

UCUENCA

Facultad de Ciencias Químicas
Carrera de Ingeniería Ambiental

**IDENTIFICACIÓN DE LOS CONTROLADORES HIDROMETEOROLÓGICOS EN LA
CONCENTRACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO DISUELTO (COD) EN HUMEDALES DEL
PÁRAMO DEL NORTE DE ECUADOR**

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniero Ambiental

Autores:

Christian Ricardo Naranjo Ulloa

CI: 0106443898

christian.naranjo2015@gmail.com

Andrea Marcela Calle Cabrera

CI: 0105769525

carocallek@gmail.com

Director:

Ing. Patricio Javier Crespo Sánchez, PhD

CI: 0102572773

Tutor:

Ing. Juan Patricio Pesántez Vallejo, MSc.

CI: 0104894530

Cuenca - Ecuador

12 - octubre - 2022

RESUMEN

Los humedales de alta montaña son ecosistemas que se encargan de regular el agua atribuida en parte a las elevadas concentraciones de Carbono Orgánico Disuelto (COD). Estas características usualmente están asociadas a los factores hidro climáticos y la presencia de materia orgánica en sus suelos. Sin embargo, las diferentes actividades antrópicas han venido alterando la composición y estructura de los humedales, influyendo negativamente en la dinámica e interacción del carbono. En este contexto, el presente estudio tuvo como finalidad identificar qué factores hidrometeorológicos y de qué manera controlan las concentraciones de COD en los humedales del páramo Andino del Norte de Ecuador. En principio se realizó un análisis de las características intrínsecas de cada humedal. Posteriormente, se analizó la calidad de los datos hidrometeorológicos y el relleno de datos faltantes con estaciones cercanas al sitio de estudio. Con el conjunto de datos examinados se obtuvieron las condiciones antecedentes en diferentes periodos de tiempo a la toma de muestra del COD. Con estas condiciones se realizaron análisis estadísticos (p.e.: regresiones y correlaciones) con el fin de identificar los principales factores hidrometeorológicos y cómo controlan la concentración de COD en los diferentes humedales. Los resultados mostraron que las mejores correlaciones fueron para el caudal y precipitación en todos los humedales (excepción del humedal Jatunhuaycu: correlaciones bajas, para precipitación). A diferencia de los parámetros climáticos, donde las correlaciones presentaron variaciones en la mayoría de las condiciones antecedentes y durante la comparación entre humedales. Con lo anterior, se puede decir que los hallazgos contribuirían a tomar decisiones importantes relacionadas a la conservación de los humedales, calidad de agua y balance de carbono en estos ecosistemas de gran importancia.

Palabras clave: Páramo del Norte. Humedales. Turberas. Carbono orgánico disuelto. COD. Variables hidrometeorológicas. Factores controladores. Análisis de correlación.

ABSTRACT

High mountain wetlands are ecosystems responsible for water regulation, partly attributed to high levels of dissolved organic carbon (DOC). These features are typically associated with hydroclimatic factors and the presence of organic matter in their soils. However, different human activities have modified the composition and structure of wetlands, adversely affecting the dynamics and interaction of carbon. In this context, the aim of this study was to identify what hydrometeorological factors and how they control COD concentrations in the Andean paramo wetlands of northern Ecuador. In principle, each wetland was analysed for its intrinsic characteristics. Afterwards, the quality of the hydrometeorological data and the filling of the missing data with stations near the study site were analysed. As a result of the dataset examined, previous conditions were obtained at different times prior to COD sampling. With these conditions, statistical analyzes were performed (e.g.: regressions and correlations) in order to identify the main hydrometeorological factors and how they control the concentration of DOC in the different wetlands. The results showed that the best correlations were for flow and precipitation in all wetlands (except for the Jatunhuaycu wetland: low correlations for precipitation). Unlike the climatic parameters, where the correlations presented variations in most of the antecedent conditions and during the comparison between wetlands. With the above, it can be said that the findings would contribute to making important decisions related to the conservation of wetlands, water quality and carbon balance in these ecosystems of great importance.

Keywords: North Paramo. Wetlands. Peat bogs. Dissolved organic carbon. COD. Hydrometeorological variables. Controlling factors. Analysis of concretions.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	2
ABSTRACT	3
AGRADECIMIENTOS	10
DEDICATORIA.....	11
1. INTRODUCCIÓN	13
2. MARCO TEÓRICO	16
3. METODOLOGÍA	20
3.1. Descripción del área de estudio.....	20
3.2. Análisis de datos	23
3.3. Análisis de la información	25
3.3.1. Análisis de las características intrínsecas de los humedales de estudio.	26
3.3.2. Análisis de los principales factores controladores de las concentraciones de COD en los humedales de páramo.	26
3.3.3. Análisis sobre de qué manera los factores encontrados como principales controlan las concentraciones de COD en los humedales de páramo.	28
4. RESULTADOS.....	30
4.1. Análisis de las características intrínsecas de los humedales de páramo.....	30
4.1.1. Análisis de las características intrínsecas del humedal Jatunhuaycu.	32
4.1.2. Análisis de las características intrínsecas del humedal Pugllohuma.....	32
4.1.3. Análisis de las características intrínsecas del humedal Tungurahua.	33
4.2. Relación de los principales factores hidrometeorológicos controladores de las concentraciones de COD en los humedales de estudio.....	34
4.3. Relación sobre de qué manera los factores hidrometeorológicos principales controlan las concentraciones de COD en los humedales de estudio.....	45
4.3.1. Relación sobre de qué manera los factores hidrometeorológicos principales controlan las concentraciones de COD en el humedal Jatunhuaycu.	45
4.3.2. Relación sobre de qué manera los factores hidrometeorológicos principales controlan las concentraciones de COD en el humedal Pugllohuma.	47
4.3.3. Relación sobre de qué manera los factores hidrometeorológicos principales controlan las concentraciones de COD en el humedal Tungurahua.	49
5. DISCUSIÓN	53
5.1. Análisis de las características intrínsecas de los humedales de páramo.....	53
5.2. Análisis de los factores hidrometeorológicos cómo controladores de las concentraciones de COD en los humedales de estudio.	54
6. CONCLUSIONES	59
7. RECOMENDACIONES PARA FUTURAS INVESTIGACIONES.....	60
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
9. APÉNDICES	71
Apéndice A. Informe sobre los métodos y técnicas de muestreo de la cobertura vegetal.	71

Apéndice B. Informe de las características intrínsecas y estado de los humedales.....	75
/Apéndice C. Informe sobre el monitoreo de la cobertura vegetal del Área de Conservación Hídrica del Antisana.	76
Apéndice D. Informe sobre monitoreo de la cobertura vegetal del humedal Pugllohuma.....	82
Apéndice E. Informe sobre monitoreo de la cobertura vegetal del humedal Tungurahua.....	90
Apéndice F. Propiedades hidro físicas del humedal Jatunhuaycu y Tungurahua.....	96
Apéndice G. Gráficos residuales de distribución normal en el humedal Jatunhuaycu.....	97
Apéndice H. Gráficos residuales de distribución normal en el humedal Pugllohuma.	98
Apéndice I. Gráficos residuales de distribución normal en el humedal Tungurahua.....	99

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características intrínsecas de los humedales en el sitio de estudio.	31
Tabla 2. Regresión entre COD – variables hidrometeorológicas en los humedales del sitio de estudio.	38
Tabla 3. Regresión lineal múltiple COD – variables hidrometeorológicas en los humedales del sitio de estudio.....	40
Tabla 4. Análisis estadístico de los valores residuales en los humedales del sitio de estudio.	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de cobertura terrestre del Área de Conservación Hídrica Antisana (ACHA), que muestra la posición de los humedales Jatunhuaycu y Pugllohuma	21
Figura 2. Mapa de cobertura terrestre del Área de Conservación Hídrica Alto Pita (ACHAP), que muestra la posición del humedal Tungurahua	23
Figura 3. Diagrama de cajas de la concentración de COD y las variables hidrometeorológicas entre los humedales Jatunhuaycu, Pugllohuma y Tungurahua	35
Figura 4. Relación entre variables hidrometeorológicas en el humedal Jatunhuaycu.....	42
Figura 5. Relación entre variables hidrometeorológicas en el humedal Pugllohuma	43
Figura 6. Relación entre variables hidrometeorológicas en el humedal Tungurahua.....	44
Figura 7. Relación de la concentración de COD y las variables hidrometeorológicas en el humedal Jatunhuaycu.....	46
Figura 8. Gráficos de dispersión de los valores residuales de las mejores correlaciones entre la concentración de COD y las variables hidrometeorológicas en el humedal Jatunhuaycu	47
Figura 9. Relación de la concentración de COD y las variables hidrometeorológicas en el humedal Pugllohuma.	48
Figura 10. Gráficos de dispersión de los valores residuales de las mejores correlaciones entre la concentración de COD y las variables hidrometeorológicas en el humedal Pugllohuma.	49
Figura 11. Relación de la concentración de COD y las variables hidrometeorológicas en el humedal Tungurahua	50
Figura 12. Gráficos de dispersión de los valores residuales de las mejores correlaciones entre la concentración de COD y las variables hidrometeorológicas en el humedal Tungurahua	51
Figura 13. Relación de la concentración de COD y las variables hidrometeorológicas entre los humedales de estudio	58

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Christian Ricardo Naranjo Ulloa en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "IDENTIFICACIÓN DE LOS CONTROLADORES HIDROMETEOROLÓGICOS EN LA CONCENTRACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO DISUELTO (COD) EN HUMEDALES DEL PÁRAMO DEL NORTE DE ECUADOR", 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, 12 de octubre de 2022



Christian Ricardo Naranjo Ulloa

C.I: 0106443898

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Andrea Marcela Calle Cabrera en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "IDENTIFICACIÓN DE LOS CONTROLADORES HIDROMETEOROLÓGICOS EN LA CONCENTRACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO DISUELTO (COD) EN HUMEDALES DEL PÁRAMO DEL NORTE DE ECUADOR", 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, 12 de octubre de 2022



Andrea Marcela Calle Cabrera

C.I: 0105769525

Cláusula de Propiedad Intelectual

Christian Ricardo Naranjo Ulloa, autor del trabajo de titulación "IDENTIFICACIÓN DE LOS CONTROLADORES HIDROMETEOROLÓGICOS EN LA CONCENTRACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO DISUELTO (COD) EN HUMEDALES DEL PÁRAMO DEL NORTE DE ECUADOR", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 12 de octubre de 2022



Christian Ricardo Naranjo Ulloa

C.I: 0106443898

Cláusula de Propiedad Intelectual

Andrea Marcela Calle Cabrera, autora del trabajo de titulación "IDENTIFICACIÓN DE LOS CONTROLADORES HIDROMETEOROLÓGICOS EN LA CONCENTRACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO DISUELTO (COD) EN HUMEDALES DEL PÁRAMO DEL NORTE DE ECUADOR", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 12 de octubre de 2022



Andrea Marcela Calle Cabrera

C.I: 0105769525

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, damos gracias a Dios por guiarnos y brindarnos la sabiduría a lo largo de nuestra existencia, por ser nuestra fortaleza en aquellos momentos de dificultad y debilidad. Agradecemos a nuestros padres por ser los principales promotores a lo largo de estos cinco años, por confiar y creer en nuestras expectativas, por los consejos, valores y principios que nos han inculcado.

Asimismo, queremos expresar nuestro profundo agradecimiento a nuestro director de tesis Ing. Patricio Crespo y en especial a nuestro tutor Ing. Juan Pesantez quienes con sus conocimientos nos han guiado con absoluta paciencia, dedicación y sobre todo por motivarnos a alcanzar los resultados esperados. Gracias por la confianza ofrecida durante el desarrollo del presente proyecto.

También, agradecemos a la Estación Científica Agua y Páramo (ECAP), el Fondo para la Protección del Agua (FONAG) y a la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito (EPMAPS) por ser los auspiciantes de este proyecto y a la vez por brindarnos todos los recursos necesarios y apoyo incondicional para alcanzar los resultados de nuestra investigación.

De igual manera, agradecemos a todos los docentes por habernos compartido todos sus conocimientos y experiencias durante estos cinco años en la preparación de nuestra profesión. Por último, queremos agradecer a todos nuestros compañeros y familiares, por las palabras de apoyo ofrecidas cuando nuestros ánimos no eran las mejores. En especial, queremos agradecer a nuestros amigos que en todo momento nos han prestado un apoyo moral y humano, necesarios en los días difíciles de nuestra investigación y en el camino de nuestra profesión.

Gracias a todos

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dedicado principalmente a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y sobre todo por haber puesto en mi camino a personas que han sido y son mi soporte y compañía durante todo el desarrollo de mi proyecto y en mi preparación como profesional.

A mis padres Herminio e Isabel, quienes con su amor, paciencia y pensamiento crítico me han permitido llegar a cumplir un sueño más. Todos sus consejos han sido fundamentales para formar mi carácter y entender que todo sacrificio tiene su recompensa y con honor reconozco que a mi lado tuve un gran ejemplo, como es de ti madre, quien ha puesto toda su dedicación y sacrificio para alcanzar sus sueños y que ahora fueron mi fuerza y energía para crecer y mejorar como persona y como profesional. Sin lugar a duda, sin el apoyo moral y económico de ustedes no hubiese podido alcanzar esta meta tan anhelada.

A mis abuelitos Iván, Saida y Mercedes, quienes siempre me han inculcado a construir valores y principios, actuar con humildad y respeto y sobre todo a cumplir con esfuerzo y valentía todas mis responsabilidades. Ustedes me han enseñado a no temer las adversidades porque Dios está siempre conmigo.

A mi compañera de tesis Andrea, quien me ha brindado el apoyo y colaboración durante todo este tiempo que trajo consigo la realización de este proyecto de investigación.

A mis tíos Héctor y Aleja por acogerme en su hogar durante toda mi carrera universitaria, personas que desde el primer momento no dudaron y me brindaron todo el apoyo, donde puedo afirmar que, a pesar de haber venido solo a continuar mis estudios, jamás me he sentido así, porque ellos han estado a mi lado cada día durante todos estos largos años.

A mis hermanos Arturo, Carolina y Andrea quienes a pesar que no les puedo tener todo un siempre a mi lado, me han regalado momentos de alegría y palabras de apoyo que han venido siendo la fortaleza necesaria para seguir adelante y lograr con mis objetivos.

A mis tíos, primos y toda mi familia que con oraciones, consejos y palabras de aliento animaron a que siga en adelante con perseverancia y dedicación y que de una y otra manera me acompañaron en la realización de este proyecto. Finalmente, a mis amigos, por extenderme su mano y por brindarme ese cariño sincero lleno de bondad y sin esperar nada a cambio.

Christian Naranjo Ulloa

UCUENCA

Este trabajo lo dedico a mi familia, en especial a mis padres, por creer en mi capacidad, darme una voz de aliento en los momentos difíciles y brindarme todo su apoyo y amor en este proceso. Además, a mis hermanos que me acompañaron y me brindaron su ayuda.

A mi querido hijo Tomas quien ha sido mi motivación para sacar adelante esta tesis y culminar mi carrera. Compartiendo triunfos e inspirándome a seguir cosechando más metas en mi vida.

A mi compañero de tesis Christian, por siempre estar pendiente y colaborar con la mejor actitud.

A mis amigos, con los que compartimos conocimientos, momentos felices y de tristeza, que me brindaron su colaboración en el proceso.

Andrea Calle Cabrera

1. INTRODUCCIÓN

En el Ecuador, el páramo es un ecosistema de alta montaña que cubre alrededor del 7% del territorio nacional, y se constituye por valles y depresiones de origen glacial (Josse et al., 2009; Hofstede & Llambí, 2020). Este ecosistema comprende pajonales, rosetales, arbustales, pequeños bosquetes y humedales (Wouter Buytaert et al., 2006; Josse et al., 2009) y se caracteriza por proveer importantes servicios ambientales, como la regulación del agua y la acumulación de carbono orgánico en sus suelos (Wouter Buytaert et al., 2006; Marín et al., 2018). La regulación del agua acompañado de las características de la cobertura vegetal y las propiedades biofísicas del suelo hacen que el agua de estos ecosistemas sea lo suficiente y de buena calidad (Mittra et al., 2005; María Cecilia Roa-García & Brown, 2016; Sharma & Singh, 2018). Este servicio ecosistémico ha venido garantizando el abastecimiento de agua para el desarrollo de las actividades industriales, agrícolas y domésticas de las comunidades aguas abajo de la cuenca (Wouter Buytaert et al., 2006). La regulación del páramo, está dada por la alta humedad del suelo, precipitaciones constantes a lo largo del año, baja evapotranspiración y la elevada capacidad de almacenamiento de agua en los suelos (Wouter Buytaert et al., 2006; Castañeda-Martín & Montes-Pulido, 2017).

Por su parte, la acumulación de carbono orgánico está dada por la acelerada productividad y la lenta tasa de descomposición de la biomasa vegetal (Mitsch et al., 2013; Silva-Yumi et al., 2021). Esta acumulación depende de las condiciones húmedas y propiedades físicas del suelo (Kayranli et al., 2010). Por ejemplo, las altas tasas de infiltración hacen que gran parte del agua se acumule en las capas inferiores del suelo (Rundel, 1994; Marín et al., 2018; Thompson et al., 2021). Estas condiciones anóxicas reducen las tasas de descomposición de la materia orgánica, como resultado de la pobre actividad microbiana (Morris et al., 2011; Aparecido et al., 2018).

Dentro del ecosistema de páramo, los humedales juegan un papel importante en la regulación del agua y almacenamiento de carbono (Maldonado, 2014; Suárez Duque et al., 2016) y aún más actúa como un regulador del ciclo de carbono en la tierra por el potencial secuestro de carbono atmosférico (Bridgham et al., 2006; Hernández, 2010; Dong et al., 2020). A pesar de su importancia para proveer los servicios ambientales y su rol de adaptación al cambio climático (Luna-Romero et al., 2018), los humedales altoandinos son ecosistemas escasos y de gran fragilidad (Ramsar, 2010). Entre los factores que pueden llegar afectar a los humedales están las sequías prolongadas, el cambio climático y las actividades antropogénicas (Freeman et al., 2004; Ramsar, 2010; Salimi et al., 2021). Estos factores pueden verse modificados por la alteración de las tasas de precipitación y cambios en la temperatura, evapotranspiración y humedad del suelo (Moreno-Casasola & Travieso-Bello,

2007; Castañeda-Martín & Montes-Pulido, 2017), como también por la agricultura no sostenible y el pastoreo intensivo (Quichimbo et al., 2011; Thompson et al., 2021). Entre algunas modificaciones está la alteración de las propiedades del suelo (permeabilidad, densidad aparente, etc.), lo que promueve la erosión del mismo como consecuencia de las bajas tasas de infiltración y aumento de la escorrentía (Quichimbo et al., 2011; Marín et al., 2018). Además, cuando disminuye la humedad del suelo incrementa la disponibilidad de oxígeno, lo que da lugar a una mayor actividad microbiana con lo que reduce la acumulación de materia orgánica produciendo así un proceso de retroalimentación positiva que amplifica el disturbio (Craine & Gelderman, 2011; Zhu et al., 2021). Las condiciones aeróbicas aceleran las tasas de descomposición y mineralización de la materia orgánica y nutrientes, que por oxidación química luego son liberados a la atmósfera (Lindig-Cisneros & Zedler, 2007; Wright & Reddy, 2009; Zhang et al., 2016). Todos estos cambios en las variables hidro climáticas y sobre todo cambios en la cobertura y uso de suelo han ocasionado que gran parte de estos ecosistemas se vayan perdiendo de manera acelerada (Cooper & Merritt, 2012; Castañeda-Martín & Montes-Pulido, 2017). Estas pérdidas pueden hacer que las capas de suelo orgánico (p.e.: turba y minerales ricos en carbono) disminuyan su capacidad de mantener carbono fijado y por consiguiente la dinámica del carbono en el agua (alteración del balance de exportación de carbono en agua) (Cooper & Merritt, 2012; Pesántez et al., 2018).

