



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“EVALUACIÓN DEL INGRESO Y EXPORTACIÓN DE NUTRIENTES EN LA
CUENCA DE PÁRAMO ANDINO DEL RÍO QUINUAS”

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR:

DIEGO ESTUARDO PALACIOS MANZANO
C.I 0104411673

DIRECTOR:

ING. PATRICIO JAVIER CRESPO SÁNCHEZ PhD.
C.I 0102572773

CUENCA – ECUADOR
2017



RESUMEN

El sistema de humedales de El Cajas, es el principal proveedor de agua para consumo humano para la ciudad de Cuenca. A pesar de su importancia, hasta el momento, información sobre la influencia del régimen hidrológico y el tipo de uso del suelo en el ingreso y exportación de nutrientes en esta zona de páramo es escasa. Para llenar este vacío de conocimiento, en esta investigación se llevó a cabo un análisis de la variabilidad temporal de nutrientes (nitratos ($\text{NO}_3\text{-N}$) y carbono orgánico total (COT)) en los diferentes tipos de agua (precipitación, caudal y suelos), en la cuenca del Río Quinuas ($91,3 \text{ km}^2$), que está ubicada entre los 3144 - 4429 m s.n.m. al sur del Ecuador. Además, se determinó las tasas de ingreso y exportación de dichos nutrientes. Las muestras de agua han sido colectadas semanalmente, durante el período desde el 14 de enero de 2015 al 28 de diciembre de 2016. Los resultados sugieren: (1) que no existe una clara variación temporal en la concentración de los nutrientes estudiados en la precipitación; (2) la concentración de COT en bosque natural es elevada; (3) la concentración de $\text{NO}_3\text{-N}$ es baja en agua de suelo bajo todas las coberturas estudiadas; (4) la relación entre el caudal y la concentración de nutrientes es significativa para los parámetros estudiados; (5) El $\text{NO}_3\text{-N}$ no presenta variación en el paso por la cuenca estudiada (ingreso y exportación). Estos resultados permiten una mejor comprensión de los procesos de lixiviación de una cuenca de páramo andino.

Palabras clave: Ecuador, páramo, nutrientes, Quinuas, ingreso, exportación, cobertura



ABSTRACT

The wetlands system in El Cajas, is the main supplier of water for human consumption to Cuenca. In spite of its significance, data about the influence of the hydrological regime and type of land use in income and export of nutrients in this paramo area is scarce. In order to fill this knowledge gap, a temporal variability of nutrients (nitrates ($\text{NO}_3\text{-N}$) and total organic carbon (TOC)) analysis was carried out in different types of water (precipitation, stream water and soil water), in the Quinoa River basin (91.3 km^2), which is located between 3144 - 4429 m a.s.l. in southern Ecuador. In addition, the rates of income and export about these nutrients were determined, as well as the balance of the nutrients within the basin. The water samples were collected weekly, during the period from January 14 until 2015 to December 28, 2016. Results suggest: (1) there is no clear temporal variation for the studied nutrient concentrations in precipitation; (2) TOC concentrations in natural forest are high compared to the other transects; (3) $\text{NO}_3\text{-N}$ concentrations were low in the soil water samples under the land cover types studied; (4) the relationship between stream water and nutrient concentration is significant; (5) $\text{NO}_3\text{-N}$ didn't presented variation during the passage through the studied catchment (income and exportation). These results allow a better understanding about leaching processes of Andean paramos.

Keywords: Ecuador, paramo, nutrients, Quinuas, income, export, coverage



Índice

RESUMEN	2
ABSTRACT.....	3
Capítulo 1 Introducción	12
Capítulo 2 Materiales y Métodos	14
2.1 Descripción del área de estudio.....	14
2.2 Sitios de muestreo	17
2.3 Monitoreo y análisis de nutrientes.....	18
2.4 Análisis de la información.	20
2.4.1 Análisis de la variabilidad temporal en la concentración de nutrientes en agua de caudal, lluvia y suelos (perfil vertical).	20
2.4.2 Análisis de los impactos de la cobertura vegetal en la concentración de nutrientes del agua de suelo.....	20
2.4.3 Análisis de la relación entre la concentración de nutrientes vs. Caudal y precipitación	21
2.4.4 Coeficiente de ingreso y exportación de nutrientes.	21
Capítulo 3 Resultados y discusión	22
3.1 Variación temporal de la concentración de nutrientes	22
3.1.1 Variación temporal de la concentración de nutrientes en la precipitación	24
3.1.2 Variación temporal de la concentración de nutrientes en agua de suelo.....	25
3.1.3 Variación temporal de la concentración de nutrientes en el caudal	27
3.2 Impactos de la cobertura vegetal en la concentración de nutrientes del agua de suelo	29



3.2.1 Concentración de COT en agua de suelo en las diferentes coberturas.	29
3.2.2 Concentración de NO ₃ -N en agua de suelo en las diferentes coberturas	30
3.3 Relación entre la concentración de nutrientes vs. Caudal y precipitación ...	32
3.3.1 Relación entre la concentración de nutrientes y la precipitación	33
3.3.2 Relación entre la concentración de nutrientes y el caudal.....	35
3.4 Coeficientes de ingreso y exportación de nutrientes.....	37
Capítulo 4 Conclusiones y recomendaciones	39
Bibliografía	41
ANEXOS.....	46



INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Descripción de los puntos de muestreo.	17
Tabla 2 Valor P de las comparaciones por parejas para la concentración de COT entre el tipo de cobertura terrestre y la profundidad de muestreo.	30
Tabla 3 Valor P de las comparaciones por parejas para la concentración de NO ₃ -N entre el tipo de cobertura terrestre y la profundidad de muestreo.	32
Tabla 4 Coeficiente de ingreso de nutrientes por la precipitación (VWMC)	37
Tabla 5 Coeficiente de exportación de nutrientes en el caudal (FWMC)	38



INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de la cuenca del río Quinuas con los puntos de monitoreo y la ubicación dentro de Ecuador.....	15
Figura 2 Precipitación mensual durante el 14 de enero de 2015 y el 28 de diciembre de 2016 para la cuenca del río Quinuas	23
Figura 3 Concentración de nutrientes en la precipitación.....	25
Figura 4 Concentración de COT en la cobertura del suelo en horizonte orgánico	26
Figura 5 Concentración de NO ₃ -N en la cobertura del suelo en horizonte orgánico	27
Figura 6 Variación temporal de la concentración de COT y NO ₃ -N y el caudal....	28
Figura 7 Concentración de COT en las diferentes coberturas de suelo a diferentes profundidades (tabla 1)	30
Figura 8 Concentración de NO ₃ -N en las distintas coberturas de suelo a tres profundidades (tabla 1)	32
Figura 9 Relación entre la precipitación y la concentración de COT y NO ₃ -N	34
Figura 10 Relación entre la concentración de COT y NO ₃ -N y el caudal	36



Universidad de Cuenca
Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo, Diego Estuardo Palacios Manzano en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "EVALUACIÓN DEL INGRESO Y EXPORTACIÓN DE NUTRIENTES EN LA CUENCA DE PÁRAMO ANDINO DEL RÍO QUINUAS", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 03 de octubre de 2017

Diego Estuardo Palacios Manzano

C.I: 0104411673



Universidad de Cuenca
Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, Diego Estuardo Palacios Manzano, autor del trabajo de titulación "EVALUACIÓN DEL INGRESO Y EXPORTACIÓN DE NUTRIENTES EN LA CUENCA DE PÁRAMO ANDINO DEL RÍO QUINUAS", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 03 de octubre de 2017

Diego Estuardo Palacios Manzano

C.I: 0104411673



DEDICATORIA

Dedico este trabajo primeramente a Dios por permitirme llegar a este momento tan importante en mi formación profesional. A mis padres Estuardo y Diana por todo el apoyo y los consejos brindados para poder realizar de la mejor manera este trabajo. A mis hermanas Diana y Camila por su apoyo incondicional. A mi novia Daniela por estar siempre a mi lado durante este tiempo y alentarme cuando me sentía vencido. Y a todos mis amigos y familiares que de una u otra forma aportaron con un granito de arena para poder llegar a esta meta.

Diego Estuardo Palacios Manzano.

Cuenca, octubre de 2017



AGRADECIMIENTOS

Agradezco de manera especial al Ing. Patricio Crespo, PhD por su dirección y guía, ya que con su conocimiento supo motivarme para la realización de este trabajo de titulación y a los Ingenieros Giovanni Mosquera MSc y Juan Pesantez ya que fueron de gran ayuda estando prestos para resolver dudas e inconvenientes durante la realización de esta investigación. Al personal del Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales de la Universidad de Cuenca. Y a los proyectos: "Desarrollo de indicadores eco-hidrológicos funcionales para evaluar la influencia de las laderas y humedales en una cuenca de páramo húmedo" financiado por la DIUC-Universidad de Cuenca, "Desarrollo de indicadores hidrológicos funcionales para la evaluación del impacto del cambio global en ecosistemas Andinos" financiado por la SENESCYT y DIUC-Universidad de Cuenca y a la German Research Foundation (DFG, BR2238/14-1)

Diego Estuardo Palacios Manzano,
Cuenca, octubre de 2017



Capítulo 1 Introducción

Los ecosistemas de páramo se extienden desde Colombia hasta el norte de Perú; cubren una región con altitudes de alrededor 3500 m s.n.m., sin embargo, las condiciones climáticas, geológicas y antrópicas han llevado este límite hasta los 2800 m s.n.m., límite en el cual ya se puede encontrar páramo en el sur del país (Vásconez & Hofstede 2006). En el Ecuador, la zona de páramo está conformada por valles y planicies de origen glaciar y, cubre el 6% del territorio nacional (Mena et al. 2001).

En la región andina, el rol ambiental, social y económico de los páramos es imprescindible, además de su valor ecológico, científico y genético (Díaz-Granados et al. 2005). Entre los principales servicios ambientales directos está la provisión de agua para consumo humano, es así, que el sistema de humedales del Parque Nacional Cajas es el principal proveedor de agua para consumo humano para la ciudad de Cuenca. Sin embargo, a pesar de los avances en los estudios científicos llevados a cabo en estos ecosistemas; aún existen vacíos científicos en la información del régimen hidrológico, el tipo de uso del suelo y de varios procesos que comprenden indicadores biogeoquímicos (Buytaert et al. 2006; Célleri et al. 2010; Crespo et al. 2011).

Los páramos están constituidos por suelos con altos contenidos de materia orgánica, favoreciendo así la retención de agua. Donde estas propiedades del suelo son responsables de muchos de los servicios ecosistémicos que estos ecosistemas entregan a la sociedad. Sin embargo, son ecosistemas muy sensibles a cambios antropogénicos y del clima, haciendo de los mismos poco resilientes a los impactos globales (Buytaert et al. 2006; Crespo et al. 2010; Crespo et al. 2014; Ochoa et al. 2016).



