encuentran rellenando principalmente quebradas, humedales o siendo utilizados como muro de contención.

3 MARCO HIDROLÓGICO

Este capítulo describe el sistema hídrico de la cuenca hidrográfica del Estero Nonguén, y los antecedentes de precipitaciones y caudales.

3.1 Hidrología Regional

La cuenca del Nonguén es una subcuenca de la Cuenca del río Andalién y se encuentra ubicada al extremo suroeste de esta (Figura 3.1).

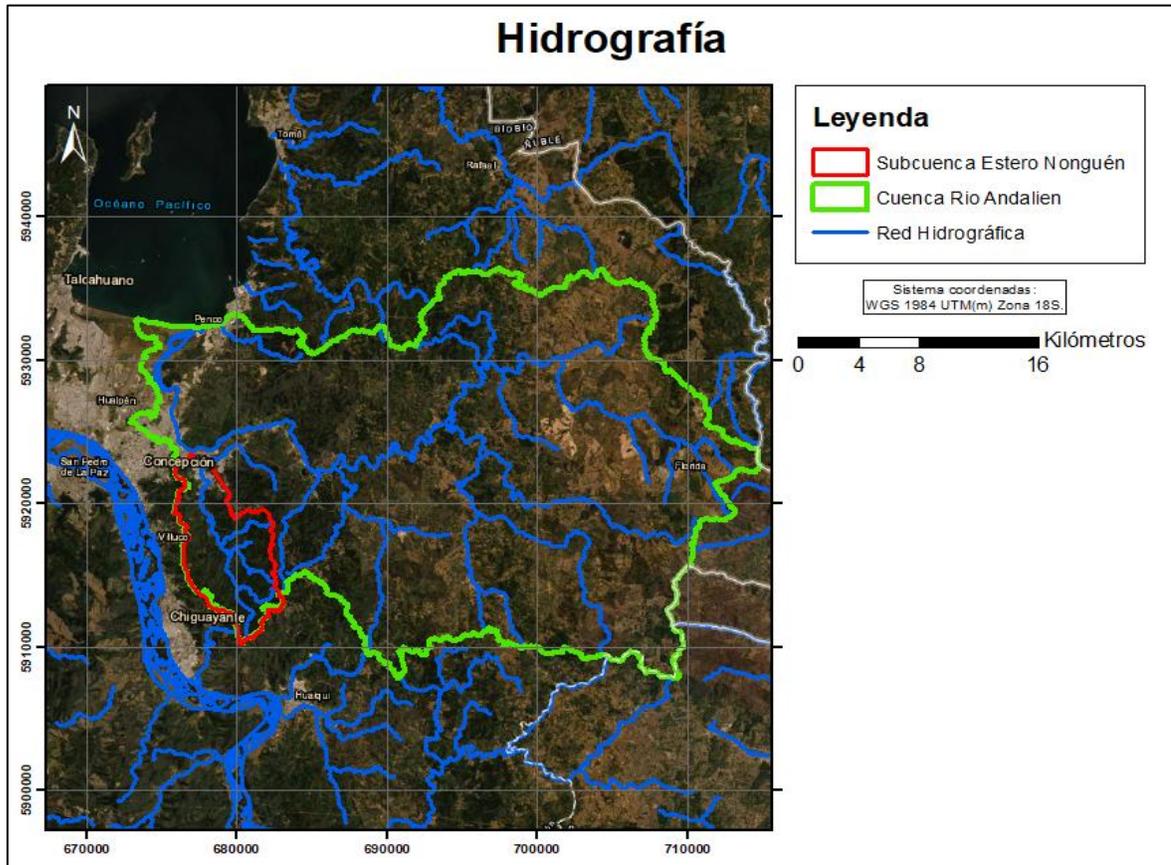


Figura 3.1: Mapa hidrográfico, donde se muestra la Subcuenca Nonguén ubicada dentro de la Cuenca Andalién.

La Cuenca del Río Andalién es una de las cuencas costeras más importantes de la región del Biobío, la cual desemboca al norte de la ciudad de Concepción, entre la península de Talcahuano y la ciudad de Penco. Se encuentra ubicada entre la Cuenca del Río Biobío y la Cuenca del Río Itata, las cuales son de las cuencas más grandes e importantes de la zona, abarcando desde la Región del Ñuble hasta la Región de la Araucanía.

3.2 Hidrología Local

3.2.1 Cuerpos de Agua

Dentro de la Cuenca Nonguén, existen diversos afluentes que descargan en el drenaje principal que es el Estero Nonguén (Figura 3.2), el cual posee una orientación NW-SE y una longitud de 3,5 km en el sector alto de la cuenca y de 10,9 km hasta su desembocadura en el río Andalién. Nace de la confluencia de los esteros Compuy (de orientación NE-SW) y Redolmo (de orientación NW-SE) por sureste de la cuenca y de la confluencia de los esteros Manquimávida y Los Lirios (ambos de orientación NW-SE) por el sur. A su vez existen otros afluentes menores cercanos al centro de la cuenca, como el Estero San Francisco que se encuentra ubicado al centro de la cuenca y alimenta al Estero Nonguén desde el este y el estero Lo Rojas que está ubicado un poco más al sur del Estero San Francisco y alimenta al Estero Nonguén desde el oeste (ambos de orientación NE-SW).

Se puede notar según las orientaciones de los esteros y los relieves de la cuenca, que existe un fuerte dominio estructural con estructuras principales de orientación NW-SE, representadas por los esteros Nonguén, Manquimávida, Los Lirios y Redolmo y estructuras secundarias de orientación NE-SW, representadas por los esteros Compuy, San Francisco y Lo Rojas.

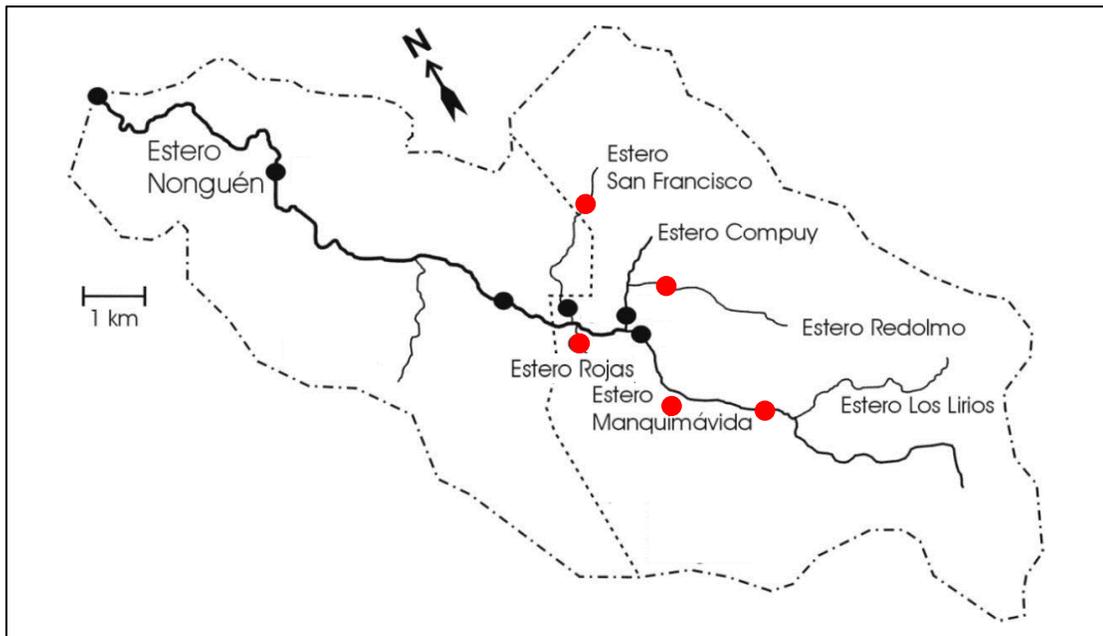


Figura 3.2: Nombres y ubicación de esteros dentro de la Cuenca Nonguén. Los puntos negros corresponden a tomas de datos fluviales del estudio EULA (2002), mientras que los puntos rojos, son captaciones superficiales destinadas para agua potable de la empresa Essbio. Ilustración modificada de EULA (2002).

3.2.2 Antecedentes Pluviales y Fluviales

Los datos de precipitaciones y caudal de salida de la Cuenca Nonguén entre 2009 y 2022 (Figura 3.3), se obtuvieron de la estación meteorológica de la DGA que se encuentra en la coordenada E: 676.917 y S: 5.923.226 del datum WGS 84 huso 18, ubicada a unos 500 m al sur de la desembocadura de la cuenca (confluencia estero Nonguén con Río Andalién). Los datos reflejan que las precipitaciones se comportan relativamente de manera cíclica, sin grandes variaciones pero que el caudal de salida a aumentado considerablemente posterior al 2014, esto se puede deber principalmente a que a mediados del 2013 se entregó una obra en la cual se amplió el canal (disminuyendo su caudal por desviación mientras realizaban la obra) y que en los últimos años ha aumentado la deforestación del bosque nativo que se encuentra fuera del parque en conjunto con las cosechas de las plantaciones de pino y eucalipto que aumentan la escorrentía superficial.

Es importante considerar que las precipitaciones son del final de la cuenca (lugar donde se encuentra la estación de monitoreo), mientras que en la parte alta de la cuenca son considerablemente mayores. Esto se produce debido a la pendiente general del cauce principal en la cuenca, la cual es considerablemente grande para el tamaño de la cuenca (en los 13,5 km aproximadamente que posee la cuenca en extensión, la altura varía desde los 16 a los 430 ms.n.m. aproximadamente), generando que aumente la precipitación a medida que la nube avanza de oeste a este o sureste y se enfrenta a la ladera occidental de la Cordillera de la Costa.

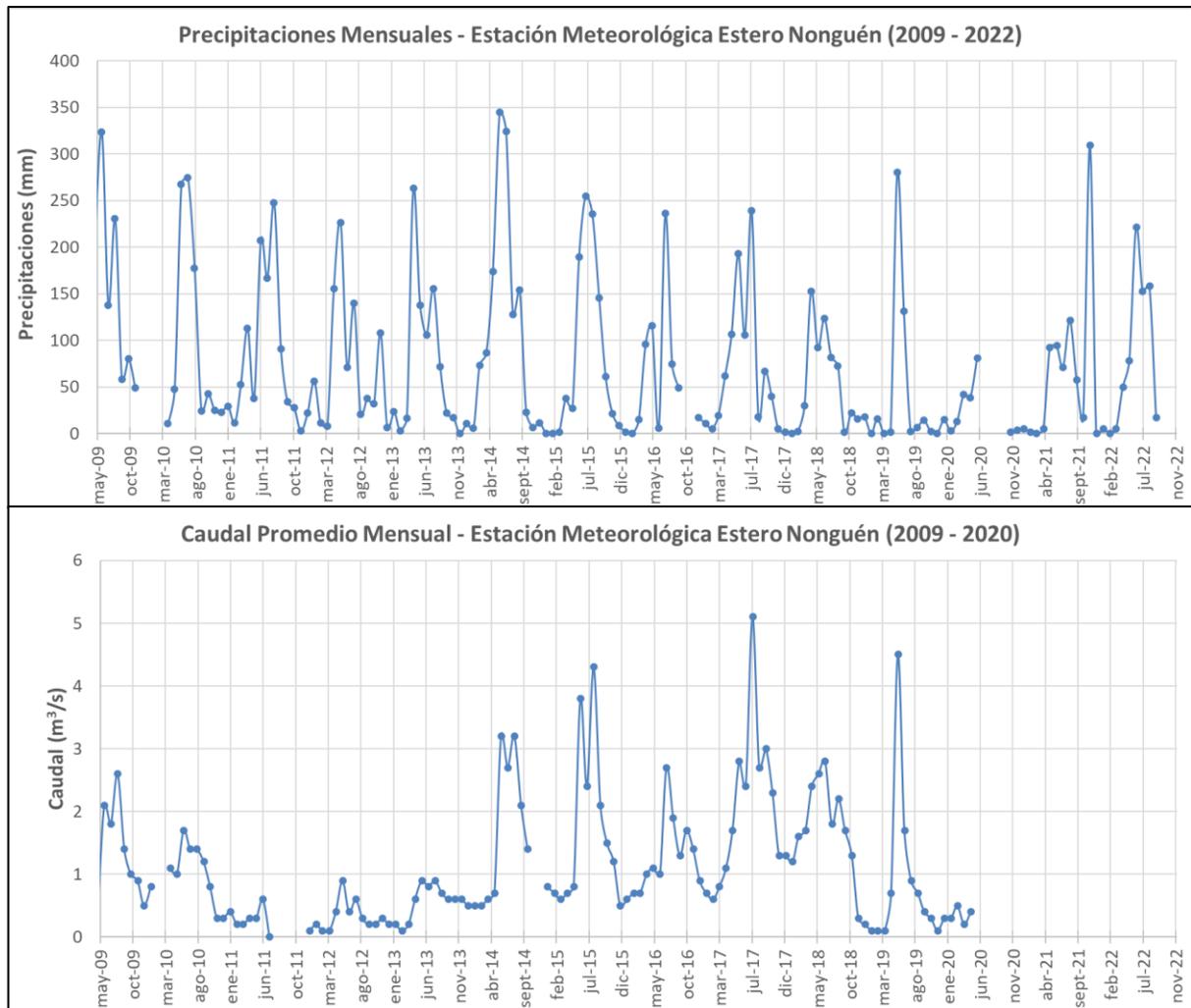
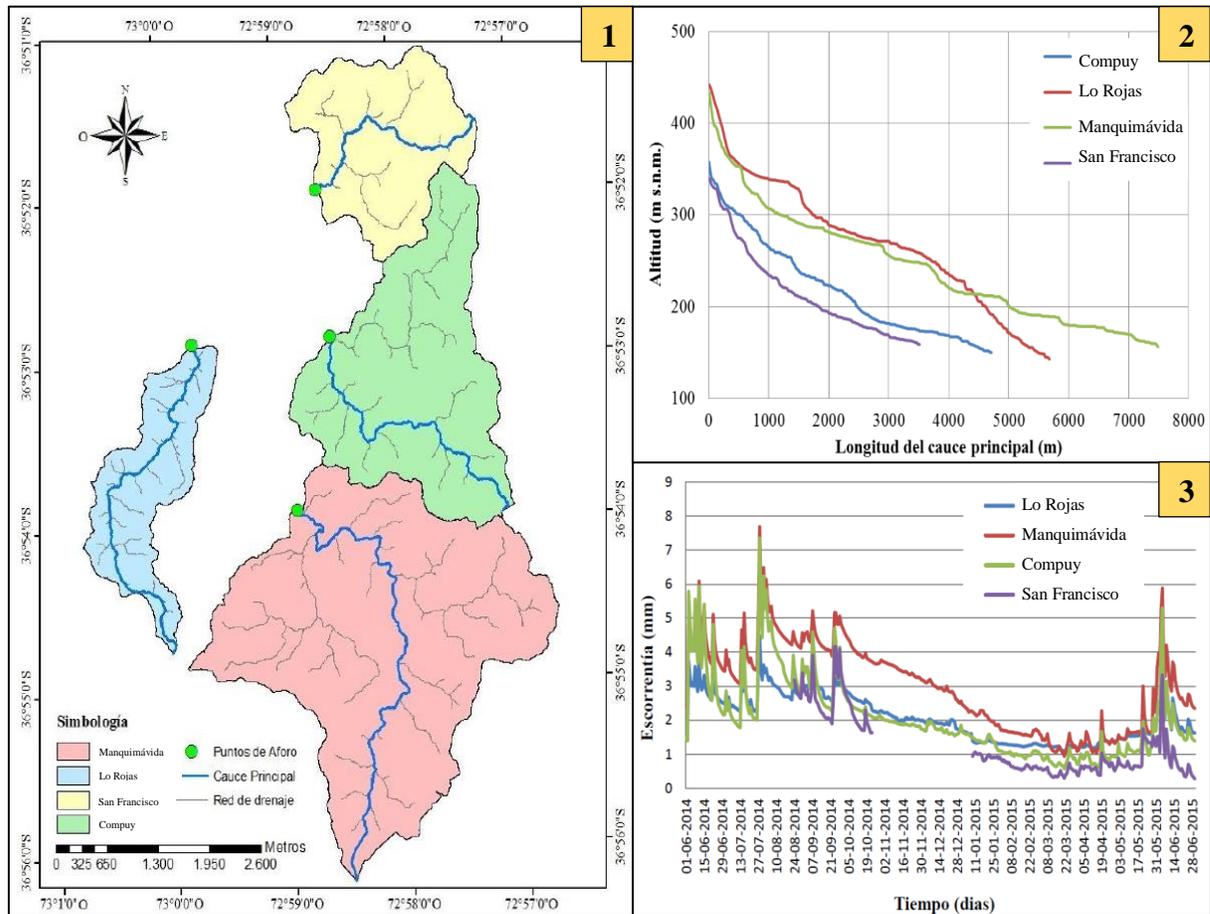


Figura 3.3: Precipitaciones (arriba) y caudales de salida mensuales (abajo) registrados por la estación meteorológica de la DGA “Estero Nonguén, frente Universidad del Biobío”, entre los años 2009 y 2022.

Con el fin de caracterizar de mejor manera los cauces internos del Parque Nacional Nonguén (los cuales son los afluentes principales del Estero Nonguén), se revisaron los resultados del estudio desarrollado en la tesis de pregrado “Caracterización del régimen hídrico en microcuencas de la reserva nacional Nonguén”, Espinoza (2015) (Figura 3.4).



Se puede apreciar en la Figura 3.4, que existen similitudes en las formas de los cauces entre el estero “Lo Rojas” y el “Manquimávida” (subcuencas con predominio de bosque nativo), al igual que entre el estero “Compuy” y el “San Francisco” (subcuencas con mezcla de bosque nativo y plantaciones de pinos y eucaliptos). Para el periodo lluvioso (meses de invierno), el estero Compuy se asemeja en caudal con el Manquimávida y en menor medida se puede apreciar lo mismo entre el estero Lo Rojas y el San Francisco, sin embargo, para el periodo de estiaje (menores precipitaciones), se evidencia una disminución relativamente drástica para los caudales de los esteros en subcuencas con mezcla de bosque nativo y plantaciones, mientras que los esteros en subcuencas de casi puro bosque nativo, sufren una disminución más paulatina y equilibrada de su caudal, quedando finalmente para el periodo de verano, como los mayores caudales en la cuenca.

4 HIDROLOGÍA

4.1 Series de Suelo

En la zona de estudio existe una única serie de suelo denominada “Asociación San Esteban”, la cual fue descrita y cartografiada en el “Estudio agrológico VIII Región, CIREN 1999”. Esta corresponde a una sucesión franco arcillo arenosa con la matriz arcillosa de color rojizo y es descrita como suelos evolucionados "in situ" a partir de materiales graníticos ricos en cuarzo, moderadamente profundos a profundos, bien drenados, que ocupan una posición de cerros y lomajes altos dominando el paisaje. Las pendientes son complejas y dominan las superiores a 10%; las caídas son muy fuertes hacia esteros, quebradas o simplemente cauces secos la mayor parte del año, con pendientes de 50% y más.

4.2 Usos de Suelo

Dentro de la Cuenca Nonguén se encuentra uno de los últimos relictos de bosque nativo caducifolio de la cordillera de la costa. Este bosque se encuentra particularmente emplazado en el Parque Nacional Nonguén y se debe a que el área que abarca actualmente (previamente conocido como Fundo Nonguén), fue expropiada en el año 1911, con el propósito de proteger la producción de agua potable para el sector metropolitano colindante, medida que posibilitó la mantención de la cobertura de bosque nativo del sector (EULA, 2002). En el año 1986 el predio es transferido a SENDOS, el que luego en 1990 es transformado en la Empresa de Servicios Sanitarios del Biobío S. A. (ESSBIO). Con el tiempo se renovó naturalmente la cobertura de bosque nativo original (la mayoría había sido extraída para calefacción en el siglo 19 y 20), en 2009 se convirtió en reserva nacional gracias a su uso histórico como cuenca productora de agua (con el fin de protegerla) y a su extensa cobertura de bosque nativo, en conjunto a sus especies endémicas y finalmente en 2020 fue transformada en parque nacional, lo que permite que gracias a un aumento de recursos y de prioridad de conservación, se proteja el bosque y en conjunto una muy importante fuente de agua potable para la población urbana.

Como se puede apreciar en la Figura 4.1, la mayor parte del bosque nativo se concentra en la cabecera suroeste de la cuenca como bosque nativo secundario (renewal), en la cabecera sureste se aprecia una mezcla entre plantaciones de especies exóticas (pino y eucalipto) con bosque nativo (ambos usos son principalmente de edad joven y en menor medida adulto) y en noroeste de la cuenca (en dirección a la desembocadura del Estero Nonguén), se encuentra una cobertura

principalmente de plantaciones mezclada con matorrales y urbanización (suelo impermeable como pavimento y edificaciones).

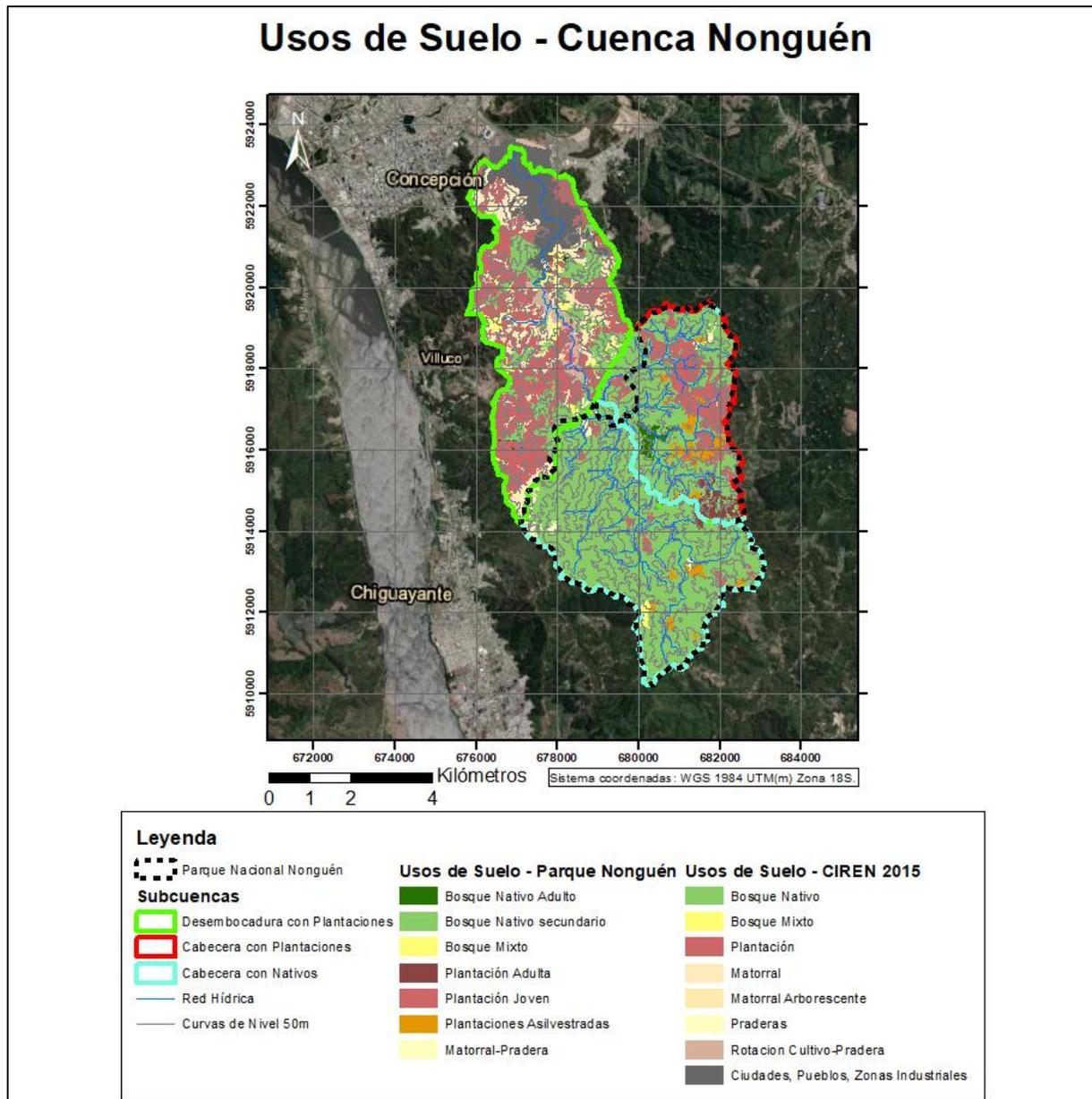


Figura 4.1: Cuenca Nonguén con las 3 subdivisiones de cuenca realizadas en este estudio y los usos de suelo utilizados. Siendo los del Parque Nacional Nonguén, los usos determinados por Echeverría y otros (2013) y los del resto de la cuenca, de CIREN (2015).