En el páramo del Norte y específicamente en los ecosistemas de humedales algunos factores cambiantes como el pastoreo y las actividades agrícolas cerca de los orígenes de agua (alta montaña) han alterado considerablemente el estado natural de estos ecosistemas, influyendo negativamente a los servicios ecosistémicos (FONAG, 2018; Parra, 2020). Como consecuencia a estas alteraciones el Fondo para la Protección del Agua (FONAG) conjuntamente con la Empresa Pública Metropolitana de Agua y Saneamiento de Quito (EPMAPS) adquirieron predios que poseen humedales y desde entonces mantienen programas de conservación, restauración y protección de las fuentes de agua (FONAG, 2019b). Algunas actividades realizadas incluyen el bloqueo de drenajes artificiales, medición del nivel freático y la evaluación de las propiedades físico-químicas del suelo (FONAG, 2019a). La finalidad de las actividades de restauración de los humedales es la recuperación de la cobertura vegetal, aumentar la disponibilidad de materia orgánica y mantener la dinámica del agua tanto en época lluviosa como en época seca (FONAG, 2019a). El manejo adecuado de los humedales aporta múltiples beneficios, como por ejemplo pueden evitar el desbordamiento de los cauces y las inundaciones en las zonas bajas al retener agua de forma natural, recargar los acuíferos subterráneos y purificar el agua debido a que la cobertura vegetal actúa como filtros naturales de contaminantes (Winter & LaBaugh, 2003; Lindig-Cisneros & Zedler, 2007; Fernández, 2011). Incluso, la protección de las zonas altoandinas

es de vital importancia ya que todas las modificaciones que sufren estos ecosistemas lacustres pueden llegar a ser difícilmente recuperables (Célleri & Feyen, 2009).

A pesar de las actividades de restauración y conservación en los humedales del Norte de Ecuador, todavía se conoce poco sobre la dinámica del carbono y las variables hidrometeorológicas. Algunas referencias consideran que la limitada disponibilidad de datos y las inconsistencias que estos presentan son uno de los factores que impiden el estudio de los ecosistemas alto andinos (Célleri & Feyen, 2009; Castañeda-Martín & Montes-Pulido, 2017; Thompson et al., 2021). Por tal motivo, el análisis sobre el comportamiento del Carbono Orgánico Disuelto (COD) y los factores hidrometeorológicos en los humedales de páramo son una importante rama de la investigación (W Buytaert & De Bievre, 2012; Ward et al., 2016). En este sentido, el presente estudio tiene como objetivo principal identificar qué factores hidrometeorológicos y de qué manera controlan las concentraciones de COD en los humedales del páramo Andino del Norte de Ecuador. Entre los objetivos específicos tenemos:

- Caracterizar los humedales de estudio de acuerdo a sus características intrínsecas.
- Identificar los principales factores hidrometeorológicos controladores de las concentraciones de COD en los humedales de páramo.
- Identificar de qué manera los principales factores encontrados controlan las concentraciones de COD en los humedales de páramo.

2. MARCO TEÓRICO

Los humedales son ecosistemas naturales de gran importancia en la dinámica y/o secuestro del carbono debido a que actúan como un regulador del ciclo de carbono en la tierra (Bridgham et al., 2006; Dong et al., 2020). Estos ecosistemas inundados usualmente están formados principalmente por materia vegetal fibrosa, parcialmente descompuesta (Hernández, 2010). Estas características edáficas aportan en la retención del agua, al interactuar como esponjas absorbentes durante la presencia de fenómenos hidro climáticos (Yugsi Zambrano, 2018). La acumulación de carbono en los humedales se realiza a través de los suelos y la biomasa vegetal (Salimi et al., 2021). Este último, es importante porque fija el dióxido de carbono atmosférico (CO₂) (Hernández, 2010).

Los Histosoles son los suelos predominantes en los humedales y se caracterizan por mantener espesos horizontes superficiales de materia orgánica y una baja densidad aparente que favorece la filtración del agua (Castañeda-Martín & Montes-Pulido, 2017; Quiroz Dahik et al., 2021). La saturación de los humedales favorece la acumulación de materia orgánica al reportar una tasa de producción más alta a la tasa de descomposición de la misma (Salimi & Scholz, 2021). Esta condición anóxica hace que los humedales mayormente actúen como sumidero y no como fuente de carbono (Hernández, 2010; Mitsch et al., 2013; Salimi et al., 2021).

Sin embargo, el cambio en las condiciones ambientales altera, ya sea positiva o negativamente, las tasas de descomposición (Mitsch et al., 2013; Lou et al., 2014; Xiao et al., 2019). Por ejemplo, un nivel bajo de humedad del suelo estimula las condiciones aeróbicas y en su mayoría de veces promueve la mineralización del carbono, liberándose como dióxido de carbono (Kayranli et al., 2010; Salimi et al., 2021). Estas respuestas comúnmente desequilibran el ciclo del carbono disminuyendo su capacidad para secuestrarlo (Kayranli et al., 2010; Godin et al., 2017). En este contexto, se observa que las concentraciones de carbono tienen una alta sensibilidad a los factores ambientales cambiantes entre la tasa de producción / descomposición de la materia orgánica (Freeman et al., 2004).

La acumulación de materia orgánica en estos ecosistemas lacustres depende también de la altitud, que generalmente varía entre 2800 y 4700 m s.n.m. (Hofstede et al., 2003). Estas variaciones se deben a las condiciones geológicas, climáticas y antrópicas que sufre el páramo (Smith & Cleef, 1988). Su particular topografía resulta de una diversidad de concavidades y depresiones que contribuyen en la regulación y almacenamiento del agua (Wouter Buytaert et al., 2006). Las bajas temperaturas, alta radiación solar, baja evapotranspiración y precipitaciones constantes durante el año aportan positivamente en la lenta descomposición de la materia orgánica (Mena Vásquez & Hofstede, 2006). El clima

frío y húmedo inhibe una acelerada tasa de descomposición de la biomasa orgánica en estos ecosistemas (Castañeda-Martín & Montes-Pulido, 2017). Además, la presencia de cenizas volcánicas mejora la acumulación de carbono debido a que forman complejos organometálicos (Al^{3+} ; Fe^{3+}) que se caracterizan por su resistencia y estabilidad a la descomposición microbiana (Wagai et al., 2015). Esta última, se deriva de la toxicidad de las partículas minerales y la acidez de los suelos por el bajo pH (Thompson et al., 2021).

Normalmente, los humedales contribuyen en la mitigación del cambio climático, por su capacidad de modular las concentraciones de gases atmosféricos (p.e.: metano y dióxido de carbono, etc.) (IPCC, 2007). Condiciones que han venido tomando interés en los investigadores hacia la búsqueda de información sobre el papel que desempeñan estos ecosistemas, en cuanto a la producción / exportación del carbono y su influencia al cambio climático (Laudon et al., 2012; Castañeda-Martín & Montes-Pulido, 2017; Salimi et al., 2021). Sin embargo, no se ha prestado mucha atención sobre el comportamiento del COD con la mayoría de los factores hidro climáticos en los ecosistemas alto andinos (Carrera et al., 2011; Zhang et al., 2016), en gran parte debido a la dinámica y complejidad de los humedales (Salimi & Scholz, 2021).

A nivel de páramo, se ha encontrado que la interacción del COD con los diferentes controladores hidrometeorológicos, podrían contribuir en el balance de carbono en los humedales (Limpens et al., 2008; Lou et al., 2014; Thompson et al., 2021). Sin embargo, la limitada información sobre el transporte y comportamiento del COD a los diversos controladores, todavía son poco conocidas. Algunos estudios indican que el uso y cobertura del suelo altera significativamente las concentraciones de COD y el balance del agua dentro del ecosistema de páramo (Butman et al., 2015; Duan et al., 2017; Pesántez et al., 2018). Es así que este cambio de uso o cobertura de suelo en conjunto con el cambio climático generan variaciones espacio-temporales, tanto en el transporte y distribución del COD (XI et al., 2007; Kolka et al., 2008), lo que repercute en la regulación del agua y en el balance final reduciendo el secuestro de carbono (Pesántez et al., 2018). Por otro lado, se considera que el caudal y la frecuencia e intensidad de la precipitación influyen en la dinámica y balance de la concentración de COD (Schlesinger & Melack, 1981; Laine et al., 2014; Curiel Yuste et al., 2017; Sánchez et al., 2019; Warner & Saros, 2019). Algunos autores han encontrado relaciones débiles del COD con variables meteorológicas como la radiación solar, humedad relativa y temperatura del aire, lo cual puede deberse a su estabilidad a lo largo del año (Kayranli et al., 2010; Pesántez et al., 2018).

Por otro lado, algunos estudios consideran que los factores controladores pueden impactar de forma directa o indirecta las concentraciones de COD (Zhang et al., 2016). En este sentido,

los eventos de lluvias y sequías afectan directamente la concentración de COD y la temperatura, nivel del agua y las frecuencias de inundaciones tienden a influir indirectamente las concentraciones de COD (Zhang et al., 2016; Salimi et al., 2021). Las bajas temperaturas del agua contribuyen en la regulación del COD en ciertos humedales de ecosistemas muy fríos (Peña et al., 2009; A Sharifi et al., 2012). Encontrándose algunas correlaciones negativas con respecto a la concentración de carbono, debido a que estas condiciones ralentizan los procesos de descomposición en el suelo (Kayranli et al., 2010; Duan et al., 2017; Guo et al., 2010). De la misma manera, existe la certidumbre que, al disminuir el nivel de agua, aportaría un incremento en la concentración de COD (Lou et al., 2014; Zhang et al., 2016), o por lo menos aportaría importantes variaciones en la mencionada acumulación (Carrera et al., 2011). Esto se contrasta con la humedad del suelo, donde existe evidencia de que al reducir el contenido de agua superficial aumenta la concentración de COD en el agua de los suelos (Pesántez et al., 2018). Probablemente estos resultados pueden deberse a procesos de dilución y concentración e incluso aumento de la actividad microbiana y posterior liberación de COD en los suelos. Se ha estimado también que la elevada liberación de COD en los humedales es producto de la vulnerabilidad al cambio climático y el impacto de las sequías en los sistemas hidrológicos (Freeman et al., 2004; Yugs Zambrano, 2018). Ante esta última, es de esperar que las concentraciones de oxígeno y la actividad microbiana incrementen en los humedales (Peña et al., 2009). A pesar de todo lo expuesto anteriormente, todavía no se tiene claro cómo los factores hidrometeorológicos controlan el COD en las cuencas hidrográficas, más aún cuando en varios estudios se encuentran resultados diferentes (Laudon et al., 2012). Asimismo, la mayoría de las comparaciones realizadas están relacionadas con la temperatura y la precipitación en condiciones de cambio climático (De Wit et al., 2016), pero todavía existe incertidumbre sobre qué y cómo los demás factores hidrometeorológicos controlan las concentraciones de COD en los ecosistemas de humedales naturales.

El COD juega un papel de vital importancia en los ecosistemas en general (Moore & Clarkson, 2007; Amirreza Sharifi et al., 2013; Zhang et al., 2016). Este influye en la solubilidad, movilidad de algunos solutos y actúa como un indicador específico de la calidad del agua (Ribadeneira, 2020). El COD puede también aportar sustrato y energía para los microorganismos (Zhang et al., 2016). Es un medio de transporte de sustancias que pueden llegar a ser tóxicas para el ser humano como algunos nutrientes y metales pesados específicos (Wright & Reddy, 2009; Amirreza Sharifi et al., 2013). Altas concentraciones de COD pueden causar una alteración en las propiedades físicas (color) de los cuerpos de agua y como resultado limita el paso de la radiación solar hasta las profundidades de estos ecosistemas (Mierle & Ingram, 1991). Con respecto a la provisión de agua potable, cabe mencionar que las elevadas concentraciones

UCUENCA

de COD en los cuerpos de agua, no implica toxicidad como sustancia (Laudon et al., 2012; Ledesma et al., 2012), pero este compuesto puede interferir en el transporte de sustancias tóxicas para la salud humana como metales pesados (Ledesma et al., 2012). Además, aguas con altas concentraciones de carbono que son desinfectadas con cloro pueden llegar a formar sustancias como trihalometanos y ácidos haloacéticos, compuestos con propiedades cancerígenas para el ser humano (Chow et al., 2003; Padhi et al., 2019).

3. METODOLOGÍA

3.1. Descripción del área de estudio

El estudio se llevó a cabo en los ecosistemas de humedales de páramo, principalmente en el Área de Conservación Hídrica Antisana (ACHA) y en el Área de Conservación Hídrica Alto Pita (ACHAP), localizados en la cordillera de los Andes entre las provincias de Napo y Pichincha al Norte del Ecuador (Suárez Duque et al., 2016).

El Área de Conservación Hídrica Antisana forma parte de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Antisana, con una extensión de 8 487,03 ha, de los cuales el 77,09% se encuentra en la provincia de Napo y el 22,91% pertenece a la provincia de Pichincha (EPMAPS & FONAG, 2018). El ACHA comprende los humedales Jatunhuaycu y Pugllohuma (Figura 1). El humedal Jatunhuaycu forma parte de un complejo de turberas que se asientan en el valle de la cuenca del río Jatunhuaycu en las coordenadas 78°15' de longitud oeste y 00°30' de latitud Sur (Campoverde Guerra, 2020). Por su parte el humedal Pugllohuma se ubica en las coordenadas 78°12' de longitud oeste y 00°30' de latitud Sur (Campoverde Guerra, 2020). Limita al oeste con el volcán Antisana, al noroeste con la cuenca hidrográfica del río Antisana y al occidente por la cuenca del río Jatunhuaycu, situado aproximadamente a unos 50 km de la ciudad de Quito (Yugsi Zambrano, 2018).

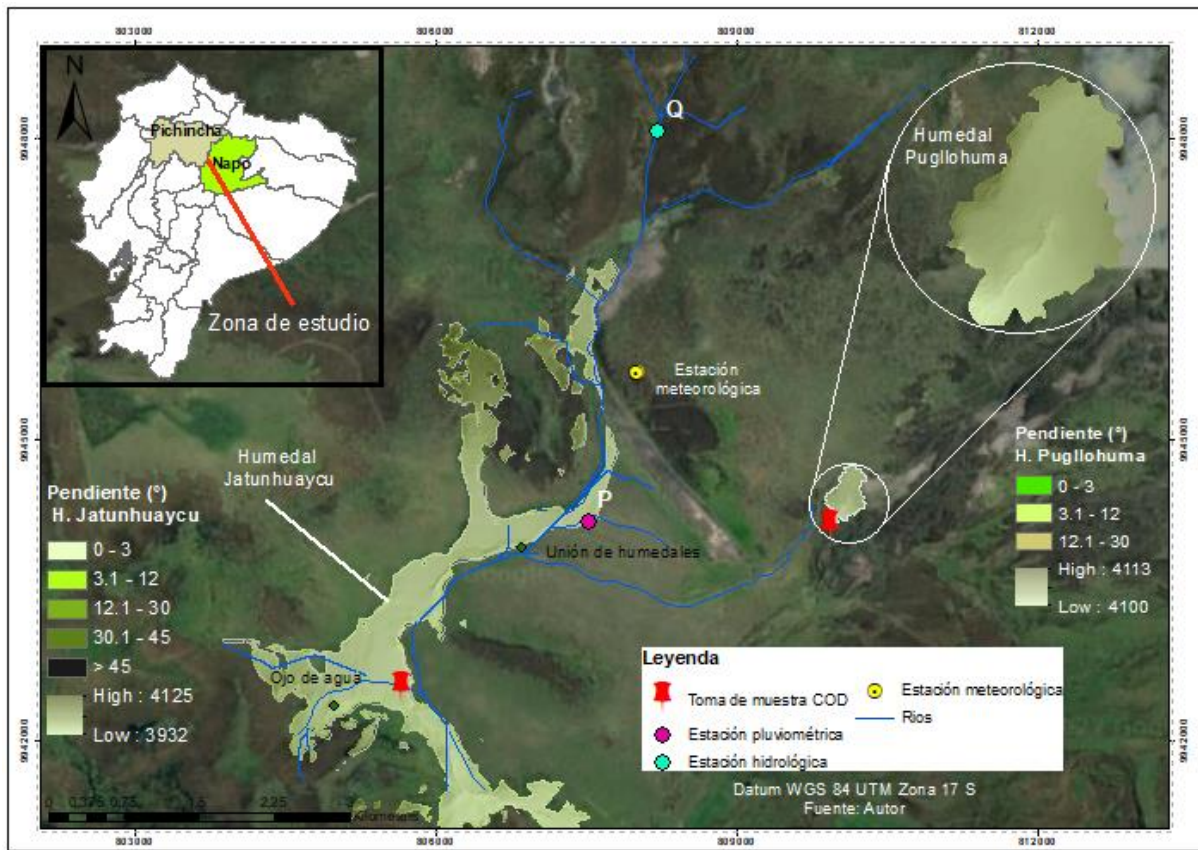


Figura 1. Mapa de cobertura terrestre del Área de Conservación Hídrica Antisana (ACHA), que muestra la posición de los humedales Jatunhuaycu y Pugllolhuma, conjuntamente con la ubicación de la estación meteorológica M 5126 (círculo amarillo), hidrológica JTU01HQ43 (círculo celeste) y pluviométrica JTU01PT11 (círculo rosa); y la ubicación de la toma de muestras (COD) (tachas rojas).

Los humedales del Antisana se encuentran próximos y se caracterizan por encontrarse en una zona de climas húmedos, con temperaturas medias que oscilan los 8°C; con extremos que pueden llegar a 0°C como mínimo y 20°C como máximo de temperatura (Aguirre et al., 2013).

La precipitación de estos humedales fluctúa entre 600 a 800 mm de lluvia anual, con periodos de lluvia mayormente irregulares de larga duración y baja intensidad (Alvarado, 2009; Aguirre et al., 2013; Quinteros, 2017; FONAG, 2019b). Según los registros del FONAG los meses más secos son julio y agosto, mientras que las mayores precipitaciones se registran en los meses de mayo – junio (Yáñez-cajo et al., 2019). Sin embargo, la variación estacional es considerada baja entre el mes más seco y el mes más lluvioso (alrededor de 100 mm) (Quinteros, 2017). Estas condiciones mantienen una humedad relativa superior a 90%, con variaciones importantes durante el transcurso del día (Torres, 2014; Yáñez-cajo et al., 2019). Las actividades glaciales y las erupciones volcánicas ocurridas en estos ecosistemas contribuyeron en la formación de depresiones y a la presencia de suelos andosoles e

histosoles (presencia de limos y cenizas) (Jumbo, 2017; Játiva Varela, 2018). Los mismos que aportan cantidades importantes de materia orgánica (Aguirre et al., 2013).