La investigación sobre el balance y exportación de nutrientes provee información fundamental sobre la alteración antropogénica que afecta un ecosistema, y contribuye a mantener la integridad ecológica a nivel regional (Bücker et al. 2011; Freeman et al. 2007). A pesar de esto, hasta el momento no se ha llevado a cabo una evaluación sobre la influencia del régimen hidrológico y el tipo de uso del suelo en estos procesos. Por estos motivos es imperativo un estudio en este ecosistema, enfocado en identificar las fuentes y mecanismos de control en la entrada y salida de nutrientes de una cuenca (Salmon et al. 2001), así como la cuantificación de su influencia sobre los servicios ambientales que los ecosistemas ofrecen (Watanabe & Ortega 2011). En los últimos años, la agricultura y la ganadería se ha desplazado hacia las partes altas de las montañas, adentrándose en estos ecosistemas, a pesar de los escasos conocimientos que se tienen sobre los efectos que esto puede ocasionar (Quichimbo et al. 2012).

En una cuenca, la dinámica de nutrientes puede ser un indicador del nivel de alteración antropogénica en la misma (Quichimbo et al. 2012; Bücker et al. 2011). La producción de agua en los cauces del páramo se da principalmente por el factor precipitación (Buytaert et al. 2006; Mosquera et al. 2015). Evaluar el ingreso y exportación de nutrientes conjuntamente con el ciclo hidrológico, provee considerables ventajas para la mejor comprensión de los procesos internos que ocurren en las captaciones (Bormann & Likens 2008). Esto incluye, las fuentes de nutrientes como el carbón y el nitrógeno que son parámetros críticos de la calidad de agua. Estos nutrientes pueden indicar perturbaciones como variación de clima y cambio del uso del suelo, además del transporte de algunos metales y contaminantes orgánicos en escalas temporales (Birkel et al. 2014).

Los objetivos específicos del presente trabajo de titulación son: analizar la variabilidad temporal en la concentración de nutrientes en caudal, lluvia y agua de suelos; analizar los impactos de la cobertura vegetal en la concentración de nutrientes del agua de suelo, analizar la relación entre la concentración de



nutrientes vs. caudal y precipitación; y, analizar el ingreso y exportación de nutrientes en la cuenca del río Quinuas.

El estudio se realizó en la cuenca del río Quinuas debido a que es uno de los principales proveedores de agua para la ciudad de Cuenca. Además, la cuenca ha sido elegida por su fácil acceso para instalación, mantenimiento y descarga de equipos, así como para la toma de muestras en los diferentes puntos de monitoreo. Los parámetros usados en este estudio (carbono orgánico total (COT) y nitratos ($\text{NO}_3\text{-N}$)) han sido elegidos ya que son parámetros internacionales para estudiar la calidad ambiental del agua y los procesos hidrogeoquímicos que se desarrollan en las cuencas de aporte.

Capítulo 2 Materiales y Métodos

2.1 Descripción del área de estudio

El presente estudio se realizó en la cuenca del río Quinuas (*Figura 1*), tiene una superficie de 91,3 km². La cuenca está localizada en la zona de humedales del Parque Nacional Cajas, a una distancia aproximada de 25 km al noreste de la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay. Se encuentra en un rango de altitud entre 3144 y 4429 m s.n.m.

Este sistema hidrográfico, aporta con significativos servicios ecológicos a la población, tales como: la dotación de agua para consumo humano, el mantenimiento de ecosistemas de páramo endémicos: flora, fauna, suelos, agua. Es así como esta zona se ha convertido en un atractivo turístico y de interés de conservación ecológico a nivel nacional.

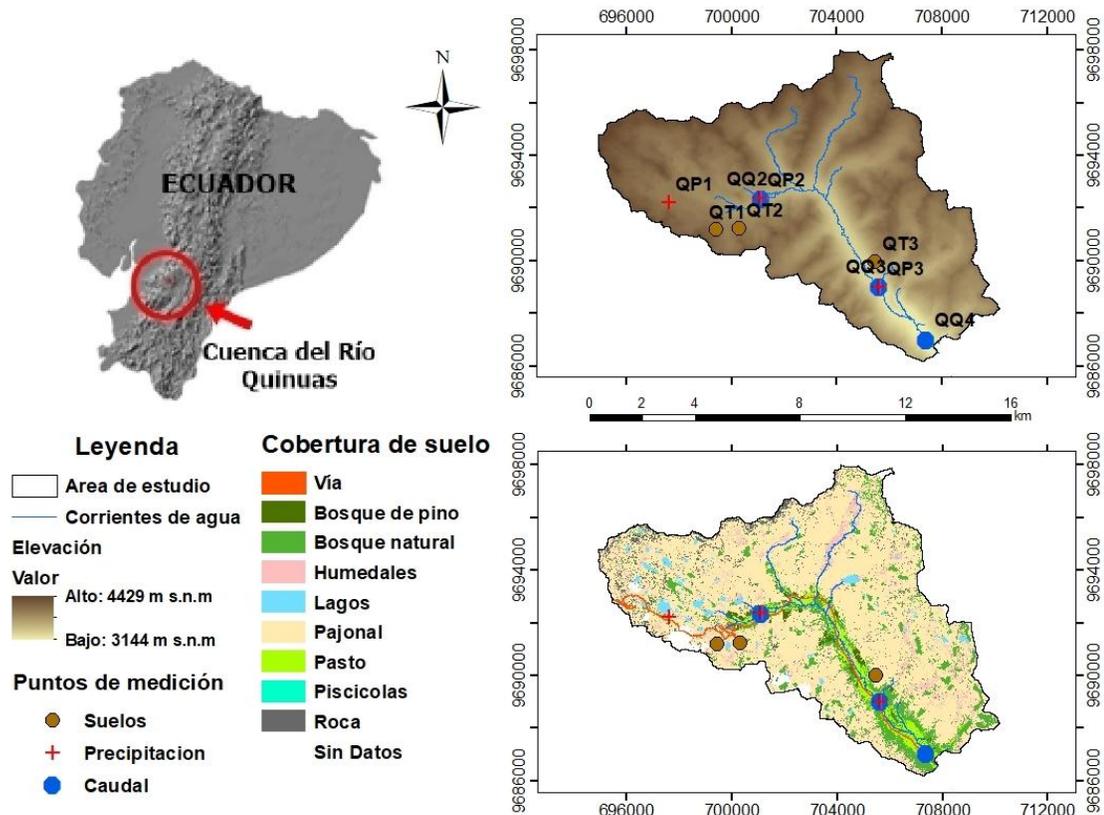


Figura 1 Mapa de la cuenca del río Quinuas con los puntos de monitoreo y la ubicación dentro de Ecuador. 1) Mapa de elevación, 2) Mapa de coberturas de suelo. Datos de GIS provistos por (Schob, 2014). QQ=Caudal; QP= Precipitación; QT=Transecto. Proyección UTM, Datum WGS84, Zona 17s

Según el mapa geológico del Ecuador (1982) del Instituto Geográfico Militar (IGM), Escala 1:100.000, la cuenca del Río Quinuas está formada principalmente por las formaciones Túri y Macuchi; además en la parte central podemos encontrar parte de la formación Tarqui.

Por encima de los 3000 m s.n.m., la geología que se presenta es mayormente lavas, piroclastos, riolíticas, volcánicas andesíticas y tobas. Por debajo de esta altitud, se compone de aluviones, terrazas y tilita. Estos piroclastos se alternan con flujos delgados de composición similar. En la formación predominan flujos de riolita homogénea de grano medio que afloran en la parte superior de valles, formando colinas bajas y bien definidas. La mayoría de las rocas presentan



alteraciones resultantes de procesos metasomáticos e hidrotermales (INIGEMM 1980).

La cobertura de la cuenca está dominada por pajonal donde predomina el *Calamagrotis intermedia* (67.8 %). Además, está cubierta en una pequeña parte por bosque natural y arbustos (12.7%). La vegetación aguas abajo de la cuenca, en algunos lugares ha sido reemplazada por pasto y plantaciones de pino cubriendo en conjunto 5.1 % de la cuenca. El resto de la cuenca (14.4 %) está cubierta por lagos, vías y cobertura rocosa (Schob 2014). En casos en los que los valles son pequeños y con zonas pantanosas e inundadas, el pajonal es reemplazado por almohadón de páramo (Mosquera et al. 2015).

El páramo presenta suelos muy homogéneos (Buytaert et al. 2007) y ricos en materia orgánica, generalmente Andosoles e Histosoles. La zona de estudio presenta horizontes húmicos de más de 50 cm de espesor (Quichimbo et al. 2012).

El clima es húmedo y frío con una baja variabilidad estacional, la temperatura promedio se encuentra entre 6,9 y 8,8 °C (Córdova et al. 2016). Presenta características hidrológicas muy particulares que se manifiestan con la interrelación entre el clima y su capacidad de producción de agua (Mosquera et al. 2015; Vázquez 2010). La precipitación anual puede variar entre 1000 y más de 4000 mm. (Padrón et al. 2015).

Debido a la Zona de Convergencia Intertropical, dos veces al año se generan perturbaciones: nubes, niebla y precipitación (De Bièvre & Acosta 2012). El principal período húmedo lo encontramos de febrero a mayo y uno menos pronunciado en octubre y noviembre. Mientras la estación más fría y seca se presenta de junio a septiembre (Padrón et al. 2015).

2.2 Sitios de muestreo

Para investigar el ingreso y exportación de nutrientes en la cuenca del río Quinuas se establecieron sitios de muestreo en diferentes tipos de agua en la cuenca para el monitoreo de nitrógeno (nitratos, $\text{NO}_3\text{-N}$) y carbono (carbono orgánico total, COT). El muestreo se realizó en distintos puntos ubicados a elevaciones entre 2615 y 4055 m s.n.m. Se tomaron como puntos de referencia tres sitios para caudal, tres sitios para precipitación. Adicionalmente, se implementaron tres transectos, en los cuales se tomaron tres diferentes posiciones (parte alta, media y baja de la ladera) para el monitoreo del agua del suelo, bajo diferentes tipos de cobertura vegetal (pajonal, bosque de pino, pasto y bosque natural). Se instaló un transecto para pajonal y uno para bosque natural (polylepis), un transecto que en la parte alta y media tiene una cobertura de pino y en la parte baja tiene una cobertura de pasto. Estos sitios de muestreo fueron distribuidos como se observa en la *Tabla 1*:

Tabla 1 Descripción de los puntos de muestreo. Leyenda: (Q) Quinuas, (P) Precipitación, (Q) Caudal, (T) Transectos; (Aa) alto alto, (Am) alto medio, (Ab) alto bajo, (Ma) medio alto, (Mm) medio medio, (Mb) medio bajo, (Ba) bajo alto, (Bm) bajo medio, (Bb) bajo bajo, (MAa) medio alto alto, (MAM) medio alto medio, (MAb) medio alto bajo, (MBa) medio bajo alto, (MBm) medio bajo medio, (MBb) medio bajo bajo. Proyección UTM, Datum WGS84, Zona 17s

Descripción	Código	Lugar	Ubicación (m)		Altitud (m s.n.m)	Profundidad (m)
			UTM X	UTM Y		
Precipitación	QP1	Toreadora	697621,959	9692230,07	3962	-
	QP2	Virgen	701109,181	9692380,14	3633	-
	QP3	Chirimachay	705626,005	9689012,18	3314	-
Caudal	QQ2	Virgen	701113,132	9692345,85	3632	-
	QQ3	Chirimachay	705628,996	9689004,98	3315	-
	QQ4	Matadero	707394,194	9686992,17	3198	-
Pajonal	QT1Aa					- 0,10 (s)
	QT1Am		699440,661	9691163,13	4006	- 0,35 (m)
	QT1Ab					- 0,75 (p)
	QT1Ma	Cucheros (pajonal)				- 0,10 (s)
	QT1Mm		699528,978	9691179,58	3958	- 0,35 (m)
	QT1Mb					- 0,75 (p)
	QT1Ba					- 0,10 (s)
	QT1Bm		699613,397	9691192,61	3913	- 0,35 (m)