4.3 Caracterización de Subcuencas

Con el fin de realizar muestreos hidroquímicos e isotópicos que sean representativos de los servicios ecosistémicos provistos por el Parque Nacional Nonguén a la Cuenca Nonguén en un año,

se determinaron 3 subcuencas en base a sus coberturas de suelo (Tabla 4.1) y características fisiográficas e hidrológicas (Figura 4.1).

Tabla 4.1: Áreas y porcentajes de usos de suelo según subcuencas y la cuenca en general.

Usos de Suelo	Subcuencas			Cuenca Nonguén
	Cabecera con Nativos	Cabecera con Plantaciones	Desembocadura con Plantaciones	
Bosque adulto	0%	2,55%	0%	0,63%
Bosque secundario	92,40%	62,51%	21,49%	56,67%
Bosque mixto	0,75%	0%	0%	0,27%
Plantación adulta	0,81%	4,94%	32,26%	14,41%
Plantación joven	2,18%	23,62%	10,57%	10,81%
Exóticas asilvestradas	1,64%	5,74%	0%	1,99%
Matorral-pradera	2,22%	0,65%	18,27%	8,25%
Terreno de Uso Agrícola	0%	0%	2,97%	1,19%
Urbanización	0%	0%	14,45%	5,78%
Áreas (km²)	18,64	12,95	21,08	52,68

4.3.1 Caracterización Fisiográfica

Se utilizó un modelo de elevación digital (DEM) para definir las curvas de nivel, cauces principales, drenajes secundarios, zonas de acumulación y dirección de flujo; permitiendo determinar microcuencas (ver Anexo III), para luego unir las y obtener subcuencas. Esta información se relacionó con los usos de suelo presentes, con la intención de representar lo mejor posible la influencia de una cobertura de bosque nativo en comparación a plantaciones de especies exóticas (como pinos y eucaliptos) y zonas urbanas. Para esto se caracterizaron las siguientes subcuencas dentro de la Cuenca Nonguén:

- 1) Subcuenca Cabecera con Nativos (SCN): Subcuenca dentro del Parque Nacional Nonguén, tiene un área de 18,64 km² y posee la mayor cobertura porcentual en bosque nativo (92,4 %).

En esta subcuenca se encuentran los esteros “Los Lirios”, “Manquimávida” y “Lo Rojas”. Posee una variación de elevación entre los 60 a 430 ms.n.m. aproximadamente, lo que se traduce en una variación considerable de la precipitación y pendientes.

- 2) Subcuenca Cabecera con plantaciones (SCP): Subcuenca casi en su totalidad dentro del Parque Nacional Nonguén (con la excepción de la zona NW que corresponde al tramo medio del Estero San Francisco), tiene un área de 12,95 km² y posee una relación aproximada de cobertura de suelo 2:1 entre bosque nativo (65,06 %) y plantaciones de especies exóticas de árboles (32,72 %).

En esta subcuenca se encuentran los esteros “Redolmo”, “Compu” y “San Francisco”.

Posee una variación de cota entre 60 y 380 ms.n.m. aproximadamente, permitiendo una comparativa directa con la fisiografía de la SCN.

- 3) Subcuenca Desembocadura con plantaciones (SDP): Subcuenca al NW del Parque Nacional Nonguén, tiene un área de 21,08 km² y posee principalmente una cobertura de suelo de plantaciones exóticas (42,83 %), una mezcla entre matorrales y praderas (18,27 %), superficies urbanas (14,45 %), terrenos de uso agrícola (2,97 %) y un remanente de bosque nativo (21,49 %) repartido en pequeñas áreas que no han sido forestadas y/o urbanizadas. Este último, sin embargo, ha disminuido considerablemente en los últimos años debido a la subdivisión y urbanización de terrenos rurales en las cercanías de la ciudad, lo cual, aún no se ha cuantificado oficialmente el impacto generado en la Cuenca Nonguén. Dentro de la subcuenca se encuentra el Estero Nonguén principalmente, el cual desemboca en el Río Andalién.

Posee una variación de cota entre 10 y 280 ms.n.m. aproximadamente, representada por una superficie con menores pendientes.

4.3.2 Caracterización Hidrológica

Para identificar los parámetros hidrológicos de cada subcuenca, se utilizaron los HRU (Unidad de Respuesta Hídrica) de la Cuenca Nonguén, provenientes del estudio de Martínez y otros (2020). Estos corresponden a polígonos obtenidos mediante un modelamiento de cuencas con el software SWAT (Soil & Water Assessment Tool), el cual obtiene los parámetros hidrológicos del suelo como la precipitación, evapotranspiración, recarga de aguas subterráneas y escorrentía superficial y subterránea (entre otros parámetros). En base a su relación espacial con las series de suelo, usos de suelo, temperaturas, precipitaciones y topografía (pendientes y cotas).

Debido a que los polígonos originales de los HRU correspondían a toda la Cuenca del Andalién (de la cual la Cuenca Nonguén corresponde aproximadamente al 6,5 % en área), se generaron pequeños espacios vacíos entre los polígonos de los HRU y estos al modelarlos se comportan como espacios sin información, por lo que se realizó una normalización entre las áreas de los HRU y las áreas de la cuenca o subcuenca que los contiene, pudiendo extrapolar los parámetros a las áreas totales. Además, estos HRU son resultados mensuales entre el año 2005 y 2013, por lo que, para representar las características hidrológicas de cada subcuenca según los periodos de muestreo en un año, se promediaron los años y los meses se agruparon en 4 periodos del año (equivalentes a los

muestreos realizados a los inicios de cada estación del año), siendo inicio verano: noviembre, diciembre y enero, inicio otoño: febrero, marzo y abril, inicio invierno: mayo, junio y julio, e inicio primavera: agosto, septiembre y octubre.

Las definiciones de los parámetros hidrológicos de los HRU elegidos para caracterizar las subcuencas hidrológicamente, son definidas en el manual “swat input & output documentation (2012)” y se utilizaron los siguientes:

- 1) PRECIP: Cantidad total de precipitación caída en el HRU (mm de agua).

Las cabeceras de cuenca lideran respecto a la cantidad de precipitación (Tabla 4.2), esto se debe principalmente a las zonas de mayor elevación con pendientes fuertes, lo que genera que las nubes que viajan en dirección W-E, precipiten con mayor abundancia en las zonas altas.

Tabla 4.2: Promedio trimestral de precipitaciones por subcuenca y cuenca en general.

Subcuencas	Promedio trimestral de Precipitaciones (mm)			
	Inicio Verano	Inicio Otoño	Inicio Invierno	Inicio Primavera
Cabecera con Nativos	94,09	95,42	612,88	347,60
Cabecera con Plantaciones	93,64	100,62	618,73	350,01
Desembocadura con Plantaciones	81,61	90,08	564,31	314,83
Cuenca Nonguén	88,98	94,56	594,89	335,08

En la Figura 4.2, se puede apreciar que las cabeceras de cuenca, así como los meses más lluviosos (inicio invierno e inicio primavera que refleja la influencia del invierno) son los que lideran con la cantidad de precipitaciones, sin embargo, al inicio del otoño se evidencia en la Figura 4.2, una mayor precipitación en la cabecera del este que en la del sur, esto también se refleja en la Tabla 4.2 como un leve aumento en comparación a la otra cabecera y se puede deber a que la cabecera del este, está ubicada de frente al mar (mirando hacia el oeste), lo que podría resultar en que las nubes tengan una dirección preferencial hacia esta cabecera y por ende aumente su precipitación en comparación al resto de la cuenca.

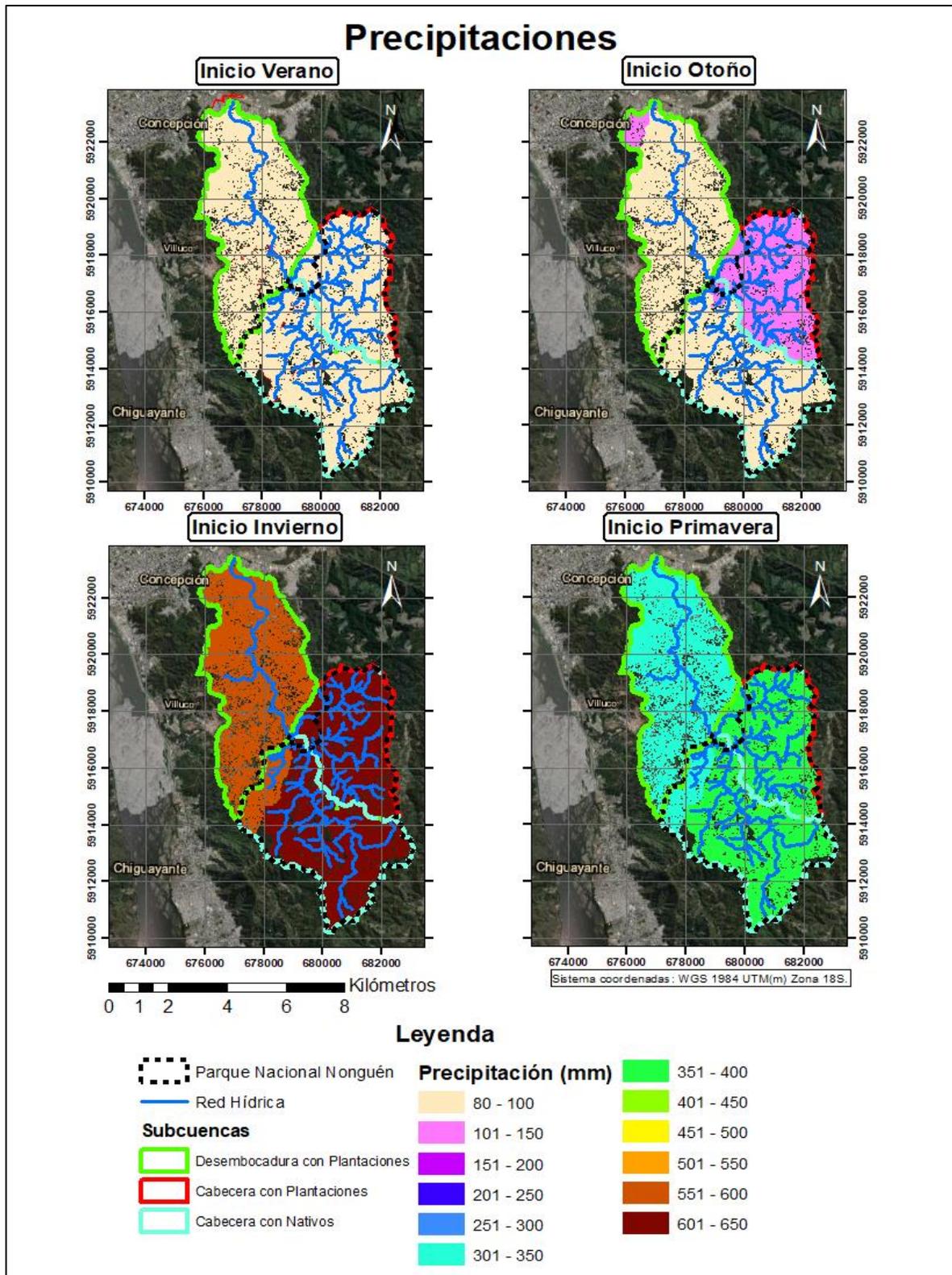


Figura 4.2: Resultados de los HRU según la precipitación para los 4 muestreos del año.

- 2) ET: Evapotranspiración real (evaporación y traspiración de la vegetación) del HRU (mm de agua).

Se evidencia (Tabla 4.3) que en la cabecera con plantaciones existe una mayor evapotranspiración que en la cabecera con nativos y aún mayor que en la desembocadura de la cuenca (Figura 4.3). La diferencia entre cabeceras y desembocadura se asume que es por una mayor precipitación y densidad de vegetación en las cabeceras, lo cual genera una mayor saturación de agua en el medio y permite que aumente la evapotranspiración, ya que, por exposición, la desembocadura debería tener una mayor evaporación. Y la diferencia entre las cabeceras se asume a que, en la cabecera con plantaciones, existe una mayor exposición del suelo (ya que el suelo plantado es mucho menos denso en vegetación que el bosque), lo que aumenta la evaporación, y que a pesar de que esta cabecera tenga mayor precipitación, la diferencia entre precipitaciones es 3 veces menor que la evapotranspiración, por lo que no se interpreta únicamente la diferencia por mayor presencia de agua.

Tabla 4.3: Promedio trimestral de evapotranspiración real por subcuenca y cuenca en general.

Subcuencas	Promedio trimestral de Evapotranspiración Real (mm)			
	Inicio Verano	Inicio Otoño	Inicio Invierno	Inicio Primavera
Cabecera con Nativos	68,30	90,13	140,31	122,26
Cabecera con Plantaciones	75,63	105,93	158,29	141,82
Desembocadura con Plantaciones	55,86	71,48	122,63	105,94
Cuenca Nonguén (promedio)	65,12	86,55	137,66	120,54

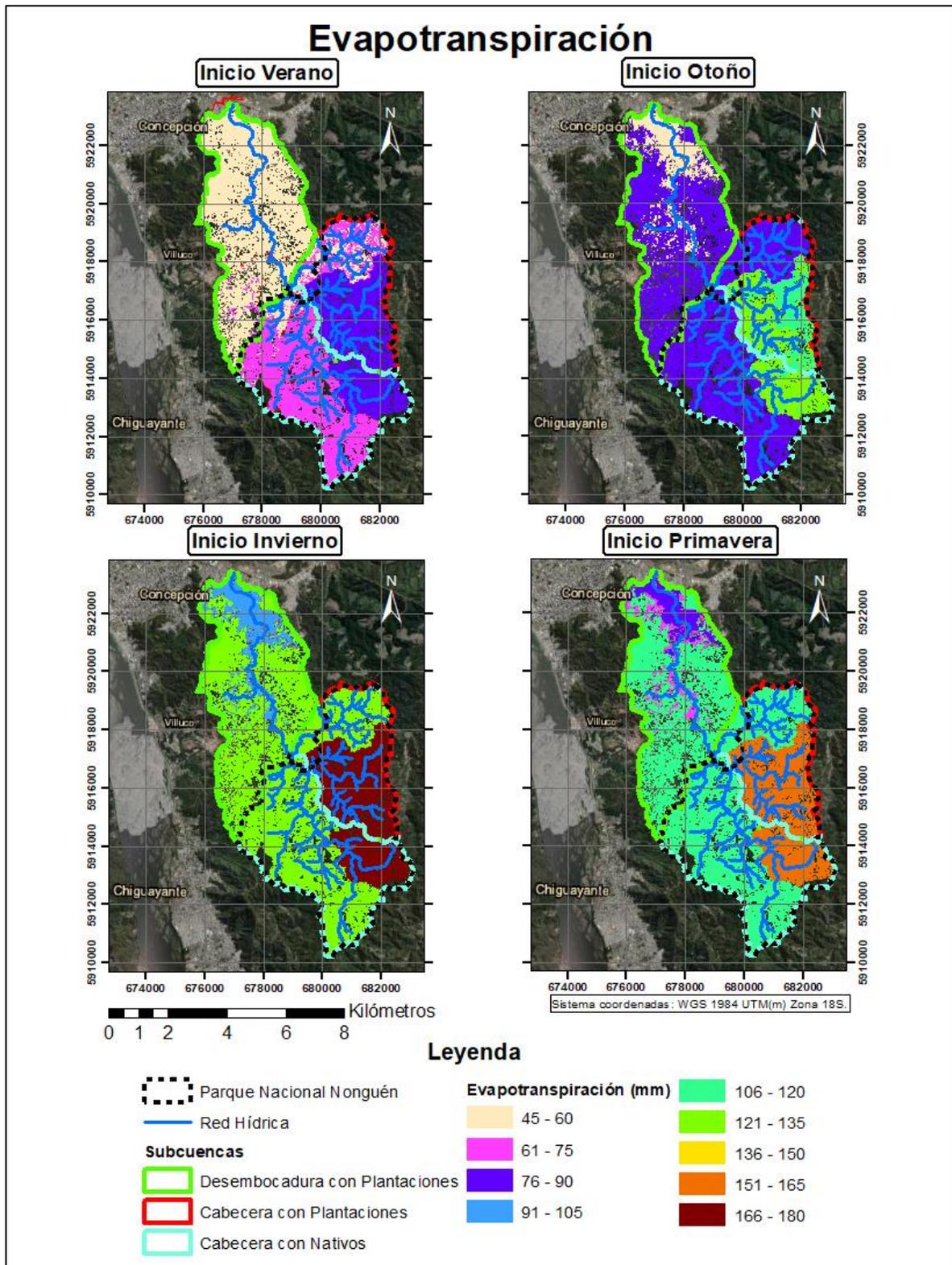


Figura 4.3: Resultados de los HRU según la evapotranspiración para los 4 muestreos del año.

- 3) GW_RCHG: Recarga de agua entrando a los acuíferos (profundo y superficial) del HRU (mm de agua), determinada como recarga de agua subterránea.

Los meses de mayor recarga coinciden con los de mayor precipitación. Entre las cabeceras, se registra una mayor recarga en todos los periodos en la cabecera con nativos y a modo general, la desembocadura de la cuenca lidera respecto a la recarga de aguas subterráneas (Tabla 4.4), sin embargo, al observar la Figura 4.4, se puede notar que las zonas de notoriamente mayor recarga en la desembocadura, son las zonas urbanizadas, esto contradice que su uso de suelo sea el de menor infiltración (urbanización casi impermeable), pero se asume que el resultado se genera debido a que son las pocas zonas de gran extensión planas en la desembocadura de la cuenca, lo que se traduce como mayor recarga para el software SWAT.

Tabla 4.4: Promedio trimestral de recarga de agua subterránea por subcuenca y cuenca en general.

Subcuencas	Promedio trimestral de Recarga de Agua Subterránea (mm)			
	Inicio Verano	Inicio Otoño	Inicio Invierno	Inicio Primavera
Cabecera con Nativos	15,16	2,44	77,40	102,59
Cabecera con Plantaciones	13,16	1,99	65,79	98,64
Desembocadura con Plantaciones	15,34	3,11	80,84	96,16
Cuenca Nonguén (promedio)	14,74	2,60	75,92	99,04

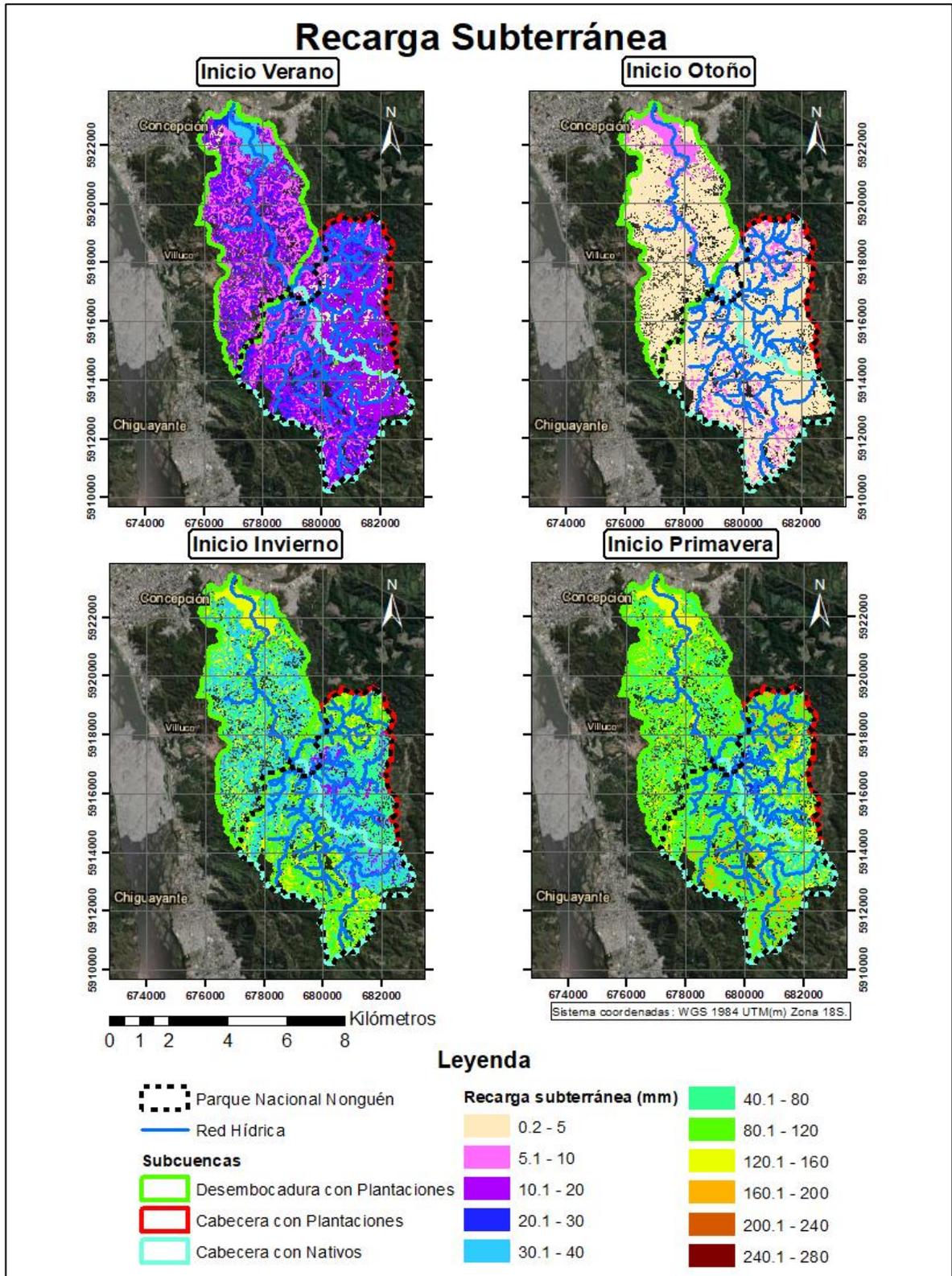


Figura 4.4: Resultados de los HRU según la recarga de aguas subterráneas para los 4 muestreos del año.

- 4) SURQ_GEN: Escorrentía superficial generada en el HRU (mm de agua) hacia el cauce principal.

Se evidencia una mayor escorrentía superficial en las cabeceras de la cuenca (probablemente asociado a la mayor precipitación) y puntualmente en la cabecera con nativos para los periodos lluviosos (inicio invierno y primavera), sin embargo, para el inicio del otoño, disminuye su escorrentía por bajo las otras dos subcuencas (Tabla 4.5).

Tabla 4.5: Promedio trimestral de escorrentía superficial por subcuenca y cuenca en general.

Subcuencas	Promedio trimestral de Escorrentía superficial (mm)			
	Inicio Verano	Inicio Otoño	Inicio Invierno	Inicio Primavera
Cabecera con Nativos	19,13	20,74	240,63	122,15
Cabecera con Plantaciones	19,24	21,86	231,12	118,90
Desembocadura con Plantaciones	16,24	22,54	227,51	108,77
Cuenca Nongué (promedio)	18,00	21,73	233,04	116,00

En la Figura 4.5, se puede notar que el borde este de la cabecera con nativos posee una menor escorrentía respecto al resto de la subcuenca, e incluso menor al resto de la cuenca en los inicios del otoño, lo que genera su disminución de escorrentía. Probablemente esto se deba a que la evapotranspiración en esa zona es mayor que el resto de la subcuenca (Figura 4.3), mientras que las precipitaciones son similares (Figura 4.2) y, por ende, la pérdida de agua por evapotranspiración genera que el resto de los parámetros asociados como la recarga y escorrentía total, disminuyan.