Por otro lado, el Área de Conservación Hídrica Alto Pita se sitúa entre las provincias de Pichincha y Cotopaxi, a unos 80 km al sureste de Quito, lindante con el Parque Nacional Cotopaxi (FONAG, 2019b). Forma parte de la parroquia Machachi y comprende los predios Campo Alegre y Mudadero, con una extensión de aproximadamente 10 000 ha de terreno (EPMAPS & FONAG, n.d.). El ACHAP está conformado por las unidades hidrográficas Chamilco y Tungurahua, siendo este último el único que se llevó a cabo dentro del estudio (Figura 2). El humedal Tungurahua comprende una extensión de 7 km² y se encuentra cerca del volcán Cotopaxi. Su precipitación acumulada anual oscila entre los 700 a 800 mm de lluvia, donde los meses más lluviosos usualmente son en marzo – abril y octubre – noviembre con precipitaciones que pueden alcanzar los 100 mm de lluvia (FONAG, 2020), mientras que julio – agosto son los meses más secos con una precipitación que rodea los 35 mm de lluvia (FONAG, 2019b). Este ecosistema estuvo intervenido por actividades humanas, pero actualmente se encuentra en recuperación al ser adquirida y declarada por el FONAG zona de conservación hídrica a partir del año 2017 (FONAG, 2019b).

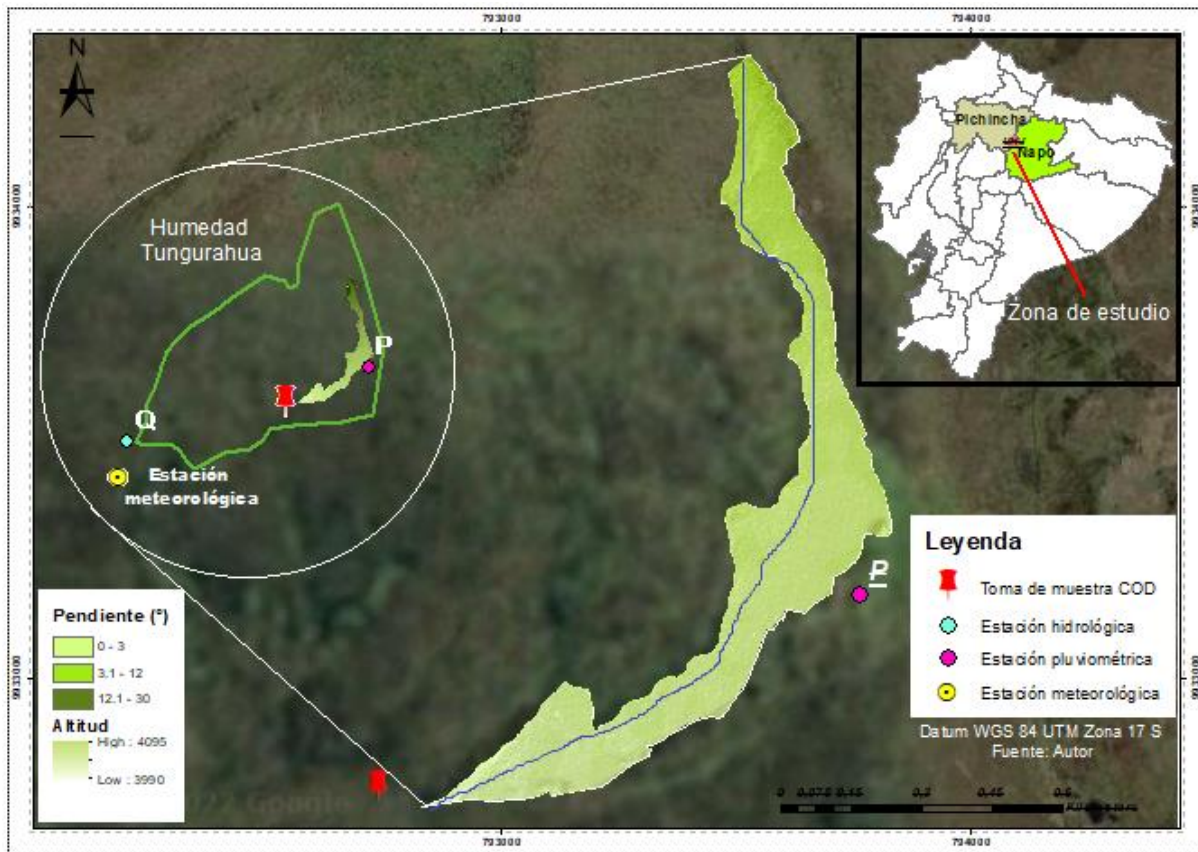


Figura 2. Mapa de cobertura terrestre del Área de Conservación Hídrica Alto Pita (ACHAP), que muestra la posición del humedal Tungurahua, conjuntamente con la ubicación de la estación meteorológica M 5124 (círculo amarillo), hidrológica ATP01HI01 (círculo celeste) y pluviométrica ATP01PT01 (círculo rosa); y la ubicación de la toma de muestra (COD) (tacha roja).

3.2. Análisis de datos

Para la presente investigación se obtuvo información de aproximadamente 1 año (octubre 2020 a agosto 2021) de datos hidrometeorológicos y datos sobre la concentración de COD.

Los registros de las variables meteorológicas (radiación solar, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento), hidrológicas (caudal) y pluviométricas (precipitación) fueron descargados de la página del FONAG Sistema de Estandarización de Datos Hidro climáticos Crudos (SEDC) desde consultas por periodo a tiempo real para todos los humedales y en algunos de los casos los datos fueron otorgados directamente por el FONAG.

De este modo, para los humedales Jatunhuaycu y Pugllohuma los datos meteorológicos se obtuvieron de la estación M 5126 y para el humedal Tungurahua de la estación meteorológica Campo Alegre M 5124 del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

Por su parte, los registros de caudal y precipitación corresponden a la estación JTU01HQ43 y JTU01PT11 respectivamente para los humedales Jatunhuaycu y Pugllohuma, mientras que para el humedal Tungurahua se dispuso de registros de caudal y precipitación de la estación

ATP01HI01 y ATP01PT01 respectivamente, estaciones hidrológicas y pluviométricas que son monitoreadas por el FONAG. Para posteriores menciones las estaciones meteorológicas, hidrológicas y pluviométricas serán denominadas en conjunto como estaciones hidrometeorológicas.

Para la medición del caudal se utilizó un sensor PT2X marca INW y para medir la precipitación se utilizaron sensores de lluvia (TR-525 M, Texas Electronics, Inc., EE. UU). Las mediciones de las variables meteorológicas como la temperatura del aire y humedad relativa se obtuvieron de un sensor HMP 155D marca Vaisala. La radiación solar fue medida mediante un piranómetro (CMA6, Kipp & Zonen, Inc., EE. UU.) y la velocidad del viento fue medida con un sensor ultrasónico de viento (WMT 702, Vaisala, Finlandia). Los sensores antes mencionados reportan una lectura de datos con una frecuencia de 5 minutos para cada variable hidrometeorológica.

Para la medición del COD se recolectaron muestras de manera puntual a la salida de cada humedal. Estas muestras fueron tomadas cada 2 semanas por guarda páramos de la zona de estudio (número total de muestras de COD = 23). El análisis de agua para determinar la concentración de COD (mg/L) se realizó con un Analizador Vario TOC Cube (Elementar, Alemania), en el laboratorio del Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales (iDRHICA) de la Universidad de Cuenca. Este método de laboratorio ya se ha empleado en estudios como Pesántez et al., (2018).

En el estudio se consideraron registros horarios y sub horarios (5 min) para las variables de las estaciones hidrometeorológicas y registros quincenales para la concentración de COD. Para disponer de una base de datos fiable se realizó un análisis estadístico preliminar del conjunto de datos crudos de todas las estaciones hidrometeorológicas para cada humedal, con el fin de identificar valores faltantes o anomalías. Para ello, en el lenguaje R a través de la interfaz R Studio se creó una serie de tiempo en formato fecha considerando el primer y último día del registro de datos crudos de frecuencia horaria para cada una de las variables hidrometeorológicas, dando como resultado la longitud de los valores.

Para los humedales Jatunhuaycu y Pugllohuma se encontraron datos faltantes en algunos días para radiación solar, temperatura del aire, caudal y precipitación. Estos faltantes fueron completados convirtiendo el set de datos sub horarios (5 min) a una frecuencia horaria y así tener los datos completos para el análisis.

Por su parte, las estaciones hidrológicas J TU01HQ43 y J TU01PT11 presentaron la mayor ausencia de datos, por lo que se identificaron estaciones cercanas al sitio de estudio, como por ejemplo J TU01HQ32 y J TU01PT32, donde el primero fue utilizado para el relleno de datos

faltantes del caudal y el segundo para el relleno de datos faltantes de la precipitación. Para rellenar estos datos se aplicó un modelo de regresión lineal (Herrera-Oliva et al., 2017; Luna-Romero et al., 2018), estimándose correlaciones aceptables entre las estaciones consideradas. En términos hidrológicos Pizarro et al., (2009) consideran que correlaciones superiores a $-/+ r > 0.6$ son aceptables para establecer un relleno de datos con pocos registros muestrales.

En el caso del humedal Tungurahua, la precipitación y humedad relativa presentaron datos faltantes en el set de datos con frecuencia horaria, por lo que al igual que en los humedales anteriores estos fueron completados convirtiendo el set de datos sub horarios (5 min) a una frecuencia horaria y así tener una base de datos completa para el análisis.

En las dos estaciones meteorológicas, la radiación solar presentó algunas anomalías, al observarse inconsistencias en ciertos periodos del día, por lo que se optó eliminar los respectivos datos, debido a que todas las inconsistencias fueron reportadas durante la noche. Por otro lado, en ambas estaciones la velocidad de viento sólo disponía del set de datos sub horarios (5 min), por lo que estos datos fueron convertidos a una frecuencia horaria para el respectivo análisis.

3.3. Análisis de la información

Para el análisis estadístico de la base de datos arreglada se agrupó la concentración de COD con las variables hidrometeorológicas para los humedales Jatunhuaycu, Puglllohuma y Tungurahua. Del registro anterior, se realizaron agregaciones de todas las variables hidrometeorológicas y bajo diferentes condiciones antecedentes, esto para ver hasta cuanto tiempo atrás estas variables pueden llegar a controlar la exportación de COD en un momento determinado en el caudal. Estas condiciones fueron: medición en el momento exacto de la toma de la muestra (1 hora) y con los promedios de las diferentes condiciones antecedentes a la toma de muestra (12 horas, 1 día, 2 días, 3 días, 5 días, 7 días, 10 días, 12 días y 14 días). Asimismo, se consideraron agregaciones de la precipitación, para los mismos periodos expuestos anteriormente, siendo a 1 hora y las condiciones antecedentes de 12 horas, 1 día, 3 días, 5 días, 7 días y 10 días las que se consideraron en el presente estudio. Este análisis de datos se realizó en el software Spyder Anaconda (Python 3.8) y para dar cumplimiento a los objetivos (ii) y (iii) la información fue procesada y analizada, mediante el lenguaje R a través de la interfaz R Studio.

3.3.1. Análisis de las características intrínsecas de los humedales de estudio.

Para dar cumplimiento al primer objetivo, se partió de un análisis de las principales características intrínsecas de los tres humedales, incluyendo aspectos biofísicos tales como: área, elevación, pendiente y vegetación. Mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) y utilizando el Modelo Digital de Elevación (DEM) dado por el FONAG, se obtuvo el área y elevación de cada humedal.

Con el DEM se generó un mapa de pendientes de acuerdo a su grado de inclinación, reclasificado en cinco categorías según la clasificación propuesta por Lugo, (1988). Para el análisis de la vegetación, el FONAG facilitó información de línea base levantada en 2016 y un estudio de monitoreo del 2019. Con este estudio determinaron la abundancia, riqueza, diversidad y dominancia de especies vegetales, mediante transectos diseñados a lo largo de cada humedal. El humedal Jatunhuaycu fue analizado con metodología punto intercepto. El humedal Pugllohuma fue estudiado con metodología de cuadrantes (5 cuadrantes de $1 \times 1 \text{ m}^2$ en cada transecto) y metodología de punto intercepto y en el caso del humedal Tungurahua se empleó únicamente la metodología de cuadrantes (3 cuadrantes de $1 \times 1 \text{ m}^2$ en cada transecto). Los métodos y técnicas de muestreo de la cobertura vegetal correspondiente a cada humedal pueden ser visualizados más detalladamente en el [Apéndice A](#). Informe sobre los métodos y técnicas de muestreo de la cobertura vegetal. Toda esta información fue de vital importancia para el estudio, pues este permitió conocer el estado y comportamiento de la cobertura vegetal. Todo lo anterior, tiene como finalidad identificar las diferencias de las características propias que mantienen cada humedal considerado en el presente estudio.

3.3.2. Análisis de los principales factores controladores de las concentraciones de COD en los humedales de páramo.

Para dar cumplimiento al objetivo (ii), se realizaron pruebas estadísticas aplicando el test de Shapiro - Wilks ($p > 0.05$) para comprobar si el conjunto de datos de las variables hidrometeorológicas y la concentración de COD (N° de datos por cada variable = 23) siguen una distribución normal (hipótesis nula = H_0) (Storch & Zwiers, 1999; Duan et al., 2017). Se encontró que los datos registran un $p < 0.05$, lo que indica que la hipótesis nula se rechaza y por lo tanto el conjunto de datos analizados no siguen una distribución normal.

Para identificar relaciones entre las variables hidrometeorológicas y la concentración de COD se utilizaron pruebas no paramétricas de correlación de Spearman (Ortega et al., 2009). De esta manera, se analizó el coeficiente de correlación de Spearman (r) para todos los parámetros hidrometeorológicos en cada periodo de tiempo antecedente a la toma de muestra de la concentración de COD previamente descrito. Los resultados indican la

magnitud de la correlación entre las variables predictoras y la concentración de COD. El grado de correlación fue clasificada según los criterios propuestos por Martínez et al., (2010) $1 > r > 0.7$ muy alta, $0.69 > r > 0.50$ alta, $0.49 > r > 0.30$ moderada, $0.29 > r > 0.10$ baja, $0.09 > r > 0$ nula.

Se aplicó también un análisis de Regresión Lineal Simple (RLS) con la función “lm” entre la variable dependiente (COD) y las variables independientes (caudal, precipitación, radiación solar, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento). Adicionalmente se empleó la herramienta “summary”, misma que indica un resumen detallado sobre la correlación entre las dos variables y el nivel de significancia de 5% para conocer si la variable predictora escogida y la variable de respuesta conocida son significativas ($p < 0.05$) (Zhang et al., 2016). El nivel de significancia de los valores de (r) se explican por medio de asteriscos con un orden de significación de mayor a menor *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$ (Vargas Barrera, 2008). Si el valor de $p < 0.05$ se rechaza la hipótesis de independencia y se asume que las variables están correlacionadas, mientras si $p > 0.05$ se mantiene la hipótesis de independencia, donde se supone no correlación de las variables. Todo el análisis anterior, permite identificar los principales factores hidrometeorológicos controladores de las concentraciones de COD en los diferentes humedales de estudio.

Debido a que se dispuso de un grupo importante de variables hidrometeorológicas se realizó un análisis de regresión lineal múltiple paso a paso (SMLR, del inglés Stepwise Multiple Linear Regression) para ver si se tiene correlaciones múltiples (COD – variables hidrometeorológicas) e identificar cuáles de estas variables hidrometeorológicas resultan las más importantes en cada humedal (Zhang et al., 2016). Este análisis permite incluir y descartar variables hasta obtener una óptima función discriminante que no afecte la validez de los resultados finales (Álvarez, 2000).

El procedimiento de SMLR inicia con la entrada de una variable predictora de todas las posibles. En el caso de que esta variable elegida en el primer lugar no resulte significativa finaliza el proceso de selección. De lo contrario, se continúa con la selección de la segunda variable independiente de entre las restantes (el sistema escoge aquella que tenga el coeficiente de correlación más alto). Al incluir la nueva variable la finalidad del método es aumentar el porcentaje de variación que tenía cuando se disponía de una sola variable predictora. En síntesis, este método puede agregar automáticamente una nueva variable predictora o quitar aquella que estuvo previamente seleccionada durante cada paso, hasta estimar los mejores valores de la SMLR (Álvarez, 2000; Gualdron, 2006). No obstante, a veces estos análisis con SMLR suelen presentar una falsa relación entre la variable respuesta y las variables predictoras; es decir puede sufrir un cierto grado de multicolinealidad. Este

último describe el grado de asociación lineal entre dos factores predictores (en este caso variables hidrometeorológicas) (Valle Moreno & Guerra Bustillo, 2012; Méndez-Ramírez et al., 2014). Para detectar la multicolinealidad se realizó una matriz de correlación entre todas las variables predictoras, donde correlaciones superiores a 0.8 implica una fuerte colinealidad (Guerrero, 2017). Sin embargo, estas fuertes correlaciones pueden ser suficiente pero no necesaria para que haya multicolinealidad, debido a que el análisis entre variables regresoras usualmente aportan cierto grado de correlación (Méndez-Ramírez et al., 2014). De esta manera, tanto las correlaciones múltiples como las correlaciones entre variables predictoras fueron tomadas en cuenta para la interpretación de los resultados obtenidos en el análisis de regresión lineal correspondiente al presente estudio.

3.3.3. Análisis sobre de qué manera los factores encontrados como principales controlan las concentraciones de COD en los humedales de páramo.

Para dar cumplimiento al objetivo (iii) se elaboraron gráficos de dispersión con los periodos de tiempo que aportaron una mejor relación [coeficiente de Spearman (r)] en cada una de las variables hidrometeorológicas con la concentración de COD en los humedales Jatunhuaycu, Pugllohuma y Tungurahua. Se utilizó el paquete ggplot2, para elaborar gráficas de correlación de la información especificada anteriormente (H. Wickham, 2016). Con la herramienta “geoms” se aplicó el elemento “geom_point” para generar una gráfica que represente los datos con puntos y su respectiva línea de tendencia (Hadley Wickham, 2009; Fernández Lizana, 2020). De esta manera se representa de forma visual la dispersión entre la concentración de COD y las variables hidrometeorológicas, acompañado de su respectiva línea de tendencia con un nivel de confianza del 95% (Zhang et al., 2016). Este análisis permite identificar de qué manera los factores encontrados como principales controlan las concentraciones de COD y los agentes que influyen en esta relación en los respectivos humedales del sitio de estudio.

Para determinar si las mejores correlaciones obtenidas en cada variable hidrometeorológica con su respectiva condición antecedente fue el correcto se realizó el análisis de los residuales. Los residuales tienen un papel importante pues permiten detectar diferencias respecto a la hipótesis sobre la que se soporta (Pértega Díaz & Pita Fernández, 2000). Este análisis comprende algunas etapas en las cuales fueron citadas la independencia, normalidad y homocedasticidad de los residuales.

La independencia de los residuales se obtiene mediante gráficas de dispersión de autocorrelación, donde se espera que la tendencia de los valores residuales no siga un comportamiento lineal creciente ni decreciente, sino que estos se encuentren aleatoriamente distribuidos. También se puede determinar mediante el estadístico de Durbin Watson. Este

UCUENCA

coeficiente mide el grado de autocorrelación entre el residuo correspondiente a cada observación y la anterior. Si el valor está entre los rangos 1.5 a 2.5, entonces los residuos no presentan autocorrelación, si se aproxima a 4, estarán negativamente autocorrelacionados y si el valor está cercano a 0 estarán positivamente autocorrelacionados (De Lira Arenas, 2011).

Para analizar la normalidad de los residuos, se puede emplear el Test de Shapiro o mediante histogramas y gráficos de probabilidad normal. En el caso del test de Shapiro los residuales están distribuidos normalmente cuando los valores son superiores a 0.05 (Storch & Zwiers, 1999). En el caso del histograma debe ser similar a una campana de Gauss y los gráficos de distribución normal deben seguir una línea recta para concluir que el modelo es el adecuado.

La homocedasticidad de los residuos se refiere a que los valores residuales deben ser constantes, es decir que los puntos deben estar repartidos por igual tanto por encima como por debajo de la línea recta horizontal trazado en cero. De esta manera los valores residuales habrán de tener una distribución normal de media cero y varianza constante.