	QT1Bb					- 0,75 (p)
Bosque natural	QT2Aa					- 0,10 (s)
	QT2Am		700299,5	9691215	3969	- 0,35 (m)
	QT2Ab					- 0,75 (p)
	QT2Ma	Avilahuayco (bosque natural)				- 0,10 (s)
	QT2Mm		700283,5	9691284,5	3926	- 0,25 (m)
	QT2Mb					- 0,50 (p)
	QT2Ba					- 0,10 (s)
	QT2Bm		700269	9691373,2	3881	- 0,25 (m)
	QT2Bb					- 0,50 (p)
	Bosque de pino	QT3Aa				
QT3Am			705476	9689968	3562	- 0,35 (m)
QT3Ab		Pasto y pino				- 0,75 (p)
QT3MAa						- 0,10 (s)
QT3MAm			705365	9689925	3486	- 0,35 (m)
QT3MAb						- 0,75 (p)
QT3MBa					- 0,10 (s)	
Pasto	QT3MBm	Pasto y pino	705269	9689874	3411	- 0,35 (m)
	QT3MBb					- 0,75 (p)

2.3 Monitoreo y análisis de nutrientes

Las muestras en los distintos sitios y transectos se recolectaron con una frecuencia de una vez por semana desde el 14 de enero de 2015 hasta el 28 de diciembre de 2016 en botellas de plástico de cuello ancho de 100 ml. Los datos fueron provistos por el Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales (iDRHICA) de la Universidad de Cuenca.

Para recolectar muestras de lluvia se utilizaron recolectores conformados por un embudo receptor con una pelota plástica y un recolector de polipropileno. Para evitar la evaporación, este recolector fue cubierto con papel aluminio (*Anexo 1*). Estos recolectores, de capacidad de un litro, fueron vaciados y limpiados después de cada muestreo para evitar la contaminación de la muestra. Las muestras de agua de caudal, se recolectaron directamente del cauce de los ríos y quebradas en contracorriente mediante muestras simple (*Anexo 1*).



Para las muestras de agua tomadas en los suelos de los transectos, se utilizaron platos de succión conformados por platos de polipropileno de 30 x 30 cm, conectados por una cuerda de fibra de vidrio (insertada en la tubería de polipropileno) a botellas de vidrio con capacidad de un litro, donde el agua se almacenó hasta su posterior recolección (*Anexo 1*). Estos platos de succión fueron instalados con una succión de al menos 50 cm de columna de agua, mismos que extraen la parte móvil del agua almacenada en el suelo. Para el estudio en suelos se utilizaron los datos de las concentraciones del año 2016 después de tener todos los muestreadores instalados bajo las 4 coberturas de estudio (bosque natural, pajonal, pasto y bosque de pino).

Para la toma de muestras se usaron guantes de nitrilo y se colocó la muestra de agua en botellas de polietileno de alta densidad de 100 ml, las mismas que poseen una tapa interna y externa. Una vez tomada la muestra, las botellas se colocaron en una hielera para su traslado hasta llegar al laboratorio donde fueron almacenadas a -5°C para su posterior análisis.

Para el análisis del $\text{NO}_3\text{-N}$ y COT en todos los sitios de muestreo se usó un espectro lyser UV.vis de marca SCAN (Messetechnik GmbH, Vienna, Austria) con calibración mundial de fábrica ya que no está probado en agua superficial y se encuentra en proceso de calibración (*Anexo 1*). Este equipo es un espectrómetro sumergible para análisis de parámetros múltiples de agua con un rango de medición de ($\text{NO}_3\text{-N}$ 0-10 mg/l y COT 0-50 mg/l) y una precisión de ($\text{NO}_3\text{-N}$ +/- 0.02 mg/l y COT +/- 0.03 mg/l). Los análisis se realizaron en el campo donde se encuentran instalados los equipos y los resultados fueron validados con muestras analizadas en el laboratorio mediante un analizador LiquiTOC (elementar analytics, Hanau, DE).



Para el registro de los datos de lluvia se utilizó un pluviómetro de alta precisión: Tipping Bucket Rain Gage TE525MM marca Texas Electrónica con una resolución de 0,1 mm., y una precisión de $\pm 1\%$ (*Anexo 1*). Estos fueron ubicados junto a los puntos de muestreo de precipitación. Los equipos son calibrados anualmente mediante micropipetas en campo.

Para la medición del nivel de agua se utilizó un sensor ultrasónico: SR50A Sonic Ranging Sensor (Campbell Scientific, Inc. Logan Uthan, USA). Este equipo registra la distancia entre el sensor y la superficie del agua en intervalos de cinco minutos y con una precisión de $\pm 0,4\%$. Para la conversión del nivel de agua en el caudal se construyeron curvas de descarga (*Anexo 2*), para lo cual se realizaron periódicamente aforos usando el método de dilución con NaCl.

2.4 Análisis de la información.

Los datos fueron analizados mediante el software libre para informática y gráficos estadísticos ambientales, (Team R Core, 2017).

2.4.1 Análisis de la variabilidad temporal en la concentración de nutrientes en agua de caudal, lluvia y suelos (perfil vertical).

El análisis de la variabilidad temporal de nutrientes en los diferentes tipos de agua se llevó a cabo mediante la comparación visual de sus concentraciones en relación a la variabilidad temporal de lluvia. El monitoreo se realizó semanalmente entre el 14 de enero de 2015 y el 28 de diciembre de 2016.

2.4.2 Análisis de los impactos de la cobertura vegetal en la concentración de nutrientes del agua de suelo

Inicialmente, se examinó la normalidad de los datos mediante el valor de p con el test de Shapiro ($p > 0,05$). Las diferencias entre coberturas y profundidades de suelo y concentraciones de COT y $\text{NO}_3\text{-N}$ en el agua de suelos uniendo la parte



alta, media y baja de la ladera, se calculó a través del método ANOVA y comparaciones múltiples de prueba t ANOVA + Turkey and Nemenyi.

2.4.3 Análisis de la relación entre la concentración de nutrientes vs. Caudal y precipitación

Para la obtención de un modelo predictivo, se aplicó el análisis de regresión lineal simple, tomando como variable independiente caudal o precipitación, y como variable dependiente la concentración de cada nutriente en este caso caudal y precipitación respectivamente. La teoría de mínimos cuadrados determinó la recta de regresión de mejor ajuste. Para verificar el índice de bondad de ajuste de la recta se usó el coeficiente de determinación (R^2).

En este análisis, tres posibles líneas de tendencia fueron evaluadas: regresión lineal con transformación logarítmica, regresión lineal sin transformación logarítmica y potencial (Ecuaciones 1-3).

Ecuaciones donde a, b y c son los coeficientes ajustados; Q simboliza el caudal o la precipitación; y C, la concentración del nutriente en el caudal o en la precipitación.

$$C = a * Q + b \quad (1)$$

$$C = a * \ln(Q) + b \quad (2)$$

$$C = a * b^Q \quad (3)$$

La prueba t-Student (Montgomery & Runger 2003) estableció una relación estadística entre C y Q, ya que el coeficiente de regresión y el coeficiente de determinación difirieron de cero. Es así como se definió la representación significativa, de entre los modelos de recta analizados, la relación entre el caudal, la precipitación y su concentración como la recta de mejor ajuste. Para el análisis se tomaron en cuenta como significativas las curvas de regresión que mostraron valores de $p < 0.05$.

2.4.4 Coeficiente de ingreso y exportación de nutrientes.

En la ecuación 4 se presenta el método Volume-Weighted Mean Concentration (VWMC) utilizado para calcular los valores anuales medios de ingreso para la concentración de COT y NO₃-N mediante la media ponderada con relación a la precipitación.

El valor del coeficiente anual de ingreso de cada nutriente, se obtuvo mediante el producto de la cantidad anual obtenida en la precipitación a lo largo del período de estudio por el valor de VWMC de cada nutriente.

$$VWMC = \frac{\sum_{i=1}^n C_i * P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (4)$$

Donde:

- P_i representa la precipitación medida en el período de muestreo
- i y C_i representa la concentración del nutriente respectivo en P_i

La ecuación 5 representa el método Flow-Weighted Mean Concentration (FWMC) que fue utilizado para el cálculo de los valores promedio anuales de exportación en los caudales.

El valor del coeficiente anual de exportación se obtuvo mediante el producto del valor total de agua durante el periodo de monitoreo puntos de medición de caudal de cada microcuenca por el respectivo valor de FWMC.

$$FWMC = \frac{\sum_{i=1}^n C_i * Q_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} \quad (5)$$

Donde:

- (C_i) representa la media ponderada entre la concentración de los nutrientes
- (Q_i) representa el caudal instantáneo al momento del muestreo

Capítulo 3 Resultados y discusión

3.1 Variación temporal de la concentración de nutrientes

Durante el periodo de estudio, la precipitación fue (QP1: 963mm; QP2: 861mm; QP3: 1138mm) en 2015 y (QP1: 1047mm; QP2: 919mm; QP3: 1182mm) en 2016. En la *Figura 2* se muestra la precipitación mensual de los sitios de estudio. Durante el tiempo de monitoreo los valores más bajos de precipitación en 2015 se registraron en los meses de agosto (QP1: 33,4 mm., QP2: 29,4 mm., QP3: 45,2 mm.), septiembre (QP1: 34,6 mm., QP2: 24,4 mm., QP3: 40,1 mm.) y diciembre (QP1: 32,8 mm., QP2: 37,8 mm., QP3: 37,8 mm.); mientras que en el 2016 los meses más bajos fueron en julio (QP1: 41,1 mm., QP2: 29,6 mm., QP3: 51,3 mm.) y en agosto (QP1: 25,7 mm., QP2: 22,9 mm., QP3: 42,5 mm.). Los meses más lluviosos en 2015 fueron enero (QP1: 107 mm., QP2: 107,2 mm., QP3: 127,5 mm.) y marzo (QP1: 147,3 mm., QP2: 134,4 mm., QP3: 155,6 mm.); en el año 2016 fueron marzo (QP1: 143,5 mm., QP2: 131,3 mm., QP3: 160,9 mm.) y abril (QP1: 148,4 mm., QP2: 132,6 mm., QP3: 170,8 mm.). Se observa además, que el punto de muestreo Chirimachay (QP3) presenta altos valores de precipitación en los meses de marzo a julio.