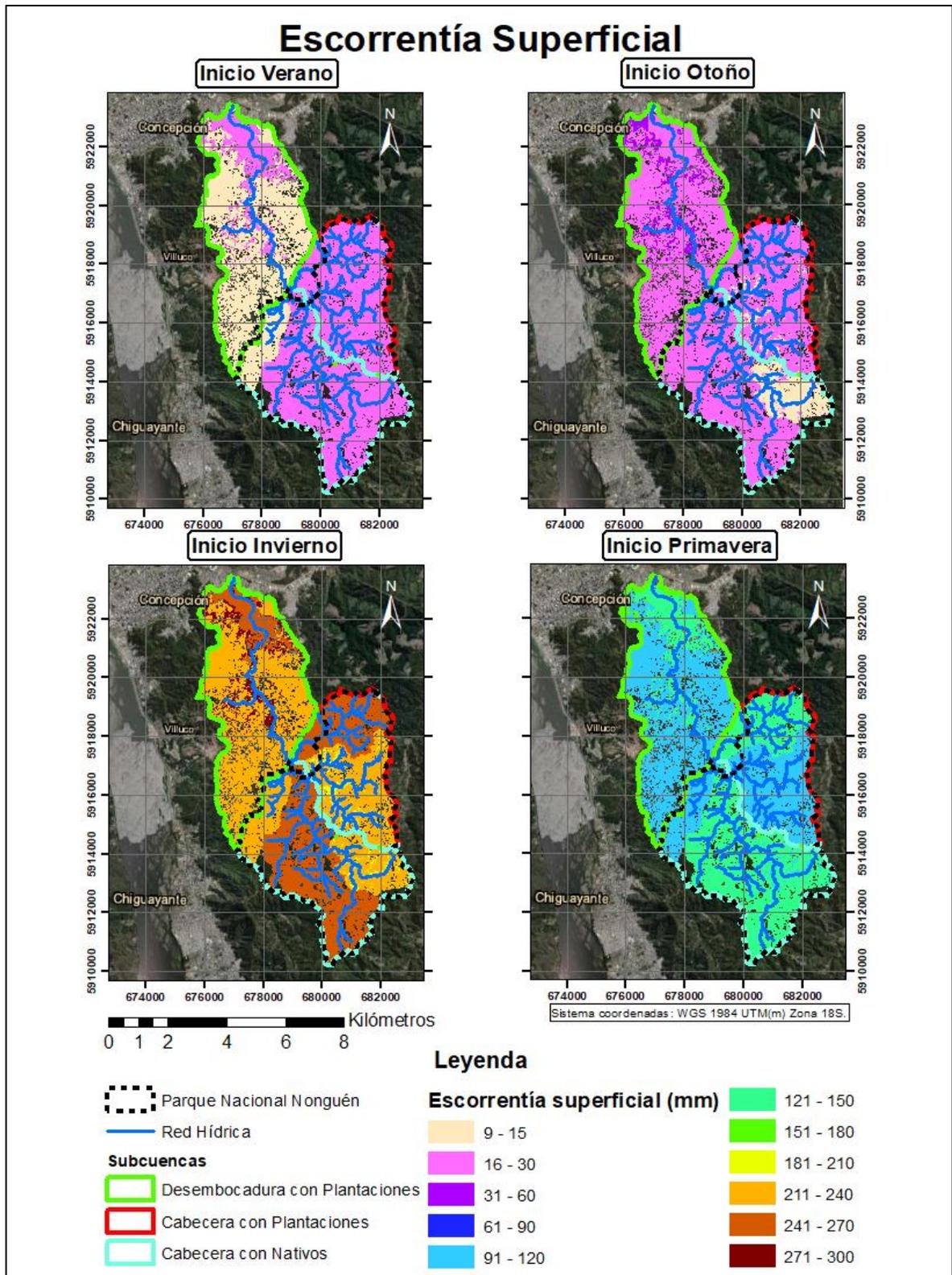


Figura 4.5: Resultados de los HRU según la escorrentía superficial para los 4 muestreos del año.

- 5) $LATQ_GEN + GW_Q$: Escorrentía subterránea del HRU (mm de agua), esta se obtiene sumando la escorrentía del suelo o subsuperficial ($LATQ_GEN$) y la escorrentía proveniente de los acuíferos al cauce principal (GW_Q).

La mayor escorrentía subterránea varía levemente entre la cabecera con nativos y la desembocadura con plantaciones según el periodo de muestreo (Tabla 4.6), esto se puede deber a que en la desembocadura existe una mayor recarga que en la cabecera con plantaciones y posee además zonas planas con relleno fluvial que tienen una gran transmisibilidad y promueven la escorrentía subterránea, mientras que la cabecera con nativos además de tener mejor recarga que la cabecera con plantaciones, posee mayor precipitación que la desembocadura, lo que permite mayor escorrentía en general. Además, tanto la desembocadura como la cabecera con nativos poseen una menor evapotranspiración, por lo que no se genera una gran pérdida de agua y esta se puede traducir en recarga o escorrentía.

Tabla 4.6: Promedio trimestral de escorrentía subterránea por subcuenca y cuenca en general.

Subcuencas	Promedio trimestral de Escorrentía subterránea (mm)			
	Inicio Verano	Inicio Otoño	Inicio Invierno	Inicio Primavera
Cabecera con Nativos	30,33	7,21	119,57	156,53
Cabecera con Plantaciones	26,12	6,55	98,06	142,50
Desembocadura con Plantaciones	29,20	7,55	121,69	150,09
Cuenca Nonguén (promedio)	28,84	7,18	115,13	150,50

En la Figura 4.6 se puede notar que al igual que en la Figura 4.5, el borde este de la subcuenca cabecera con nativos, posee una menor escorrentía en términos generales y esto se asume a una mayor evapotranspiración, pero similares precipitaciones.

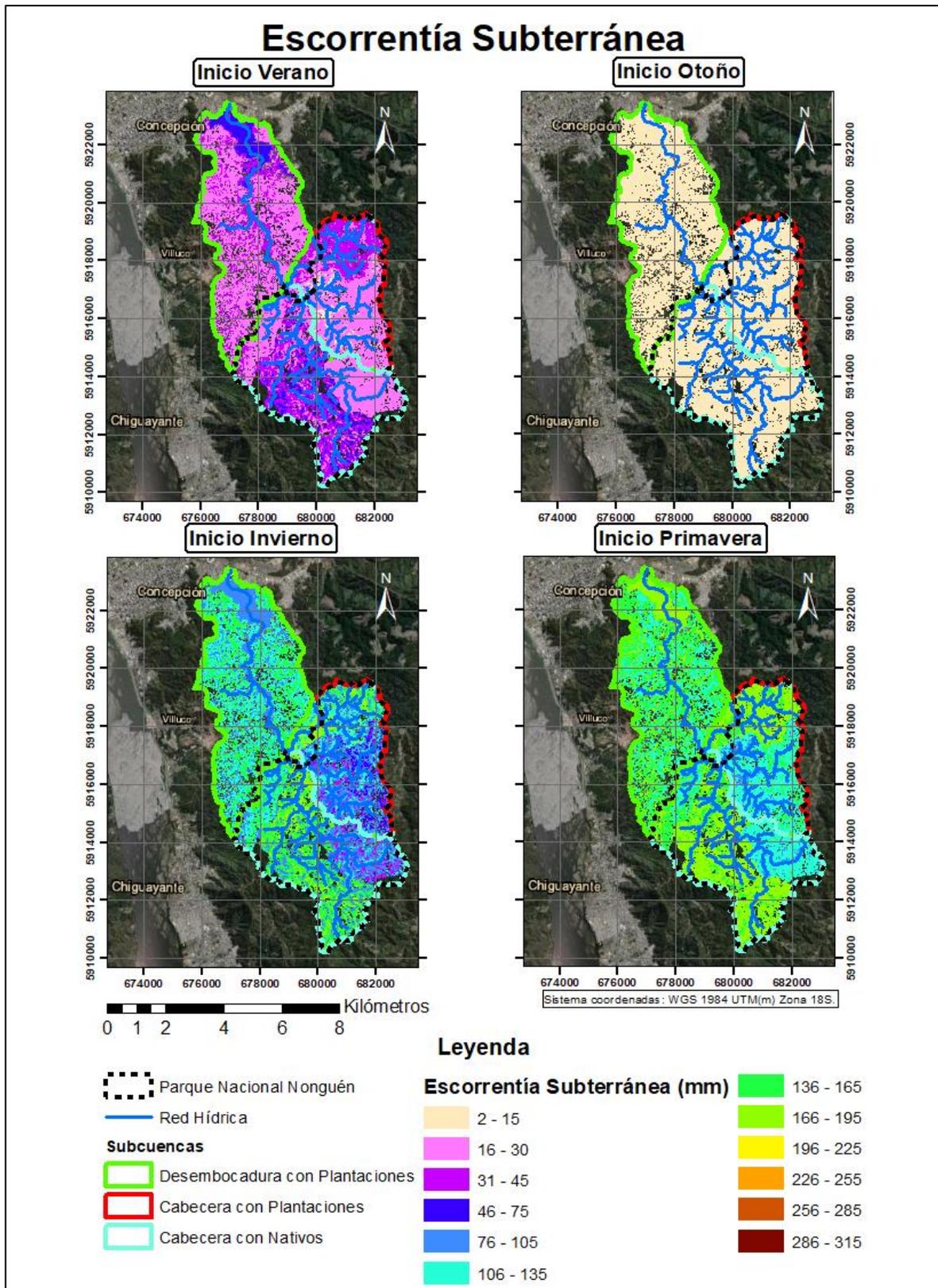


Figura 4.6: Resultados de los HRU según la escorrentía subterránea para los 4 muestreos del año.

Para determinar un balance hídrico relativo, se establece que la diferencia entre las entradas y salidas del sistema que se ha definido es igual a la variación de almacenamiento, es decir, debe existir una igualdad entre las entradas menos las salidas y las variaciones de agua almacenadas en el sistema, positivas o negativas (FCIHS, 2009). De esta forma, un balance hídrico siempre responderá a una ecuación del tipo:

$$\text{Entradas} - \text{Salidas} = \text{Variación del almacenamiento} \pm \text{error}$$

Por lo que para determinar el error en el balance hídrico (Tabla 4.7) mediante el uso de HRU, se toman las entradas (precipitaciones), se le resta la variación del almacenamiento (recarga subterránea) y las salidas (escorrentía y evapotranspiración).

Tabla 4.7: Balance hídrico en el cual el error anual (sumatoria de los 4 periodos en el año) es de 179,09 mm de agua.

Subcuencas	Precipitaciones - Recarga - Escorrentía - Evapotranspiración (mm)			
	Inicio Verano	Inicio Otoño	Inicio Invierno	Inicio Primavera
Cabecera con Nativos	-38,81	-25,10	34,98	-155,93
Cabecera con Plantaciones	-40,51	-35,72	65,47	-151,85
Desembocadura con Plantaciones	-35,03	-14,59	11,64	-146,13
Cuenca Nonguén (promedio)	-37,72	-23,51	33,14	-151,00
Sumatoria anual Cuenca Nonguén	-179,09			

Es importante tener en cuenta, que la ecuación del balance hídrico en SWAT es bastante compleja e incluye entradas y salidas que no fueron consideradas en el presente estudio. Además, que el modelo del cual se obtuvieron los datos (Martínez y otros, 2020), fue realizado para la cuenca completa del río Andalién y que para la subcuenca del Nonguén, los datos climatológicos y fisiográficos son de gran escala y por ende mala resolución. Por ejemplo, las precipitaciones se obtuvieron de una estación meteorológica de la DGA cercana a la desembocadura de la cuenca y se asume que en las zonas más elevadas de la cuenca la precipitación debería ser mayor pero no se cuenta con información precisa para la calibración del modelo.

5 HIDROQUÍMICA

A continuación, se presentan los resultados de las interpolaciones de los muestreos y sus respectivas interpretaciones.

5.1 Parámetros Fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos dan una información extensa de la naturaleza de las especies químicas del agua y sus propiedades físicas, permitiendo una caracterización relativa de la calidad del agua (Samboni y otros, 2007).

En el presente estudio se analizaron resultados de pH, temperatura y electro conductividad (EC) en cada una de las muestras de agua realizadas.

Los análisis se realizaron con el equipo multiparámetro “HI 98131” de Hanna Instruments, el cual fue facilitado por el Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Concepción y calibrado antes de cada día de medición.

5.1.1 PH

La medición del pH se emplea para expresar la intensidad de la acidez, la basicidad o la alcalinidad. El pH no indica la cantidad de compuestos ácidos o alcalinos en el agua, sino la fuerza que éstos tienen.

- Con pH 0-7 el agua es ácida, y lleva ácidos libres o sales ácidas.
- Con pH = 7 el agua es neutra, no tiene ni sales ácidas ni sales básicas; sólo contiene sales neutras.
- Con pH 7-14 el agua es básica o alcalina y lleva sales básicas.

Cada cambio de una unidad de pH multiplica por 10 la fuerza de acidez o alcalinidad de dicha agua (Salas, 2022), de esta manera, un agua con pH 6 es 10 veces más ácida que un agua con pH 7.

El agua potable debe tener un pH comprendido entre 6,0 y 8,5 según la norma chilena de calidad del agua potable (NCh409/1, 2005).

Los resultados de forma general son bastante óptimos (Figura 5.1), ya que el pH es bastante neutro y, por ende, dentro del rango de agua potable. Sin embargo, se puede notar que a medida que disminuyen las precipitaciones (desde inicios del verano a inicios del otoño), el pH aumenta, mientras que al aumentar las precipitaciones (inicios del invierno e inicios de la primavera), el pH disminuye en las cabeceras de las cuencas, afectando a la cuenca en general. Esto se puede deber a que las lluvias transportan iones o sales ácidas al erosionar y estas acidifican el agua en los cursos superficiales.

Además, es importante notar una leve disminución del pH en la desembocadura de la cuenca (más notoria a inicios del verano), esto puede deberse a la actividad antrópica de la zona urbana que genera sales y/o iones ácidos como subproducto de las actividades domésticas e industriales.

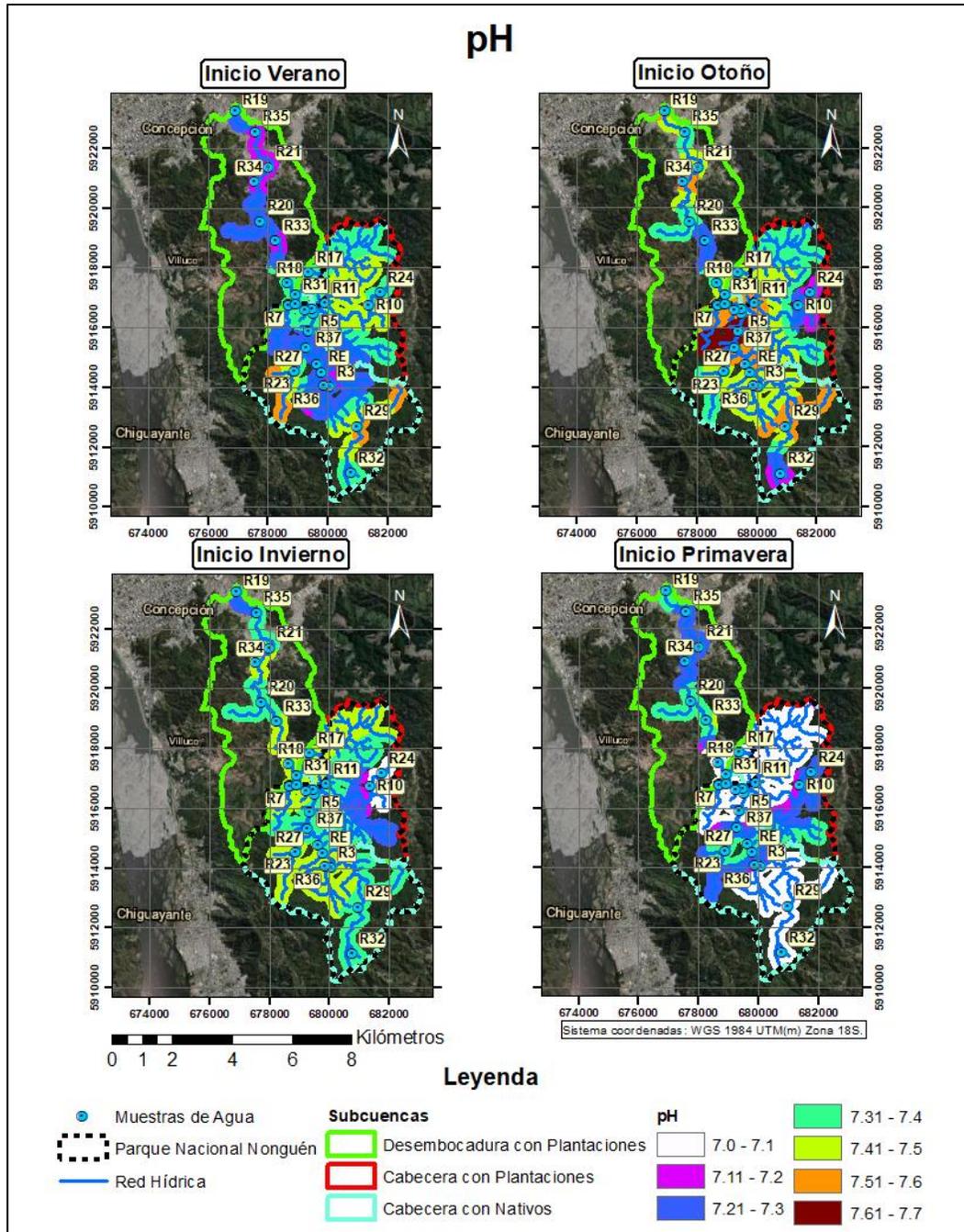


Figura 5.1: Interpolación de los resultados de pH en la Cuenca Nonguen durante los 4 periodos de muestreo.

5.1.2 Temperatura

Representa el grado de calor del cuerpo del agua. Este parámetro puede incidir mucho en la calidad del agua, ya que determina otras propiedades y procesos que tienen lugar en el agua como la viscosidad, la solubilidad de los gases y de las sales, procesos fisiológicos de los organismos que provocan variaciones de su metabolismo, la proliferación de ciertos microorganismos, etc. (COBO, 2018).

La temperatura varía anualmente a consecuencia de la meteorología y del clima, diariamente según la hora del día y espacialmente, con menores temperaturas en los valles frondosos y mayor temperatura en zonas de mayor exposición como explanadas. Esta variación tiene mucha incidencia dentro del ecosistema fluvial, ya que determina la riqueza y abundancia de los organismos. La adaptación de éstos a la temperatura se manifiesta con el patrón biológico, que es propio de cada uno de ellos y se repite de forma cíclica a lo largo del tiempo. La actividad antropogénica, puede alterar la temperatura, esta contaminación térmica puede estar producida, por ejemplo, por el vertido de aguas calientes que han sido utilizadas como refrigerante en industrias (COBO, 2018).

Según el ISQA (índice simplificado de calidad del agua), una temperatura bajo los 20°C es la ideal para una buena calidad del agua.

Para los muestreos realizados, se obtuvo una relación directa entre la temperatura del agua y la geomorfología del lugar, teniendo valles frondosos (dentro del parque) con menores temperaturas y explanadas urbanas (Valle Nonguén y parte del sector Collao) con mayores temperaturas (Figura 5.2). A su vez se determina que existe una variación de unos 6°C que se puede adjudicar principalmente a la hora del muestreo, teniendo los valores más bajos por la mañana (desde 9 am) y los más altos por la tarde (hasta 5 pm).

Además, las temperaturas de inicios del verano son ligeramente más altas que las de inicios del otoño, esto es debido a que la transición primavera-verano es más calurosa que la transición verano-otoño. Sin embargo, ambas son superiores a las del inicio del invierno y primavera, ya que son periodos de menor temperatura, mayor cantidad de precipitaciones y menos horas de luz.

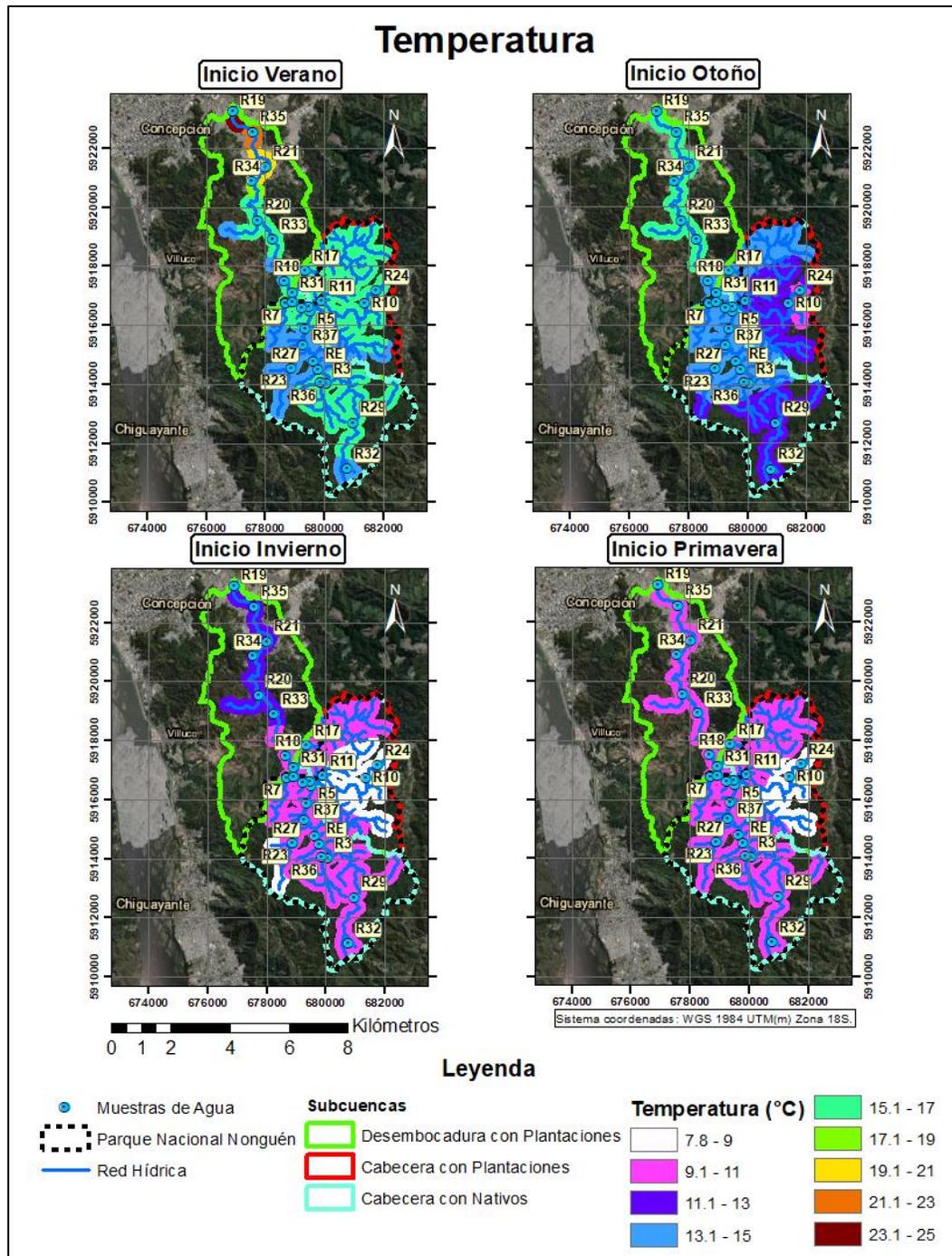


Figura 5.2: Interpolación de los resultados de temperatura en la Cuenca Nonguén durante los 4 periodos de muestreo.

5.1.3 Electroconductividad (EC)

Se define la electroconductividad o conductividad eléctrica, como la capacidad de que una sustancia pueda conducir la corriente eléctrica, que es lo contrario de la resistencia eléctrica. Es una variable que depende de la cantidad de iones disueltos en un líquido y permite determinar la calidad relativa del agua según su concentración mineral (ver *Tabla 1*). La unidad de medición utilizada comúnmente es el micro Siemens/cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Tabla 5.1: Clasificación de agua de acuerdo con su EC (Van der Aa, 2003).

Clasificación	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Concentración mineral muy baja	<77
Concentración mineral baja	77 - 769
Concentración mineral intermedia	769 - 2308
Concentración mineral alta	>2308

Los resultados demuestran muy buenos valores para la Cuenca Nonguén en general (Figura 5.3), sin embargo, se evidencia claramente como la calidad del agua disminuye al salir del Parque Nacional Nonguén hacia la urbanización (subcuenca “desembocadura con plantaciones”).

Se evidencia una mejor calidad en el agua para las zonas de recarga de la SCN en comparación con la SCP, se asume que este resultado se debe a la filtración y mejor nutrición que obtiene el agua cuando la cobertura de suelo es bosque nativo, en comparación a las plantaciones exóticas de rápido crecimiento. Sin embargo, se evidencia una zona de mayores conductividades para la zona SE de la SCN al inicio del verano y se interpretó que podía deberse de la actividad ganadera que existe en los alrededores de esa zona, la cual es purificada luego de llegar al embalse (muestra “RE”) o a una mezcla de aguas con agua subterránea que, al estar más tiempo almacenada, posee una mayor concentración de iones por disolución de la roca y el suelo.

A medida que el Estero Nonguén se acerca a su desembocadura, la electroconductividad es mayor por una contaminación antrópica producto de la urbanización.