4. RESULTADOS

4.1. Análisis de las características intrínsecas de los humedales de páramo.

El estudio de las características intrínsecas de los humedales Jatunhuaycu, Pugllohuma y Tungurahua, fue una manera importante para comprender el comportamiento de estos ecosistemas. En la [Tabla 1](#) se muestra que el humedal Jatunhuaycu presenta la mayor concentración de COD, seguido del humedal Pugllohuma y humedal Tungurahua respectivamente. Además, se observa que la elevación, pendiente y cobertura vegetal presentan diferencias mínimas entre los humedales y en el caso de la intervención humana los humedales Jatunhuaycu y Pugllohuma están sometidos a mayores alteraciones con respecto al humedal Tungurahua. Algo más detallado de lo mencionado anteriormente se describe en los apartados 4.1.1, 4.1.2 y 4.1.3.

Tabla 1. Características intrínsecas de los humedales en el sitio de estudio.

Humedal	Concentración mínima de COD (mg/L)	Concentración máxima de COD (mg/L)	Rango de Elevación	Rango de pendiente (°)	Tipo de pendiente	Porcentaje por tipo de pendiente (%)	Área total del humedal (ha)	Cobertura vegetal	Intervención humana
Jatunhuaycu	6.31	36.73	3932 – 4125	0-3	Planas	47.78	375.69	Almohadilla, pasto, arbustivo.	Actividades de pastoreo. Drenajes artificiales profundas (inicia humedecimiento desde el año 2018)
				3.1-12	Ligeramente inclinado o semiplanas	39.81			
				12.1-30	Deslizamiento o moderadas	11.70			
				30.1-45	Deslizamiento o altas	0.59			
				>45	Caída libre o muy altas	0.12			
Pugllohuma	2.65	39.23	4100 – 4113	0-3	Planas	75.39	14.14	Almohadilla, pasto, arbustivo.	Actividades de pastoreo. 3680 m de drenajes artificiales (Recuperación desde el año 2016)
				3.1-12	Ligeramente inclinado o semiplanas	24.05			
				12.1-30	Deslizamiento o moderadas	0.57			
				30.1-45	Deslizamiento o altas	0			
				>45	Caída libre o muy altas	0			
Tungurahua	2.58	13.79	3990 – 4095	0-3	Planas	48.99	25.80	Almohadilla, pasto, arbustivo.	Pisoteo de ganado, caballos y camélidos. Recuperación desde el año 2017
				3.1-12	Ligeramente inclinado o semiplanas	45.31			
				12.1-30	Deslizamiento o moderadas	5.70			
				30.1-45	Deslizamiento o altas	0			
				>45	Caída libre o muy altas	0			

Se resalta la elevación y concentración de COD mínima y máxima, rangos de pendientes basado en la clasificación propuesta por (Lugo, 1988), área expresada en hectáreas para cada tipo de pendiente y su respectiva área total y la cobertura vegetal del humedal Jatunhuaycu, Pugllohuma y Tungurahua. Todos los humedales tienen 23 muestras de COD recolectadas.

4.1.1. Análisis de las características intrínsecas del humedal Jatunhuaycu.

El humedal Jatunhuaycu tiene una extensión de 375,69 ha y se encuentra entre 3835 – 4222 m s.n.m. (Torres, 2014). El gradiente altitudinal representativo cubre los 3932 a 4125 m s.n.m. y las elevaciones extremas aportan en superficies menores. La topografía y relieve de estos humedales es de forma irregular por la presencia de valles y montañas, cuyas pendientes escarpadas superan los 45° (Torres, 2014; Yugsi Zambrano, 2018). Las pendientes planas y semiplanas predominan en la zona con 47,78 y 39,81% respectivamente y en el caso de la máxima pendiente equivale a 0,12%. La dominancia de pendientes planas favorece la presencia de charcos, lo que permitió a los ganaderos implementar drenajes artificiales para disminuir la humedad del suelo y así llevar a cabo las actividades de pastoreo. A raíz de esto, el humedal Jatunhuaycu fue adquirido por el FONAG en el año 2018 ([Apéndice B](#). Informe de las características intrínsecas y estado de los humedales), con el objetivo de restablecer el humedecimiento de este ecosistema mediante el bloqueo de los drenajes artificiales para obtener información sobre el cambio de la cobertura vegetal. Estas acciones fueron de gran importancia, puesto que impactó positivamente en el crecimiento de más especies propias del humedal, como: *Plantago rígida* Kunth, *Distichia muscoides* Nees & Meyen, *Hypochaeris sessiliflora* Kunth, *Eleocharis albibracteata* Nees & Meyen ex Kunth, *Carex tristicha* Spruce ex Boott, entre otras especies poco representativas. Los resultados sobre cobertura vegetal pueden ser visualizados detalladamente en el [Apéndice C](#). Informe sobre el monitoreo de la cobertura vegetal del Área de Conservación Hídrica del Antisana.

4.1.2. Análisis de las características intrínsecas del humedal Pugllohuma.

El humedal Pugllohuma tiene 14,14 ha de superficie terrestre, con un rango altitudinal que varía entre 4100 a 4113 m s.n.m. Este humedal comprende pendientes que van desde 1,19 a 25,2°, categorizándolo como un terreno con pendientes planas y moderadas respectivamente. La mayor parte del terreno (75,39%) presenta condiciones planas y se ubica en la zona céntrica del humedal, seguido de ligeramente plano con 24,05%, mientras que la máxima pendiente apenas cubre el 1% de superficie. Estas superficies planas favorecen condiciones de anegamiento, lo que ha provocado en el pasado la construcción de aproximadamente unos 40 drenajes artificiales con una profundidad cercana a los 25 cm, para lograr desecar las zonas planas y ampliar el área para actividades de pastoreo. En noviembre del 2017 ([Apéndice B](#). Informe de las características intrínsecas y estado de los humedales), el FONAG realizó el bloqueo de los drenajes mediante diques de madera para limitar la escorrentía y mitigar el desecamiento. Desde entonces, se realizó una comparativa entre el estudio de línea base y monitoreo de las especies vegetales para determinar si las prácticas de restauración resultan efectivas. Como resultado, se obtuvo que la vegetación en

el monitoreo ha disminuido tanto en diversidad, abundancia y riqueza con respecto a la línea base, a causa del anegamiento. De esta manera, las especies de ciclo corto como: *Lachemilla orbiculata*, *Hypochaeris sessiliflora*, *Poa Annua* han ido desapareciendo poco a poco por no tolerar la humedad. Esto ha generado un aumento de especies propias del humedal como *Plantago rígida*, *Distichia muscoides*, *Caltha sagittata*, *Juncus stipulatus*, genero de *Carex*, siendo la más dominante la especie *Plantago rígida*, seguida de la *Distichia muscoides*. En el [Apéndice D](#). Informe sobre el monitoreo de la cobertura vegetal del humedal Pugllohuma se muestra de forma detallada el estado de la vegetación.

4.1.3. Análisis de las características intrínsecas del humedal Tungurahua.

El humedal Tungurahua cubre un área de 25,80 ha, con un rango altitudinal que varía entre los 3990 y 4095 m s.n.m. (FONAG, 2018). El área ubicada entre las cotas 3990 y 4043 m s.n.m. presentan la mayor cobertura terrestre, aunque la mayoría de la superficie del humedal mantiene una elevación distribuida homogéneamente. La topografía del humedal Tungurahua es poco variable, cuyos rangos de pendientes van desde superficies planas a moderadas. Las pendientes con superficies planas predominan en la zona con aproximadamente 48,99%, le sigue las superficies de terreno ligeramente inclinado con 45,31%, mientras que sólo el 5,7% de terreno comprende el rango con mayor inclinación. A diferencia de los humedales Jatunhuaycu y Pugllohuma éste se encuentra menos perturbado y la mayor parte del tiempo pasa saturado de agua, debido a que no cuenta con drenajes artificiales. Sin embargo, este humedal ha tenido cierta degradación producto de las actividades de pastoreo, como la crianza de alpacas, información que se encuentra detallada en el [Apéndice B](#). Informe de las características intrínsecas y estado de los humedales. Desde mayo del 2017, el FONAG adquirió el lugar para llevar a cabo programas de control, conservación y manejo de las fuentes hídricas (FONAG, 2019b). A diferencia del humedal Pugllohuma, este humedal aportó un incremento en su diversidad, abundancia y riqueza de especies con relación a la línea base. Dentro de las nuevas especies se incluyen: *Hypericum sprucei* N. Robson, *Disterigma empetrifolium* (Kunth) Drude, entre otras especies que aportan una baja representatividad. En cuanto, a las especies que mantienen una mayor dominancia en el humedal son: *Oreobolus ecuadorensis* T. Koyama, *Eleocharis albibracteata* Nees & Meyen ex Kunth, *Hypericum sprucei* N. Robson, *Distichia muscoides* Nees & Meyen, *Plantago rígida* Kunth, seguidas de otras especies con individuos poco abundantes. La mayoría de las especies vegetales registradas son propias del humedal, con índices de diversidad media en la mayor parte del estudio y diversidad baja y alta en pocos casos. Los resultados sobre la cobertura vegetal se pueden observar detalladamente en el [Apéndice E](#). Informe sobre el monitoreo de la cobertura vegetal del humedal Tungurahua.

4.2. Relación de los principales factores hidrometeorológicos controladores de las concentraciones de COD en los humedales de estudio.

En esta sección se realizó una caracterización de los parámetros hidrometeorológicos y la concentración de COD y posteriormente una identificación de los principales factores controladores de las concentraciones de COD en los humedales de páramo.

En la [Figura 3](#) se presenta mediante diagrama de cajas el comportamiento del COD y las variables hidrometeorológicas en los 3 humedales de estudio, considerando únicamente los periodos antecedentes a la toma de muestra de una hora, 1 y 10 días. Se observa que el humedal Jatunhuaycu reporta la mayor concentración de COD con una mediana de 20,69 mg/L, mientras que los humedales Pugllohuma y Tungurahua presentaron mediana de 7,28 mg/L y 5,76 mg/L respectivamente. Por otro lado, los valores de los parámetros hidrometeorológicos varían entre los humedales de estudio. En el caso del caudal, los valores siguen una tendencia ascendente a medida que avanzan hacia los periodos más largos, donde los humedales Jatunhuaycu y Pugllohuma, mostraron las medianas más altas (20 mm/h) y el humedal Tungurahua la mediana más baja (10 mm/h) en el periodo de 10 días. Asimismo, la radiación solar sigue una tendencia, pero descendente, donde en el periodo de una hora los valores promedios oscilan entre 380 – 500 W/m² y disminuyen a rangos entre 150 – 180 W/m² en las condiciones finales, siendo el humedal Tungurahua quien muestra los valores más altos, pero con valores próximos en los otros humedales. La velocidad del viento reporta los valores más altos en el humedal Tungurahua con una mediana de 6 m/s aproximadamente, mientras que en los humedales Jatunhuaycu y Pugllohuma se estima una mediana cercana a los 4 m/s en todos los periodos antecedentes. En el caso de la temperatura del aire, todos los humedales presentaron la mediana más alta (9 °C) en el periodo de una hora y durante los periodos de 1 y 10 días, el humedal Tungurahua aporta una mediana de 6 °C y los humedales Jatunhuaycu y Pugllohuma una mediana de 4 °C. Por su parte, la precipitación presenta valores similares en todas las condiciones antecedentes, donde a los 10 días se observa las concentraciones más altas, con medianas que van desde los 23 y 28 mm de lluvia. Por último, la humedad relativa aumenta a medida que avanza hacia las condiciones finales, donde en estos periodos el porcentaje de humedad es cercano al 100%. De lo anterior se destaca que la mayoría de los parámetros hidrometeorológicos muestran un comportamiento similar en los humedales Jatunhuaycu y Pugllohuma en todas las condiciones antecedentes y algunos valores difieren con respecto al humedal Tungurahua. Además, se observa que todas las variables hidrometeorológicas aumentan cuando se avanza a las condiciones finales, con excepción de la radiación solar, temperatura del aire y en menor medida velocidad del viento, donde ocurre todo lo contrario.

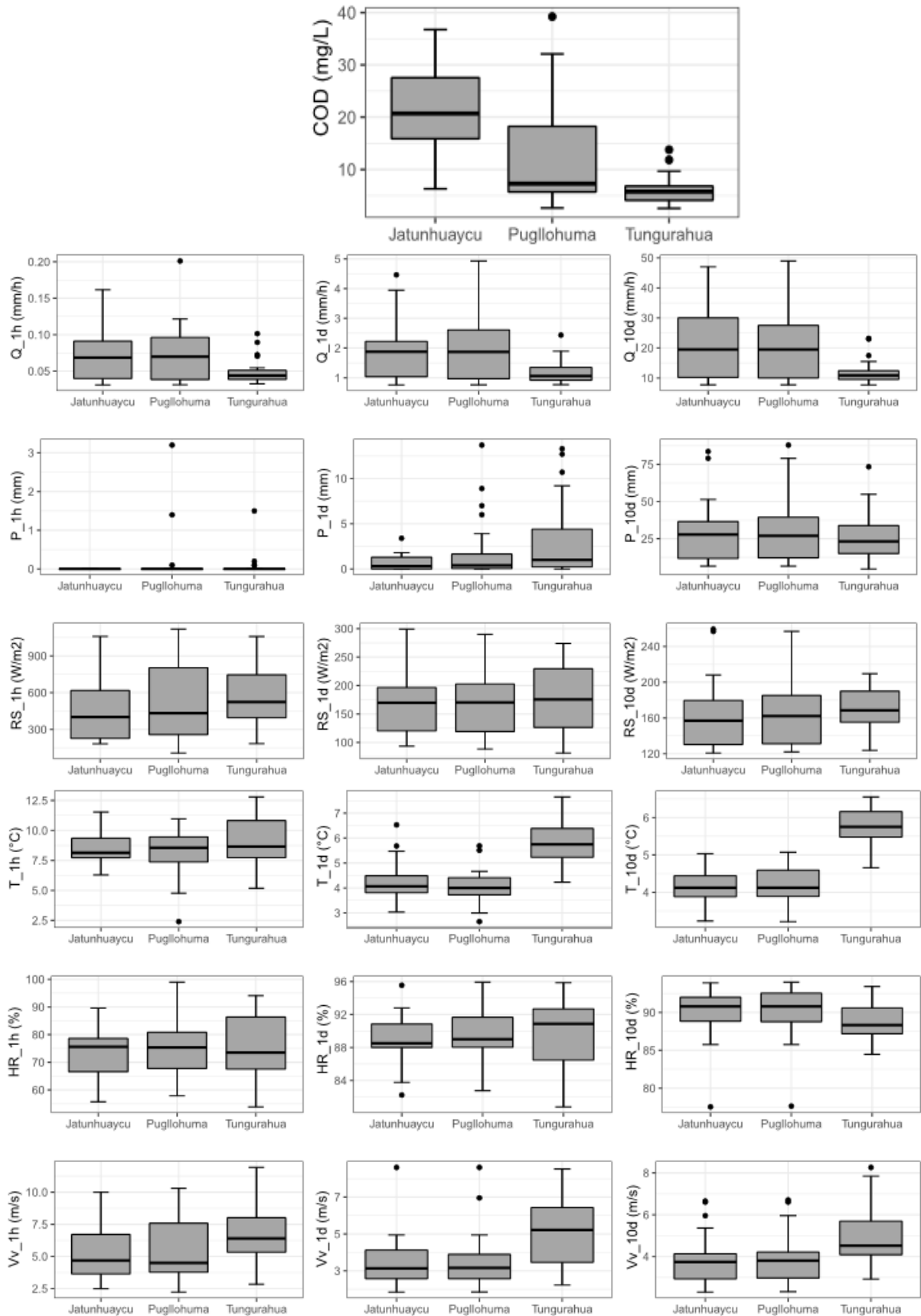


Figura 3. Diagrama de cajas de la concentración de COD y las variables hidrometeorológicas entre los humedales Jatunhuaycu, Pugllohuma y Tungurahua. En cada caja se muestra únicamente los periodos (1 hora, 1 y 10 días).

Para identificar los principales controladores hidrometeorológicos se determinó el coeficiente de correlación de Spearman (r) para todas las variables hidrometeorológicas en los periodos de tiempo antecedentes a la toma de muestra con la concentración de COD en los humedales Jatunhuaycu, Pugllohuma y Tungurahua (Tabla 2). Considerando sólo el rango de correlación alta y muy alta se observa que el humedal Pugllohuma aporta las mejores correlaciones ($-0.52 < r < 0.94$) y estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en la mayoría de las variables hidrometeorológicas con la concentración de COD y el humedal Jatunhuaycu mantiene las correlaciones más bajas ($0.53 < r < 0.57$) y poco significativas ($p < 0.01$) en casi todos sus parámetros. Mientras que el humedal Tungurahua, comparte correlaciones altas a medias ($-0.51 < r < 0.79$) y en algunos de los casos con un importante nivel de significancia ($p < 0.05$).

Para el humedal Jatunhuaycu el caudal y la radiación solar presentaron las mejores correlaciones (correlación alta) y estadísticamente significativas ($0.54 < r < 0.56$) para los periodos de tiempo antecedentes a la toma de muestra de 5 días y 12 horas respectivamente. De este grupo, sólo el caudal muestra correlaciones similares (correlación moderada) para las demás condiciones antecedentes (ver Tabla 2). En tanto que la radiación solar reporta correlaciones bajas y nulas para todas las otras condiciones de referencia. Por su parte, la precipitación un factor controlador que debería estar asociado al caudal mantiene correlaciones bajas ($r < 0.30$) en todas las condiciones antecedentes, siendo el mejor coeficiente de correlación ($r = 0.29$) en el periodo de 7 días. Un caso similar, reporta la humedad relativa con bajas correlaciones negativas ($-0.09 < r < -0.37$) en los tres primeros periodos y bajas relaciones positivas ($0.08 < r < 0.19$) en las condiciones finales, encontrándose la mejor correlación ($r = -0.38$) a las 12 horas. La temperatura del aire muestra bajas correlaciones positivas en los primeros periodos ($r < 0.30$) y bajas correlaciones negativas en todas las condiciones restantes, estimando la mejor correlación ($r = -0.35$) a los 10 días. La velocidad del viento posee en su mayoría correlaciones nulas ($r < 0.09$) y sólo a una hora, 12 horas y 7 días arroja correlaciones bajas ($0.2 > r > 0.15$). De todo lo anterior, se puede observar que la mayoría de los parámetros hidrometeorológicos en los distintos periodos antecedentes aportan correlaciones bajas y casi en su totalidad son consideradas no significativas, siendo caudal desde 3 a 10 días y radiación solar sólo a las 12 horas los únicos parámetros con correlaciones significativas.

Para el humedal Pugllohuma el caudal presentó la mejor correlación ($r > 0.82$) y el más alto nivel de significancia para todos los periodos de tiempo antecedentes. La precipitación y humedad relativa muestran correlaciones altas ($r > 0.6$) desde un día hasta 10 días y totalmente significativas en ambos casos, pero con correlaciones bajas y no significativas únicamente en los dos primeros periodos (ver Tabla 2). A diferencia del humedal Jatunhuaycu

en este ecosistema se observa relaciones altas entre el caudal, precipitación y humedad relativa frente a la concentración de COD. Por su parte, la velocidad del viento muestra correlaciones negativas en la mayoría de las condiciones antecedentes, encontrándose la mejor correlación ($r = -0.53$) a los 5 días y correlaciones moderadas ($-0.40 < r < -0.46$) a los 3 y 7 días y con un importante nivel de significancia en todos los casos. Mientras que las correlaciones bajas ($r < -0,30$) y no significativas corresponde a las condiciones antecedentes restantes. La radiación solar arrojó relaciones estadísticamente no significativas en todos los periodos de referencia, con correlaciones positivas de moderadas a nulas respectivamente en las primeras condiciones antecedentes y correlaciones negativas ($-0.26 < r < -0.33$) desde los 3 a 10 días, estimándose la mejor correlación ($r < 0,39$) en el periodo de una hora. La temperatura del aire muestra correlaciones bajas a las 12 horas ($r = 0.194$) y 10 días ($r = 0.187$) y correlaciones nulas para todos los periodos restantes. En este caso, se puede observar que la mayoría de los parámetros hidrometeorológicos en los distintos periodos antecedentes aportan correlaciones altas y en gran parte son consideradas significativas, siendo radiación solar y temperatura del aire los únicos parámetros con relaciones no significativas en todas las condiciones antecedentes.