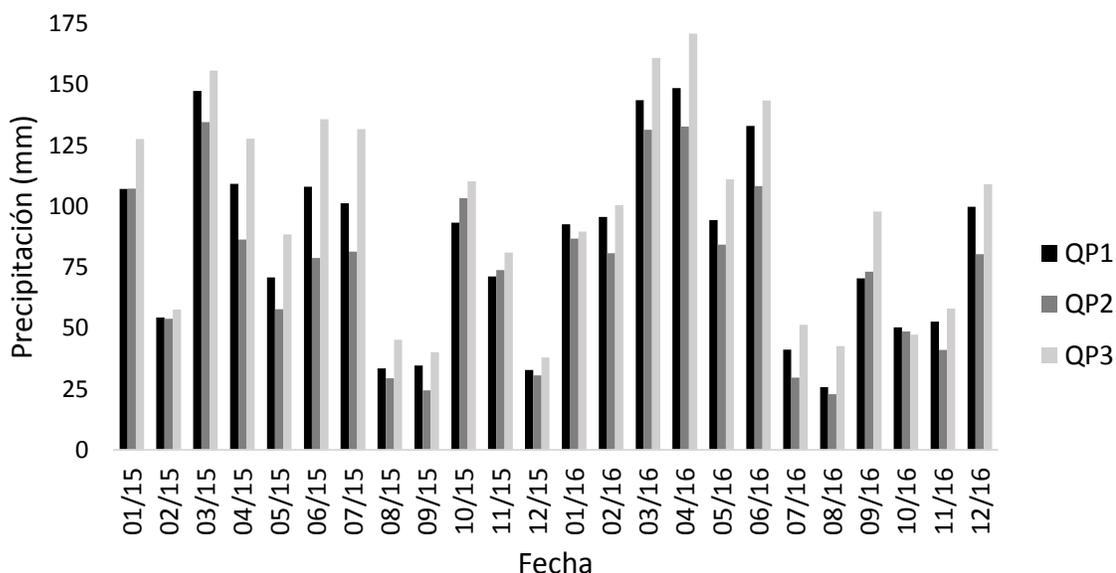


Figura 2 Precipitación mensual durante el 14 de enero de 2015 y el 28 de diciembre de 2016 para la cuenca del río Quinuas



3.1.1 Variación temporal de la concentración de nutrientes en la precipitación

La concentración de nutrientes en la precipitación no presentó variación temporal significativa a excepción del $\text{NO}_3\text{-N}$ en QP3 que si presenta variación temporal significativa. Los valores de la concentración de nutrientes en la precipitación en los distintos puntos de muestreo se observan en la *Figura 3*. Según Goller (2004) en los bosques andinos del sur del Ecuador, la variación temporal de nutrientes se presenta con altas concentraciones en el período seco. Por otro lado, el estudio de Michalzik et al. (2001) determina que existe una relación positiva entre la precipitación y los flujos de carbono y nitrógeno. Estos estudios muestran una clara influencia de la precipitación con relación a la concentración de nutrientes; contrario a lo que sucede con COT en los 3 puntos de muestreo y $\text{NO}_3\text{-N}$ en QP1 y QP2; igual a lo que sucede en $\text{NO}_3\text{-N}$ en QP3 que presenta mayor concentración cuando hay menor precipitación (Goller 2004).

Un factor muy importante a tomar en cuenta es la precipitación horizontal o neblina, cuyos estudios aún no han sido profundizados, sin embargo, podría ser un factor decisivo en cuanto a la hidrología de este ecosistema de páramo; llegando así a la variación en la concentración de nutrientes. Estudios como el de Beiderwieden et al. (2005) presentan incluso mayores concentraciones de estos nutrientes en la neblina que en la precipitación.

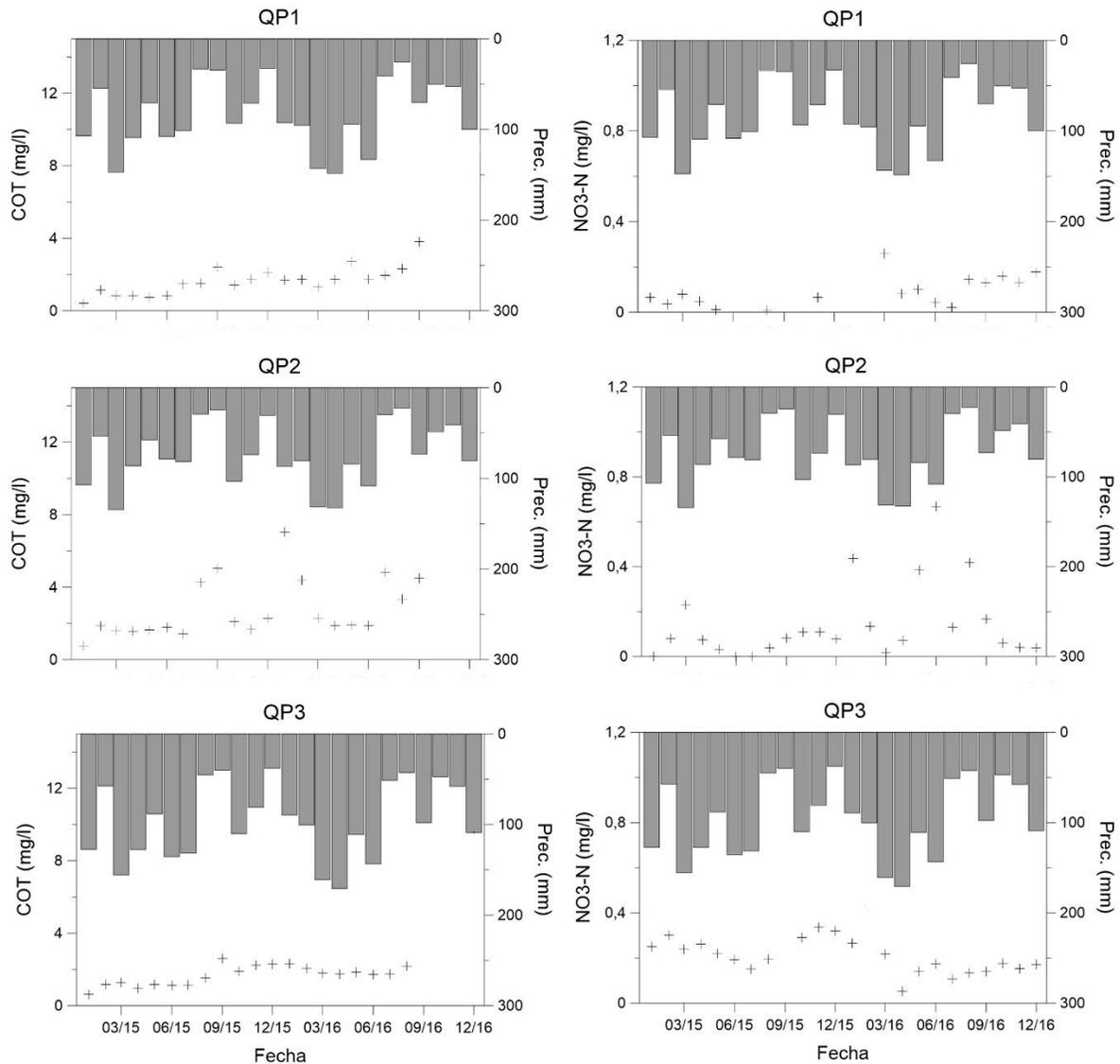


Figura 3 Concentración de nutrientes en la precipitación en QP1: Toreadora; QP2: Virgen y QP3: Chirimachay. Prec.: precipitación

3.1.2 Variación temporal de la concentración de nutrientes en agua de suelo

El análisis de la variación temporal en aguas de suelos se realizó en el año 2016 después de tener todos los muestreadores instalados bajo las 4 coberturas de estudio (bosque natural, pajonal, pasto y bosque de pino). Para la comparación (figura 4) se obtuvo la media de las concentraciones a las tres profundidades de

estudio (Ver tabla 1). A lo largo del período de muestreo, durante el año 2016. La concentración mensual de COT en las coberturas bosque natural y pajonal mostraron comportamientos similares, a excepción de septiembre y octubre, meses en los que se registraron las concentraciones más altas (29,82 mg/l y 29,79 mg/l bosque natural; 14,63 mg/l y 19,39 mg/l pajonal); pasto y bosque de pino registraron sus concentraciones más altas en octubre (46,55 mg/l pasto, 17,52 bosque de pino) y noviembre (32,37 mg/l pasto y 15,42 bosque de pino). Este aumento de las concentraciones se puede atribuir a un incremento de la actividad microbiana por sequía durante esos meses (Ritson et al. 2017).

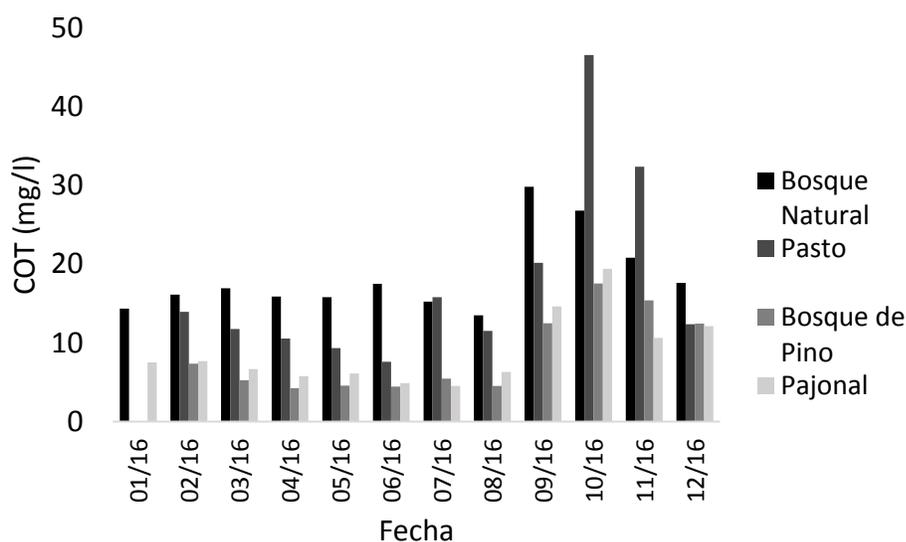


Figura 4 Concentración de COT en la cobertura del suelo en horizonte orgánico, los meses que no presentan barras no registraron valores (Las barras muestran las medias de las concentraciones a las tres profundidades del estudio y en los tres sitios bajo cada una de las coberturas).

Por otro lado, la concentración de $\text{NO}_3\text{-N}$ en los suelos fue variada a lo largo del año; los picos más altos de este parámetro se presentaron bajo la cobertura de bosque de pino en los meses de febrero (3,26 mg/l) y marzo (3,11 mg/l). Los resultados de la concentración de este parámetro en las diferentes coberturas se observan en la *Figura 5*. La variación de concentraciones de $\text{NO}_3\text{-N}$ se puede deber a que, según Salmon et al., (2001), este parámetro presenta independencia al ciclo hidrológico.