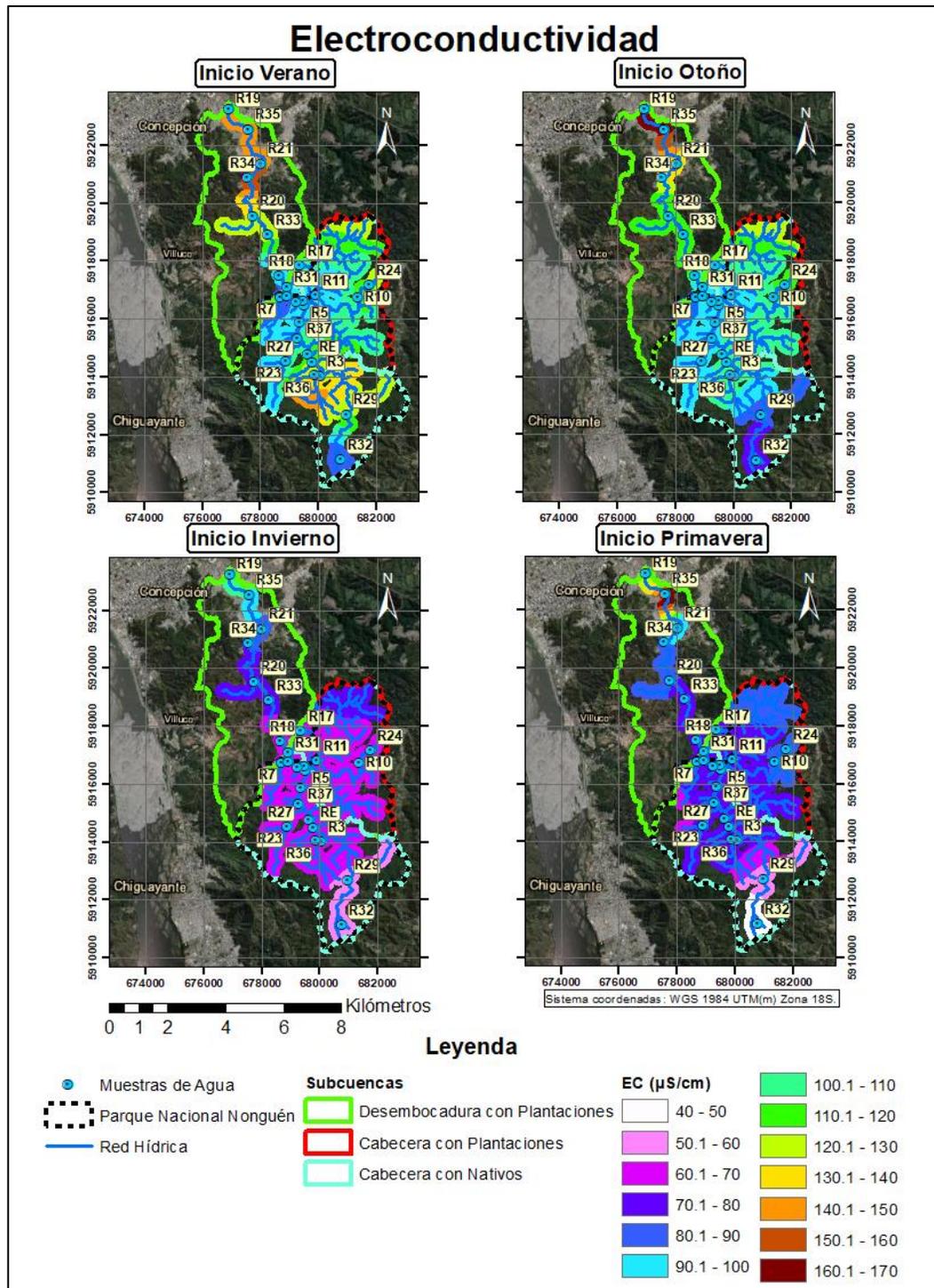


Figura 5.3: Interpolación de los resultados de electroconductividad en la Cuenca Nonguén durante los 4 periodos de muestreo.

5.2 Nutrientes

La influencia antropogénica en el ciclo de los nutrientes ha ido en aumento durante las últimas décadas, esto se debe a la utilización en exceso de agroquímicos, pesticidas, detergentes, etc. Todo esto para fines productivos, pero sin una perspectiva ecosistémica que permita al planeta equilibrar sus ciclos y no acumular ciertos compuestos que desequilibran las condiciones de la flora y fauna del lugar, generando graves problemas de contaminación como eutroficación, enfermedades, entre otras.

Los ciclos de nutrientes como el fósforo, traspasaron el límite de seguridad planetario para su equilibrio en el último periodo (Steffen et al., 2015), sin embargo, en el caso del nitrógeno el límite se traspasó casi 4 veces (Figura 5.4). Siendo los mayores responsables: la agricultura moderna y forestales con los productos agroquímicos, los desechos de animales de la industria ganadera y desechos industriales en general que promuevan o aumenten la concentración de nutrientes en el ecosistema.

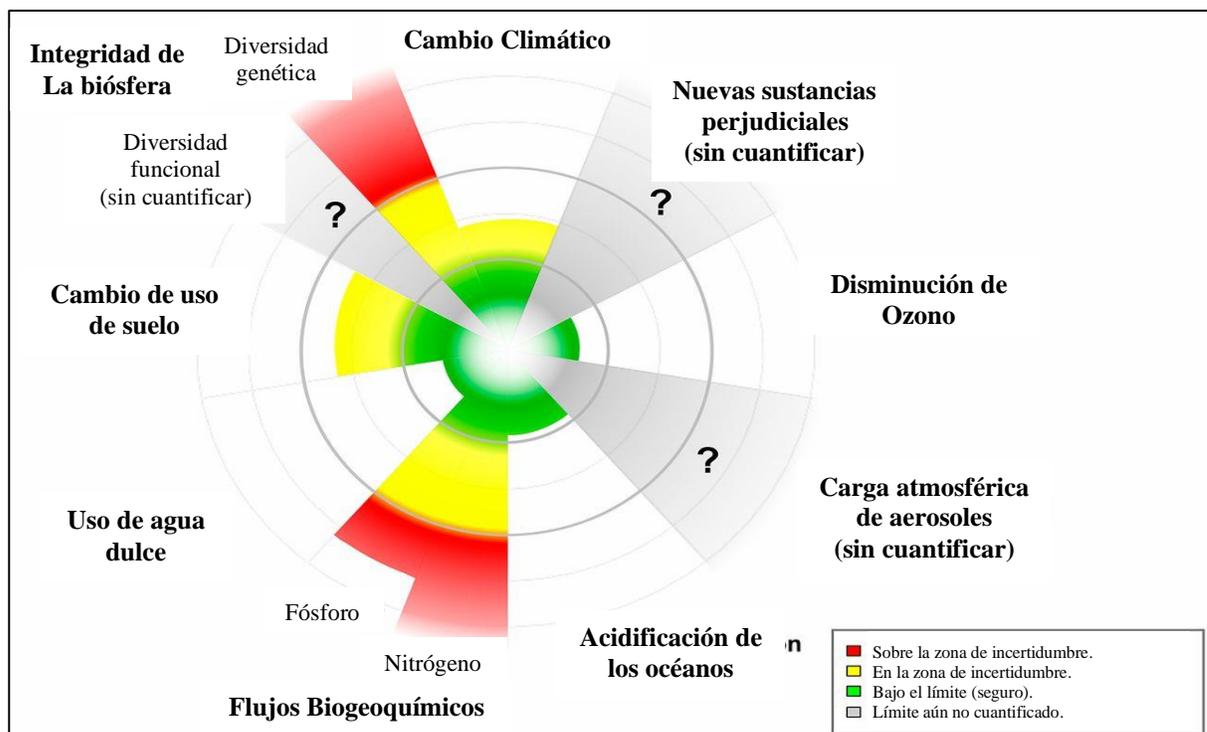


Figura 5.4: Límites de seguridad planetarios según el equilibrio en el ecosistema. En verde las zonas en equilibrio bajo el límite, en amarillo las zonas en riesgo y en rojo las zonas por sobre el límite planetario del equilibrio en el ecosistema (modificado de Steffen et al., 2015).

En el presente estudio, se analizaron resultados de nitritos (NO_2), nitratos (NO_3), fosfatos (PO_4) y Silicatos (SiO_2) en cada una de las muestras de agua realizadas. Las muestras de nutrientes se colectaron con una jeringa de 60 mL y fueron filtradas con un filtro de acetato de celulosa de 0.45 μm , el filtrado se almacenó en frascos de polietileno Falcon de 15 mL. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio del Departamento de Oceanografía de la Universidad de Concepción, mediante técnicas colorimétricas estándares (Grasshoff et al., 1983) en un auto-analizador Seal AA3 de flujo segmentado, el cual consta de cuatro canales con módulos específicos para cada nutriente.

5.2.1 Nitritos (NO_2) y Nitratos (NO_3)

Las concentraciones altas de nitratos generalmente se encuentran en el agua en zonas rurales por la descomposición de la materia orgánica y los fertilizantes utilizados. Si un recurso hídrico recibe descargas de aguas residuales domésticas, el nitrógeno estará presente como nitrógeno orgánico amoniacal, el cual, en contacto con el oxígeno disuelto, se irá transformando por oxidación en nitritos y nitratos. Este proceso de nitrificación depende de la temperatura, del contenido de oxígeno disuelto y del pH del agua.

Se ha comprobado que altas concentraciones de nitratos en el agua produce cianosis o metahemoglobinemia, que afecta especialmente a los niños menores de 6 años (Ortiz, 2014).

El ion nitrito es menos estable que el ion nitrato. Es muy reactivo y puede actuar como agente oxidante y reductor, por lo que solo se encuentra en cantidades apreciables en condiciones de baja oxigenación. Esta es la causa de que los nitritos se transformen rápidamente en nitratos y que, generalmente, estos últimos predominen en las aguas, tanto superficiales como subterráneas. Esta reacción de oxidación se puede efectuar en los sistemas biológicos y también por factores abióticos (Albert, 1997).

La presencia de nitritos en el agua es indicativa de contaminación de carácter fecal reciente (Metcalf y Eddy, 1998), debido a que al ser un agente oxidante debería oxidarse a nitrato con el tiempo suficiente. Los valores entre 0.1 y 0.9 mg/l pueden presentar problemas de toxicidad dependiendo del pH, asimismo valores por encima de 1.0 mg/l son totalmente tóxicos y representan un impedimento para el desarrollo de la vida piscícola y el establecimiento de un ecosistema fluvial en buenas condiciones (Ibáñez y otros, 1996).

El límite del contenido de nitratos y nitritos en el agua potable según la NCh 409/1 Of2005, es de 50 mg/L y 3 mg/L respectivamente y la suma de los resultados porcentuales de ambos respecto a sus máximos permitidos según la NCh 409/ Of2005, no puede ser mayor al 100%, es decir, que si uno de los dos está cercano a su máximo, el otro deberá estar cercano a 0 o que si uno está a la mitad de su máximo permitido, el otro parámetro deberá ser al menos un poco menor que su mitad de máximo permitido.

Para realizar las mediciones, los nitratos son reducidos a nitritos por acción de Cu-Cd (1,2). El nitrito reacciona en medio ácido con sulfanilamida formando un compuesto diazo. Este compuesto a su vez reacciona con N-1-naphthylethylene diamide dihydrochloride, para formar un compuesto diazo de color púrpura. El método está basado en el Nitrate Standard Methods y en el DIN/ISO Standards for automatic nitrate measurements (Henriksen, 1970).

Para los resultados del presente estudio, se obtuvieron valores mayores tanto de NO_2 como de NO_3 a principios del verano en comparación con el resto de los muestreos y se asume que se debe a la falta de precipitaciones, lo cual produce menos agua en los cauces y una mayor concentración de los nutrientes.

A modo general, a mayor cercanía con la desembocadura de la cuenca, hay mayor concentración de nitritos y nitratos (Figura 5.6 y Figura 5.7), esto se relaciona directamente con la actividad antrópica (contaminación de los cauces con desechos domésticos) y aumento de ganadería (asociada a los habitantes de sectores rurales). Mientras que, la cabecera con nativos posee ligeramente menor concentración de nitritos y nitratos que la cabecera con plantaciones, sin embargo, se evidencia un aumento considerable en la cantidad de nitratos a inicios del verano para el sur de la subcuenca cabecera con nativos (Figura 5.6), se asume que al igual que de forma general, la falta de lluvias aumenta la concentración del nutriente y además que existe actividad ganadera al sur de la cuenca (por el lado de Hualqui), la cual no está regulada.

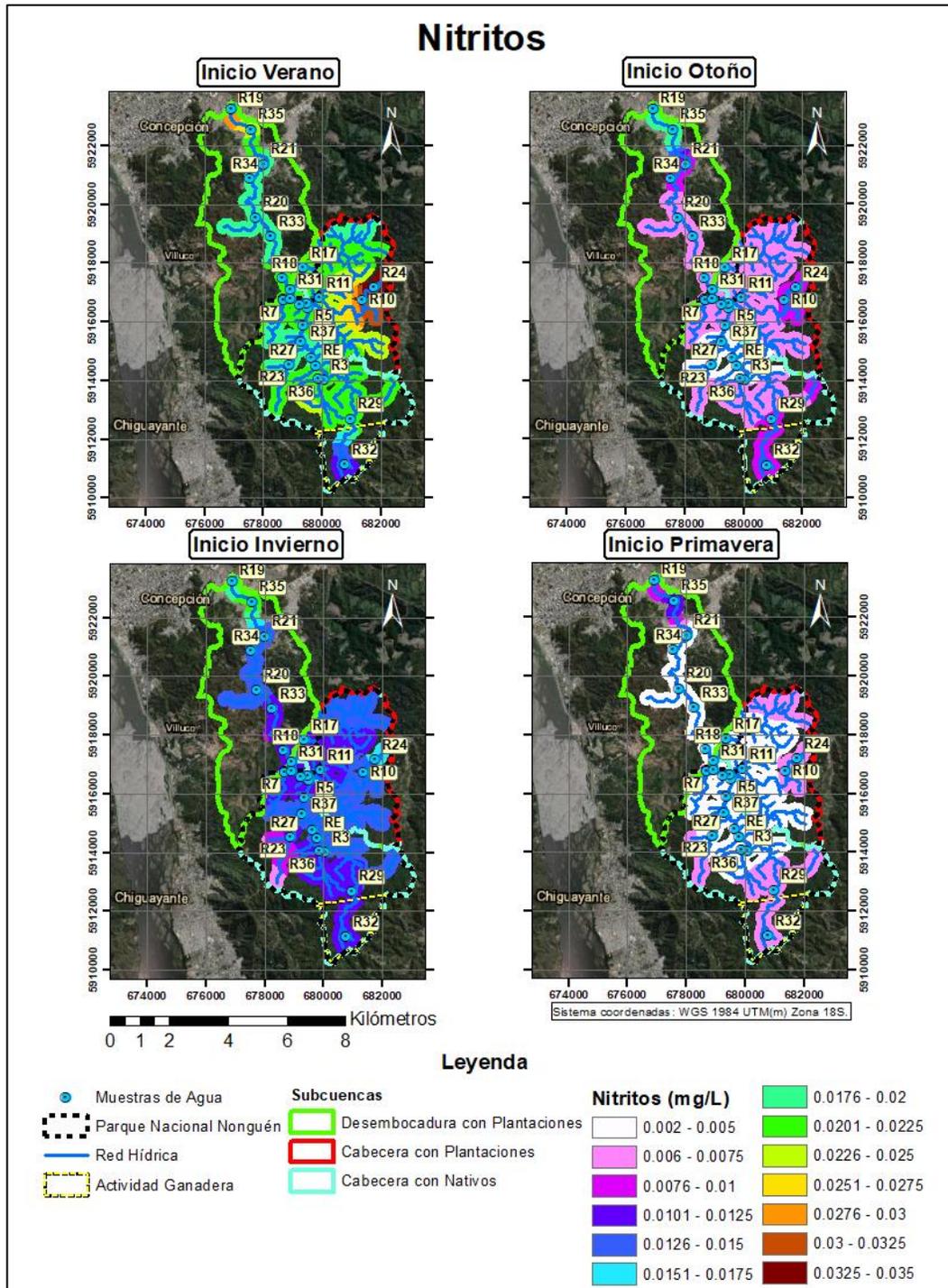


Figura 5.6: Interpolación de los resultados de nitritos (NO_2^-) en la Cuenca Nonguén durante los 4 periodos de muestreo.

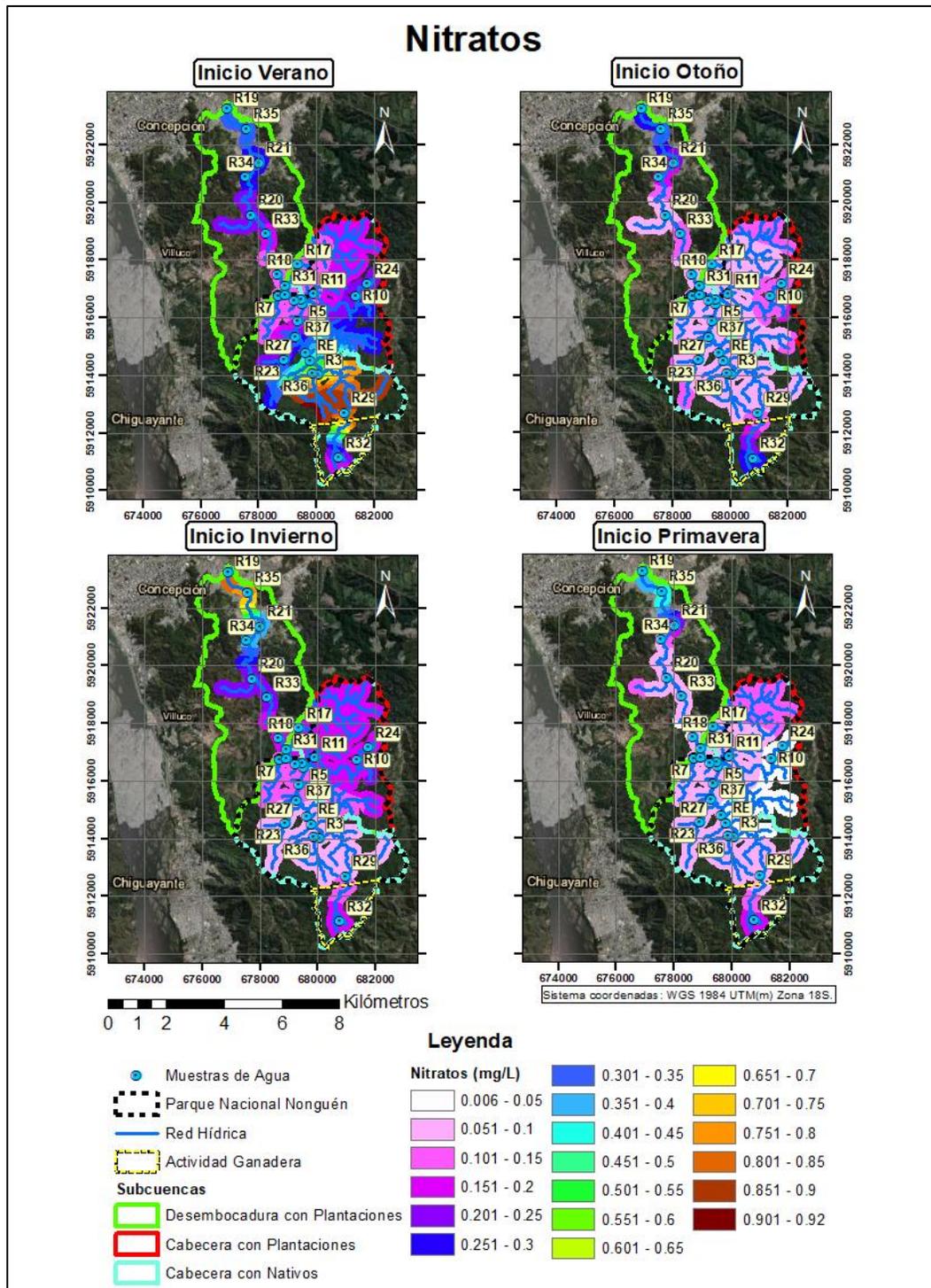


Figura 5.5: Interpolación de los resultados de nitratos (NO_3^-) en la Cuenca Nonguén durante los 4 periodos de muestreo.

5.2.2 Fosfatos (PO₄)

El fósforo junto con el nitrógeno, son dos de los nutrientes fundamentales de todos los seres vivos, de forma que contenidos anormalmente altos de estos en las aguas pueden producir un crecimiento incontrolado de la biomasa acuática (eutrofización), tan sólo 1 gramo de fosfato-fósforo (PO₄-P) provoca el crecimiento de hasta 100 g de algas (Bastidas, 2021), las cuales al morir aumentan considerablemente la demanda de oxígeno, generando un gran desequilibrio en el ecosistema.

Una gran parte del fósforo presente en las aguas se debe al uso de abonos fosfatados, actividad ganadera (purines y fecas) y detergentes (polifosfatos). Estos nutrientes en altas concentraciones pueden causar daños a los riñones, al sistema urinario y osteoporosis entre otros (Carpenter y otros, 1998).

La Nch 409/1 Of2005, no considera al fósforo como un parámetro que debe estar regulado en el agua potable, sin embargo, podremos tener una idea de la relación entre el índice de calidad del agua (Q-value) y la cantidad de fosfatos presentes (Noori y otros, 2019) (Figura 5.8).

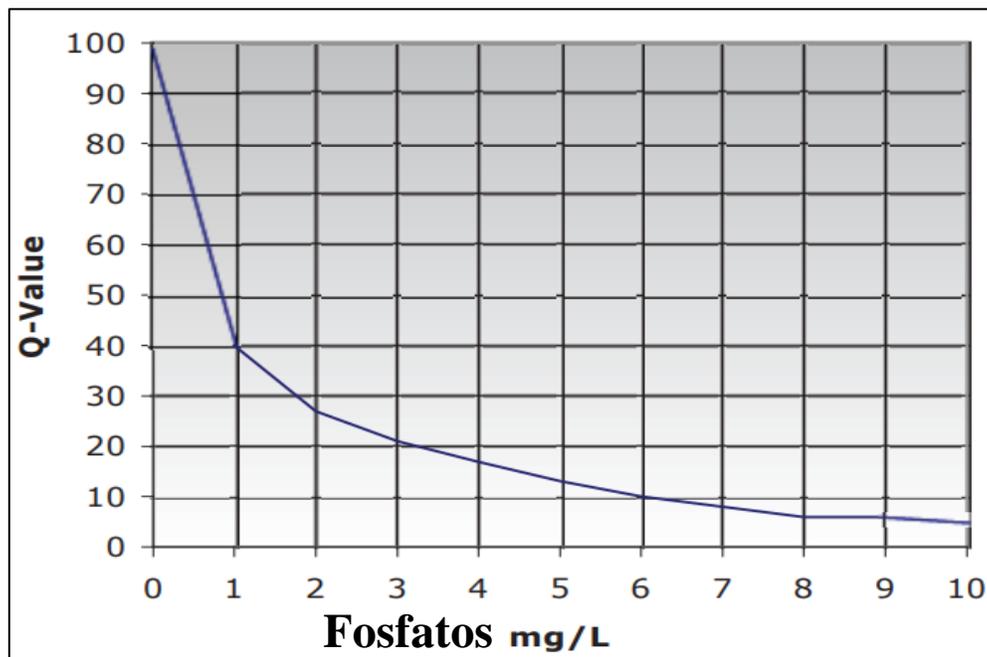


Figura 5.6: Gráfico de comparación entre la concentración de fosfatos en el agua (mg/L) y el índice relativo porcentual de calidad del agua (Q-value). Figura modificada de Noori y otros (2019).

Para realizar las mediciones, se aplica el método de Murphy y otros (1962). Este se basa en la cuantificación de un compuesto azulado formado por la reacción del orto-fosfato, el ion molibdato y el ion antimonil seguido por una reducción con ácido ascórbico a pH 1. el complejo azulado es medido colorimétricamente a 880nm.

En la Figura 5.9 se aprecia que la concentración máxima de fosfatos para los muestreos es de 0.3 mg/L aproximadamente, lo cual determinaría un índice relativo de calidad de aguas (Figura 5.8) de mínimo 80, indicando que la calidad del agua es bastante buena a términos generales.

Se presentan mayores concentraciones de fosfatos para los muestreos relacionados a menos precipitaciones (inicio verano e inicio de otoño) y se determina que, al poseer bajos niveles generales de fosfatos, estos se diluyen con las precipitaciones y por ende baja su concentración.

La desembocadura de la cuenca presenta valores elevados principalmente a inicios del verano e inicios de la primavera, esto se puede deber a contaminación antrópica desde la zona urbanizada con compuestos fosfatados como los detergentes (agua de la lavadora, por ejemplo). Mientras que en las cabeceras de cuenca las concentraciones son bajas para los periodos más lluviosos (inicio invierno e inicio primavera), mientras que en los periodos secos se nota una alta concentración en la parte sur de la cabecera con nativos (la cual disminuye una vez llegado al estanque de Essbio (RE)), esto puede deberse a contaminación por actividad ganadera no regulada en el sur de la cuenca, al igual que el caso de los nitratos.