Para el humedal Tungurahua la precipitación presentó la mejor correlación ($r = 0.78$) con un alto nivel de significancia en el periodo de 10 días y correlaciones similares ($0.69 > r > 0.43$) en los otros periodos antecesores, a excepción de 1 hora (correlación nula). El caudal muestra relaciones altas ($0.61 > r > 0.53$) desde una hora hasta 1 día y correlaciones moderadas en las últimas condiciones antecedentes (ver [Tabla 2](#)). Por su parte, la radiación solar y velocidad del viento mantienen correlaciones negativas en todas las condiciones previo a la toma de muestra, donde para las dos variables las mejores correlaciones ($r > -0.61$) se sitúa a los 10 días. De este grupo, la velocidad del viento estima relaciones similares y significativas en todos los periodos restantes con la única excepción a los 5 días (no significativo). Mientras que la radiación solar muestra correlaciones bajas (12 horas y 3 días) y correlaciones moderadas (1 hora, 1,5 y 7 días) y totalmente no significativas en todos los casos. La temperatura del aire presenta la mejor correlación ($r = -0.33$) en el periodo de un día y correlaciones bajas en todas las demás condiciones antecedentes. Un caso particular sucede con la humedad relativa al presentar correlaciones bajas ($0.29 > r > 0.1$) únicamente a las 12 horas y 10 días y correlaciones nulas en todos los periodos restantes. De esta manera, se observa que las bajas correlaciones de la humedad relativa con respecto a la concentración de COD no coinciden con las altas correlaciones encontradas con el caudal y precipitación. Al igual que en el humedal Pugllohuma se puede observar que la mayoría de los parámetros hidrometeorológicos en los distintos periodos antecedentes aportan correlaciones altas y

significativas, siendo temperatura del aire y humedad relativa los únicos parámetros con correlaciones no significativas en todas las condiciones antecedentes.

Tabla 2. Regresión entre COD – variables hidrometeorológicas en los humedales del sitio de estudio.

Variables hidrometeorológicas	(r)							
	1 hora	12 horas	1 día	3 días	5 días	7 días	10 días	
Jatunhuaycu	Caudal	0,376	0,391	0,355	0,439*	0,540*	0,485*	0,439*
	Precipitación	NA	0,190	-0,157	0,277	0,252	0,292	0,277
	Radiación solar	0,055	0,562**	-0,031	-0,018	0,017	0,261	0,236
	Temperatura del aire	0,284	0,296	-0,049	-0,115	-0,269	-0,297	-0,348
	Humedad relativa	-0,092	-0,378	-0,153	0,081	0,188	0,042	0,169
	Velocidad del viento	0,155	0,204	-0,018	-0,006	0,047	0,162	0,09
Pugllohuma	Caudal	0,911** *	0,912***	0,923** *	0,818***	0,919** *	0,931***	0,887** *
	Precipitación	0,161	0,379	0,625**	0,660***	0,678** *	0,690***	0,715** *
	Radiación solar	0,394	0,147	0,081	-0,272	-0,333	-0,297	-0,300
	Temperatura del aire	0,067	0,187	-0,071	-0,054	0,015	0,062	0,194
	Humedad relativa	-0,055	0,240	0,692** *	0,824***	0,761** *	0,632**	0,720** *
	Velocidad del viento	0,297	-0,069	-0,213	-0,448*	-0,529*	-0,412*	-0,242
Tungurahua	Caudal	0,534**	0,579**	0,606**	0,476*	0,460*	0,415	-0,348
	Precipitación	-0,039	0,440*	0,585**	0,589**	0,618**	0,661***	0,784** *
	Radiación solar	-0,345	-0,239	-0,368	-0,279	-0,359	-0,422	- 0,617**
	Temperatura del aire	-0,236	-0,261	-0,334	-0,273	-0,180	-0,117	0,021
	Humedad relativa	0,12	0,071	0,257	0,133	-0,043	0,037	0,081
	Velocidad del viento	-0,523*	-0,607**	- 0,582**	-0,443*	-0,395	-0,485*	- 0,614**

Coeficientes de (r) de Spearman para las variables hidrometeorológicas en los humedales del sitio de estudio. Se resaltan con blanco y negrita los valores de las mejores correlaciones y se colorea en escala de rojo a verde cada una de las variables hidrometeorológicas, en base a los criterios propuestos por (Martínez et al., 2010). Clasificación de los coeficientes de correlación: 1 - 0.7 muy alta (rojo), 0.69 - 0.50 alta (naranja), 0.49 - 0.30 moderada (verde oscuro), 0.29 - 0.10 baja (verde claro), 0.09 > nula (blanco). Los asteriscos en los valores explican el nivel de significancia ($p < 0.05$) del coeficiente de (r) de Spearman. Niveles de significación: *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$.

Luego de realizar el análisis de Regresión Lineal Simple (RLS) se utilizó el análisis de regresión lineal múltiple paso a paso (SMLR, del inglés Stepwise Multiple Linear Regression) entre la concentración de COD y las variables hidrometeorológicas para los periodos de tiempo antecedentes a la toma de muestra en los humedales Jatunhuaycu, Pugllohuma y Tungurahua (ver [Tabla 3](#)). Este análisis fue aplicado para ver si varios factores hidrometeorológicos (en conjunto) aportan mejores correlaciones, debido a que mediante un análisis de RLS, la concentración de COD reportó diferentes distribuciones en algunos de sus factores hidrometeorológicos y condiciones antecedentes. Encontrándose que el humedal Jatunhuaycu y Tungurahua son los ecosistemas que interactúan con algunos parámetros hidrometeorológicos en las diferentes condiciones antecedentes y en el humedal Pugllohuma una participación mínima de estas variables hidrometeorológicas.

En el humedal Jatunhuaycu se observa la interacción de todas las variables hidrometeorológicas en las diferentes condiciones antecedentes, a excepción de la radiación solar, siendo a los 5 días (caudal, temperatura del aire y velocidad del viento) el periodo con mejor coeficiente de determinación ($R^2 = 0.3934$, $p = 0.009$). Para los periodos de 12 horas, 7 días y 10 días las diferencias fueron mínimas, pero estadísticamente significativas en todas las condiciones antecedentes a excepción de un día y 3 días. Además, se muestra que durante el periodo corto existe una dominancia del caudal y humedad relativa, mientras que en el periodo más largo influye la velocidad del viento. Un caso particular se observa con la precipitación, puesto que actúa en algunas condiciones antecedentes, pero en todas son consideradas no significativas (ver [Tabla 3](#)). Por otra parte, se observa que en el humedal Pugllohuma sólo el caudal presentó un alto coeficiente de determinación y nivel de significancia ($R^2 > 0.77$, $p < 0.001$) en todas las condiciones antecedentes, mientras se estima una interacción mínima y no significativa de la radiación solar (12 horas) y temperatura del aire (12 horas y 10 días) y la no intervención de la humedad relativa y velocidad del viento, como se visualiza en la [Tabla 3](#). Por último, el humedal Tungurahua al igual que el humedal Jatunhuaycu muestra la participación de todas las variables hidrometeorológicas (excepto radiación solar) en al menos una condición antecedente. En este caso, todos los periodos antecedentes presentan coeficientes de determinación moderada ($0.4 < R^2 < 0.6$, $p = 0.001$), siendo el caudal y la velocidad del viento las variables que indican un alto nivel de significancia durante los periodos cortos y dominancia de la precipitación en los periodos largos (ver [Tabla 3](#)). Con todo lo mencionado anteriormente se puede decir que cuando se consideraron algunas variables como caudal, temperatura y velocidad del viento; caudal, radiación solar y temperatura; precipitación, humedad relativa y velocidad del viento mostraron mejoras mínimas en el análisis de SMLR, con respecto al análisis de RLS. Además, en la [Tabla 3](#) se observa que las variables hidrológicas aportan correlaciones altas y significativas en la

mayoría de las condiciones antecedentes en todos los humedales y una influencia mínima y en algunas de las condiciones antecedentes de las variables meteorológicas, donde se asume que estos últimos todavía actúan de forma inestable al momento de controlar el COD.

Tabla 3. Regresión lineal múltiple COD – variables hidrometeorológicas en los humedales del sitio de estudio.

Variable	Periodo							
	1h	12h	1d	3d	5d	7d	10d	
Jatunhuaycu	Caudal	1*	2	1*	1*	1**	1	1
	Precipitación		1	2			3	3
	R. Solar							
	Temperatura	2				3		
	H. Relativa		3**					
	V. viento				2*	2*	2*	2*
	p-value	0.0338	0.0129	0.054	0.066	0.009	0.0103	0.016
	R ²	0.2373	0.3661	0.197	0.1785	0.3934	0.383	0.348
Pugllohuma	Caudal	1***	1***	1***	1***	1***	1***	1***
	Precipitación							2
	R. Solar		2					
	Temperatura		3					3
	H. Relativa							
	V. viento							
	p-value	2.79E-9	5.845E-8	2.91E-8	5.6E-8	3.48E-9	1.17E-8	4.94E-7
	R ²	0.8118	0.8234	0.7653	0.7504	0.8078	0.784	0.778
Tungurahua	Caudal	1**	1**	1**				2*
	Precipitación				1***	1***	1***	1***
	R. Solar							
	Temperatura				4			
	H. Relativa				2**	2	2	
	V. viento	2*	2*	2	3			
	p-value	0.0045	0.00012	0.00035	0.00076	0.00091	0.00082	0.00039
	R ²	0.374	0.5708	0.521	0.5748	0.4711	0.4768	0.5167

Relación múltiple COD - variables hidrometeorológicas en los humedales del sitio de estudio. Se resaltan con negrita los valores de las correlaciones y el nivel de significancia en todas las condiciones antecedentes. Los valores [1,2,3,4] indican el orden de relación entre la concentración de COD y las variables hidrometeorológicas. Los asteriscos en los valores explican el nivel de significancia ($p < 0.05$). Niveles de significación: *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$, $p < 0.1$. Además, se indica el p-value y coeficiente de determinación (R^2) para cada periodo antecedente.

Con el objetivo de conocer si las variables hidrometeorológicas tienen relación entre ellas, se realizó una matriz de correlación de las variables hidrometeorológicas con los diferentes periodos de tiempo antecedentes a la toma de muestra para los humedales Jatunhuaycu, Puglllohuma y Tungurahua. En el humedal Jatunhuaycu ([Figura 4](#)) se observa que las mejores correlaciones y en la mayoría de las condiciones antecedentes corresponde al caudal frente a la precipitación y humedad relativa. También radiación solar con relación positiva a la velocidad del viento y relación negativa con la humedad del aire. Este último, arroja buenas correlaciones negativas sobre todo durante los periodos de 7 y 10 días. Mientras se observa correlaciones moderadas positivas de la precipitación con la humedad relativa (1 a 5 días y 10 días) y correlaciones moderadas negativas con la velocidad del viento (3 a 10 días). Finalmente, la humedad relativa no mantiene ninguna relación con la velocidad del viento, mientras que la temperatura del aire muestra una relación baja con la radiación solar y ninguna relación con los demás parámetros. Probablemente, caudal, radiación solar y humedad relativa son los parámetros de mayor importancia, por las buenas correlaciones encontradas en la mayoría de las condiciones antecedentes.

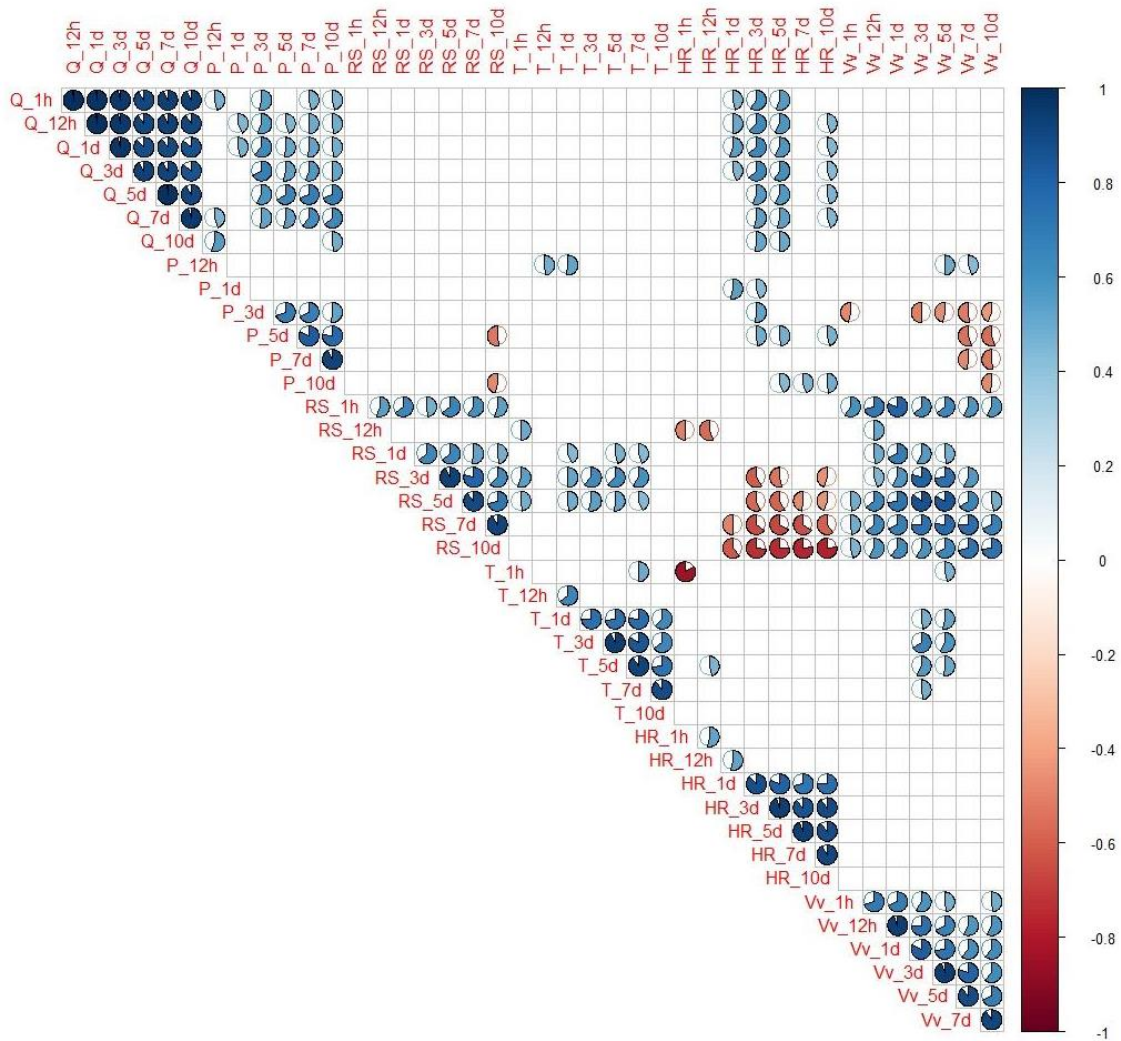


Figura 4. Relación entre variables hidrometeorológicas en el humedal Jatunhuaycu. En cada eje se explica el grado de relación que mantiene cada variable con su respectivo periodo de tiempo antecedente a la toma de muestra, donde el color azul oscuro indica una alta relación positiva y el color rojo oscuro indica una alta relación negativa, mientras que los rangos de color degradado (azul y rojo) indican una disminución simultánea de correlación. El relleno del pastel corresponde al nivel de significancia, donde disminuye al reducir la tonalidad azul o rojo del pastel. Los espacios en blanco indican los periodos con correlación baja y significancia nula.

En el humedal Pugllohuma (Figura 5) se observa que las mejores correlaciones positivas y en la mayoría de las condiciones antecedentes corresponde al caudal frente a la precipitación y humedad relativa (1 a 10 días) y correlaciones moderadas negativas con la radiación solar y velocidad del viento durante los 3 y 5 días en ambos casos. También, la radiación solar se caracteriza por mantener buenas correlaciones positivas con la velocidad del viento (1 a 10 días) y buenas correlaciones negativas con la humedad del aire (3 a 10 días). Asimismo, la precipitación presenta relaciones moderadas positivas con la humedad relativa en todos los periodos antecedentes, excepto en las primeras horas y correlaciones moderadas negativas con la radiación solar (sólo en los últimos días) y velocidad del viento (sólo desde 3 a 10 días). Por su parte, la temperatura del aire no muestra correlaciones con ninguna variable y por

último la humedad del aire presenta una relación negativa moderada con velocidad del viento desde 3 a 7 días. En este caso es probable que todos los parámetros hidrometeorológicos, excepto temperatura del aire mantenga una afinidad importante entre sí, por las buenas correlaciones encontradas en la mayoría de las condiciones antecedentes.