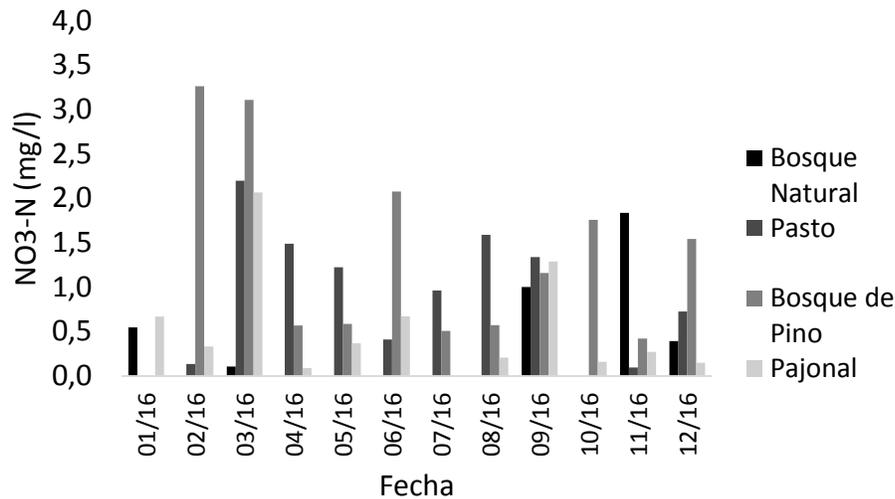


Figura 5 Concentración de $\text{NO}_3\text{-N}$ en la cobertura del suelo en horizonte orgánico, los meses que no presentan barras no registraron valores (Las barras muestran las medias de las concentraciones a las tres profundidades del estudio y en los tres sitios bajo cada una de las coberturas).

3.1.3 Variación temporal de la concentración de nutrientes en el caudal

Los valores de la concentración de nutrientes con respecto al caudal en los distintos puntos monitoreados se observan en la *Figura 6*. Para el COT los meses de marzo a mayo, aquellos con mayor caudal, se registran concentraciones altas. No así para el $\text{NO}_3\text{-N}$, pues los meses con menor caudal son los que registran concentraciones altas.

Para el COT, en los tres puntos (QQ2, QQ3 y QQ4), se pueden apreciar concentraciones constantes en un rango entre 2 y 8 mg/l. Se puede observar un aumento de concentraciones durante flujos altos (*figura 6*) lo que puede estar atribuido a flujos subsuperficiales (cercanos a la superficie) por la capa orgánica de los suelos que es donde existen las mayores concentraciones de carbono en estos ecosistemas (Goller et al. 2006).

Algunos valores de $\text{NO}_3\text{-N}$ en el punto (QQ2) estuvieron fuera del límite de detección del equipo. En los puntos (QQ3) y (QQ4) se presentan picos altos en los meses de caudal más bajos como son enero, noviembre y diciembre de 2016, los

cuales podrían deberse a la remoción del $\text{NO}_3\text{-N}$ percolado a los horizontes más profundos durante flujos bajos (Tamm 1991).

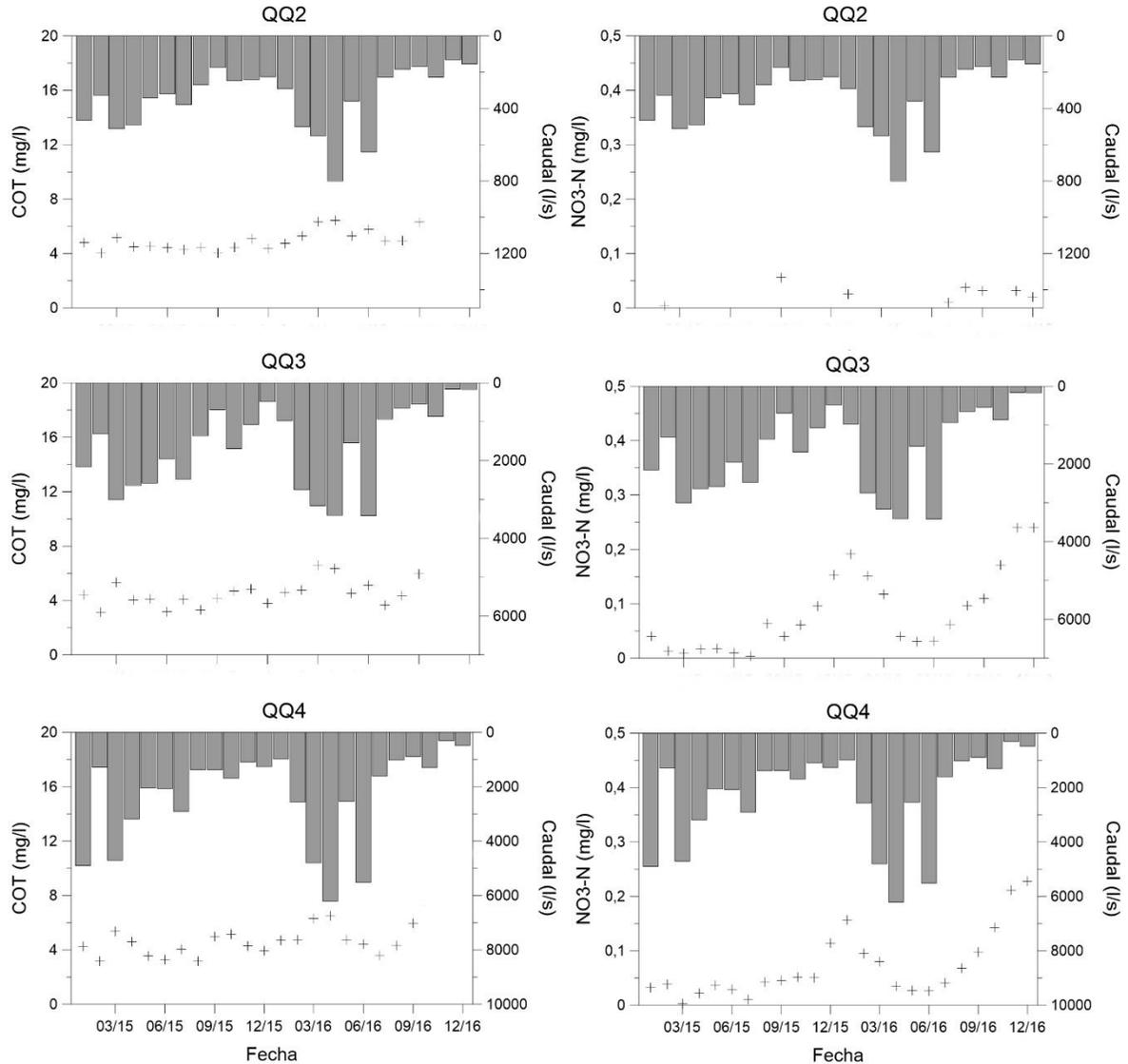


Figura 6 Variación temporal de la concentración de COT y $\text{NO}_3\text{-N}$ y el caudal en QQ2: Virgen; QQ3: Chirimachay y QQ4: Matadero



3.2 Impactos de la cobertura vegetal en la concentración de nutrientes del agua de suelo

3.2.1 Concentración de COT en agua de suelo en las diferentes coberturas

En la *Figura 7* se observan los resultados obtenidos de la concentración de COT en las diferentes profundidades (tabla 1) de las coberturas de suelo: pajonal, bosque natural, bosque de pino y pasto, y a distintos niveles: superficial, medio y profundo.

Como se puede apreciar, existe variación en la concentración media en cada tipo de cobertura, así los valores de pajonal se encuentran entre 4 y 8 mg/l; bosque natural entre 12 y 22 mg/l; bosque de pino entre 3 y 10 mg/l; y pasto entre 8 y 15 mg/l. De esta manera bajo bosque natural se encontraron los valores de concentración de COT más altos presentando diferencias significativas con respecto a pajonal, bosque de pino y pasto (valor de $p < 0.05$) (tabla 2), esto puede deberse a la cantidad de materia orgánica presente (incorporación de hojarasca) en este tipo de cobertura. Suárez et al. (2013), en su estudio encuentran que la concentración de carbono en la cobertura bosque natural es más alta que en las demás, patrón similar al encontrado en esta tesis. De la misma manera en el estudio de Goller et al. (2006) realizado en bosques del Ecuador, en el que las concentraciones de estos nutrientes son altas con respecto a bosque natural. Pinos et al. (2017) en su estudio en bosques naturales encuentra que la incorporación hojarasca contribuye significativamente a los flujos de carbono. En bosque de pino y pajonal los valores menores puede ser atribuidos a la menor producción de hojarasca (Pinos et al. 2017; Ramírez et al. 2014).

Respecto a las diferencias encontradas en las diferentes profundidades bajo las coberturas de estudio no se puede observar un patrón claro. Aunque las diferencias son significativas, no se ha podido encontrar una explicación bio-geoquímica clara, aunque podría deberse a flujos preferenciales del agua de suelo mediante el método de muestreo usado.

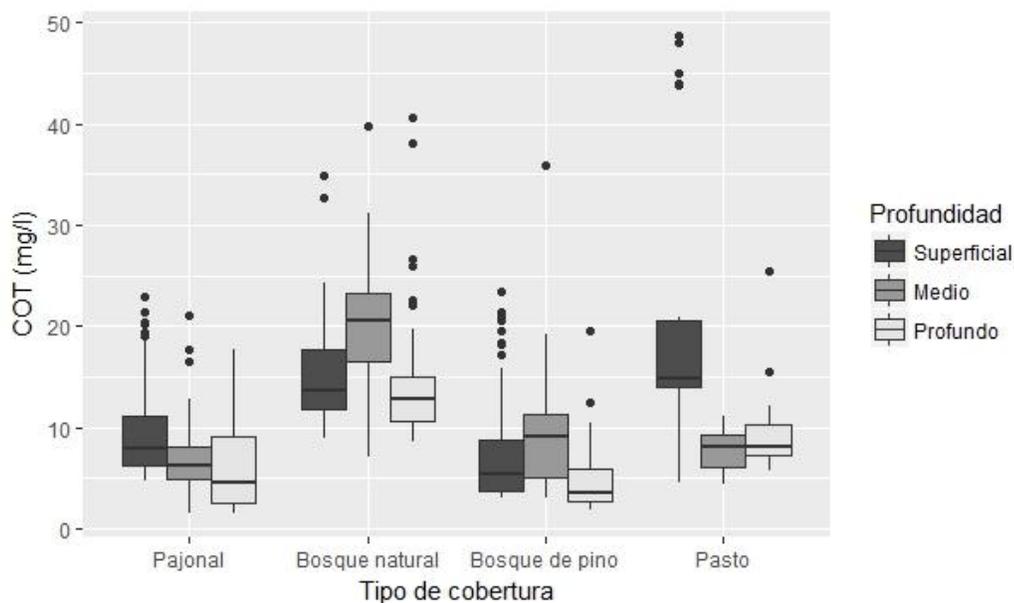


Figura 7 Concentración de COT en las diferentes coberturas de suelo a diferentes profundidades (tabla 1)

Tabla 2 Valor P de las comparaciones por parejas para la concentración de COT entre el tipo de cobertura terrestre y la profundidad de muestreo. Niveles de significación: * 0,01 < p < 0,05, ** 0,001 < p < 0,01 y *** p < 0,001. (s) superficial; (m) medio; y (p) profu