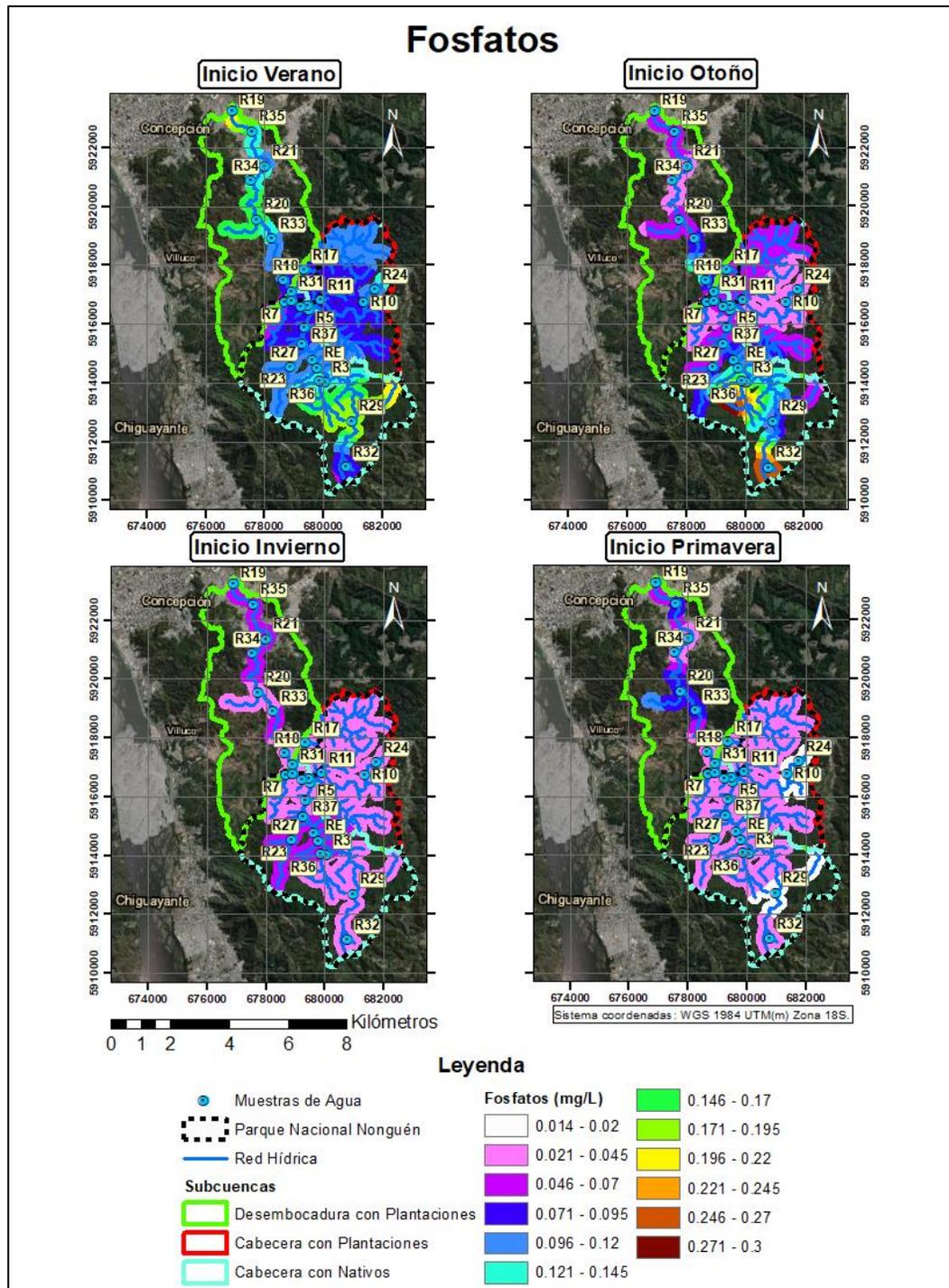


Figura 5.7: Interpolación de los resultados de fosfatos (PO_4^{3-}) en la Cuenca Nonguen durante los 4 periodos de muestreo.

5.2.3 Silicatos (SiO_4)

La presencia de silicatos en el agua está asociada principalmente a la geología, debido a que el sílice es poco soluble en el agua, la asociación de silicatos responde directamente a el tiempo y superficie de contacto que tiene el agua con rocas con alto contenido de sílice (Davis, S., 1964), como los granitos fracturados que componen la mayoría de la geología en la Cuenca Nonguén.

Para realizar las mediciones, se utilizó el procedimiento automático para la determinación de silicatos solubles (Grasshoff, K., et al, 1983), basado en la reducción silico-molibdato en solución acida de molibdato y ácido ascórbico. El ácido oxálico es introducido en la muestra antes de la adición de ácido ascórbico para minimizar la interferencia de los fosfatos.

Al igual que con los demás nutrientes, el contenido de silicatos es bastante bajo para los periodos de mayores precipitaciones (inicios del invierno e inicios de la primavera) y aumenta en los periodos de menor precipitación (inicios del verano e inicios del otoño). A modo general, aumenta su concentración desde las cabeceras de cuenca hacia la desembocadura (Figura 5.10), esto se puede atribuir a un cambio de mayor a menor pendiente, lo cual aumenta el tiempo de contacto del agua con el sedimento o roca rica en sílice, aumentando la concentración en el agua.

Entre las subcuencas, se genera una fuerte diferenciación entre la cabecera con nativos y la cabecera con plantaciones para los periodos de menor precipitación, se asume que esto se debió a una deforestación y gran movimiento de tierra que se generó al norte de la subcuenca cabecera con plantaciones para la construcción de un loteo de más de 100 parcelas de 0.5 ha, esto aumentó considerablemente la superficie de contacto con el suelo y roca, tanto por la deforestación como por la remoción y movimiento de grandes volúmenes de suelo.

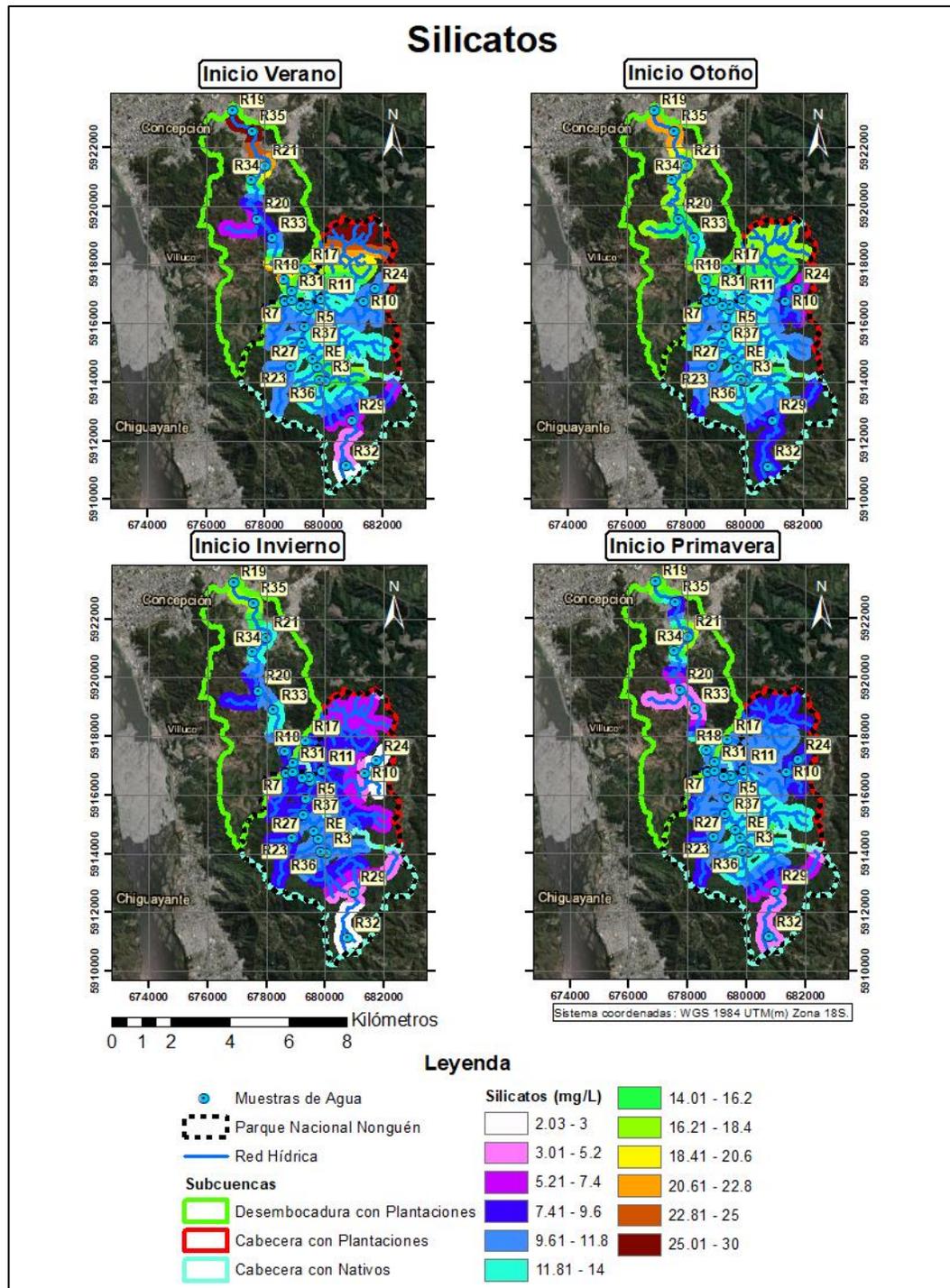


Figura 5.8: Interpolación de los resultados de silicatos (SiO_4^{4-}) en la Cuenca Nonguén durante los 4 periodos de muestreo.

5.3 Isótopos estables de ^2H y ^{18}O

Existen variaciones de composición isotópica entre el oxígeno y el hidrógeno del agua de mar, de la humedad atmosférica, precipitaciones y del agua subterránea. Estas variaciones isotópicas de deuterio (^2H) y ^{18}O , se miden comúnmente como desviaciones respecto a un estándar mundial llamado Estándar de Agua Oceánica Media o SMOW, por sus siglas en inglés (*Standard Mean Ocean Water*). Por ejemplo, si A es la concentración en ^2H o de ^{18}O de la muestra, expresada en $^2\text{H}/^1\text{H}$ o en $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, entonces:

$$\delta = \frac{A_{\text{muestra}} - A_{\text{SMOW}}}{A_{\text{SMOW}}}$$

Se determina que las muestras son ligeras (bajo contenido de isótopos pesados) con valores muy negativos de δ y pesadas las que tienen valores de δ poco negativos o positivos.

Sin embargo, según la ubicación geográfica y variaciones climáticas, el estándar puede variar localmente, por lo que lo ideal es utilizar un estándar local o también llamado línea de aguas meteóricas local (LAML), analizando idealmente todas las muestras de lluvia por al menos un año para obtener la variación estacional.

Los procesos que llevan naturalmente al fraccionamiento isotópico del hidrógeno y del oxígeno del agua se producen fundamentalmente en los procesos de evaporación y condensación, aunque también pueden colaborar otros fenómenos de tipo de difusión térmica, biológicos, etc. (Custodio y Llamas, 1996).

El contenido de ^2H y ^{18}O se encuentra afectado principalmente por:

- a) Distancia al mar: La lluvia generada es tanto más ligera (menor δ) cuanto más lejos del mar, esto debido que las primeras lluvias son más cargadas en isótopos pesados por su afinidad de cambiar a estado líquido en vez de mantenerse en gaseoso.
- b) Temperatura: En zonas frías se produce un vapor más ligero que, en zonas más cálidas, debido a una menor capacidad de evaporación que se traduce en menor cantidad de isótopos pesados dispuestos a evaporarse.

c) Altitud: La disminución de temperatura con la altitud y las variaciones de presión, promueven la precipitación y genera que a medida que se aumenta la altitud, las nubes poseen cada vez menos isótopos pesados por precipitaciones previas (Figura 5.11).

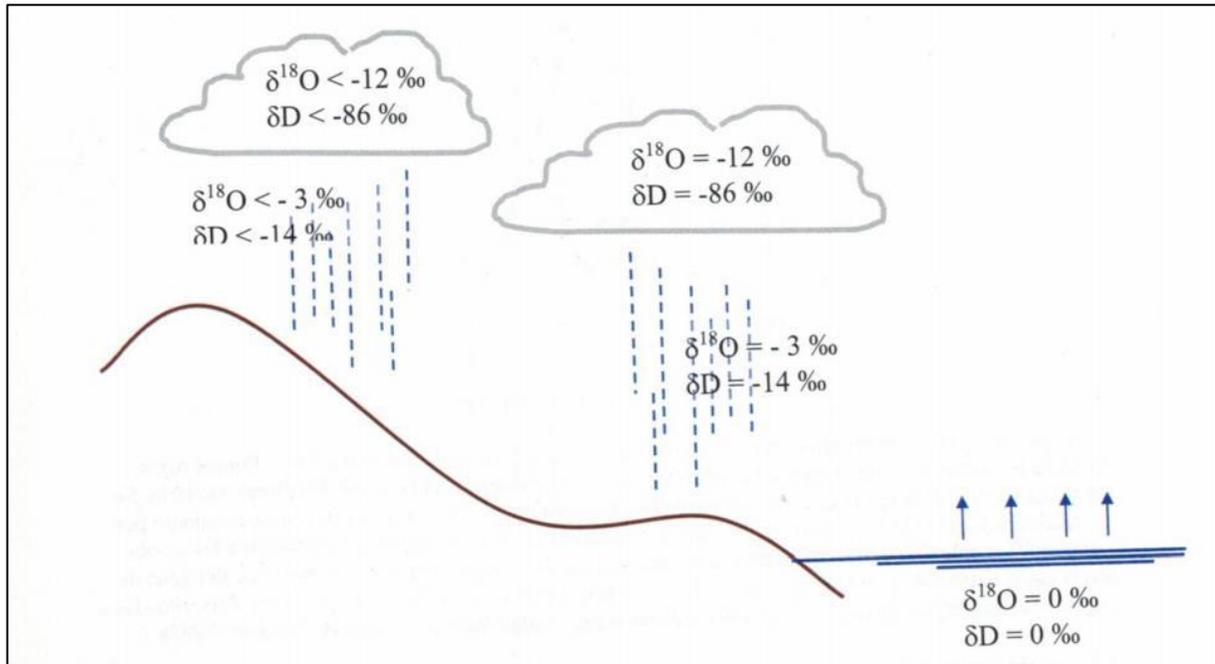


Figura 5.9: Efecto de la altitud en la composición en $\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$ (Extraída de FCIHS, 2009).

Con el objetivo de determinar una influencia relativa de aguas subterráneas en los cauces principales de la Cuenca Nonguén, se realizaron muestreos de isótopos estables de ^2H y ^{18}O (analizados por espectrometría de absorción óptica (Picarro L2130-i) en el laboratorio del Departamento de Oceanografía de la Universidad de Concepción) para comparar sus resultados con la línea de aguas meteóricas local (LAML) de la provincia de Concepción (Muñoz y otros, 2017), con el objetivo de determinar las muestras de isótopos que más se alejen de la ecuación de la LAML de Concepción ($\delta^2\text{H} = 7,9 \delta^{18}\text{O} + 10,1$ ($R^2=0,99$)) y poder determinar qué agua se aleja más de su señal de lluvia, lo cual podría indicar una mezcla parcial con aguas subterráneas. Para esto se compara la pendiente de la ecuación de la LAML con los resultados de los muestreos y se reemplaza el valor del $\delta^{18}\text{O}$ en la ecuación de la LAML con el fin de obtener el $\delta^2\text{H}$ que le correspondería como agua de lluvia y definir la variación de $\delta^2\text{H}$ (Figuras 5.12 y 5.13).

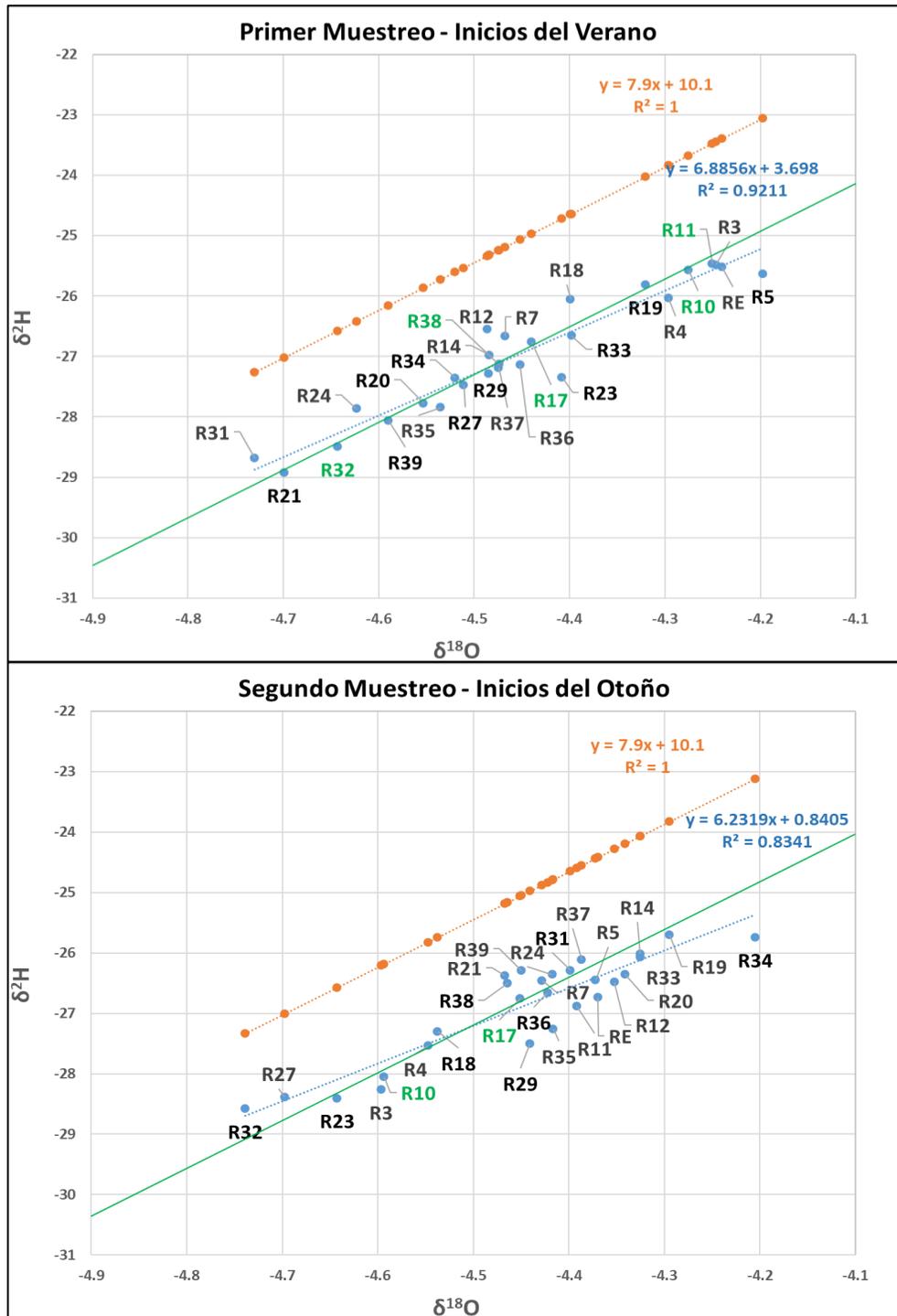


Figura 5.10: Gráficos modificados, comparando los valores de $\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$ obtenidos en los muestreos (puntos azules) con los valores de $\delta^2\text{H}$ obtenidos reemplazando $\delta^{18}\text{O}$ en la ecuación de la LAML (puntos naranjos) y con la pendiente de la LAML (línea verde). Arriba: primer muestreo y abajo: segundo muestreo.

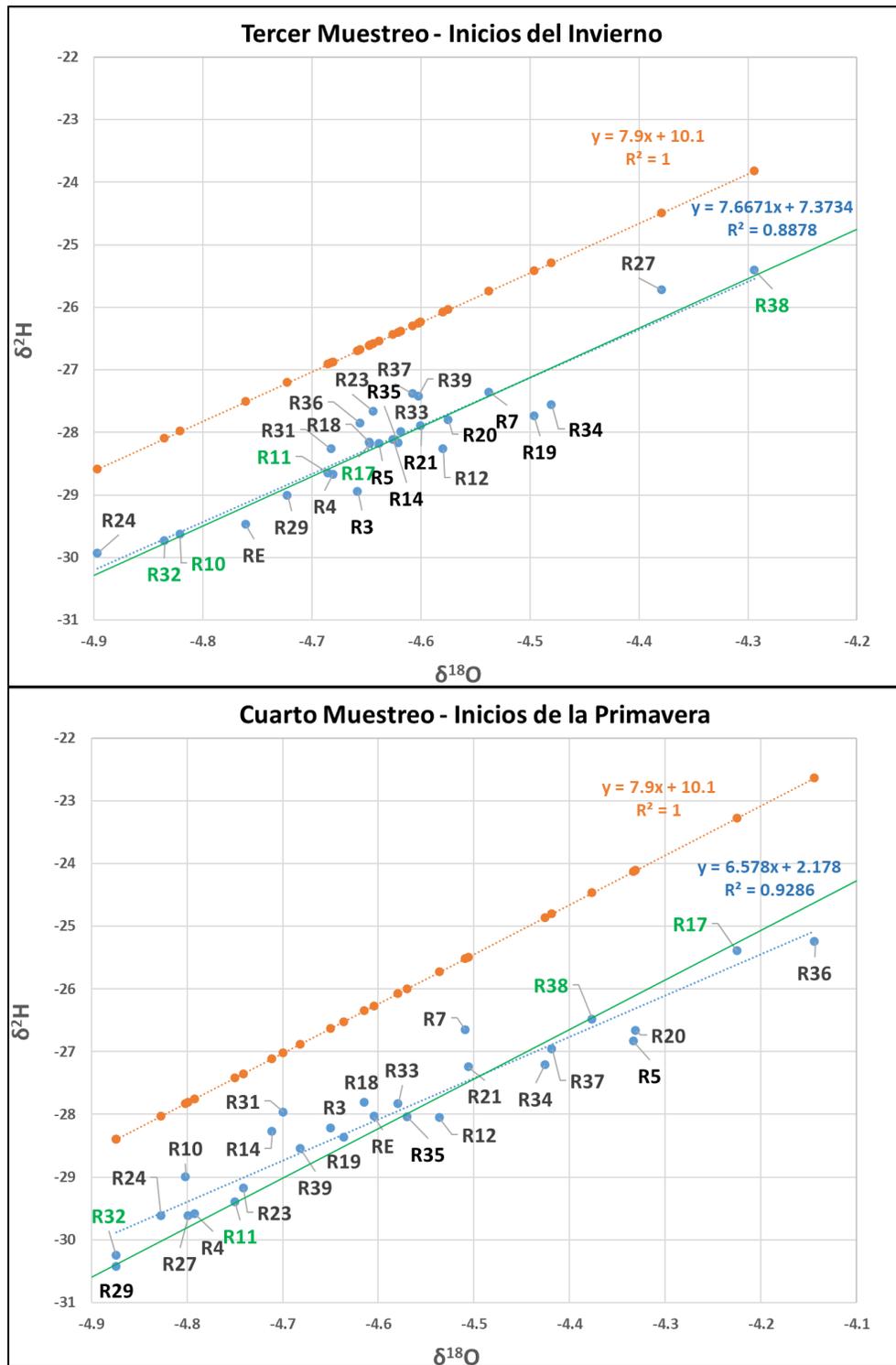


Figura 5.11: Gráficos modificados, comparando los valores de $\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$ obtenidos en los muestreos (puntos azules) con los valores de $\delta^2\text{H}$ obtenidos reemplazando $\delta^{18}\text{O}$ en la ecuación de la LAML (puntos naranjos) y con la pendiente de la LAML (línea verde). Arriba: tercer muestreo y abajo: cuarto muestreo.

Se puede apreciar en los gráficos que existen sectores que en al menos 3 de los 4 muestreos, se aproximan considerablemente a la pendiente de la LAML (muestras con color verde en Figuras 5.11 y 5.12), lo cual podría indicar una variación proporcional con la LAML y se podría asumir que su señal es principalmente de agua de lluvia. Estas muestras corresponden a:

R10: Cabecera del Estero Compuy. Penúltima muestra en sector este de la SCP.

R11: Posterior a confluencia de Estero Compuy con Estero Redolmo. Sector oeste de la SCP, posterior a R10.

R17: Estero San Francisco, previo a la confluencia con el Estero Nonguén. Sector noroeste de la SCP.

R32: Cabecera Estero Manquimávida. Extremo sur de la SCN, en la cabecera de la Cuenca Nonguén y representa el punto más alto de muestreo.

R38: Cascada ubicada al inicio del sendero Lo Rojas. Sector noroeste de la SCN, adyacente a R7 (la cual corresponde a un estero cercano a la cascada).

Además, se realizó una interpolación kernel con barreras para una mejor visualización de los resultados del $\Delta\delta^2\text{H}$ (Figura 5.14), en la cual se evidencia que la SCN tiene en medida general, una mayor diferencia de $\delta^2\text{H}$ (con la excepción de la zona sur que posee valores muy bajos) en comparación con la SCP y que la SDP posee los valores más altos, lo cual se interpreta principalmente como evaporación, ya que, la SDP se caracteriza por mayores extensiones de baja pendiente que favorecen la evaporación en comparación a los valles frondosos de ambas cabeceras.

La mayor diferencia de $\delta^2\text{H}$ en la SCN en comparación con la SCP, podría asociarse a una mayor mezcla de agua lluvia con aguas de otras fuentes (principalmente subterránea) y esto coincide en que las muestras que comúnmente coincidían con la pendiente de la LAML (Figuras 5.12 y 5.13), corresponden a muestreos en zonas altas y medias de la SCP, mientras que las muestras que coinciden de la SCN, corresponden a zonas muy cercanas a la cabecera (R32) o de afluentes cortos cercanos a la divisoria de aguas (R38).