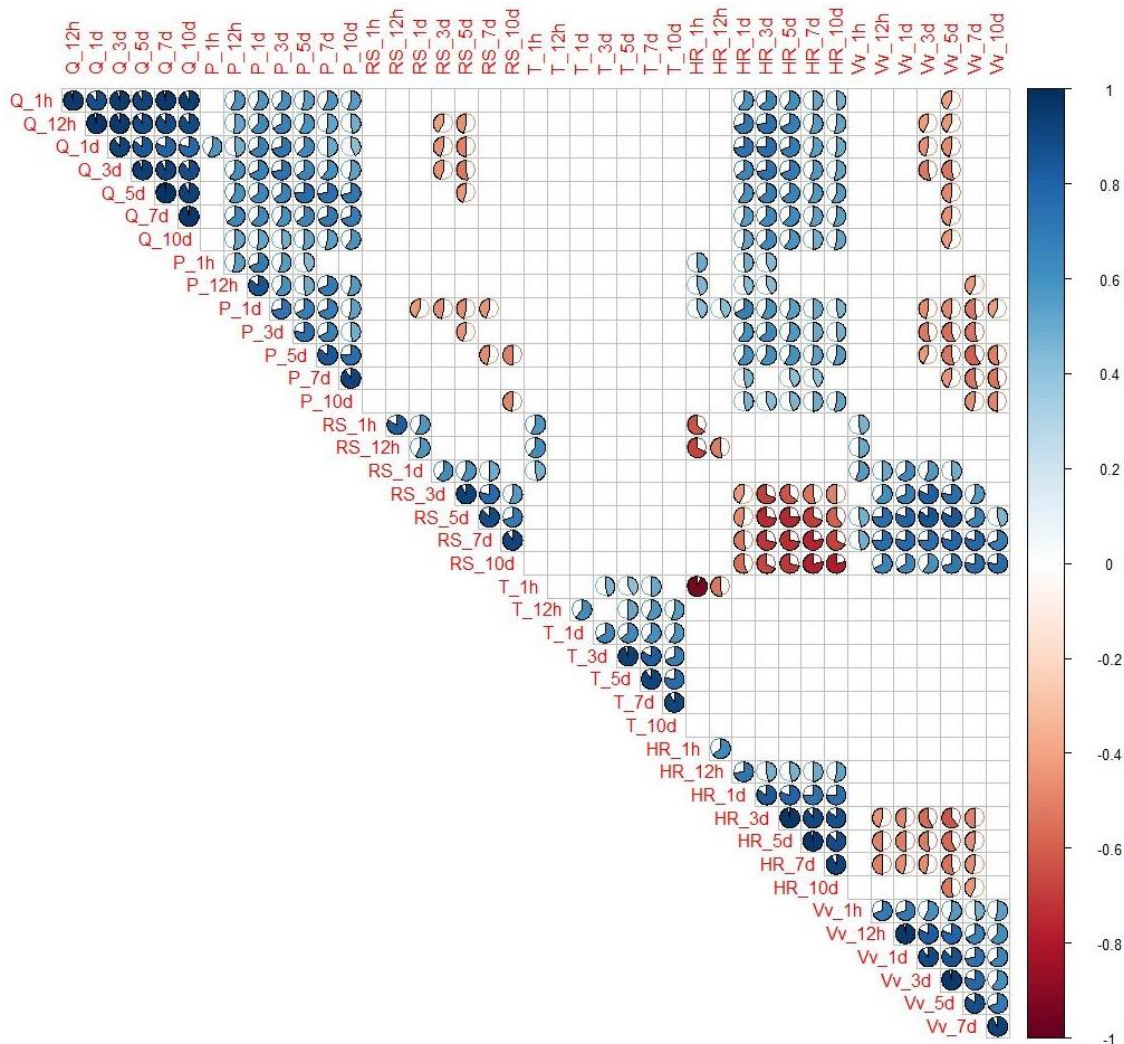


Figura 5. Relación entre variables hidrometeorológicas en el humedal Puglllohuma. En cada eje se explica el grado de relación que mantiene cada variable con su respectivo periodo de tiempo antecedente a la toma de muestra, donde el color azul oscuro indica una alta relación positiva y el color rojo oscuro indica una alta relación negativa, mientras que los rangos de color degradado (azul y rojo) indican una disminución simultanea de correlación. El relleno del pastel corresponde al nivel de significancia, donde disminuye al reducir la tonalidad azul o rojo del pastel. Los espacios en blanco indican periodos con correlación baja y significancia nula.

En el humedal Tungurahua (Figura 6) se observa que las mejores correlaciones positivas y en la mayoría de las condiciones antecedentes corresponde al caudal frente a la precipitación y humedad relativa desde los 3 días en adelante y correlaciones moderadas negativas con la radiación solar y velocidad del viento únicamente a los 10 días. La precipitación también aportó correlaciones negativas de moderadas a altas con la radiación solar (3 a 10 días) y

velocidad del viento (1 a 10 días). En este caso, la radiación solar presenta relaciones moderadas positivas con la velocidad del viento (1 a 10 días) y a diferencia de los humedales anteriores se ha encontrado una interacción mínima con la humedad relativa. Por su parte, la temperatura del aire no muestra ninguna relación con los demás parámetros y algo similar sucede entre humedad relativa y velocidad del viento. Probablemente el caudal, radiación solar y la velocidad del viento son los parámetros de mayor importancia, por las buenas correlaciones encontradas en la mayoría de las condiciones antecedentes.

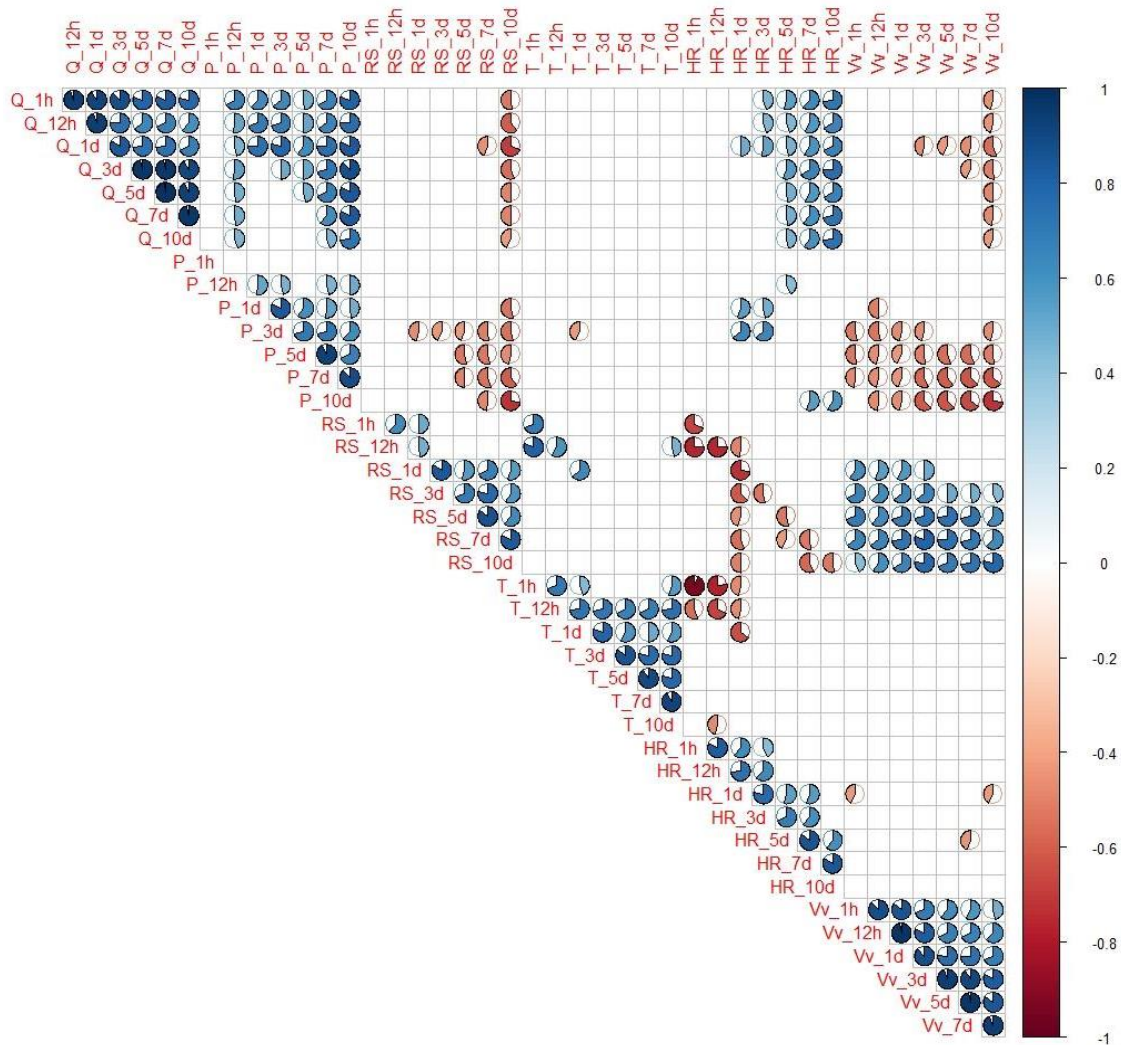


Figura 6. Relación entre variables hidrometeorológicas en el humedal Tungurahua. En cada eje se explica el grado de relación que mantiene cada variable con su respectivo periodo de tiempo antecedente a la toma de muestra, donde el color azul oscuro indica una alta relación positiva y el color rojo oscuro indica una alta relación negativa, mientras que los rangos de color degradado (azul y rojo) indican una disminución simultanea de correlación. El relleno del pastel corresponde al nivel de significancia, donde disminuye al reducir la tonalidad azul o rojo del pastel. Los espacios en blanco indican los periodos con correlación baja y significancia nula.

4.3. Relación sobre de qué manera los factores hidrometeorológicos principales controlan las concentraciones de COD en los humedales de estudio.

En esta sección se analizó cómo las principales variables hidrometeorológicas (aumentan o disminuyen) controlan el COD en los humedales Jatunhuaycu, Pugllohuma y Tungurahua.

4.3.1. Relación sobre de qué manera los factores hidrometeorológicos principales controlan las concentraciones de COD en el humedal Jatunhuaycu.

En la [Figura 7](#) se muestra los gráficos de dispersión de cada uno de los parámetros con mejor periodo de tiempo antecedente a la toma de muestra, que presentó el más alto coeficiente de correlación de (r) Spearman con la concentración de COD en el humedal Jatunhuaycu. Se observa que el caudal y la radiación solar reportan correlaciones altas. Estos parámetros siguen una tendencia positiva, lo que indica que la concentración del COD incrementa al aumentar los valores de los parámetros antes mencionados o viceversa. En tanto que la temperatura del aire y la humedad relativa mantienen correlaciones moderadas negativas, es decir parte de sus valores se encuentran espacialmente distribuidos, por lo que posiblemente actúen como factores controladores. Estas condiciones indican que la concentración de COD disminuye al aumentar los valores de los parámetros antes mencionados o viceversa. Por último, la precipitación y la velocidad del viento reportan bajas correlaciones positivas con una distribución en su mayoría alejada a la línea de tendencia, donde aquellos valores estiman que estos parámetros podrían no actuar como controladores de la concentración de COD. Por todo lo expuesto anteriormente, se puede decir que el caudal y radiación solar son los únicos parámetros hidrometeorológicos que controlan la concentración de COD en el humedal Jatunhuaycu.

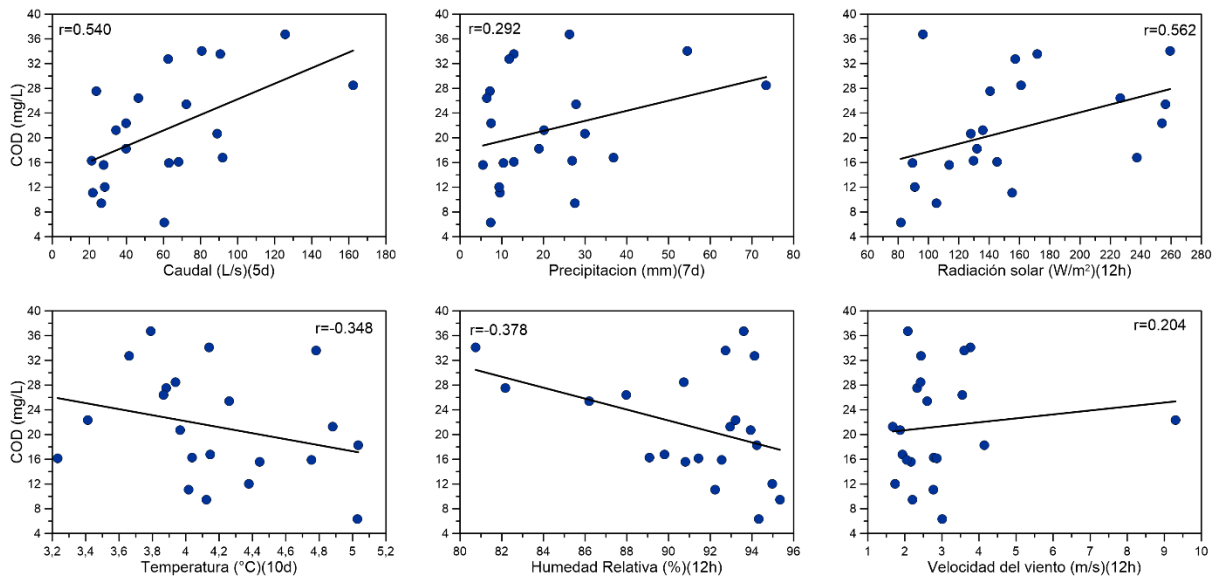


Figura 7. Relación de la concentración de COD y las variables hidrometeorológicas en el humedal Jatunhuaycu. El título en el eje x corresponde a las variables hidrometeorológicas con mayor coeficiente de (r), periodo de las agregaciones ($d = \text{días}$, $h = \text{horas}$) y las unidades de las variables hidrometeorológicas. También, se indica el valor de (r) en la parte superior de cada gráfico.

Una vez identificado las mejores correlaciones entre la concentración de COD y las variables hidrometeorológicas en el humedal Jatunhuaycu se procedió a examinar los valores residuales de cada variable para verificar si cumplen las hipótesis de normalidad e independencia. En el [Apéndice G](#). Gráficos residuales de distribución normal en el humedal Jatunhuaycu sólo caudal, precipitación, temperatura del aire y humedad relativa siguen una distribución normal. Por su parte en la [Figura 8](#), se observa que la mayoría de los valores residuales se encuentran distribuidos equitativamente tanto en la parte posterior como inferior, por lo que no se puede rechazar la hipótesis de igualdad de varianzas y sólo la precipitación muestra la presencia de algún residuo atípico, donde se puede notar mayor cantidad de valores por debajo de la recta. En efecto, se puede observar que casi todos los valores residuales se encuentran dispersos aleatoriamente, lo que nos da una primera impresión del cumplimiento de la independencia.

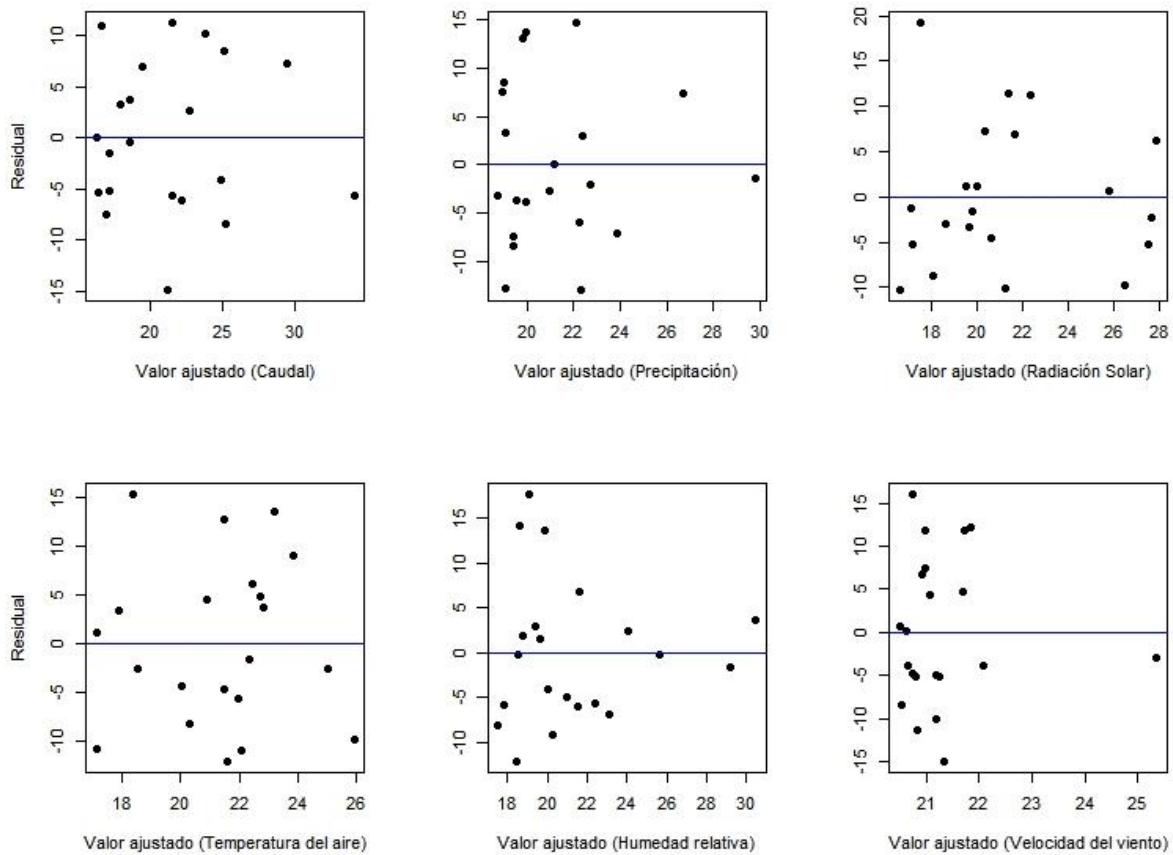


Figura 8. Gráficos de dispersión de los valores residuales de las mejores correlaciones entre la concentración de COD y las variables hidrometeorológicas en el humedal Jatunhuaycu. En cada gráfico se muestra la distribución aleatoria y equitativa de los puntos a través de la recta horizontal trazada en cero.

4.3.2. Relación sobre de qué manera los factores hidrometeorológicos principales controlan las concentraciones de COD en el humedal Pugllohuma.

En la [Figura 9](#) se muestra los gráficos de dispersión de cada uno de los parámetros con mejor periodo de tiempo antecedente a la toma de muestra, que presentó el más alto coeficiente de correlación de (r) Spearman con la concentración de COD en el humedal Pugllohuma. Los parámetros como el caudal, humedad relativa y precipitación son los más importantes dentro del humedal al reportar correlaciones muy altas. Se observa que estas variables siguen una tendencia positiva, lo que indica que el COD incrementa al aumentar los parámetros antes mencionados o viceversa. A diferencia de la velocidad del viento y temperatura del aire que siguen una tendencia negativa y una correlación alta y baja respectivamente. De esta manera, tanto la radiación solar como la temperatura del aire no actúan como controladores de la concentración de COD por encontrarse espacialmente distribuido y alejado a la línea de tendencia, argumento que se refuerza con los bajos valores de (r) reportados. Por todo lo anterior, se puede decir que el caudal, humedad relativa, precipitación y velocidad del viento actúan como controladores de la concentración de COD en el humedal Pugllohuma.

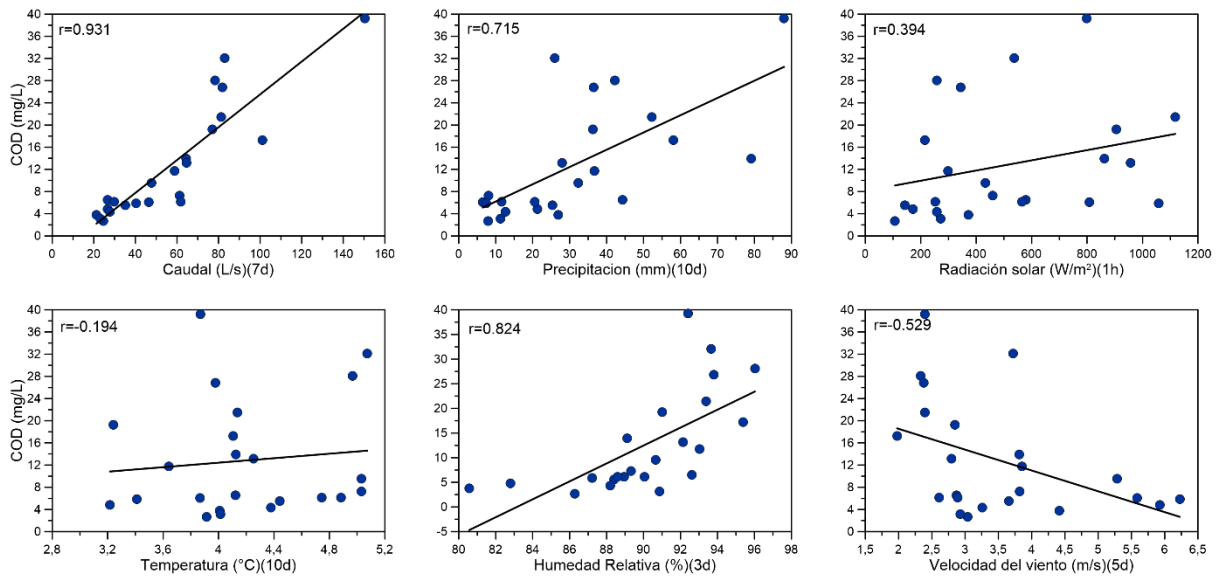


Figura 9. Relación de la concentración de COD y las variables hidrometeorológicas en el humedal Pugllohuma. El título en el eje x corresponde a las variables hidrometeorológicas con mayor coeficiente de (r), periodo de las agregaciones (d = días, h = horas) y las unidades de las variables hidrometeorológicas. También, se indica el valor de (r) en la parte superior de cada gráfico.