	Bosque natural (s)	Bosque natural (m)	Bosque natural (p)	Pasto (s)	Pasto (m)	Pasto (p)	Bosque de pino (s)	Bosque de pino (m)	Bosque de pino (p)	Pajonal (s)	Pajonal (m)
Bosque natural (m)	0,009 **	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bosque natural (p)	0,999	0,000 ***	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pasto (s)	0,010 *	0,999	0,000 ***	-	-	-	-	-	-	-	-
Pasto (m)	0,001 **	0,000 ***	0,007 **	0,000 ***	-	-	-	-	-	-	-
Pasto (p)	0,006 **	0,000 ***	0,041 *	0,000 ***	0,999	-	-	-	-	-	-
Bosque de pino (s)	0,000 ***	0,000 ***	0,000 ***	0,000 ***	1,000	0,989	-	-	-	-	-
Bosque de pino (m)	0,011 *	0,000 ***	0,069	0,000 ***	0,995	1,000	0,951	-	-	-	-
Bosque de pino (p)	0,000 ***	0,000 ***	0,000 ***	0,000 ***	0,969	0,197	0,489	0,104	-	-	-
Pajonal (s)	0,000 ***	0,000 ***	0,001 **	0,000 ***	0,995	1,000	0,824	1,000	0,012 **	-	-
Pajonal (m)	0,000 ***	0,000 ***	0,000 ***	0,000 ***	1,000	0,896	1,000	0,767	0,931	0,477	-
Pajonal (p)	0,000 ***	0,000 ***	0,000 ***	0,000 ***	1,000	0,718	0,990	0,544	0,998	0,254	1,000

3.2.2 Concentración de NO₃-N en agua de suelo en las diferentes coberturas

Las concentraciones de NO₃-N obtenidas en las diferentes coberturas de suelo se manifiestan en la *Figura 8*. En pajonal, la concentración media es 0,5 mg/l; en bosque natural la concentración es muy baja para ser detectada por el equipo. En bosque de pino la concentración media es 1.3 mg/l y en pasto el valor de la



concentración media es 0.9mg/l. Al comparar estos valores con el estudio realizado por Chapa (2014), en un ecosistema de las mismas características, obtiene valores entre 1,1 y 1,7 mg/l, los valores que se presentan en esta investigación para pajonal, bosque natural y pasto son más bajos, mientras que los obtenidos bajo bosque de pino se encuentran dentro del rango mencionado. Según Nieder & Benbi (2008), concentraciones bajas bajo todas las coberturas podría representar la presencia del proceso de desnitrificación en el suelo. Según Inamdar et al. (2004) los bajos resultados de nitrógeno se deben a la demanda de este nutriente en los períodos de verano para el crecimiento de los ecosistemas.

Con respecto a las concentraciones de $\text{NO}_3\text{-N}$ bajo las diferentes coberturas y a las diferentes profundidades, también se han encontrado diferencias significativas (valor de $p < 0.05$). En la *Tabla 3* se observa que existe diferencia significativa entre las concentraciones de bosque natural con respecto a aquellas bajo bosque de pino y pasto teniendo estas últimas concentraciones significativamente más elevadas de $\text{NO}_3\text{-N}$. McDowell et al. (2004); Oyarzún et al. (1997) en sus estudios en zonas con climas similares a la cuenca estudiada muestran altas concentraciones de $\text{NO}_3\text{-N}$ bajo pasto por el uso de fertilizantes que aportan nitrógeno a los suelos. Parfitt et al. (2003) ha encontrado altas concentraciones de $\text{NO}_3\text{-N}$ atribuido al proceso de nitrificación bajo coberturas de pino y pasto. Quichimbo et al. (2016); Ramírez et al. (2014) encuentran en su estudio alto contenido de nitrógeno en la hojarasca de pino.

Respecto a las diferencias encontradas en las diferentes profundidades bajo las coberturas de estudio no se puede observar un patrón claro. Aunque las diferencias son significativas, no se ha podido encontrar una explicación bio-geoquímica clara, aunque podría deberse a flujos preferenciales del agua de suelo mediante el método de muestreo usado.

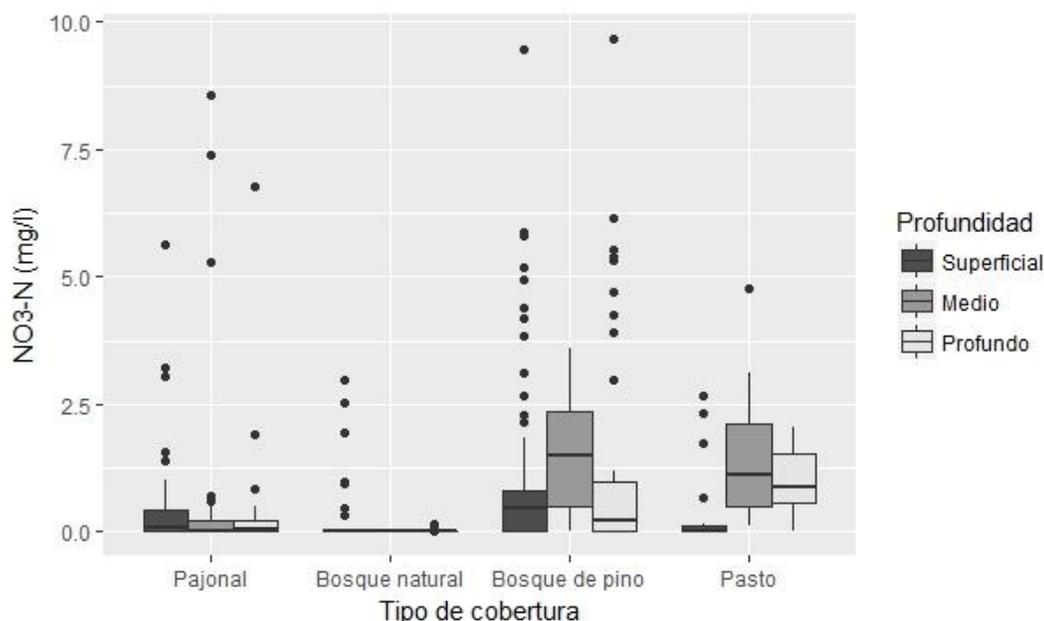


Figura 8 Concentración de NO₃-N en las distintas coberturas de suelo a tres profundidades (tabla 1)

Tabla 3 Valor P de las comparaciones por parejas para la concentración de NO₃-N entre el tipo de cobertura terrestre y la profundidad de muestreo. Niveles de significación: * 0,01 < p < 0,05, ** 0,001 < p < 0,01 y *** p < 0,001. (s) superficial; (m) medio; y (p) pro

	Bosque natural (s)	Bosque natural (m)	Bosque natural (p)	Pasto (s)	Pasto (m)	Pasto (p)	Bosque de pino (s)	Bosque de pino (m)	Bosque de pino (p)	Pajonal (s)	Pajonal (m)
Bosque natural (m)	0.999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bosque natural (p)	0.999	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pasto (s)	1.000	0.996	0.996	-	-	-	-	-	-	-	-
Pasto (m)	0,042 *	0,004 **	0,004 **	0.186	-	-	-	-	-	-	-
Pasto (p)	0.501	0.111	0.093	0.858	0.983	-	-	-	-	-	-
Bosque de pino (s)	0.072	0,001 **	0,001 **	0.549	0.951	1.000	-	-	-	-	-
Bosque de pino (m)	0,005 **	0,000 ***	0,000 ***	0.073	1.000	0.964	0.862	-	-	-	-
Bosque de pino (p)	0,003 **	0,000 ***	0,000 ***	0.087	1.000	0.994	0.949	1.000	-	-	-
Pajonal (s)	1.000	0.893	0.869	1.000	0.098	0.769	0.176	0,016 *	0,009 **	-	-
Pajonal (m)	0.997	0.727	0.685	1.000	0.214	0.932	0.532	0.060	0.053	1.000	-
Pajonal (p)	1.000	0.989	0.988	1.000	0.088	0.706	0.207	0,018 *	0,014 *	1.000	1.000

3.3 Relación entre la concentración de nutrientes vs. Caudal y precipitación

Para establecer la relación entre la concentración de nutrientes y la precipitación y el caudal se realizó el análisis de regresión con tres modelos: lineal, logarítmico y



exponencial. En las *Figuras 9 y 10* se presentan los coeficientes de determinación que definen la mejor correlación en cada punto de muestreo.

3.3.1 Relación entre la concentración de nutrientes y la precipitación

Con respecto a la concentración de COT, en la *Figura 9*, se observa que en los tres puntos de muestreo la tendencia es inversamente proporcional (valor de $p < 0.05$); es decir, mientras aumenta la precipitación, la concentración de nutrientes disminuye.

En relación al $\text{NO}_3\text{-N}$ respecto a la precipitación en QP1 y QP2, no se encontró correlación entre cantidad de precipitación y concentración (*figura 9*) debido a una posible independencia del $\text{NO}_3\text{-N}$ con el ciclo hidrológico (Salmon et al. 2001), en relación al punto de muestreo (QP3), la concentración de este nutriente disminuye con el aumento en la cantidad de precipitación.

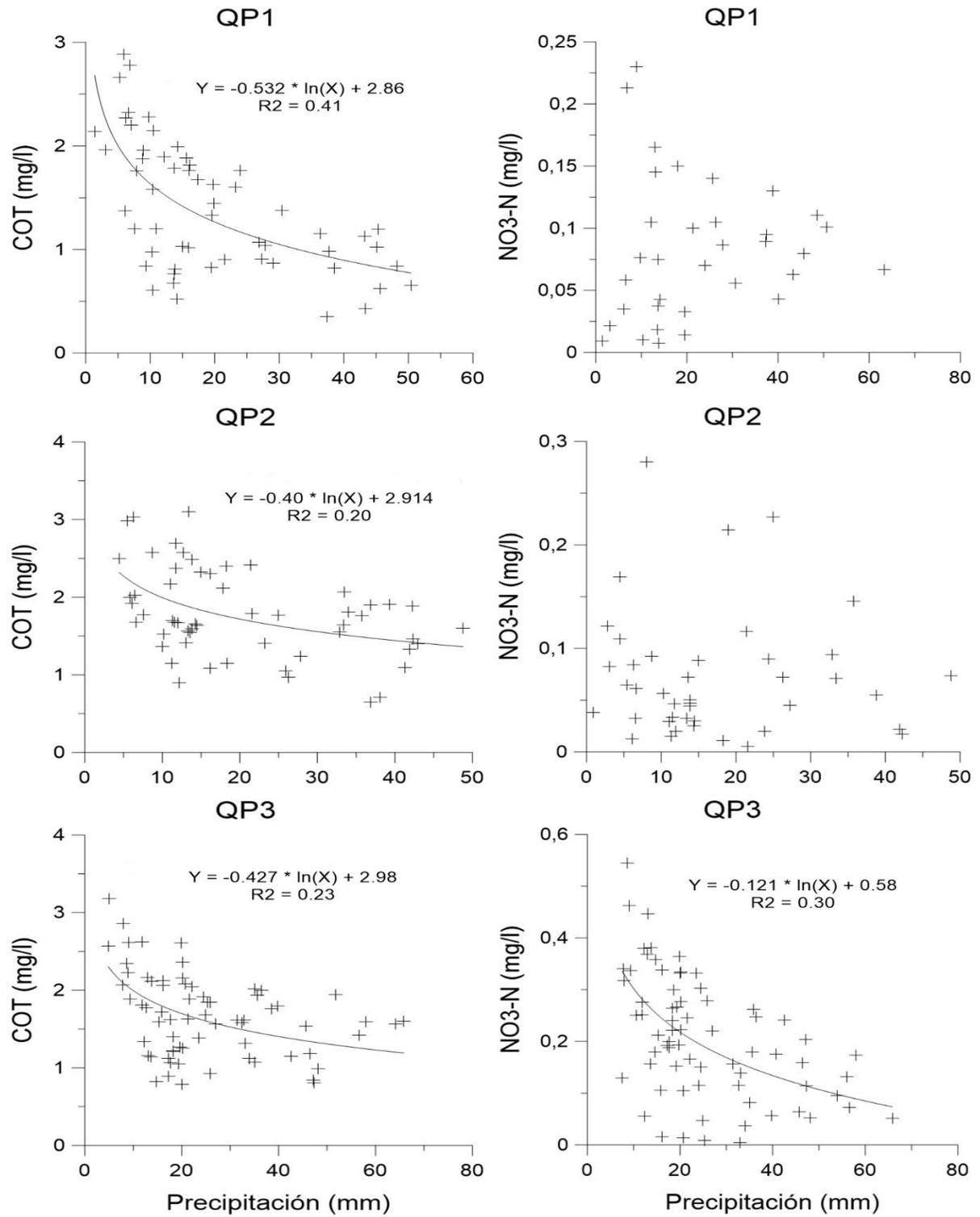


Figura 9 Relación entre la precipitación y la concentración de COT y NO₃-N en QP1: Toreadora; QP2: Virgen y QP3: Chirimachay