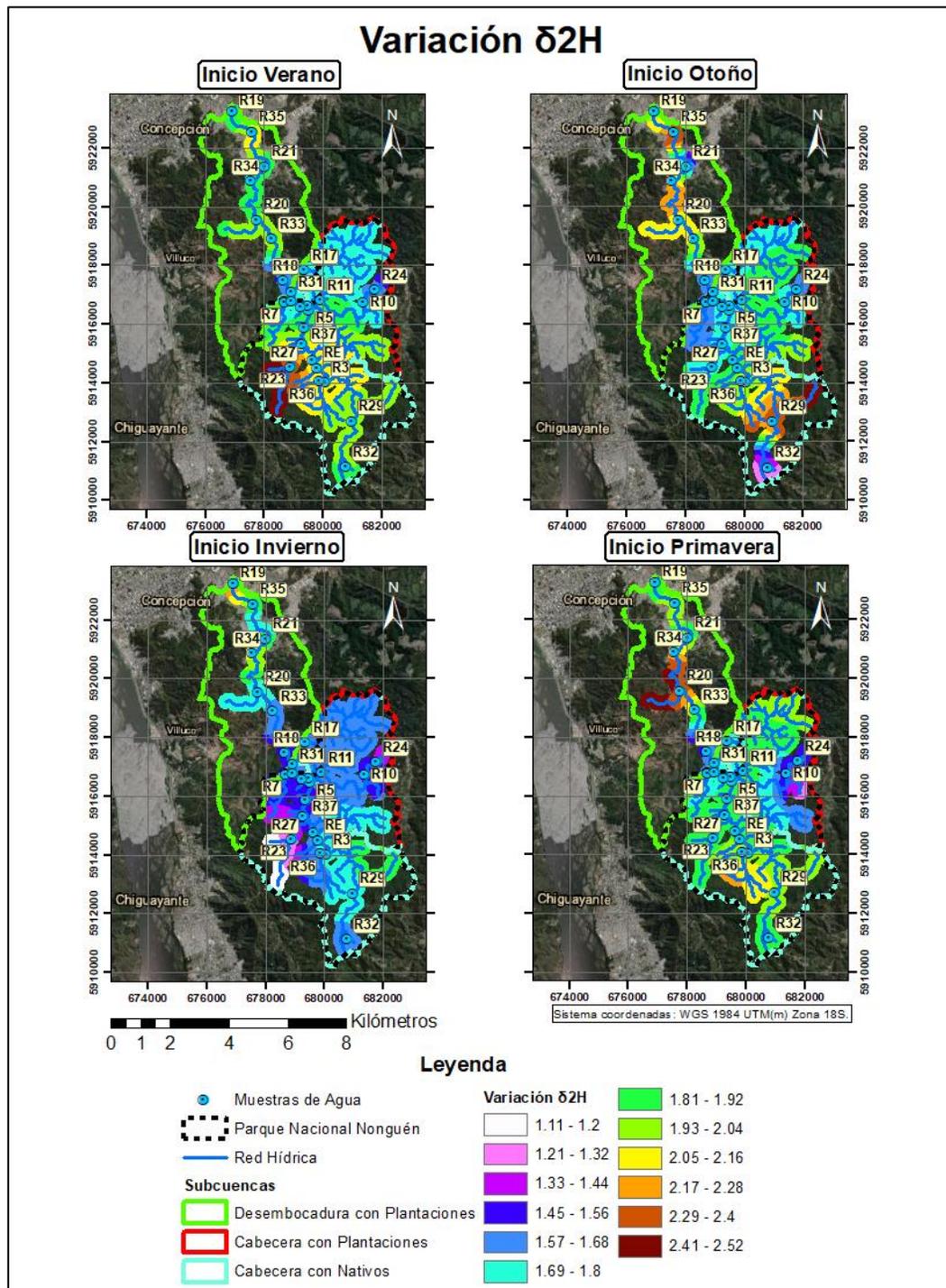


Figura 5.12: Interpolación de los resultados de variación de $\Delta\delta^2H$ respecto a la línea meteórica local en la Cuenca Nonguén durante los 4 periodos de muestreo.

6 SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE PROVISIÓN Y REGULACIÓN HÍDRICA

A continuación, se analizan los resultados obtenidos con los servicios ecosistémicos de provisión y regulación hídrica que genera el Parque Nonguén en la Cuenca Nonguén.

6.1 Provisión hídrica

La Cuenca Nonguén es reconocida por su capacidad como cuenca productora de agua y es comúnmente asociada esa capacidad a su cobertura de bosque nativo, la cual es poco común para la zona (cordillera de la costa en la Región del Biobío). Se reconoce una mayor estabilidad para los caudales de los esteros ubicado en la SCN en comparación a los de la SCP, esta estabilidad se ve representada por una menor disminución del caudal durante el periodo estiaje (Figura 3.4) y además se evidencia una mayor variación de la señal isotópica de la LAML para las muestras de la SCN en comparación con la SCP (Figura 5.13), interpretado como una mezcla de aguas de lluvia con aguas subterráneas que serían probablemente las que mantienen los caudales de los esteros de la SCN en periodo de estiaje.

Según Rodríguez (2012), el valor de un m³ de agua cruda en el Parque Nacional Nonguén, corresponde a US\$ 0,14 (dólares estadounidenses) para el período de verano y de US\$ 0,05 para el resto del año, por tanto, si se considera que el volumen de agua captado en verano es de 985.340 m³ y el volumen de agua captado en el resto del año es de 2.931.047 m³, el valor del servicio ecosistémico que presta el Parque Nacional Nonguén es de:

Verano: $985.340 * 0,14 = \text{US\$ } 137.948$ o $\$ 121.340.440$ CLP (pesos chilenos)

Resto del año: $2.931.047 * 0,05 = \text{US\$ } 146.552$ o $\$ 128.908.604$ CLP

Por tanto, el valor del servicio ecosistémico durante un año que brindan los bosques del Parque Nacional Nonguén se puede valorizar aproximadamente en US\$ 285.500 o \$ 251.128.655 CLP. Este valor puede multiplicarse entre 5 a 7 veces una vez potabilizada el agua, la cual, por su calidad, no requiere de un tratamiento complejo ni caro.

6.2 Regulación hídrica

Relacionado con la capacidad de los ecosistemas para regular procesos ecológicos esenciales y sostener sistemas vitales a través de ciclos biogeoquímicos y otros procesos biológicos. Estas funciones proporcionan muchos servicios que tienen beneficios directos e indirectos para las

poblaciones humanas, como lo son el mantenimiento de aire limpio, depuración del agua, prevención de inundaciones y mantenimiento de tierra cultivable, entre otros.

La Cuenca Nonguén en su cabecera posee una muy buena calidad de agua, esto facilita en gran medida su uso como cuenca productora de agua potable y se ha demostrado en Correa (2014) y EULA (2002), entre otros, que la calidad del agua según parámetros fisicoquímicos es muy buena en el parque, pero disminuye a medida que se aleja del mismo.

En los muestreos realizados tanto el pH como la temperatura a modo general se dieron buenos resultados para toda la cuenca y no es posible hacer una comparativa directa entre las subcuencas de cabecera pero en la electroconductividad (Figura 5.3) se evidencia que para el inicio de otoño, invierno y primavera se obtuvieron valores menores de electroconductividad para la SCN en comparación a la SCP, principalmente en la zona sur y en menor medida la zona oeste, mientras que para el inicio del verano, en la SCN se obtuvieron valores más altos que en la SCP y esto puede deberse a que por ser la época de muestreo con menor precipitación (post primavera e inicio del verano), puede existir una mezcla de aguas en la cabecera sur de la SCN entre las últimas aguas de lluvia y agua subterránea que al tener un mayor periodo de almacenamiento en la cuenca, posee mayores concentraciones de iones (obtenidos por disolución de las rocas y el suelo) y por ende una mayor electroconductividad.

7 CONCLUSIONES

A modo general, los resultados de calidad (físicoquímicos y nutrientes) y los isotópicos (variaciones del $\delta^2\text{H}$), apuntan a una mayor provisión y regulación del agua en función a la cobertura de bosque nativo, esto se evidencia en este estudio al comparar los resultados de dos subcuencas que poseen una fisiografía similar pero variaciones significativas en la cobertura de bosque nativo, además se correlaciona con estudios anteriores en la cuenca que destacan la mejor regulación de la calidad del agua dentro del bosque nativo (Correa, 2014; EULA, 2002) y la mayor provisión de agua traducida en estabilidad de los caudales durante el año (Espinoza, 2015).

Es muy importante considerar y cuantificar el aporte de los servicios ecosistémicos entregados por el bosque nativo en las cuencas, ya que esto podría traducirse en medidas de remediación aplicadas mediante políticas públicas que permitan el uso eficiente y sustentable del recurso hídrico. Esto dentro del escenario de sequía a nivel nacional y cambio climático mundial, hace imperante que se le preste atención al sacrificio futuro que significa dañar un ecosistema, tomando por ejemplo que solamente la capacidad productora de agua cruda (para posteriormente potabilizarla) de la Cuenca Nonguén (que es una pequeña cuenca urbana), se estime en aproximadamente 250 millones de pesos chilenos al año (Rodríguez, 2012). Esta valoración permite discernir sobre si las acciones a realizar dentro de un territorio valen la pena tanto social como económicamente a lo largo del tiempo.

La metodología utilizada en este trabajo, permitió realizar una caracterización general de las aguas en las aguas superficiales de la Cuenca Nonguén, relacionándolas con la prestación de servicios ecosistémicos provistos por el Parque Nacional Nonguén desde cabecera al resto de la cuenca, esto se puede replicar en otras cuencas que posean subcuencas con características fisiográficas similares pero con variaciones de cobertura de suelo, con el objetivo de asociar a esta diferencia, los cambios en las aguas.

8 RECOMENDACIONES

Es importante considerar que, para mejorar la calidad de los resultados, es necesario recolectar una mayor cantidad de información y de mejor precisión, para esto se recomienda:

- Una mayor cantidad de periodos de muestreo para una mayor resolución de las variaciones anuales en los resultados.
- Una LAML construida por la mayor cantidad de datos posible (la utilizada solo considera el periodo entre el 2015 y 2017) con todas las lluvias ocurridas, con el objetivo de comparar los periodos específicos de los muestreos con los datos de la LAML del mismo periodo, generando una comparación más directa entre el agua superficial con el agua de lluvia según la señal isotópica específica de la época de muestro.
- Crear un modelo de balance hídrico especial para la cuenca con software como SWAT (este estudio utilizó los datos de Martínez (2020), que modeló la macrocuenca del Río Andalién, que es aproximadamente 15 veces más grande), para obtener información hidrológica de mayor precisión en el área de estudio.
- Realizar en paralelo muestreos en aguas subterráneas y pruebas de bombeo para relacionar la información de las aguas subterráneas y superficiales mediante un modelo hidrogeoquímico dinámico según la geología de la cuenca en los distintos los periodos de muestreo y sus características hidrológicas, permitiendo comprender la mecánica hidrogeológica de la cuenca y como esta se relaciona con los resultados obtenidos.
- Una mayor cantidad de periodos de muestreo para una mayor resolución de las variaciones anuales en los resultados.

9 REFERENCIAS

- AGUAYO, M., PAUCHARD, A., AZÓCAR, G. & PARRA, O. 2009.** Cambio del uso del suelo en el centro sur de Chile a fines del siglo XX: Entendiendo la dinámica espacial y temporal del paisaje. *Revista chilena de historia natural*. Vol. **82**, (3): 361-374.
- AGUIRRE, L., HERVÉ, F. & GODOY, E. 1972.** Distribution of metamorphics facies in Chile an outline. *Krystallinikum* 9: pp 7-19. Stuttgart.
- ALBERT, L. A. & ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. 1997.** Nitratos y nitritos. Introducción a la Toxicología ambiental. Centro panamericano de ecología humana y salud, división de salud y ambiente: 471 pp. México.
- ARNOLD, J. G., KINIRY, J. R., SRINIVASAN, R., WILLIAMS, J. R., HANEY, E. B., & NEITSCH, S. L. 2012.** Input/output documentation. Soil and Water Assessment Tool. Texas Water Resources Institute.
- BASTIDAS, M. S. & CAMPOVERDE, D. D. 2021.** Modelado cinético de la degradación fotocatalítica de fosfatos a diferentes concentraciones de (TiO₂). Tesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (inédito): 36 pp. Riobamba.
- CARPENTER, S. R., CARACO, N. F., CORRELL, D. L., HOWARTH, R. W., SHARPLEY, A. N., & SMITH, V. H. 1998.** Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological applications*. Vol. **8**, (3): 559-568.
- INSTITUTO CHILENO DE NORMALIZACIÓN (INN). 2005.** Agua potable parte 1: requisitos. *Norma chilena oficial NCh 409/1*. Instituto Nacional de Normalización: 14 pp. Santiago.
- CIER – SERPLAC. 1976.** Atlas Regional, Región del Biobío. Universidad Católica de Chile: 24 pp. Talcahuano.
- CIREN. 1999.** Descripciones de Suelos: Materiales y Símbolos. *Estudio agrológico VIII región CIREN* N° 121. Santiago.
- CONAF, 2019.** Plan de Manejo, Reserva Nacional Nonguén.

CONTRERAS, A., FUENTES, A., CONTRERAS, F., & CONTRERAS, M. J. (2018). Caracterización de Bosques Nativos que Presentaron Resistencia al fuego en el Megaincendio de la Región del Bio-Bío de Chile. *Cadernos de Agroecología*. Vol. **13**, (1).

CORREA-ARANEDA, F., & SALAZAR, C. 2014. Caracterización fisicoquímica del agua del estero Nonguén y su confluencia con el río Andalién, región del Biobío. Variación en relación a los distintos usos de suelo en su cuenca. *Sustainability, Agri, Food and Environmental Research*. Vol. **2**, (2): 33-46.

CREIXELL, C. 2001. Petrología y geotermometría de las rocas intrusivas de la Cordillera de la Costa, entre los 36°30' y 38° latitud S. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción. Inédito. 149 p. Concepción.

CUSTODIO, E & LLAMAS, M.R. 1996. Hidrología Subterránea, 2a edición. Ediciones Omega: Volumen I y II. Barcelona.

DAVIS, S. N. 1964. Silica in streams and ground water. *American Journal of Science*. Vol. **262**, (7): 870-891. Hawaii.

ECHEVERRIA, C., GATICA, P., & FUENTES, R. 2013. Habitat edge contrast as an indicator to prioritize sites for ecological restoration at the landscape scale. *Natureza & Conservação*. Vol. **11** (2): 170-175.

ESCUDE, R. & FUNDACIÓN CENTRO INTERNACIONAL DE HIDROLOGÍA SUBTERRANEA. 2009. Hidrogeología, Conceptos básicos de hidrología subterránea. Comisión Docente Curso Internacional de Hidrología Subterránea: 768 pp. Barcelona.

EULA-Chile. 2002. Estudio básico zonificación Fundo Nonguén. Universidad de Concepción, Concepción.

GAJARDO, A. 1981. Hoja Concepción-Chillán. Región del Bío-Bío. Instituto de Investigaciones Geológicas. Mapas Geológicos preliminares de Chile N°4. 32 p. Santiago.

GRASSHOFF, K., ERHARDT, M., & KREMLING, K. 1983. Methods of seawater analysis, 2nd revised and extended version. Verlag Chemie. Wienhiem, Deerfield Beach, Florida, Basel.

- HABIT, E., VICTORIANO, P., & RODRÍGUEZ-RUIZ, A. 2003.** Variaciones espacio-temporales del ensamble de peces de un sistema fluvial de bajo orden del centro-sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. Vol. **76**, (1): 3-14.
- HENRIKSEN, A., & SELMER-OLSEN, A. R. 1970.** Automatic methods for determining nitrate and nitrite in water and soil extracts. *Analyst*. Vol. **95** (1130): 514-518.
- HERVÉ, F., GODOY, E., PARADA, M., RAMOS, V., RAPELA, C., MPODOZIS, C. & DAVISON J. 1987.** A general view of the Chilean-Argentine Andes, with emphasis on their early history. *Circumpacific Orogenic belts and evolutions of the Pacific are Ocean Basin. Mongeurs and Francheteur (Ed). American Geophysical Unio. Geodynamic Series*. Vol. **18**: 97-113.
- HUBER, A., IROUMÉ, A., & BATHURST, J. 2008.** Effect of *Pinus radiata* plantations on water balance in Chile. *Hydrological Processes: An International Journal*. Vol. **22** (1): 142-148.
- IBAÑEZ, C., QUINTANILLA, L., CID, C., ASTIASARÁN, I., & BELLO, J. 1996.** Dry fermented sausages elaborated with *Lactobacillus plantarum*-*Staphylococcus carnosus* part I: effect of partial replacement of NaCl with KCl on the stability and the nitrosation process. *Meat Science*. Vol. **44** (4): 227-234.
- IRAIRA, J., HERRERA, A., QUINTANA, J., SEPÚLVEDA, O., ROMÁN, S., & HINOJOSA, A. 2018.** Línea base de cangrejito tigre *Aegla concepcionensis* (Arthropoda: Malacostraca) en la Reserva Nacional Nonguén, región del Biobío. *Boletín Biodiversidata, Conservación, Gestión y Manejo de Áreas Silvestres Protegidas. CONAF*. Vol **6**: 40-45.
- IROUMÉ, A., CASTILLO, C., PRIMROSE, H., HUBER, A., & BATHURST, J. 2006.** Respuesta de los caudales máximos al manejo de bosques de plantaciones en cuencas experimentales en el sur de Chile. *In Climate Variability and Change—Hydrological Impacts, Proc. 5th FRIEND World Conference, La Havana, Cuba, Intl. Ass. Hydrol. Sci. Publ.* No. **308**: 662-666.
- LARA, A., JONES, J., LITTLE, C., & VERGARA, N. 2021.** Streamflow response to native forest restoration in former Eucalyptus plantations in south central Chile. *Hydrological Processes*. Vol. **35** (8): e14270.
- LARA, A., LITTLE, C., URRUTIA, R., MCPHEE, J., ÁLVAREZ-GARRETÓN, C., OYARZÚN, C., & ARISMENDI, I. 2009.** Assessment of ecosystem services as an opportunity

for the conservation and management of native forests in Chile. *Forest Ecology and Management*. Vol. **258** (4): 415-424.

LITTLE, C., & LARA, A. 2010. Restauración ecológica para aumentar la provisión de agua como un servicio ecosistémico en cuencas forestales del centro-sur de Chile. *Bosque (Valdivia)*. Vol. **31** (3): 175-178.

LITTLE, C., LARA, A., MCPHEE, J., & URRUTIA, R. 2009. Revealing the impact of forest exotic plantations on water yield in large scale watersheds in South-Central Chile. *Journal of hydrology*. Vol. **374** (1-2): 162-170.

MARDONES, S. 2015. Caracterización del régimen hídrico en microcuencas de la Reserva Nacional Nonguén (36° 52'S), Chile. Tesis Doctoral. Universidad de Concepción.

MARTÍNEZ-RETURETA, R., AGUAYO, M., STEHR, A., SAUVAGE, S., ECHEVERRÍA, C., & SÁNCHEZ-PÉREZ, J. M. 2020. Effect of land use/cover change on the hydrological response of a southern center basin of Chile. *Water*. Vol. **12** (1): 302.

MCCOOL, D. K., ZUZEL, J. F., ISTOK, J. D., FORMANEK, G. E., MOLNAU, M., SAXTON, K. E., & ELLIOTT, L. F. 1987. Erosion processes and prediction for the Pacific Northwest. *Proc. STEEP-Soil Conservation Concepts and Accomplishments*, Washington. Vol. **20** (21): 187-207.

METCALF & EDDY INC. 1998. Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. Vol. I. Mc Graw-Hill. México

MURPHY, J., & RILEY, J. P. 1962. "A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters". *Analytica Chimica Acta*. Vol. **27**: 31–36.

NAHUELHUAL, L., DONOSO, P., LARA, A., NUÑEZ, D., OYARZUN, C., & NEIRA, E. 2007. Valuing ecosystem services of Chilean temperate rainforests. *Environment, Development and Sustainability*. Vol. **9** (4): 481-499.

NOORI, R., BERNDTSSON, R., HOSSEINZADEH, M., ADAMOWSKI, J. F., & ABYANEH, M. R. 2019. A critical review on the application of the National Sanitation Foundation Water Quality Index. *Environmental Pollution*. Vol. **244**: 575-587.

RODRÍGUEZ R., & VERDUGO, R. 2012. Estudio preliminar acerca del valor económico de los bosques de la Reserva Nacional Nonguén por la provisión de agua potable para la comuna de Penco y la parte alta del valle Nonguén. Corporación Nacional Forestal, Región del Bío forestal.

SALAS, L. 2022. Análisis comparativo del ICA-NSF e índice de calidad de agua diseñado para la Microcuenca de Cachimayo, Cusco, Perú.

SAMBONI, N., CARVAJAL, Y., & ESCOBAR, J. C. 2007. Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e investigación*. Vol. **27** (3): 172-181.

STEFFEN, W., RICHARDSON, K., ROCKSTRÖM, J., CORNELL, S. E., FETZER, I., BENNETT, E. M., & SÖRLIN, S. 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*. Vol **347** (6223): 1259855.

VAN DER AA, M. 2003. Classification of mineral water types and comparison with drinking water standards. *Environmental geology*. Vol. **44** (5): 554-563.

ANEXO I: TABLAS DE RESULTADOS HIDROQUÍMICOS E ISOTÓPICOS

ID	Coordenadas UTM H18S (m)			Parámetros Hidroquímicos e isotópicos del Primer Muestreo - Inicio del Verano (2018 - 2019)									
	x	Y	Z	pH	Temperatura (°C)	Ec (μS/cm)	δ ¹⁸ O	δ ² H	Δδ ² H	NO ₃ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	PO ₄ (mg/L)	SiO ₄ (mg/L)
R3	680.106	5.914.022	177,9	7,2	16,4	140	-4,247	-25,485	2,036	1,210	0,021	0,155	28,555
R4	679.678	5.914.786	135,4	7,17	13,7	100	-4,296	-26,035	2,195	0,117	0,021	0,097	14,500
R5	679.561	5.916.467	89,8	7,39	17	100	-4,197	-25,631	2,575	0,128	0,026	0,092	8,362
R7	678.737	5.916.786	131,2	7,11	15	80	-4,468	-26,666	1,473	0,138	0,014	0,022	12,085
R10	681.428	5.916.748	214,3	7,53	14,9	100	-4,275	-25,577	1,902	0,340	0,028	0,046	10,461
R11	679.967	5.916.833	122,7	7,64	16,4	90	-4,251	-25,466	1,987	0,178	0,027	0,114	10,865
R12	679.537	5.916.628	92,1	7,5	16	90	-4,486	-26,555	1,216	0,157	0,020	0,064	13,795
R14	679.308	5.916.603	81,9	7,53	16,5	100	-4,484	-26,978	1,654	0,143	0,025	0,137	10,632
R17	679.424	5.917.841	107,8	7,29	15,5	140	-4,440	-26,762	1,787	0,162	0,017	0,111	34,743
R18	678.703	5.917.492	41,5	7,38	12,9	90	-4,399	-26,052	1,401	0,094	0,021	0,116	27,206
R19	676.964	5.923.262	9,0	7,31	24,7	150	-4,321	-25,815	1,783	0,325	0,032	0,224	29,853
R20	677.795	5.919.561	21,6	7,31	14,9	130	-4,553	-27,778	1,909	0,249	0,018	0,172	5,751
R21	678.069	5.921.380	10,5	7,19	19,5	140	-4,699	-28,927	1,905	0,250	0,020	0,107	23,939
R23	678.945	5.914.563	186,8	7,63	14,8	90	-4,408	-27,348	2,625	0,242	0,020	0,106	10,387
R24	681.812	5.917.173	226,9	7,25	15,5	130	-4,623	-27,868	1,443	0,171	0,038	0,146	10,110
R27	679.316	5.915.321	123,1	7,14	13,3	100	-4,511	-27,475	1,938	0,106	0,014	0,063	13,178
R29	681.021	5.912.700	247,2	7,59	16,1	120	-4,485	-27,281	1,949	0,895	0,022	0,211	4,826
R31	678.979	5.917.127	55,0	7,47	17,4	90	-4,730	-28,689	1,423	0,083	0,024	0,085	22,102
R32	680.834	5.911.136	309,7	7,36	14,8	80	-4,643	-28,498	1,918	0,172	0,012	0,067	2,885
R33	678.320	5.918.910	22,9	7,14	15,5	120	-4,398	-26,657	2,013	0,165	0,018	0,102	10,577
R34	677.578	5.920.888	15,8	7,14	19,4	170	-4,520	-27,358	1,750	0,257	0,018	0,148	14,552
R35	677.642	5.922.560	9,0	7,13	21,6	150	-4,535	-27,847	2,119	0,338	0,022	0,131	24,975
R36	679.925	5.914.064	175,7	7,1	15,4	170	-4,452	-27,142	2,074	0,913	0,025	0,175	6,283
R37	679.408	5.915.893	104,6	7,21	13,8	100	-4,474	-27,186	1,939	0,145	0,020	0,085	13,396
R38	678.753	5.916.752	130,3	7,26	14,2	70	-4,474	-27,133	1,889	0,109	0,023	0,048	2,009
R39	678.984	5.916.813	76,2	7,24	15,2	80	-4,590	-28,068	1,909	0,124	0,020	0,042	4,068
RE	679.840	5.914.524	163,9	7,2	15,1	110	-4,240	-25,516	2,118	0,179	0,016	0,088	10,189