Una vez identificado las mejores correlaciones entre la concentración de COD y las variables hidrometeorológicas en el humedal Pugllohuma se procedió a examinar los valores residuales de cada variable para verificar si cumplen las hipótesis de normalidad e independencia. En el [Apéndice H](#). Gráficos residuales de distribución normal en el humedal Pugllohuma se tiene que el caudal, precipitación, humedad relativa y poco probable velocidad del viento reportan una distribución normal, mientras que radiación solar y temperatura del aire no muestra normalidad en sus valores residuales. En la [Figura 10](#) se observa que los valores de los residuales del caudal, precipitación y velocidad del viento se encuentran distribuidos equitativamente tanto en la parte posterior como inferior, entonces no se puede rechazar la hipótesis de igualdad de varianzas. Mientras que la distribución de la radiación solar, temperatura del aire y menor proporción humedad relativa muestran la presencia de algún residuo atípico, donde se puede notar mayor cantidad de valores por debajo de la recta. Además, se puede observar que gran parte de los valores residuales se encuentran dispersos aleatoriamente asumiendo independencia de los mismos.

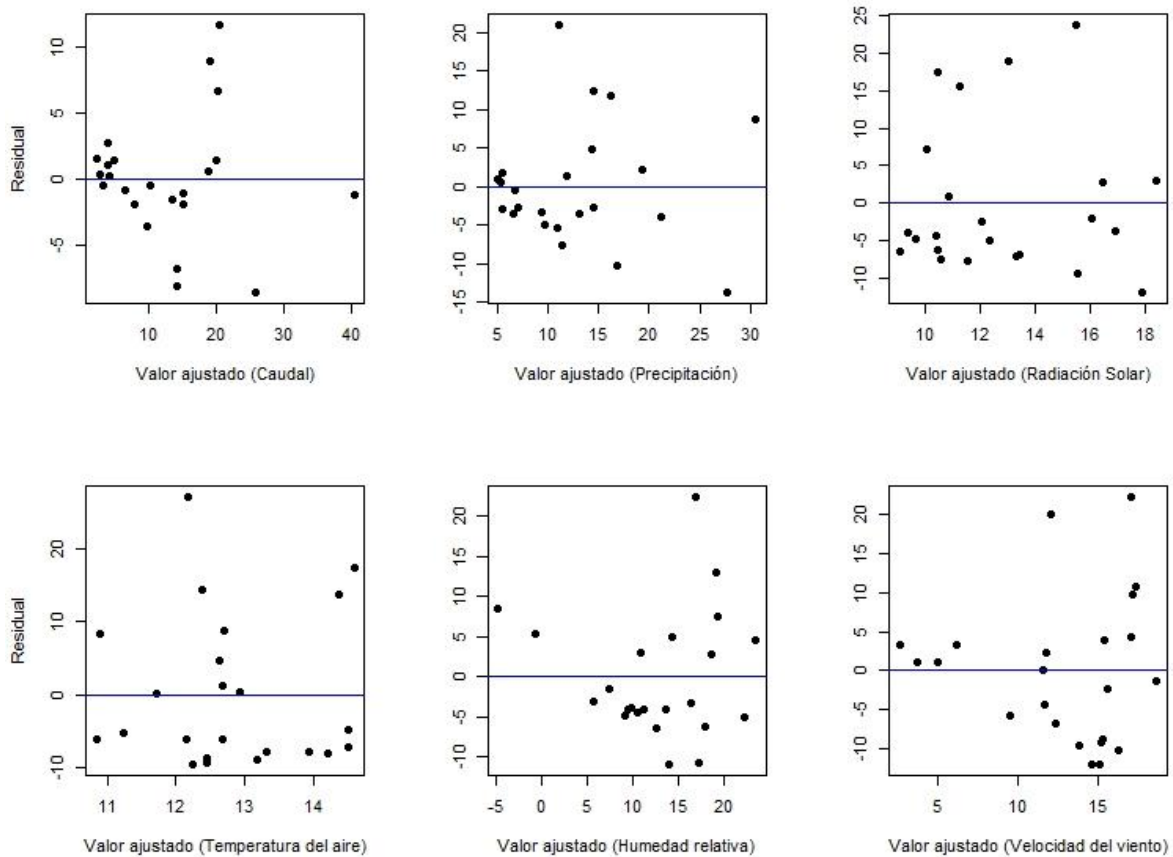


Figura 10. Gráficos de dispersión de los valores residuales de las mejores correlaciones entre la concentración de COD y las variables hidrometeorológicas en el humedal Pugllohuma. En cada gráfico se muestra la distribución aleatoria y equitativa de los puntos a través de la recta horizontal trazada en cero.

4.3.3. Relación sobre de qué manera los factores hidrometeorológicos principales controlan las concentraciones de COD en el humedal Tungurahua.

En la [Figura 11](#) se muestra los gráficos de dispersión de cada uno de los parámetros con mejor periodo de tiempo antecedente a la toma de muestra, que aportó el más alto coeficiente de correlación de (r) Spearman con la concentración de COD en el humedal Tungurahua. Los parámetros como la precipitación, radiación solar, velocidad del viento y caudal son los más importantes, al obtener las mejores correlaciones. De este grupo, se observa que la precipitación y el caudal siguen una tendencia positiva, lo que indica que el COD incrementa al aumentar los parámetros antes mencionados o viceversa. A diferencia de la radiación solar y velocidad del viento que siguen una tendencia negativa, lo que resulta que el COD disminuye al aumentar los parámetros antes mencionados o viceversa. Por otra parte, la temperatura del aire presenta una correlación moderada con tendencia negativa y en el caso de la humedad relativa muestra bajas correlaciones positivas. De esta manera, tanto la temperatura del aire como la humedad relativa posiblemente no actúen como factores

controladores por encontrarse espacialmente distribuido, argumento que se refuerza con los bajos valores de (r) obtenidos. Por lo anterior, se tiene que la precipitación, radiación solar, velocidad del viento y caudal actúan como factores controladores de la concentración de COD en el humedal Tungurahua.

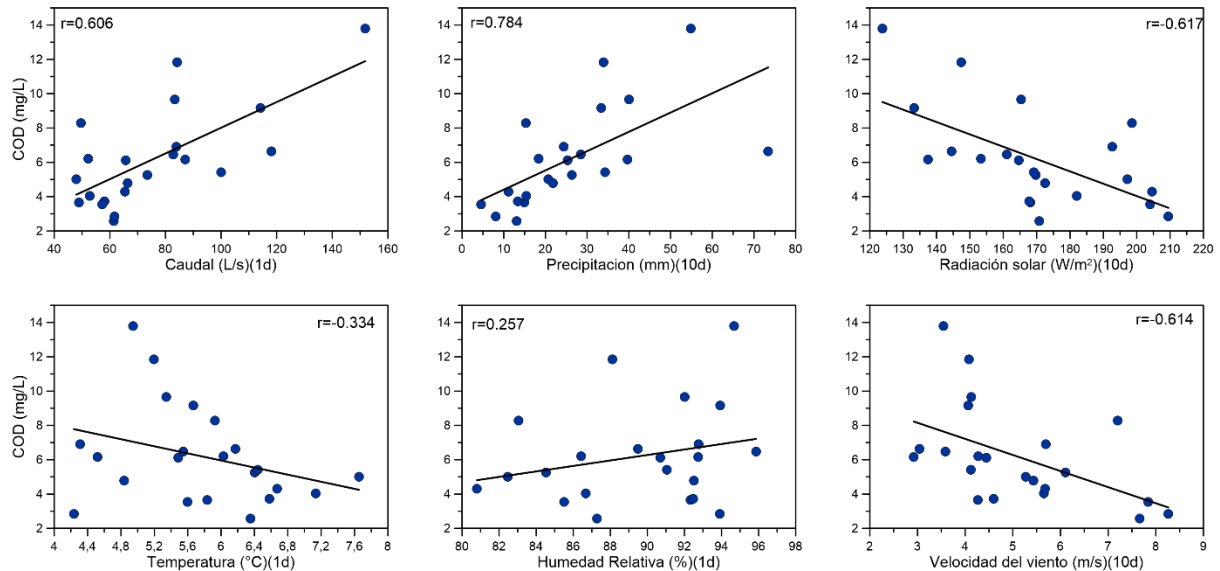


Figura 11. Relación de la concentración de COD y las variables hidrometeorológicas en el humedal Tungurahua. El título en el eje x corresponde a las variables hidrometeorológicas con mayor coeficiente de (r), periodo de las agregaciones ($d = \text{días}$, $h = \text{horas}$) y las unidades de las variables hidrometeorológicas. También, se indica el valor de (r) en la parte superior de cada gráfico.

Una vez identificado las mejores correlaciones entre la concentración de COD y las variables hidrometeorológicas en el humedal Tungurahua se procedió a examinar los valores residuales de cada variable para verificar si cumplen las hipótesis de normalidad e independencia. En el [Apéndice I](#). Gráficos residuales de distribución normal en el humedal Tungurahua todos los residuales a excepción de la velocidad del viento muestran una distribución normal en sus valores. En la [Figura 12](#) se observa que ninguno de los valores residuales se encuentra distribuidos equitativamente, ya que se puede notar mayor cantidad de valores por debajo de la recta. Esto puede deberse a la presencia de algún residuo atípico por lo que se puede rechazar la hipótesis de igualdad de varianzas. En el caso de la dispersión de los variables residuales, se puede observar que la mayoría de estos estarían cumpliendo con la independencia de sus valores al observar puntos dispersos aleatoriamente.

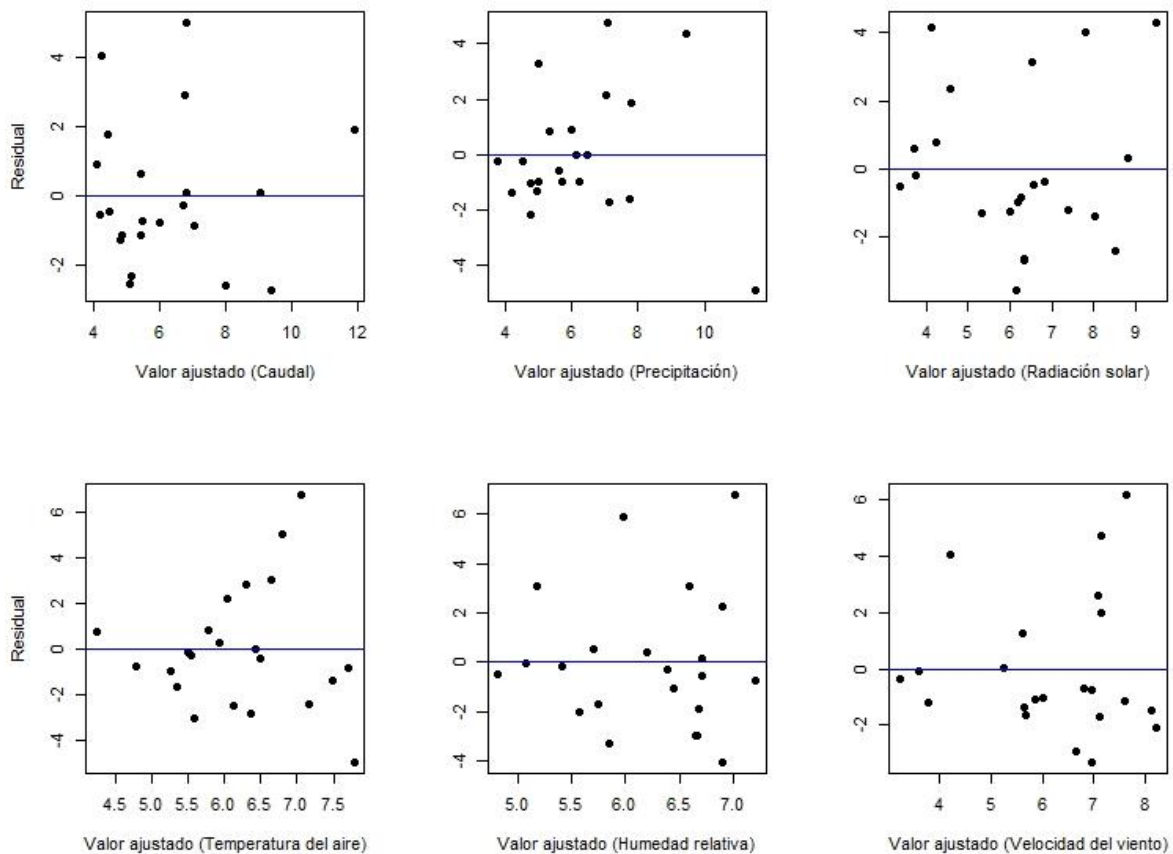


Figura 12. Gráficos de dispersión de los valores residuales de las mejores correlaciones entre la concentración de COD y las variables hidrometeorológicas en el humedal Tungurahua. En cada gráfico se muestra la distribución aleatoria y equitativa de los puntos a través de la recta horizontal trazada en cero.

Para tener respuestas más objetivas sobre los valores residuales se realizaron también análisis estadísticos en todos los humedales del sitio de estudio. En la [Tabla 4](#) se observa que en el humedal Jatunhuaycu el Test de Shapiro todos los valores umbrales son superiores a 0.05 confirmando la normalidad de los residuales (media cero en todos los residuales). Estos valores reportan cierta variación con los resultados obtenidos mediante el uso de gráficos. Algo similar reporta el estadístico de Durbin Watson, donde todos los valores residuales son superiores a 2 e inferiores a 2.5 asumiendo la independencia de los residuales, cuyos resultados son similares con el análisis gráfico.

En el humedal Pugllohuma tanto el test de Shapiro como la prueba de Durbin Watson presentan valores umbrales superiores a 0.05 y rangos entre 1.5 a 2.5 respectivamente para el caudal, precipitación, humedad relativa y velocidad del viento, confirmando una distribución normal (media cero en todos los residuales) e independencia de los residuales. En el caso de la radiación solar y temperatura del aire los residuales no mantiene una distribución normal y se supone que los valores se encuentran correlacionados. Estos resultados coinciden con el análisis de residuales realizado mediante el uso de gráficas. El humedal Tungurahua muestra

algo similar donde todos los valores son superiores a 0.05 (excepto velocidad del viento) y se encuentran entre los rangos 1.5 a 2.5, confirmando la normalidad (media cero en todos los residuales) e independencia de los residuales, cuyos resultados son similares con el análisis gráfico de los residuales.

Tabla 4. Análisis estadístico de los valores residuales en los humedales del sitio de estudio.

Variable	Residuales estadísticos			
	Test de Shapiro	Durbin Watson (DW)	Media igual a cero	
Jatunhuaycu	Caudal	0.32	2.13	1.02E-15
	Precipitación	0.33	2.15	5.18E-16
	R. Solar	0.20	2.37	-2.22E-16
	Temperatura	0.38	2.11	1.90E-16
	H. Relativa	0.16	2.14	-2.06E-16
	V. viento	0.47	2.22	-6.89E-17
Pugllohuma	Caudal	0.07	2.3	-6.62E-17
	Precipitación	0.11	1.78	-2.31E-16
	R. Solar	0.01	1.44	2.4E-16
	Temperatura	0.01	1.3	-4.8E-17
	H. Relativa	0.06	1.52	-1.15E-16
	V. viento	0.07	1.58	4.37E-17
Tungurahua	Caudal	0.08	1.8	-1.66E-16
	Precipitación	0.14	1.56	-1.01E-16
	R. Solar	0.06	2.15	-2.24E-16
	Temperatura	0.38	1.5	-8.81E-17
	H. Relativa	0.07	1.6	-1.36E-16
	V. viento	0.01	2.12	-3.38E-16

Valores residuales de las mejores correlaciones entre la concentración de COD y variables hidrometeorológicas en los humedales del sitio de estudio. El Test de Shapiro indica la normalidad de los datos cuando $p > 0.05$. El estadístico de Durbin Watson (DW) indica la no correlación de los datos cuando $1.5 < DW < 2.5$ y la media igual a cero indica que los residuos se distribuyen normalmente

5. DISCUSIÓN

5.1. Análisis de las características intrínsecas de los humedales de páramo.

La caracterización intrínseca permitió comprender el comportamiento de los humedales de estudio y la importancia frente a la concentración de COD. Sin embargo, las características de la cobertura vegetal y los valores sobre los rangos de elevación y pendiente variaron muy poco entre los ecosistemas de humedales. Mientras se encontró que los humedales se diferencian tanto en extensión como en concentración de COD, donde el humedal Jatunhuaycu con la mayor extensión (375,69 ha) aportó las concentraciones de COD más altas (mediana: 20,69 mg/L). Pese a que el humedal Pugllohuma tuvo una cobertura terrestre de 14,14 ha mostró una importante cantidad de carbono con una mediana de aproximadamente 7,28 mg/L y en el caso del humedal Tungurahua con una extensión de 25,80 ha mantuvo las concentraciones de COD más bajas con una mediana que rodea los 5,76 mg/L. Estas variaciones pueden atribuirse al cambio de uso de suelo de estos ecosistemas, debido a las diversas actividades humanas que han provocado una mayor rotación de carbono, reduciendo la cantidad de carbono orgánico almacenado en las capas inferiores del suelo (W Buytaert & De Bievre, 2012). Sin embargo es probable que la mayor concentración de COD en el humedales Jatunhuaycu y Pugllohuma se deba a que estos ecosistemas se asientan en el fondo de la cuenca, por lo que recibe mayores concentraciones de carbono, cuando es arrastrado desde las laderas producto de la escorrentía (Inamdar & Mitchell, 2006; M. C. Roa-García et al., 2011; Mosquera et al., 2015; Adler et al., 2021). A diferencia del humedal Tungurahua que se encuentra en la parte alta de la cuenca por lo que no estaría recibiendo arrastre de carbono proveniente de las laderas o aquel aporte de carbono resulta muy bajo (Wen et al., 2020). Las actividades de restauración de estos ecosistemas también podrían explicar las variaciones en la concentración de COD. El humedal Tungurahua mantiene una restauración pasiva, a diferencia de los otros humedales que están intervenidos con bloqueos de agua construidos por el FONAG (diques de madera). Probablemente, las actividades realizadas por el FONAG mejoren la recuperación de especies propias de la zona y la pérdida de especies no nativas que no son resistentes al anegamiento. Estas propiedades absorbentes de las especies nativas hacen que el balance de agua y la acumulación de carbono jueguen un papel importante durante la presencia de fenómenos hidro climáticos (Yugsi Zambrano, 2018). Sin embargo, Kayranli et al., (2010) considera que en estos ecosistemas anegados se requiere de un importante periodo de tiempo para que la retención de carbono esté a la par con ecosistemas naturales sin alteraciones. Asimismo, los autores consideran que las características físicas del suelo podrían afectar la acumulación de COD, puesto que estas características como es el caso de la conductividad hidráulica pueden hacer que el carbono se mueva de las capas superficiales

a las capas más profundas (Mosquera et al., 2016). Con estas condiciones, se supone que en el humedal Jatunhuaycu (poco permeable) el flujo de escorrentía lavaría el carbono que está en los diques y en los horizontes cercanos a la superficie aportando mayores concentraciones de COD y, en el caso del humedal Tungurahua (bien permeable) el flujo movería el carbono a estratos de suelo más profundos por efecto a la alta permeabilidad de sus suelos (Mosquera et al., 2015). En el [Apéndice F](#), Propiedades hidro físicas del humedal Jatunhuaycu y Tungurahua se visualiza como varía la capacidad de infiltración entre un humedal y otro a diferentes niveles de profundidad. Por todo lo expuesto anteriormente, se puede deducir que la caracterización intrínseca influye de diferentes formas en cuanto a su producción, movilización y consumo de COD en estos ecosistemas anegados (Lou et al., 2014; Zhang et al., 2016; Salimi & Scholz, 2021).