3.3.2 Relación entre la concentración de nutrientes y el caudal

Como se puede observar en la *Figura 10*, las concentraciones medias de COT en caudales altos fueron de 7mg/l, en caudales medios de 5 mg/l, y en caudales bajos de 4 mg/l, resultados que concuerdan con lo dicho por Bücken et al., (2011), que establecen un incremento significativo en la concentración de COT en cuencas de bosques andinos con caudales altos en diferentes usos de suelo. El flujo pistón definido por Salmon et al., (2001) se refiere al incremento de la concentración de nutrientes como consecuencia del aumento del caudal.

Con respecto al $\text{NO}_3\text{-N}$, en QQ2 se podría decir que no existe correlación entre la concentración de nutrientes y el caudal debido a una independencia del mismo al caudal (Recha et al. 2013). Mientras que en QQ3 y QQ4 disminuye la concentración al aumentar el caudal diferente a los resultados de Rainer Goller, (2004) que dice que hay altos niveles de $\text{NO}_3\text{-N}$ en caudales altos. Esto podría deberse a la remoción del $\text{NO}_3\text{-N}$ percolado a los horizontes más profundos durante flujos bajos (Tamm 1991).

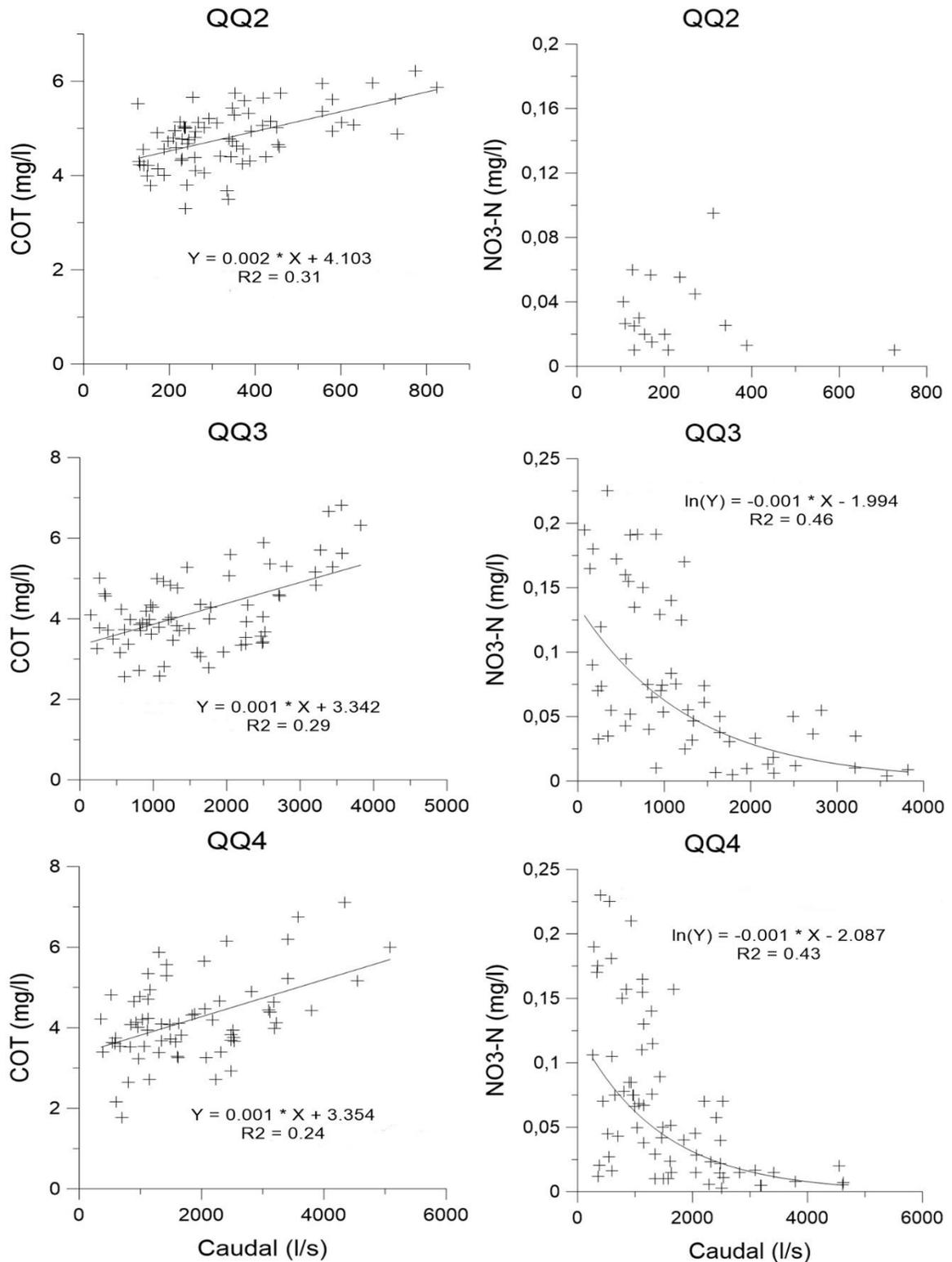


Figura 10 Relación entre la concentración de COT y NO₃-N y el caudal en QQ2: Virgen; QQ3: Chirimachay y QQ4: Matadero

3.4 Coeficientes de ingreso y exportación de nutrientes

El método VWMC fue utilizado para calcular los coeficientes de ingreso de nutrientes (tabla 4). En general mientras que no se encontraron diferencias notables entre los tres puntos de monitoreo, los valores de VWMC así como coeficiente de ingreso fueron más altos en el año 2016 (para COT 3.2 mg/l y 29.5 kg/año/ha; para NO₃-N 0.094 mg/l y 0.9 kg/año/ha respectivamente) que en el año 2015 (para COT 1.4 mg/l y 12.2 kg/año/ha; para NO₃-N 0.093 mg/l y 0.9 kg/año/ha respectivamente). Goller et al. (2006), muestra valores de carbono superiores (4 - 4.5 mg/l) en bosques andinos al sur del Ecuador, a los obtenidos en esta investigación (1 - 3.8 mg/l). Con respecto a la variación entre los dos años de estudio a partir de los datos disponibles para esta tesis no se encontró una explicación clara, sin embargo, podría deberse a flujos predominantes de proveniencia de vientos (Emck 2007; Windhorst et al. 2013). En el caso de NO₃-N, los valores de VWMC que presenta Wilcke et al. (2001) en su investigación son parecidos a los obtenidos en este estudio (menores a 0,2 mg/l).

Tabla 4 Coeficiente de ingreso de nutrientes por la precipitación (VWMC)

			(QP1)	(QP2)	(QP3)
VWMC (mg/l)	2015	COT	1.088	1.742	1.287
		NO ₃ -N	0.020	0.043	0.219
	2016	COT	2.612	3.847	3.084
		NO ₃ -N	0.079	0.088	0.112
COEFICIENTE INGRESO (kg/año/ha)	2015	COT	9.008	14.629	12.814
		NO ₃ -N	0.162	0.362	2.176
	2016	COT	24.113	29.668	34.867
		NO ₃ -N	0.732	0.675	1.272

El método FWMC fue utilizado para calcular los coeficientes de exportación de nutrientes (tabla 5). En general mientras que no se encontraron diferencias notables entre los tres puntos de monitoreo, los valores de FWMC así como

coeficiente de exportación fueron más altos en el año 2016 (para COT 6.2 mg/l y 46.8 kg/año/ha; para NO₃-N 0.08 mg/l y 0.6 kg/año/ha respectivamente) que en el año 2015 (para COT 4.6 mg/l y 32.4 kg/año/ha; para NO₃-N 0.02 mg/l y 0.12 kg/año/ha respectivamente). Con respecto a la variación entre los dos años de estudio a partir de los datos disponibles para esta tesis no se encontró una explicación clara, sin embargo, podría deberse a flujos predominantes de proveniencia de vientos (Emck 2007; Windhorst et al. 2013). Boy et al. (2008) presenta resultados para COT entre 39 y 71 kg/año/ha, y NO₃-N menores a 1,4 kg/año/ha, en este estudio para COT en el año 2016 presenta valor dentro del rango mientras que en el año 2015 presenta un menor valor, y para NO₃-N los resultados fueron siempre menores. Se puede ver una tendencia que refleja el ingreso en la exportación.

Tabla 5 Coeficiente de exportación de nutrientes en el caudal (FWMC)

			(QQ2)	(QQ3)	(QQ4)
FWMC (mg/l)	2015	COT	4.657	4.477	4.795
		NO ₃ -N	0.001	0.021	0.025
	2016	COT	6.166	6.027	6.296
		NO ₃ -N	0.124	0.065	0.054
COEFICIENTE EXPORTACION (kg/año/ha)	2015	COT	25.150	33.032	39.074
		NO ₃ -N	0.006	0.152	0.201
	2016	COT	37.500	43.842	59.299
		NO ₃ -N	0.755	0.474	0.509



Capítulo 4 Conclusiones y recomendaciones

Esta investigación tuvo como fin, estudiar el proceso de ingreso y exportación de nutrientes (COT y $\text{NO}_3\text{-N}$) en una cuenca de páramo andino: la cuenca del Río Quinuas. Al tener pocos estudios similares en este campo, fue muy importante realizar esta investigación para sentar un precedente sobre los ciclos de estos elementos en el área estudiada.