ID	Coordenadas UTM H18S (m)			Parámetros Hidroquímicos e isotópicos del Segundo Muestreo - Inicio del Otoño (2019)									
	x	Y	Z	pH	Temperatura (°C)	Ec (μS/cm)	δ ¹⁸ O	δ ² H	Δδ ² H	NO ₃ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	PO ₄ (mg/L)	SiO ₄ (mg/L)
R3	680.106	5.914.022	177,9	7,52	12,4	100	-4,596	-28,267	2,056	0,058	0,004	0,043	18,311
R4	679.678	5.914.786	135,4	7,54	14,2	110	-4,548	-27,537	1,712	0,016	0,003	0,043	5,994
R5	679.561	5.916.467	89,8	8,34	13,8	100	-4,372	-26,447	2,008	0,001	0,003	0,033	7,266
R7	678.737	5.916.786	131,2	7,39	13,8	80	-4,428	-26,461	1,579	0,066	0,006	0,015	6,032
R10	681.428	5.916.748	214,3	7,17	10,6	100	-4,593	-28,053	1,866	0,183	0,009	0,019	7,612
R11	679.967	5.916.833	122,7	7,28	11,3	100	-4,392	-26,880	2,285	0,099	0,006	0,031	20,159
R12	679.537	5.916.628	92,1	7,38	11,1	90	-4,352	-26,483	2,201	0,048	0,006	0,054	17,613
R14	679.308	5.916.603	81,9	7,43	11,3	90	-4,325	-26,015	1,945	0,040	0,006	0,042	15,192
R17	679.424	5.917.841	107,8	7,26	14,3	140	-4,451	-26,755	1,693	0,112	0,007	0,050	18,675
R18	678.703	5.917.492	41,5	7,27	16,0	130	-4,537	-27,304	1,560	0,072	0,005	0,236	20,249
R19	676.964	5.923.262	9,0	7,55	17,1	170	-4,295	-25,709	1,880	0,235	0,020	0,060	22,121
R20	677.795	5.919.561	21,6	7,37	16,8	110	-4,341	-26,354	2,159	0,068	0,006	0,041	16,750
R21	678.069	5.921.380	10,5	7,43	16,1	140	-4,467	-26,378	1,187	0,215	0,010	0,049	16,054
R23	678.945	5.914.563	186,8	7,36	12,9	90	-4,643	-28,406	1,830	0,108	0,005	0,051	8,933
R24	681.812	5.917.173	226,9	7,19	11,1	120	-4,417	-26,362	1,566	0,090	0,009	0,025	6,187
R27	679.316	5.915.321	123,1	7,60	13,7	100	-4,698	-28,384	1,374	0,062	0,005	0,043	16,402
R29	681.021	5.912.700	247,2	7,57	11,8	80	-4,441	-27,510	2,527	0,089	0,008	0,030	7,312
R31	678.979	5.917.127	55,0	7,44	13,5	90	-4,398	-26,293	1,648	0,112	0,005	0,045	17,464
R32	680.834	5.911.136	309,7	7,17	12,8	70	-4,739	-28,584	1,247	0,266	0,008	0,268	7,595
R33	678.320	5.918.910	22,9	7,18	16,7	110	-4,325	-26,075	2,006	0,129	0,005	0,081	12,807
R34	677.578	5.920.888	15,8	7,60	15,6	130	-4,205	-25,747	2,628	0,169	0,008	0,026	17,555
R35	677.642	5.922.560	9,0	7,36	16,2	160	-4,416	-27,258	2,470	0,332	0,020	0,047	22,096
R36	679.925	5.914.064	175,7	7,38	13,0	110	-4,422	-26,658	1,823	0,113	0,006	0,517	10,918
R37	679.408	5.915.893	104,6	8,03	14,2	100	-4,387	-26,116	1,561	0,074	0,005	0,038	10,777
R38	678.753	5.916.752	130,3	7,64	14,3	80	-4,464	-26,504	1,339	0,135	0,007	0,032	6,601
R39	678.984	5.916.813	76,2	7,39	13,2	70	-4,450	-26,296	1,245	0,147	0,006	0,032	6,774
RE	679.840	5.914.524	163,9	7,38	14,5	100	-4,370	-26,741	2,322	0,041	0,004	0,067	17,761

ID	Coordenadas UTM H18S (m)			Parámetros Hidroquímicos e isotópicos del Tercer Muestreo - Inicio del Invierno (2019)									
	x	Y	Z	pH	Temperatura (°C)	Ec (µS/cm)	δ ¹⁸ O	δ ² H	Δδ ² H	NO ₃ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	PO ₄ (mg/L)	SiO ₄ (mg/L)
R3	680.106	5.914.022	177,9	7,37	9,8	67,0	-4,658	-28,952	2,255	0,096	0,010	0,044	13,101
R4	679.678	5.914.786	135,4	7,49	9,4	72,3	-4,681	-28,674	1,797	0,092	0,013	0,054	11,005
R5	679.561	5.916.467	89,8	7,40	8,5	67,7	-4,638	-28,181	1,638	0,098	0,012	0,044	11,028
R7	678.737	5.916.786	131,2	7,51	9,5	54,1	-4,537	-27,359	1,614	0,118	0,011	0,032	4,338
R10	681.428	5.916.748	214,3	7,05	7,8	65,6	-4,821	-29,630	1,645	0,240	0,015	0,029	2,242
R11	679.967	5.916.833	122,7	7,34	8,5	71,2	-4,685	-28,652	1,740	0,221	0,010	0,044	9,185
R12	679.537	5.916.628	92,1	7,34	8,3	69,6	-4,580	-28,265	2,187	0,218	0,011	0,041	11,480
R14	679.308	5.916.603	81,9	7,39	9,0	67,9	-4,626	-28,118	1,676	0,139	0,013	0,041	11,601
R17	679.424	5.917.841	107,8	7,44	9,7	74,8	-4,647	-28,183	1,573	0,203	0,016	0,044	3,435
R18	678.703	5.917.492	41,5	7,47	10,2	66,4	-4,647	-28,160	1,548	0,154	0,010	0,045	10,686
R19	676.964	5.923.262	9,0	7,20	12,4	107,8	-4,496	-27,738	2,319	0,836	0,020	0,066	17,384
R20	677.795	5.919.561	21,6	7,35	11,4	74,2	-4,575	-27,803	1,763	0,225	0,015	0,042	7,732
R21	678.069	5.921.380	10,5	7,37	12,2	89,3	-4,600	-27,900	1,660	0,340	0,014	0,050	12,586
R23	678.945	5.914.563	186,8	7,43	8,8	62,1	-4,644	-27,663	1,078	0,097	0,006	0,051	8,896
R24	681.812	5.917.173	226,9	7,01	8,0	68,4	-4,897	-29,937	1,352	0,130	0,015	0,033	1,979
R27	679.316	5.915.321	123,1	7,37	9,3	70,0	-4,379	-25,726	1,232	0,071	0,018	0,042	10,002
R29	681.021	5.912.700	247,2	7,37	10,6	55,9	-4,722	-29,007	1,800	0,093	0,013	0,031	2,590
R31	678.979	5.917.127	55,0	7,49	9,1	67,4	-4,682	-28,270	1,378	0,139	0,007	0,051	15,556
R32	680.834	5.911.136	309,7	7,30	10,4	54,6	-4,835	-29,735	1,636	0,177	0,010	0,043	2,257
R33	678.320	5.918.910	22,9	7,42	11,2	71,0	-4,618	-27,989	1,606	0,214	0,010	0,046	13,919
R34	677.578	5.920.888	15,8	7,47	10,9	79,1	-4,480	-27,560	2,268	0,400	0,013	0,063	13,897
R35	677.642	5.922.560	9,0	7,32	12,9	97,6	-4,621	-28,175	1,771	0,752	0,021	0,065	16,481
R36	679.925	5.914.064	175,7	7,55	9,9	69,9	-4,656	-27,852	1,171	0,086	0,010	0,042	8,906
R37	679.408	5.915.893	104,6	7,27	9,2	68,7	-4,607	-27,386	1,087	0,116	0,014	0,044	6,193
R38	678.753	5.916.752	130,3	7,43	9,5	60,9	-4,294	-25,409	1,587	0,180	0,009	0,029	3,205
R39	678.984	5.916.813	76,2	7,46	9,2	55,8	-4,602	-27,422	1,163	0,119	0,010	0,032	5,039
RE	679.840	5.914.524	163,9	7,28	10,4	69,6	-4,761	-29,477	1,967	0,085	0,019	0,047	10,706

ID	Coordenadas UTM H18S (m)			Parámetros Hidroquímicos e isotópicos del Cuarto Muestreo - Inicio de la Primavera (2019)									
	x	Y	Z	pH	Temperatura (°C)	Ec (µS/cm)	δ ¹⁸ O	δ ² H	Δδ ² H	NO ₃ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	PO ₄ (mg/L)	SiO ₄ (mg/L)
R3	680.106	5.914.022	177,9	7,21	9,9	72,1	-4,650	-28,217	1,584	0,051	0,006	0,028	11,915
R4	679.678	5.914.786	135,4	7,42	9,1	77,0	-4,792	-29,589	1,834	0,068	0,002	0,025	17,359
R5	679.561	5.916.467	89,8	7,31	9,2	73,3	-4,333	-26,837	2,704	0,051	0,001	0,027	19,175
R7	678.737	5.916.786	131,2	7,26	10,2	75,9	-4,509	-26,653	1,131	0,047	0,006	0,009	6,118
R10	681.428	5.916.748	214,3	7,26	7,9	80,4	-4,802	-28,997	1,165	0,001	0,006	0,012	8,320
R11	679.967	5.916.833	122,7	7,43	8,6	80,3	-4,750	-29,395	1,970	0,159	0,003	0,033	15,028
R12	679.537	5.916.628	92,1	7,31	9,2	78,6	-4,536	-28,053	2,319	0,131	0,005	0,032	12,013
R14	679.308	5.916.603	81,9	7,19	9,9	77,3	-4,711	-28,272	1,155	0,016	0,011	0,024	6,819
R17	679.424	5.917.841	107,8	7,23	9,5	90,6	-4,225	-25,396	2,119	0,145	0,006	0,031	5,517
R18	678.703	5.917.492	41,5	7,39	9,8	73,3	-4,614	-27,815	1,462	0,006	0,002	0,022	16,188
R19	676.964	5.923.262	9,0	7,38	10,9	110,7	-4,636	-28,371	1,846	0,317	0,007	0,041	19,693
R20	677.795	5.919.561	21,6	7,29	9,8	81,6	-4,331	-26,666	2,553	0,103	0,004	0,100	4,355
R21	678.069	5.921.380	10,5	7,21	10,1	95,5	-4,506	-27,246	1,752	0,281	0,004	0,025	19,522
R23	678.945	5.914.563	186,8	7,27	10,4	69,6	-4,741	-29,176	1,822	0,087	0,006	0,034	8,308
R24	681.812	5.917.173	226,9	7,28	8,3	84,6	-4,827	-29,615	1,582	0,012	0,006	0,018	8,531
R27	679.316	5.915.321	123,1	7,47	9,7	64,3	-4,799	-29,618	1,810	0,036	0,003	0,031	5,539
R29	681.021	5.912.700	247,2	7,39	9,5	51,6	-4,874	-30,432	2,030	0,051	0,008	0,012	3,838
R31	678.979	5.917.127	55,0	7,24	9,9	75,2	-4,699	-27,968	0,943	0,038	0,002	0,032	20,104
R32	680.834	5.911.136	309,7	7,03	10,5	46,5	-4,874	-30,246	1,841	0,164	0,006	0,025	3,374
R33	678.320	5.918.910	22,9	7,45	9,8	75,9	-4,579	-27,830	1,755	0,079	0,003	0,071	3,387
R34	677.578	5.920.888	15,8	7,29	10,1	88,3	-4,426	-27,207	2,344	0,030	0,005	0,018	14,870
R35	677.642	5.922.560	9,0	7,21	10,2	171,4	-4,570	-28,042	2,041	0,452	0,013	0,085	7,504
R36	679.925	5.914.064	175,7	7,32	9,9	76,8	-4,144	-25,241	2,603	0,085	0,004	0,036	14,245
R37	679.408	5.915.893	104,6	7,42	9,1	73,6	-4,418	-26,958	2,154	0,027	0,002	0,026	15,099
R38	678.753	5.916.752	130,3	7,33	10,3	60,0	-4,376	-26,486	2,014	0,102	0,008	0,017	7,297
R39	678.984	5.916.813	76,2	7,28	10,0	61,2	-4,682	-28,544	1,660	0,135	0,003	0,017	2,329
RE	679.840	5.914.524	163,9	7,41	9,1	75,3	-4,604	-28,034	1,760	0,002	0,001	0,031	17,422

ANEXO II: TABLAS DE PARÁMETROS HRU UTILIZADOS EN LA CUENCA NONGUÉN SEGÚN SUBCUENCA

HRU Cabecera con nativos			Parámetros Hidrológicos - Inicio del Verano (2005 - 2013)				
HRU ID	Área (m ²)	% del Área cubierta	PRECIP (mm)	ET (mm)	GWRCH (mm)	SURQ_GEN (mm)	GWQ + LATQ (mm)
595	813	0,005%	81,67	58,99	22,10	14,62	37,87
596	1.276	0,008%	81,67	57,92	5,78	14,32	18,26
597	1.047	0,007%	81,67	58,65	13,61	14,53	26,67
601	1.304	0,008%	93,67	59,90	15,14	20,93	30,37
603	1.195	0,007%	93,67	59,08	6,48	20,68	20,57
607	119.361	0,747%	81,67	61,56	23,40	14,86	40,08
608	401.881	2,516%	81,67	60,21	6,03	14,63	18,44
609	441.804	2,765%	81,67	61,08	14,36	14,79	28,00
610	239.610	1,500%	81,67	57,94	5,86	14,32	18,30
611	261.365	1,636%	81,67	58,65	13,55	14,53	26,61
612	72.514	0,454%	81,67	58,98	22,01	14,62	37,69
613	336.234	2,105%	81,67	61,10	14,58	14,79	28,38
614	142.623	0,893%	81,67	60,29	6,47	14,64	18,83
615	257.906	1,614%	81,67	61,56	23,50	14,86	40,22
616	37.360	0,234%	81,67	58,66	13,78	14,53	26,98
617	35.806	0,224%	81,67	58,98	22,01	14,62	37,69
618	8.906	0,056%	81,67	57,96	6,00	14,33	18,39
625	119.535	0,748%	93,67	61,69	5,29	21,00	19,54
626	42.214	0,264%	93,67	63,23	15,44	21,29	31,06
627	70.840	0,443%	93,67	59,88	14,85	20,92	30,02
628	27.204	0,170%	93,67	60,27	23,47	21,05	41,76
629	146.671	0,918%	93,67	58,80	4,97	20,60	19,54
630	6.304	0,039%	93,67	88,11	4,02	17,18	14,96
631	8.584	0,054%	93,67	89,10	10,12	17,85	20,64
632	10.117	0,063%	93,67	89,58	16,03	18,13	27,66
633	6.653	0,042%	93,67	80,27	10,60	18,38	21,04
634	1.456	0,009%	93,67	79,46	4,66	17,91	16,05
635	12.532	0,078%	93,67	80,75	16,43	18,59	28,37
684	2.031.996	12,719%	96,33	62,93	16,51	20,93	33,17
685	645.277	4,039%	96,33	63,47	26,21	21,08	45,70
686	1.185.552	7,421%	96,33	61,85	7,19	20,64	22,19
687	392.188	2,455%	96,33	88,49	4,61	16,32	15,58
688	1.022.223	6,398%	96,33	89,71	17,19	17,46	28,91
689	1.853.898	11,604%	96,33	89,30	10,94	17,04	22,07
690	50.266	0,315%	96,33	79,57	4,88	17,13	16,78
691	193.678	1,212%	96,33	80,36	11,00	17,77	21,87
692	133.345	0,835%	96,33	80,86	17,31	18,01	29,13
714	1.672.504	10,469%	96,33	63,47	26,29	21,08	45,82
715	825.937	5,170%	96,33	61,99	7,92	20,67	22,86
716	3.156.125	19,755%	96,33	62,94	16,69	20,94	33,42
TOTAL	15.976.104	100%					

HRU Cabecera con nativos			Parámetros Hidrológicos - Inicio del Otoño (2005 - 2013)				
HRU ID	Área (m ²)	% del Área cubierta	PRECIP (mm)	ET (mm)	GWRCH (mm)	SURQ_GEN (mm)	GWQ + LATQ (mm)
595	813	0,005%	89,33	77,79	4,75	20,48	4,98
596	1.276	0,008%	89,33	75,61	0,70	19,63	10,41
597	1.047	0,007%	89,33	77,22	2,16	20,20	6,44
601	1.304	0,008%	100,67	77,95	3,54	27,54	8,14
603	1.195	0,007%	100,67	76,66	0,80	26,81	11,81
607	119.361	0,747%	89,33	78,31	3,56	20,43	4,00
608	401.881	2,516%	89,33	75,96	0,45	19,72	9,89
609	441.804	2,765%	89,33	77,52	1,81	20,20	5,88
610	239.610	1,500%	89,33	75,63	0,71	19,64	10,34
611	261.365	1,636%	89,33	77,21	2,14	20,20	6,45
612	72.514	0,454%	89,33	77,78	4,72	20,48	4,99
613	336.234	2,105%	89,33	77,55	1,85	20,21	5,82
614	142.623	0,893%	89,33	76,08	0,49	19,77	9,52
615	257.906	1,614%	89,33	78,31	3,58	20,44	3,99
616	37.360	0,234%	89,33	77,23	2,22	20,21	6,40
617	35.806	0,224%	89,33	77,78	4,72	20,48	4,99
618	8.906	0,056%	89,33	75,68	0,73	19,65	10,23
625	119.535	0,748%	100,67	76,64	0,38	26,67	12,58
626	42.214	0,264%	100,67	78,50	2,35	27,53	7,10
627	70.840	0,443%	100,67	77,92	3,42	27,52	8,20
628	27.204	0,170%	100,67	78,53	6,95	27,83	6,80
629	146.671	0,918%	100,67	76,10	0,51	26,60	13,10
630	6.304	0,039%	100,67	126,40	0,21	14,67	12,01
631	8.584	0,054%	100,67	131,64	0,59	16,77	5,43
632	10.117	0,063%	100,67	132,82	1,22	17,74	2,18
633	6.653	0,042%	100,67	115,98	1,11	20,01	5,72
634	1.456	0,009%	100,67	113,30	0,43	18,51	11,35
635	12.532	0,078%	100,67	117,28	2,04	20,72	3,03
684	2.031.996	12,719%	96,33	78,77	2,88	23,47	7,40
685	645.277	4,039%	96,33	79,35	5,96	23,64	6,26
686	1.185.552	7,421%	96,33	77,48	0,67	22,88	11,24
687	392.188	2,455%	96,33	126,80	0,30	11,31	11,34
688	1.022.223	6,398%	96,33	132,76	1,37	14,18	2,34
689	1.853.898	11,604%	96,33	131,17	0,75	13,12	5,40
690	50.266	0,315%	96,33	112,80	0,47	14,97	11,09
691	193.678	1,212%	96,33	115,87	1,38	16,50	5,83
692	133.345	0,835%	96,33	117,37	2,35	17,11	3,26
714	1.672.504	10,469%	96,33	79,35	5,99	23,64	6,25
715	825.937	5,170%	96,33	77,65	0,78	22,96	10,75
716	3.156.125	19,755%	96,33	78,79	2,94	23,47	7,37
TOTAL	15.976.104	100%					

HRU Cabecera con nativos			Parámetros Hidrológicos - Inicio del Invierno (2005 - 2013)				
HRU ID	Área (m ²)	% del Área cubierta	PRECIP (mm)	ET (mm)	GWRCH (mm)	SURQ_GEN (mm)	GWQ + LATQ (mm)
595	813	0,005%	563,33	131,40	122,56	216,55	89,80
596	1.276	0,008%	563,33	131,08	33,46	211,44	150,48
597	1.047	0,007%	563,33	131,29	78,51	214,86	120,17
601	1.304	0,008%	618,89	131,57	91,74	252,32	134,77
603	1.195	0,007%	618,89	131,37	39,46	248,93	169,25
607	119.361	0,747%	563,33	129,09	122,54	216,76	90,11
608	401.881	2,516%	563,33	128,79	33,59	211,56	152,11
609	441.804	2,765%	563,33	129,00	78,27	214,93	120,98
610	239.610	1,500%	563,33	131,08	33,91	211,50	150,22
611	261.365	1,636%	563,33	131,29	78,18	214,85	120,38
612	72.514	0,454%	563,33	131,40	122,09	216,54	90,16
613	336.234	2,105%	563,33	129,00	79,44	214,99	120,13
614	142.623	0,893%	563,33	128,81	36,04	211,87	150,39
615	257.906	1,614%	563,33	129,09	123,02	216,78	89,78
616	37.360	0,234%	563,33	131,29	79,51	214,91	119,40
617	35.806	0,224%	563,33	131,40	122,09	216,54	90,15
618	8.906	0,056%	563,33	131,09	34,71	211,61	149,63
625	119.535	0,748%	618,89	129,03	31,16	247,95	175,85
626	42.214	0,264%	618,89	129,28	90,04	252,28	136,28
627	70.840	0,443%	618,89	131,56	90,07	252,24	135,87
628	27.204	0,170%	618,89	131,65	137,18	254,03	103,43
629	146.671	0,918%	618,89	131,32	30,23	247,82	175,39
630	6.304	0,039%	618,89	178,92	13,04	192,28	119,84
631	8.584	0,054%	618,89	179,80	37,12	210,61	76,05
632	10.117	0,063%	618,89	180,25	65,98	218,82	44,67
633	6.653	0,042%	618,89	172,35	47,21	226,11	81,63
634	1.456	0,009%	618,89	171,55	16,87	213,96	118,19
635	12.532	0,078%	618,89	172,76	78,98	231,68	53,12
684	2.031.996	12,719%	621,56	128,53	90,55	255,93	136,19
685	645.277	4,039%	621,56	128,60	137,34	257,89	102,71
686	1.185.552	7,421%	621,56	128,37	39,86	252,39	171,37
687	392.188	2,455%	621,56	178,63	14,19	198,62	119,89
688	1.022.223	6,398%	621,56	179,86	67,12	223,56	44,32
689	1.853.898	11,604%	621,56	179,43	37,79	215,60	76,59
690	50.266	0,315%	621,56	171,00	17,75	219,30	119,66
691	193.678	1,212%	621,56	171,89	48,32	230,87	82,25
692	133.345	0,835%	621,56	172,36	80,16	236,37	53,30
714	1.672.504	10,469%	621,56	128,60	137,71	257,90	102,45
715	825.937	5,170%	621,56	128,39	43,90	252,83	168,64
716	3.156.125	19,755%	621,56	128,53	91,47	255,98	135,52
TOTAL	15.976.104	100%					

HRU Cabecera con nativos			Parámetros Hidrológicos - Inicio de la Primavera (2005 - 2013)				
HRU ID	Área (m ²)	% del Área cubierta	PRECIP (mm)	ET (mm)	GWRCH (mm)	SURQ_GEN (mm)	GWQ + LATQ (mm)
595	813	0,005%	313,89	115,64	145,68	101,37	167,59
596	1.276	0,008%	313,89	115,29	44,52	99,99	132,17
597	1.047	0,007%	313,89	115,51	95,84	100,76	150,63
601	1.304	0,008%	350,11	115,61	111,98	121,16	171,44
603	1.195	0,007%	350,11	115,39	51,83	120,23	150,79
607	119.361	0,747%	313,89	110,26	148,07	101,77	169,94
608	401.881	2,516%	313,89	109,94	45,29	100,36	134,85
609	441.804	2,765%	313,89	110,15	97,27	101,15	153,08
610	239.610	1,500%	313,89	115,29	45,04	100,00	132,33
611	261.365	1,636%	313,89	115,51	95,46	100,76	150,50
612	72.514	0,454%	313,89	115,64	145,14	101,36	167,43
613	336.234	2,105%	313,89	110,15	98,60	101,17	153,51
614	142.623	0,893%	313,89	109,96	48,18	100,42	135,91
615	257.906	1,614%	313,89	110,26	148,61	101,77	170,10
616	37.360	0,234%	313,89	115,51	96,96	100,78	151,04
617	35.806	0,224%	313,89	115,64	145,14	101,36	167,44
618	8.906	0,056%	313,89	115,29	45,98	100,02	132,73
625	119.535	0,748%	350,11	109,94	42,80	120,43	150,08
626	42.214	0,264%	350,11	110,29	111,57	121,55	173,15
627	70.840	0,443%	350,11	115,61	110,06	121,13	170,81
628	27.204	0,170%	350,11	115,71	164,23	121,85	188,78
629	146.671	0,918%	350,11	115,32	40,93	119,98	146,98
630	6.304	0,039%	350,11	162,49	29,48	112,19	101,60
631	8.584	0,054%	350,11	162,71	77,33	117,31	114,33
632	10.117	0,063%	350,11	162,86	122,14	118,42	129,46
633	6.653	0,042%	350,11	157,64	84,87	118,09	126,74
634	1.456	0,009%	350,11	157,32	37,89	116,45	108,97
635	12.532	0,078%	350,11	157,86	129,50	118,82	141,34
684	2.031.996	12,719%	353,56	109,95	111,57	127,36	172,20
685	645.277	4,039%	353,56	110,05	166,04	128,05	190,71
686	1.185.552	7,421%	353,56	109,74	52,65	126,44	151,68
687	392.188	2,455%	353,56	162,13	31,78	118,26	101,16
688	1.022.223	6,398%	353,56	162,52	120,78	123,93	129,86
689	1.853.898	11,604%	353,56	162,37	77,87	122,49	114,80
690	50.266	0,315%	353,56	156,99	38,80	121,79	109,18
691	193.678	1,212%	353,56	157,34	83,99	123,79	126,28
692	133.345	0,835%	353,56	157,60	128,72	124,53	140,76
714	1.672.504	10,469%	353,56	110,05	166,47	128,05	190,84
715	825.937	5,170%	353,56	109,77	57,42	126,53	153,27
716	3.156.125	19,755%	353,56	109,95	112,65	127,37	172,56
TOTAL	15.976.104	100%					

HRU Cabecera con plantaciones			Parámetros Hidrológicos - Inicio del Verano (2005 - 2013)				
HRU ID	Área (m ²)	% del Área cubierta	PRECIP (mm)	ET (mm)	GWRCH (mm)	SURQ_GEN (mm)	GWQ + LATQ (mm)
578	6.379	0,054%	81,67	58,66	13,69	14,53	26,83
580	2.842	0,024%	81,67	58,99	22,03	14,62	37,74
595	6.005	0,051%	81,67	58,99	22,10	14,62	37,87
596	13.125	0,111%	81,67	57,92	5,78	14,32	18,26
597	5.676	0,048%	81,67	58,65	13,61	14,53	26,67
598	503.129	4,250%	93,67	63,81	24,77	21,42	43,48
599	429.546	3,628%	93,67	62,08	6,81	21,07	20,69
600	1.060.732	8,960%	93,67	63,24	15,64	21,30	31,22
601	1.327.354	11,212%	93,67	59,90	15,14	20,93	30,37
602	772.368	6,524%	93,67	60,28	23,60	21,05	41,93
603	487.870	4,121%	93,67	59,08	6,48	20,68	20,57
610	1.417	0,012%	81,67	57,94	5,86	14,32	18,30
625	2.184	0,018%	93,67	61,69	5,29	21,00	19,54
626	4.192	0,035%	93,67	63,23	15,44	21,29	31,06
627	3.535	0,030%	93,67	59,88	14,85	20,92	30,02
628	1.390	0,012%	93,67	60,27	23,47	21,05	41,76
629	517	0,004%	93,67	58,80	4,97	20,60	19,54
630	674.165	5,695%	93,67	88,11	4,02	17,18	14,96
631	2.025.473	17,109%	93,67	89,10	10,12	17,85	20,64
632	1.090.380	9,210%	93,67	89,58	16,03	18,13	27,66
633	1.721.354	14,540%	93,67	80,27	10,60	18,38	21,04
634	444.197	3,752%	93,67	79,46	4,66	17,91	16,05
635	1.215.130	10,264%	93,67	80,75	16,43	18,59	28,37
684	8.472	0,072%	96,33	62,93	16,51	20,93	33,17
685	17.536	0,148%	96,33	63,47	26,21	21,08	45,70
686	3.355	0,028%	96,33	61,85	7,19	20,64	22,19
688	1.640	0,014%	96,33	89,71	17,19	17,46	28,91
691	1.459	0,012%	96,33	80,36	11,00	17,77	21,87
692	7.429	0,063%	96,33	80,86	17,31	18,01	29,13
TOTAL	11.838.851	100%					

HRU Cabecera con plantaciones			Parámetros Hidrológicos - Inicio del Otoño (2005 - 2013)				
HRU ID	Área (m ²)	% del Área cubierta	PRECIP (mm)	ET (mm)	GWRCH (mm)	SURQ_GEN (mm)	GWQ + LATQ (mm)
578	6.379	0,054%	89,33	77,22	2,19	20,20	6,42
580	2.842	0,024%	89,33	77,78	4,73	20,48	4,99
595	6.005	0,051%	89,33	77,79	4,75	20,48	4,98
596	13.125	0,111%	89,33	75,61	0,70	19,63	10,41
597	5.676	0,048%	89,33	77,22	2,16	20,20	6,44
598	503.129	4,250%	100,67	79,10	5,52	27,71	5,55
599	429.546	3,628%	100,67	77,18	0,59	26,86	11,27
600	1.060.732	8,960%	100,67	78,51	2,41	27,53	7,03
601	1.327.354	11,212%	100,67	77,95	3,54	27,54	8,14
602	772.368	6,524%	100,67	78,53	7,00	27,83	6,79
603	487.870	4,121%	100,67	76,66	0,80	26,81	11,81
610	1.417	0,012%	89,33	75,63	0,71	19,64	10,34
625	2.184	0,018%	100,67	76,64	0,38	26,67	12,58
626	4.192	0,035%	100,67	78,50	2,35	27,53	7,10
627	3.535	0,030%	100,67	77,92	3,42	27,52	8,20
628	1.390	0,012%	100,67	78,53	6,95	27,83	6,80
629	517	0,004%	100,67	76,10	0,51	26,60	13,10
630	674.165	5,695%	100,67	126,40	0,21	14,67	12,01
631	2.025.473	17,109%	100,67	131,64	0,59	16,77	5,43
632	1.090.380	9,210%	100,67	132,82	1,22	17,74	2,18
633	1.721.354	14,540%	100,67	115,98	1,11	20,01	5,72
634	444.197	3,752%	100,67	113,30	0,43	18,51	11,35
635	1.215.130	10,264%	100,67	117,28	2,04	20,72	3,03
684	8.472	0,072%	96,33	78,77	2,88	23,47	7,40
685	17.536	0,148%	96,33	79,35	5,96	23,64	6,26
686	3.355	0,028%	96,33	77,48	0,67	22,88	11,24
688	1.640	0,014%	96,33	132,76	1,37	14,18	2,34
691	1.459	0,012%	96,33	115,87	1,38	16,50	5,83
692	7.429	0,063%	96,33	117,37	2,35	17,11	3,26
TOTAL	11.838.851	100%					

HRU Cabecera con plantaciones			Parámetros Hidrológicos - Inicio del Invierno (2005 - 2013)				
HRU ID	Área (m ²)	% del Área cubierta	PRECIP (mm)	ET (mm)	GWRCH (mm)	SURQ_GEN (mm)	GWQ + LATQ (mm)
578	6.379	0,054%	563,33	131,29	79,01	214,88	119,77
580	2.842	0,024%	563,33	131,40	122,23	216,54	90,04
595	6.005	0,051%	563,33	131,40	122,56	216,55	89,80
596	13.125	0,111%	563,33	131,08	33,46	211,44	150,48
597	5.676	0,048%	563,33	131,29	78,51	214,86	120,17
598	503.129	4,250%	618,89	129,38	137,50	254,13	103,05
599	429.546	3,628%	618,89	129,09	40,21	249,06	169,64
600	1.060.732	8,960%	618,89	129,28	91,15	252,33	135,63
601	1.327.354	11,212%	618,89	131,57	91,74	252,32	134,77
602	772.368	6,524%	618,89	131,65	137,84	254,05	102,99
603	487.870	4,121%	618,89	131,37	39,46	248,93	169,25
610	1.417	0,012%	563,33	131,08	33,91	211,50	150,22
625	2.184	0,018%	618,89	129,03	31,16	247,95	175,85
626	4.192	0,035%	618,89	129,28	90,04	252,28	136,28
627	3.535	0,030%	618,89	131,56	90,07	252,24	135,87
628	1.390	0,012%	618,89	131,65	137,18	254,03	103,43
629	517	0,004%	618,89	131,32	30,23	247,82	175,39
630	674.165	5,695%	618,89	178,92	13,04	192,28	119,84
631	2.025.473	17,109%	618,89	179,80	37,12	210,61	76,05
632	1.090.380	9,210%	618,89	180,25	65,98	218,82	44,67
633	1.721.354	14,540%	618,89	172,35	47,21	226,11	81,63
634	444.197	3,752%	618,89	171,55	16,87	213,96	118,19
635	1.215.130	10,264%	618,89	172,76	78,98	231,68	53,12
684	8.472	0,072%	621,56	128,53	90,55	255,93	136,19
685	17.536	0,148%	621,56	128,60	137,34	257,89	102,71
686	3.355	0,028%	621,56	128,37	39,86	252,39	171,37
688	1.640	0,014%	621,56	179,86	67,12	223,56	44,32
691	1.459	0,012%	621,56	171,89	48,32	230,87	82,25
692	7.429	0,063%	621,56	172,36	80,16	236,37	53,30
TOTAL	11.838.851	100%					

HRU Cabecera con plantaciones			Parámetros Hidrológicos - Inicio de la Primavera (2005 - 2013)				
HRU ID	Área (m ²)	% del Área cubierta	PRECIP (mm)	ET (mm)	GWRCH (mm)	SURQ_GEN (mm)	GWQ + LATQ (mm)
578	6.379	0,054%	313,89	115,51	96,40	100,77	150,84
580	2.842	0,024%	313,89	115,64	145,29	101,37	167,50
595	6.005	0,051%	313,89	115,64	145,68	101,37	167,59
596	13.125	0,111%	313,89	115,29	44,52	99,99	132,17
597	5.676	0,048%	313,89	115,51	95,84	100,76	150,63
598	503.129	4,250%	350,11	110,43	167,14	122,27	191,16
599	429.546	3,628%	350,11	110,03	53,66	120,67	153,79
600	1.060.732	8,960%	350,11	110,30	112,86	121,57	173,58
601	1.327.354	11,212%	350,11	115,61	111,98	121,16	171,44
602	772.368	6,524%	350,11	115,71	164,99	121,86	189,02
603	487.870	4,121%	350,11	115,39	51,83	120,23	150,79
610	1.417	0,012%	313,89	115,29	45,04	100,00	132,33
625	2.184	0,018%	350,11	109,94	42,80	120,43	150,08
626	4.192	0,035%	350,11	110,29	111,57	121,55	173,15
627	3.535	0,030%	350,11	115,61	110,06	121,13	170,81
628	1.390	0,012%	350,11	115,71	164,23	121,85	188,78
629	517	0,004%	350,11	115,32	40,93	119,98	146,98
630	674.165	5,695%	350,11	162,49	29,48	112,19	101,60
631	2.025.473	17,109%	350,11	162,71	77,33	117,31	114,33
632	1.090.380	9,210%	350,11	162,86	122,14	118,42	129,46
633	1.721.354	14,540%	350,11	157,64	84,87	118,09	126,74
634	444.197	3,752%	350,11	157,32	37,89	116,45	108,97
635	1.215.130	10,264%	350,11	157,86	129,50	118,82	141,34
684	8.472	0,072%	353,56	109,95	111,57	127,36	172,20
685	17.536	0,148%	353,56	110,05	166,04	128,05	190,71
686	3.355	0,028%	353,56	109,74	52,65	126,44	151,68
688	1.640	0,014%	353,56	162,52	120,78	123,93	129,86
691	1.459	0,012%	353,56	157,34	83,99	123,79	126,28
692	7.429	0,063%	353,56	157,60	128,72	124,53	140,76
TOTAL	11.838.851	100%					

HRU Desembocadura con plantaciones			Parámetros Hidrológicos - Inicio del Verano (2005 - 2013)				
HRU ID	Área (m ²)	% del Área cubierta	PRECIP (mm)	ET (mm)	GWRCH (mm)	SURQ_GEN (mm)	GWQ + LATQ (mm)
414	161.058	0,914%	80,44	58,31	12,36	13,87	25,33
415	209.758	1,191%	80,44	57,53	4,76	13,60	17,01
416	72.645	0,412%	80,44	58,68	19,56	13,99	35,47
417	60.937	0,346%	80,44	46,08	6,79	22,67	19,04
418	57.391	0,326%	80,44	47,54	25,68	22,74	39,86
419	89.674	0,509%	80,44	47,12	17,06	22,72	29,70
420	44.531	0,253%	80,44	47,35	18,80	21,04	33,50
421	229.909	1,305%	80,44	47,83	28,97	21,06	45,72
422	72.326	0,411%	80,44	45,21	57,22	9,38	91,72
578	3.964.412	22,505%	81,67	58,66	13,69	14,53	26,83
579	2.842.455	16,136%	81,67	57,93	5,84	14,32	18,29
580	1.609.625	9,138%	81,67	58,99	22,03	14,62	37,74
581	651.689	3,700%	81,67	46,99	17,92	23,07	30,79
582	485.981	2,759%	81,67	46,08	8,00	23,03	20,51
583	596.761	3,388%	81,67	47,40	27,77	23,09	42,39
584	359.362	2,040%	81,67	47,22	19,99	21,44	34,69
585	1.517.489	8,615%	81,67	47,62	30,55	21,45	47,52
595	217.245	1,233%	81,67	58,99	22,10	14,62	37,87
596	519.974	2,952%	81,67	57,92	5,78	14,32	18,26
597	447.183	2,539%	81,67	58,65	13,61	14,53	26,67
598	243	0,001%	93,67	63,81	24,77	21,42	43,48
599	2.486	0,014%	93,67	62,08	6,81	21,07	20,69
600	2.121	0,012%	93,67	63,24	15,64	21,30	31,22
601	5.245	0,030%	93,67	59,90	15,14	20,93	30,37
602	1.682	0,010%	93,67	60,28	23,60	21,05	41,93
603	465	0,003%	93,67	59,08	6,48	20,68	20,57
607	170	0,001%	81,67	61,56	23,40	14,86	40,08
608	150	0,001%	81,67	60,21	6,03	14,63	18,44
609	71	0,000%	81,67	61,08	14,36	14,79	28,00
610	67	0,000%	81,67	57,94	5,86	14,32	18,30
611	1.291	0,007%	81,67	58,65	13,55	14,53	26,61
612	611	0,003%	81,67	58,98	22,01	14,62	37,69
613	217.672	1,236%	81,67	61,10	14,58	14,79	28,38
614	126.127	0,716%	81,67	60,29	6,47	14,64	18,83
615	74.220	0,421%	81,67	61,56	23,50	14,86	40,22
616	1.474.673	8,372%	81,67	58,66	13,78	14,53	26,98
617	595.231	3,379%	81,67	58,98	22,01	14,62	37,69
618	902.353	5,123%	81,67	57,96	6,00	14,33	18,39
632	40	0,000%	93,67	89,58	16,03	18,13	27,66
688	35	0,000%	96,33	89,71	17,19	17,46	28,91
TOTAL	17.615.358	100%					

HRU Desembocadura con plantaciones			Parámetros Hidrológicos - Inicio del Otoño (2005 - 2013)				
HRU ID	Área (m ²)	% del Área cubierta	PRECIP (mm)	ET (mm)	GWRCH (mm)	SURQ_GEN (mm)	GWQ + LATQ (mm)
414	161.058	0,914%	102,44	78,05	2,69	25,38	7,89
415	209.758	1,191%	102,44	76,40	0,59	24,42	12,93
416	72.645	0,412%	102,44	78,66	5,60	25,73	5,53
417	60.937	0,346%	102,44	51,70	1,41	38,09	12,05
418	57.391	0,326%	102,44	54,26	7,68	38,27	6,78
419	89.674	0,509%	102,44	53,55	4,71	38,22	8,37
420	44.531	0,253%	102,44	56,77	5,64	34,74	9,69
421	229.909	1,305%	102,44	57,45	9,33	34,80	7,78
422	72.326	0,411%	102,44	54,72	22,12	13,88	19,81
578	3.964.412	22,505%	89,33	77,22	2,19	20,20	6,42
579	2.842.455	16,136%	89,33	75,63	0,71	19,64	10,36
580	1.609.625	9,138%	89,33	77,78	4,73	20,48	4,99
581	651.689	3,700%	89,33	52,19	3,84	30,76	7,01
582	485.981	2,759%	89,33	50,45	1,31	30,67	9,61
583	596.761	3,388%	89,33	53,08	6,55	30,81	5,84
584	359.362	2,040%	89,33	55,25	4,74	28,21	8,09
585	1.517.489	8,615%	89,33	56,06	7,86	28,25	7,02
595	217.245	1,233%	89,33	77,79	4,75	20,48	4,98
596	519.974	2,952%	89,33	75,61	0,70	19,63	10,41
597	447.183	2,539%	89,33	77,22	2,16	20,20	6,44
598	243	0,001%	100,67	79,10	5,52	27,71	5,55
599	2.486	0,014%	100,67	77,18	0,59	26,86	11,27
600	2.121	0,012%	100,67	78,51	2,41	27,53	7,03
601	5.245	0,030%	100,67	77,95	3,54	27,54	8,14
602	1.682	0,010%	100,67	78,53	7,00	27,83	6,79
603	465	0,003%	100,67	76,66	0,80	26,81	11,81
607	170	0,001%	89,33	78,31	3,56	20,43	4,00
608	150	0,001%	89,33	75,96	0,45	19,72	9,89
609	71	0,000%	89,33	77,52	1,81	20,20	5,88
610	67	0,000%	89,33	75,63	0,71	19,64	10,34
611	1.291	0,007%	89,33	77,21	2,14	20,20	6,45
612	611	0,003%	89,33	77,78	4,72	20,48	4,99
613	217.672	1,236%	89,33	77,55	1,85	20,21	5,82
614	126.127	0,716%	89,33	76,08	0,49	19,77	9,52
615	74.220	0,421%	89,33	78,31	3,58	20,44	3,99
616	1.474.673	8,372%	89,33	77,23	2,22	20,21	6,40
617	595.231	3,379%	89,33	77,78	4,72	20,48	4,99
618	902.353	5,123%	89,33	75,68	0,73	19,65	10,23
632	40	0,000%	100,67	132,82	1,22	17,74	2,18
688	35	0,000%	96,33	132,76	1,37	14,18	2,34
TOTAL	17.615.358	100%					

HRU Desembocadura con plantaciones			Parámetros Hidrológicos - Inicio del Invierno (2005 - 2013)				
HRU ID	Área (m ²)	% del Área cubierta	PRECIP (mm)	ET (mm)	GWRCH (mm)	SURQ_GEN (mm)	GWQ + LATQ (mm)
414	161.058	0,914%	579,89	131,50	85,10	223,36	129,02
415	209.758	1,191%	579,89	131,26	32,85	219,51	162,25
416	72.645	0,412%	579,89	131,60	131,44	225,30	98,33
417	60.937	0,346%	579,89	92,03	36,94	295,69	151,81
418	57.391	0,326%	579,89	92,58	123,79	297,82	95,33
419	89.674	0,509%	579,89	92,43	85,35	296,95	120,63
420	44.531	0,253%	579,89	98,04	97,54	266,84	135,18
421	229.909	1,305%	579,89	98,20	144,49	267,86	104,53
422	72.326	0,411%	579,89	94,75	277,15	108,80	202,78
578	3.964.412	22,505%	563,33	131,29	79,01	214,88	119,77
579	2.842.455	16,136%	563,33	131,08	33,80	211,49	150,29
580	1.609.625	9,138%	563,33	131,40	122,23	216,54	90,04
581	651.689	3,700%	563,33	91,98	79,85	286,40	115,72
582	485.981	2,759%	563,33	91,58	37,92	285,30	143,40
583	596.761	3,388%	563,33	92,17	119,23	287,29	89,16
584	359.362	2,040%	563,33	97,58	92,02	257,59	128,46
585	1.517.489	8,615%	563,33	97,77	135,66	258,54	98,82
595	217.245	1,233%	563,33	131,40	122,56	216,55	89,80
596	519.974	2,952%	563,33	131,08	33,46	211,44	150,48
597	447.183	2,539%	563,33	131,29	78,51	214,86	120,17
598	243	0,001%	618,89	129,38	137,50	254,13	103,05
599	2.486	0,014%	618,89	129,09	40,21	249,06	169,64
600	2.121	0,012%	618,89	129,28	91,15	252,33	135,63
601	5.245	0,030%	618,89	131,57	91,74	252,32	134,77
602	1.682	0,010%	618,89	131,65	137,84	254,05	102,99
603	465	0,003%	618,89	131,37	39,46	248,93	169,25
607	170	0,001%	563,33	129,09	122,54	216,76	90,11
608	150	0,001%	563,33	128,79	33,59	211,56	152,11
609	71	0,000%	563,33	129,00	78,27	214,93	120,98
610	67	0,000%	563,33	131,08	33,91	211,50	150,22
611	1.291	0,007%	563,33	131,29	78,18	214,85	120,38
612	611	0,003%	563,33	131,40	122,09	216,54	90,16
613	217.672	1,236%	563,33	129,00	79,44	214,99	120,13
614	126.127	0,716%	563,33	128,81	36,04	211,87	150,39
615	74.220	0,421%	563,33	129,09	123,02	216,78	89,78
616	1.474.673	8,372%	563,33	131,29	79,51	214,91	119,40
617	595.231	3,379%	563,33	131,40	122,09	216,54	90,15
618	902.353	5,123%	563,33	131,09	34,71	211,61	149,63
632	40	0,000%	618,89	180,25	65,98	218,82	44,67
688	35	0,000%	621,56	179,86	67,12	223,56	44,32
TOTAL	17.615.358	100%					

HRU Desembocadura con plantaciones			Parámetros Hidrológicos - Inicio de la Primavera (2005 - 2013)				
HRU ID	Área (m ²)	% del Área cubierta	PRECIP (mm)	ET (mm)	GWRCH (mm)	SURQ_GEN (mm)	GWQ + LATQ (mm)
414	161.058	0,914%	330,00	114,72	100,20	117,27	156,61
415	209.758	1,191%	330,00	114,40	42,80	116,36	135,62
416	72.645	0,412%	330,00	114,83	151,14	117,90	175,44
417	60.937	0,346%	330,00	71,08	40,85	158,26	122,59
418	57.391	0,326%	330,00	71,68	134,63	159,22	155,23
419	89.674	0,509%	330,00	71,52	93,03	158,82	141,22
420	44.531	0,253%	330,00	76,94	106,05	142,09	159,24
421	229.909	1,305%	330,00	77,13	156,75	142,53	176,64
422	72.326	0,411%	330,00	73,54	279,18	54,71	313,69
578	3.964.412	22,505%	313,89	115,51	96,40	100,77	150,84
579	2.842.455	16,136%	313,89	115,29	44,91	100,00	132,28
580	1.609.625	9,138%	313,89	115,64	145,29	101,37	167,50
581	651.689	3,700%	313,89	73,22	89,85	140,41	138,19
582	485.981	2,759%	313,89	72,91	43,23	139,92	123,11
583	596.761	3,388%	313,89	73,36	133,90	140,82	151,77
584	359.362	2,040%	313,89	78,59	102,73	125,05	154,74
585	1.517.489	8,615%	313,89	78,71	151,22	125,46	170,12
595	217.245	1,233%	313,89	115,64	145,68	101,37	167,59
596	519.974	2,952%	313,89	115,29	44,52	99,99	132,17
597	447.183	2,539%	313,89	115,51	95,84	100,76	150,63
598	243	0,001%	350,11	110,43	167,14	122,27	191,16
599	2.486	0,014%	350,11	110,03	53,66	120,67	153,79
600	2.121	0,012%	350,11	110,30	112,86	121,57	173,58
601	5.245	0,030%	350,11	115,61	111,98	121,16	171,44
602	1.682	0,010%	350,11	115,71	164,99	121,86	189,02
603	465	0,003%	350,11	115,39	51,83	120,23	150,79
607	170	0,001%	313,89	110,26	148,07	101,77	169,94
608	150	0,001%	313,89	109,94	45,29	100,36	134,85
609	71	0,000%	313,89	110,15	97,27	101,15	153,08
610	67	0,000%	313,89	115,29	45,04	100,00	132,33
611	1.291	0,007%	313,89	115,51	95,46	100,76	150,50
612	611	0,003%	313,89	115,64	145,14	101,36	167,43
613	217.672	1,236%	313,89	110,15	98,60	101,17	153,51
614	126.127	0,716%	313,89	109,96	48,18	100,42	135,91
615	74.220	0,421%	313,89	110,26	148,61	101,77	170,10
616	1.474.673	8,372%	313,89	115,51	96,96	100,78	151,04
617	595.231	3,379%	313,89	115,64	145,14	101,36	167,44
618	902.353	5,123%	313,89	115,29	45,98	100,02	132,73
632	40	0,000%	350,11	162,86	122,14	118,42	129,46
688	35	0,000%	353,56	162,52	120,78	123,93	129,86
TOTAL	17.615.358	100%					

ANEXO III: MAPA MICROCUENCAS DE LA CUENCA NONGUÉN