Por lo mismo, luego de haber realizado este estudio podemos llegar a las siguientes conclusiones:

- No se encontró variación temporal en la precipitación con respecto a la concentración de nutrientes. Así también, se pudo comprobar que la concentración de COT y $\text{NO}_3\text{-N}$ en la precipitación no está relacionada con la intensidad de la misma. Así podemos concluir que la presencia de $\text{NO}_3\text{-N}$ y COT es un proceso independiente de la cantidad de precipitación.
- Con relación al caudal, los valores de concentración de COT fueron mayores durante los meses con mayor caudal. No así para el $\text{NO}_3\text{-N}$, pues los meses con menor caudal fueron en los que se registraron las concentraciones más elevadas. Concluyendo que hay relación entre el caudal y la concentración de estos nutrientes.
- Con respecto a la concentración de nutrientes en las diferentes coberturas, la concentración de COT en bosque natural es la más alta mientras que la menor concentración presenta el pajonal y bosque de pino, atribuido posiblemente a las diferencias en la incorporación de hojarasca bajo estas coberturas. Mientras que las bajas concentraciones de $\text{NO}_3\text{-N}$ en los puntos de muestreo pueden representar procesos de desnitrificación.
- El $\text{NO}_3\text{-N}$ tiene independencia en cuanto a la cantidad de lluvia y el caudal con concentraciones similares durante el período de estudio y sin presentar variación en el paso por la cuenca estudiada (ingreso y exportación).



Gracias a los resultados obtenidos, nos permitimos recomendar:

- Profundizar en estos procesos hidrológicos.
- Es necesario, por ejemplo, una investigación más a fondo sobre los efectos de variables meteorológicas en las concentraciones de nutrientes en los diferentes tipos de agua en estos ecosistemas.
- Analizar el ingreso de nutrientes a través de la neblina para obtener valores más reales del ingreso de nutrientes en la precipitación.
- Repetir los análisis cuando el equipo de medición de los parámetros este calibrado.
- Mantener monitoreos de calidad de agua con la finalidad de realizar comparaciones con estos resultados y analizar efectos de cambio climático en estos ecosistemas sumamente sensibles y de gran importancia para la población que depende de los mismos.



Bibliografía

- Beiderwieden, E., Wrzesinsky, T. & Klemm, O., 2005. Chemical characterization of fog and rain water collected at the eastern Andes cordillera. *Chemical characterization of fog and rain water collected at the eastern Andes cordillera. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, European Geosciences Union*, pp.863–885.
- De Bièvre, B. & Acosta, L., 2012. Ecosistemas altoandinos, cuencas y regulación hídrica. *Consortio para el Desarrollo Sostenible en la Ecorregión Andina*.
- Birkel, C., Soulsby, C. & Tetzlaff, D., 2014. Integrating parsimonious models of hydrological connectivity and soil biogeochemistry to simulate stream DOC dynamics. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, pp.1030–1047.
- Bormann, F. & Likens, G., 2008. Environmental challenges in the Twenty-First Century and our respect for nature. *Blue Planet Prize Commemorative Lecture*.
- Boy, J., Valarezo, C. & Wilcke, W., 2008. Water flow paths in soil control element exports in an Andean tropical montane forest. *European Journal of Soil Science*, 59(December), pp.1209–1227.
- Bücker, A. et al., 2011. Solute behaviour and export rates in neotropical montane catchments under different land-uses. *Journal of Tropical Ecology*, 27, pp.305–317.
- Buytaert, W. et al., 2006. Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews*, 79, pp.53–72.
- Buytaert, W. et al., 2006. Spatial and temporal rainfall variability in mountainous areas: A case study from the south Ecuadorian Andes. *Journal of hydrology*, 329, pp.413–421.
- Buytaert, W., Deckers, J. & Wyseure, G., 2007. Regional variability of volcanic ash soils in south Ecuador: The relation with parent material, climate and land use. *Catena*, 70, pp.143–154.
- Céleri, R. et al., 2010. Understanding the hydrology of tropical Andean



- ecosystems through an Andean Network of Basins. *Status and Perspectives of Hydrology in Small Basins.*, 336, pp.209–212. Available at: http://www.condesan.org/portal/sites/default/files/publicaciones/archivos/celleri-et-al-2009-understanding_the_hydrology_of_tropical_andean_ecosystems.pdf%5Cpapers3://publication/uuid/F6895968-C318-464B-BD03-8D7C8B83EB2A.
- Chapa, F., 2014. *Evaluación de la Lixiviación de nutrientes en la cuenca de Páramo Andino del Río Zhuruçay.*
- Córdova, M. et al., 2016. Near-Surface Air Temperature Lapse Rate Over Complex Terrain in the Southern Ecuadorian Andes: Implications for Temperature Mapping Near-surface air temperature lapse rate over complex terrain in the Southern Ecuadorian Andes: implications for temperatu. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 48(4), pp.678–684.
- Crespo, P. et al., 2011. Identifying controls of the rainfall–runoff response of small catchments in the tropical Andes (Ecuador). *Journal of Hydrology*, 401, pp.164–174.
- Crespo, P. et al., 2014. Impactos del cambio de uso de la tierra sobre la hidrología de los páramos húmedos andinos. *Avances En Investigación Para La Conservación de Los Páramos Andinos. CONDESAN*, pp.288–304.
- Crespo, P. et al., 2010. Land use change impacts on the hydrology of wet Andean páramo ecosystems. *Status and Perspectives of Hydrology in Small Basins*, 336, pp.71–76.
- Díaz-Granados, M.A., Navarrete, J.D. & Suárez, T., 2005. Páramos: Hidrosistemas Sensibles. *Revista de ingeniería.*
- Emck, P., 2007. A climatology of south Ecuador-with special focus on the major Andean ridge as Atlantic-Pacific climate divide.
- Freeman, M.C., Pringle, C.M. & Jackson, C.R., 2007. Hydrologic connectivity and the contribution of stream headwaters to ecological integrity at regional scales. *Journal of the American Water Resources Association*, 43(1), pp.5–14.
- Goller, R., 2004. *Biogeochemical Consequences of Hydrologic Conditions in a*



Tropical Montane Rain Forest in Ecuador.

- Goller, R. et al., 2006. Dissolved nitrogen , phosphorus , and sulfur forms in the ecosystem fluxes of a montane forest in Ecuador. *Biogeochemistry*, 77, pp.57–89.
- Inamdar, S.P., Christopher, S.F. & Mitchell, M.J., 2004. Export mechanisms for dissolved organic carbon and nitrate during summer storm events in a glaciated forested catchment in New York , USA. *Hydrological Processes*, 2661(3), pp.2651–2661.
- INIGEMM, 1980. Instituto Nacional de Investigación Geológica Minero Metalúrgico. Available at: <http://www.inigemm.gob.ec/>.
- McDowell, W.H. et al., 2004. Effects of chronic nitrogen amendment on dissolved organic matter and inorganic nitrogen in soil solution. *Forest Ecology and Management*, 196, pp.29–41.
- Mena, P., Medina, G. & Hofstede, R.G.M., 2001. Los páramos del Ecuador: particularidades, problemas y perspectivas.
- Michalzik, B. et al., 2001. Fluxes and concentrations of dissolved organic carbon and nitrogen – a synthesis for temperate forests. *Biogeochemistry*, 52, pp.173–205.
- Montgomery, D.C. & Runger, G.C., 2003. *Applied statistics and probability for engineers*. John Wiley & Sons.,
- Mosquera, G.M. et al., 2015. Runoff from tropical alpine grasslands increases with areal extent of wetlands. *Catena*, 125, pp.120–128. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2014.10.010>.
- Nieder, R. & Benbi, D.K., 2008. *Carbon and nitrogen in the terrestrial environment*.,
- Ochoa, B.F. et al., 2016. Impacts of land use on the hydrological response of tropical Andean catchments. *Hydrological Processes*, 30, pp.4074–4089.
- Oyarzún, C.E., Campos, H. & Huber, A., 1997. Exportación de nutrientes en microcuencas con distinto uso del suelo en el sur de Chile. *Revista Chilena Historia Natural*, 70, pp.507–519.
- Padrón, R.S. et al., 2015. Rainfall in the Andean Páramo: new insights from high-



- resolution monitoring in Southern Ecuador. *Journal of Hydrometeorology*, 16, pp.985–996.
- Parfitt, R.L. et al., 2003. Land-use change effects on soil C and N transformations in soils of high N status: comparisons under indigenous forest, pasture and pine plantation. *Biogeochemistry*, (1999), pp.203–221.
- Pinos, J. et al., 2017. Leaf Litterfall and Decomposition of *Polylepis reticulata* in the Treeline of the Ecuadorian Andes. *Mountain Research and Development*, 37(1), pp.87–96.
- Quichimbo, P. et al., 2012. Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: páramo de Quimsacocha al sur del Ecuador. *Suelos Ecuatoriales*, 42(2), pp.138–153.
- Quichimbo, P. et al., 2016. Litterfall production under pine plantations in the southern Andes region of Ecuador. , pp.14–25.
- Ramírez, J.A., Craven, D. & Herrera, D.A., 2014. Effects on nutrient cycling of conifer restoration in a degraded tropical montane forest. *Plant and soil*, 378, pp.215–226.
- Recha, J.W. et al., 2013. Stream water nutrient and organic carbon exports from tropical headwater catchments at a soil degradation gradient. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 95(2), pp.145–158.
- Ritson, J.P. et al., 2017. The effect of drought on dissolved organic carbon (DOC) release from peatland soil and vegetation sources. *Biogeosciences Discussions*.
- Salmon, C.D. et al., 2001. Hydrological controls on chemical export from an undisturbed old- growth Chilean forest. *Journal of Hydrology*, 253, pp.69–80.
- Schob, S., 2014. *Concentration-Discharge Hysteresis Effects of BOD, COD, Nitrate and Turbidity during Storm Flow Events in the Paramo of Southern Ecuador*.
- Suárez, E. et al., 2013. Influencia de los tipos de vegetación y la cubierta de tierra en la capacidad de infiltración del agua en el suelo en un ecosistema de páramo de gran altitud. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 5(1).



- Tamm, C.O., 1991. *Nitrogen in Terrestrial Ecosystems*,
- Team, R.C., 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing.
- Vásconez, P.M. & Hofstede, R., 2006. Los páramos ecuatorianos. *Botánica económica de los Andes Centrales. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz*.
- Vázquez, R.F., 2010. Modelación hidrológica de una microcuenca Altoandina ubicada en el Austro Ecuatoriano. *Maskana*, 1(1), pp.79–90.
- Watanabe, M.D.B. & Ortega, E., 2011. Ecosystem services and biogeochemical cycles on a global scale: valuation of water, carbon and nitrogen processes. *Environmental Science and Policy*, 14(6), pp.594–604. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2011.05.013>.
- Wilcke, W. et al., 2001. Change in water quality during the passage through a tropical montane rain forest in Ecuador. *Biogeochemistry*, 55(1), pp.45–72.
- Windhorst, D. et al., 2013. Impact of elevation and weather patterns on the isotopic composition of precipitation in a tropical montane rainforest. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17, pp.409–419.

ANEXOS

Anexo 1 Fotografías del proyecto



Recolector de agua de precipitación



Recolección de muestras de agua de caudal



Recolector de agua de suelos



Spectro lyser UV.vis (SCAN)



Pluviómetro Tipping Bucket Rain Gage TE525MM marca Texas Electrónica

Anexo 2 Ecuación y coeficiente de determinación (R^2) de las diferentes curvas de descarga

Punto de caudal	Ecuación	R^2
(QQ2) Virgen	$y = 0.044 x^{2.7944}$	0.99
(QQ3) Chirimachay	$y = 6E-06 x^{4.8137}$	0.89
(QQ4) Matadero	$y = 0.0465 x^{2.6514}$	0.99