5.2. Análisis de los factores hidrometeorológicos cómo controladores de las concentraciones de COD en los humedales de estudio.

El análisis estadístico a partir de regresión lineal mediante pruebas no paramétricas identificó importantes relaciones entre la concentración de COD y los controladores hidrometeorológicos en los tres humedales de páramo examinados en el presente estudio. Las mejores relaciones con análisis de RLS se encontraron en el humedal Pugllohuma para la mayoría de los parámetros hidrometeorológicos, seguido del humedal Tungurahua y humedad Jatunhuaycu en último lugar. Estos resultados presentaron diferencias significativas en la manera de controlar la concentración de COD entre los humedales, sobre todo en los factores climáticos, por tal motivo un análisis de SMLR y correlaciones entre variables hidrometeorológicas fue una manera importante para deducir el comportamiento de estos ecosistemas naturales.

En el humedal Jatunhuaycu, el coeficiente de correlación de Spearman más alto y significativo fue únicamente para las variables caudal y radiación solar con el método de RLS. Esto puede ser dado al efecto que tiene la radiación solar en la temperatura, donde la ausencia de nubosidad provoca el paso directo y con mayor intensidad de los rayos solares, lo que da lugar a mayores tasas de evaporación y aireación del suelo (Laudon et al., 2012; Muller & Tankéré-Muller, 2012). Estas condiciones favorecen una mayor actividad metabólica de los microorganismos generando más carbono (Strock et al., 2017; Gavin et al., 2018) y que luego puede ser arrastrado por el caudal (Muller & Tankéré-Muller, 2012; Wen et al., 2020). Sin embargo, en el caso de la radiación solar los periodos restantes mantienen relaciones bajas y nulas. Estos hallazgos se podrían justificar por las altas correlaciones negativas entre radiación solar y humedad relativa en los últimos periodos antecedentes, donde la intensidad de la radiación solar se ve disminuida por efecto de la nubosidad (Llambí et al., 2012; Carrillo-

Rojas et al., 2016). Curiosamente, tanto la precipitación (correlación positiva) como la humedad relativa (correlación negativa) presentan correlaciones bajas y no significativas (con análisis de RLS) en todos los periodos antecedentes. Un resultado poco inusual porque se conoce que en la mayoría de veces la humedad relativa tiene un efecto directo en la precipitación y aportan positivamente en el arrastre y almacenamiento de carbono. En parte esto puede atribuirse a la relación positiva casi nula de la precipitación con la humedad del aire y correlaciones negativas más altas con la velocidad del viento en el análisis entre variables predictoras, pues la baja humedad relativa y altos niveles de velocidad del viento disminuyen los procesos de condensación y por consiguiente la generación de lluvia (Maestre & Martin-Gorriz, 2010). No obstante, las correlaciones bajas entre la concentración de COD y la precipitación obtenidos en el estudio están a la par con otros hallazgos (McGlynn & McDonnell, 2003; Raymond & Saiers, 2010; Pesántez et al., 2018; De Mera Rodríguez & Jerves Ramírez, 2020). Los autores asumen que esto se debe a que la entrada de agua proveniente de la escorrentía podría diluir la concentración de COD por el lavado hidrológico de los horizontes superficiales. Por su parte, la temperatura del aire y velocidad del viento no actúan como factores controladores de la concentración de COD, donde todas las correlaciones encontradas fueron bajas, nulas y no significativas en todas las condiciones antecedentes.

En el humedal Pugllohuma, se encontraron que los coeficientes de correlación de Spearman más altos y significativos con análisis de RLS fueron para el caudal, precipitación y humedad relativa. Estos resultados pueden atribuirse por la dominancia del caudal en todas las condiciones antecedentes e intervención mínima de algunos parámetros meteorológicos (radiación solar y temperatura del aire) con el análisis de SMLR. A esto se suma, las buenas correlaciones positivas entre variables predictoras como caudal, precipitación y humedad relativa, donde la interacción conjunta entre estas variables impacta directamente en la concentración de COD. En épocas de alta humedad relativa también se tiene lluvia, lo que aporta un mayor flujo de caudal por la acción de la escorrentía (Maestre & Martin-Gorriz, 2010). Probablemente, esta última generada por la lluvia sea un factor decisivo en los procesos de exportación y acumulación de COD a la salida del humedal. Algunas referencias atribuyen que la escorrentía transporta nutrientes y materia orgánica almacenada en los agregados que son desintegrados por la duración, intensidad y el impacto de las gotas de lluvia al suelo (Delpla et al., 2009; Ma et al., 2014; Mosquera et al., 2016). Los hallazgos concuerdan con estudios realizados en cuencas hidrográficas alpinas (Berghuijs et al., 2014; Fasching et al., 2016), regiones boscosas (Houle et al., 2020; Adler et al., 2021; Blaurock et al., 2021) y ecosistemas boreales húmedos (Gavin et al., 2018; Warner & Saros, 2019; Warner et al., 2020), donde se obtuvieron relaciones positivas entre los factores

hidrometeorológicos antes mencionados. Los autores atribuyen que la dinámica de estas variables predictoras influye en el arrastre de materia orgánica y nutrientes que, por efecto de la escorrentía, exportan más COD. Inclusive algunas referencias encontraron que después de los periodos secos, los eventos de lluvia aumentaron las concentraciones de COD. Por su parte, la velocidad del viento es la única variable que presenta correlaciones negativas y parcialmente significativas con la concentración de COD. Esto se debería a la pérdida de agua en el suelo generado por los procesos de evaporación que comúnmente aceleran la mineralización de la materia orgánica disuelta, disminuyendo la disponibilidad de carbono orgánico (Wright & Reddy, 2009). Curiosamente, tanto la temperatura del aire como la radiación solar no actúan como factores controladores de la concentración de COD pues mostraron las peores correlaciones y no significativas en todas las condiciones antecedentes, eso a contraste de otros ecosistemas que al tener cuatro estaciones la temperatura del aire se vuelve un factor importante en la producción y arrastre de carbono, como consecuencia de la caída de hojarasca (otoño) y su posterior aumento en la descomposición de la materia orgánica (Gergel et al., 1999; Gavin et al., 2018; Adler et al., 2021).

En el humedal Tungurahua las correlaciones positivas más altas y significativas con análisis de RLS fueron para la precipitación y caudal. Estos resultados están alineados con los aportes obtenidos en el análisis de SMLR, donde se muestran correlaciones importantes y significativas del caudal y precipitación frente a la concentración de COD. Estos hallazgos concuerdan con algunos estudios, donde los autores encontraron que el caudal y la precipitación actúan como controladores de la concentración de COD en los ecosistemas alto andinos (Fasching et al., 2016; Felizzola et al., 2019; Warner & Saros, 2019; Houle et al., 2020; Warner et al., 2020). Esto sucede debido a que el agua que llega a las laderas satura el suelo y el movimiento lateral del agua en el mismo transporta carbono hacia los cauces incrementando la concentración de carbono en el río (Fasching et al., 2016; Pesántez et al., 2018; Warner et al., 2020). Por otra parte, las mejores correlaciones negativas y significativas fueron para radiación solar y velocidad del viento desde los periodos cortos a los periodos más largos. Esto puede deberse a que la radiación solar estuvo distribuida linealmente con la velocidad del viento en los periodos largos y sólo se observaron mínimas dependencias con la humedad relativa en los periodos cortos comparando entre variables predictoras. Todos estos factores, favorecen la pérdida de agua, pues por medio de la evapotranspiración que usualmente depende de las variables meteorológicas previamente mencionadas (Franco Vidal et al., 2013; Li et al., 2013) disminuyen la movilización de carbono por la reducción del flujo de escorrentía (Berrones & Oyarzun, 2013). Sin embargo, resulta complejo decir que las variables meteorológicas antes mencionadas podrían condicionar la reducción de carbono por acción de la evapotranspiración. Una parte porque se han encontrado relaciones positivas

entre la concentración de COD y la evapotranspiración (De Mera Rodríguez & Jerves Ramírez, 2020) y otra porque no se cuenta con estos resultados, que en su mayoría dependen de las condiciones de otros factores como la cobertura vegetal, tipo de suelo, humedad del suelo, relación topográfica, entre otros factores (Laudon et al., 2012; Berrones & Oyarzun, 2013). Pero, se puede decir que las fuertes correlaciones negativas entre la radiación solar y velocidad del viento con la concentración de COD no solo contribuyen a la descomposición de la hojarasca por las condiciones aeróbicas (Mastný et al., 2018), sino que el carbono de la biomasa microbiana podría acelerar el consumo de COD para su respectivo crecimiento y supervivencia; es decir es posible que se tenga un consumo de COD mayor que la liberación de COD producto de la descomposición (Zhang et al., 2016). Curiosamente, la humedad relativa y la temperatura del aire reportaron las peores correlaciones y no significativas, por lo que se puede decir que en el humedal Tungurahua estos factores no actúan como controladores de la concentración de COD.

Con todo lo expuesto anteriormente, se puede decir que los factores controladores encontrados como principales mantienen una variabilidad importante con las concentraciones de COD. En la [Figura 13](#), se observa que las variables meteorológicas no siempre se relacionan de manera similar (diferente tendencia) y en su mayoría reportan diferencias significativas en el grado de correlación. A diferencia de las variables hidrológicas (caudal y precipitación) que arrojaron altas correlaciones positivas en casi todos los humedales (sólo precipitación tiene baja correlación en el humedal Jatunhuaycu). Estos hallazgos muestran lo complicado y a veces difícil de interpretar el comportamiento entre la concentración de COD y factores hidrometeorológicos. Sin embargo, queda claro que los factores hidrológicos de una u otra manera son los que mayormente controlan la concentración de COD de manera positiva; pero, las condiciones climáticas todavía mantienen la incertidumbre de cómo controlan la concentración de COD, cuando se ha observado que tanto el grado de correlación y sus tendencias varían constantemente en cada condición antecedente y entre una variable predictora y otra, e inclusive cuando se ha comparado entre un humedal y otro. Algunas referencias resaltan que las correlaciones débiles de la mayoría de los factores meteorológicos se deberían a que las condiciones climáticas son constantes durante todo el año en los ecosistemas de alta montaña (Musolff et al., 2018; Pesántez et al., 2018). Lamentablemente, dado a la limitada información disponible en los humedales de estudio, no fue posible adjuntar otras variables como el nivel freático, humedad y temperatura del suelo etc., cuando algunos estudios concuerdan que estas variables en la mayoría de veces actúan como controladores de la concentración de COD, puesto que suelen influir en la disponibilidad de nutrientes al aumentar o disminuir las tasas de producción / descomposición de carbono (Macrae et al., 2013; Moyano et al., 2013; Gavin et al., 2018; Wen et al., 2020; Qu et al.,

2021). De esta manera, resultaría fundamental integrar a estudios futuros los parámetros previamente mencionados en los ecosistemas de humedales alto andinos y con eso tener una mejor interpretación de resultados.

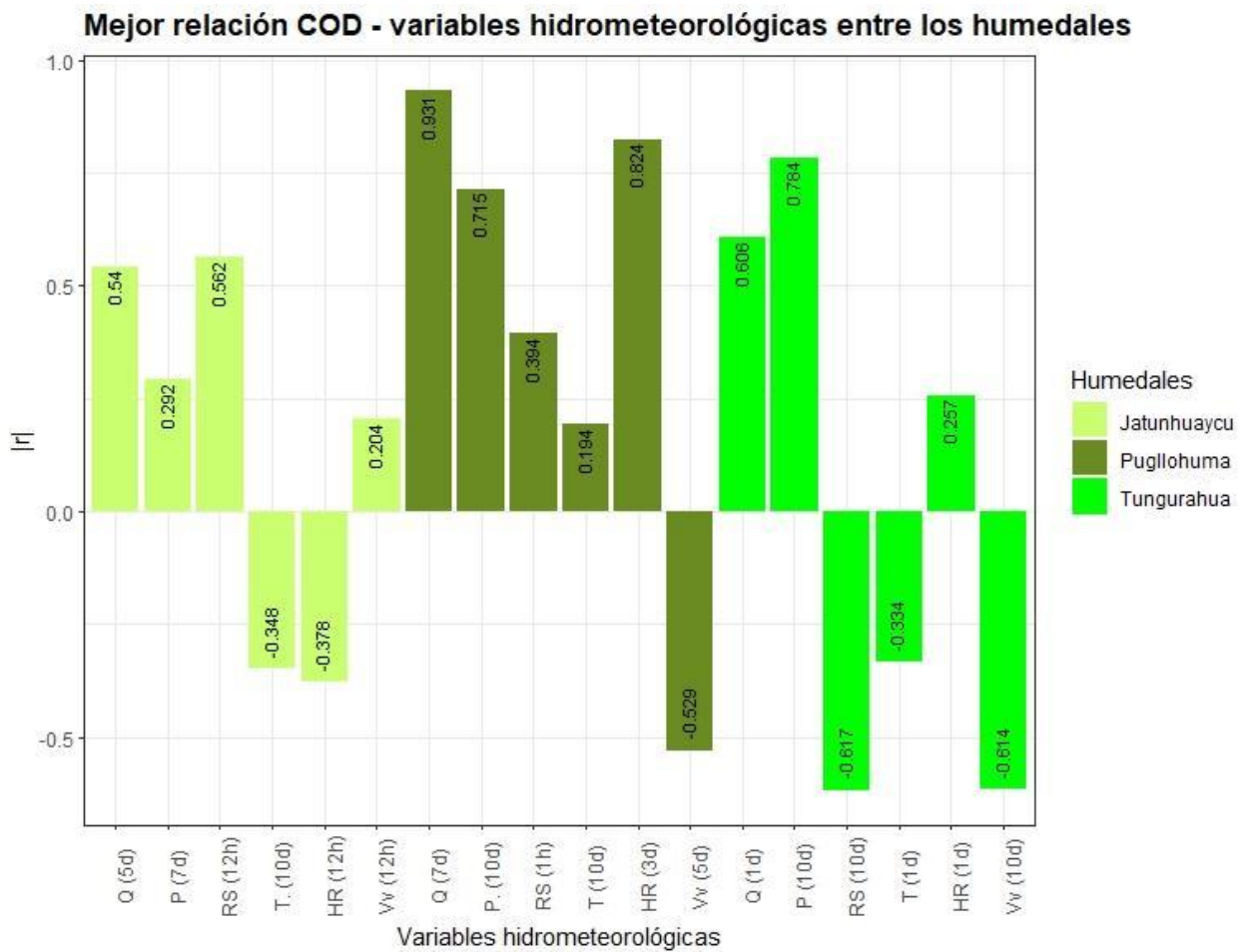


Figura 13. Relación de la concentración de COD y las variables hidrometeorológicas entre los humedales de estudio. El título en el eje x corresponde a los periodos de tiempo antecedentes a la toma de muestra (d = días, h = horas) con las mejores agregaciones de las variables hidrometeorológicas. En la parte superior e inferior de cada barra se indica el valor de (r) de Spearman.

6. CONCLUSIONES

El presente estudio brinda una comprensión de cómo las características intrínsecas y los factores hidrometeorológicos encontrados como principales controlan las concentraciones de COD en los humedales de estudio.

- A partir de la revisión de diferentes informes entregados por el FONAG se encontraron que las características de la cobertura vegetal fueron similares y los valores sobre los rangos de elevación y pendiente próximos en todos los humedales. Encontrándose como únicas diferencias la extensión y la concentración de COD, donde las mayores concentraciones de COD fueron para el humedal Jatunhuaycu, seguido por el humedal Pugllohuma y humedal Tungurahua en último lugar.
- En el humedal Pugllohuma se encontró que el caudal, precipitación y humedad relativa actúan como controladores de la concentración de COD, con las mejores correlaciones positivas y altamente significativas en la mayoría de las condiciones antecedentes. Esto puede atribuirse a la relación entre la humedad relativa y la lluvia, que, por la acción de la escorrentía, incrementa el caudal y da lugar a un mayor arrastre de materia orgánica y nutrientes.
- En el humedal Jatunhuaycu se encontró que el caudal y radiación solar (sólo a 12 horas) actúan como los únicos controladores de la concentración de COD, debido a las mejores correlaciones y estadísticamente significativas. A diferencia de los demás factores que mostraron correlaciones bajas y no significativas en todas las condiciones antecedentes.
- En el humedal Tungurahua las mejores correlaciones positivas y estadísticamente significativas fueron para el caudal y la precipitación, mientras que las mejores correlaciones negativas y significativas fueron para radiación solar y velocidad del viento. Por lo que se puede decir que estos factores actúan como controladores de la concentración de COD. Probablemente, la concentración de COD puede estar relacionada por la evapotranspiración, debido a que la radiación solar y velocidad del viento influye directamente en la evapotranspiración y este a su vez disminuye la escorrentía superficial, lo que se supone un descenso en la exportación de carbono.
- Según las observaciones, se concluye que tanto el caudal y la precipitación presentaron las mejores correlaciones positivas y altamente significativas en todos los humedales de estudio (excepto precipitación que muestra correlaciones bajas en el humedal Jatunhuaycu), por lo que se asume que estos factores actúan como controladores de la concentración de COD. Sin embargo, las variables climáticas muestran correlaciones y tendencias cambiantes, por lo que todavía queda la

incertidumbre sobre cómo los factores meteorológicos encontrados como principales controlan la concentración de COD en cada humedal.

7. RECOMENDACIONES PARA FUTURAS INVESTIGACIONES

Con todos los resultados obtenidos en este estudio, recomendamos a próximos autores que vayan a realizar estudios similares, consideren lo siguiente:

- Ampliar el periodo de estudio, puesto que en estos ecosistemas las condiciones climáticas varían constantemente intraanualmente y entre un año y otro. Además, se tendría mayor disponibilidad de muestras. Con estas condiciones se podría interpretar mejor los cambios que sufre la concentración de COD con los factores hidrometeorológicos a largo plazo.
- Incluir en el monitoreo otros factores controladores de la concentración de COD. Se considera que las variables como la humedad del suelo, temperatura del suelo, evapotranspiración, nivel freático, etc., podrían disminuir la incertidumbre sobre cómo controlan la concentración de COD. Puesto que estos parámetros están íntimamente relacionados a algunos de los factores empleados en el estudio.
- Incluir un monitoreo a alta resolución temporal especialmente a la salida de las cuencas para analizar dinámicas que pueden ser solo observadas con datos intradiarios entre la hidro meteorología y la exportación de carbono. Si no es posible tener un monitoreo a alta resolución se podría incluir monitoreo de eventos que puede ayudar a entender de mejor manera la dinámica de carbono intra eventos.
- Considerar otras características propias de los humedales es una manera de mejorar la comprensión de algunos resultados. La composición y propiedades del suelo, contenido de carbono en el suelo e inclusive un análisis en función a la profundidad de la toma de muestra podría variar la concentración de COD y sobre todo contribuir en la dinámica del carbono.
- Proponer un modelo que simule el carbono en el río usando los resultados y conclusiones de este estudio. Este modelo podría tomar en cuenta las variables más importantes para el control de carbono en estos humedales. Como se observó en este estudio, estas pueden llegar a presentar diferencias dependiendo de las características de cada humedal y sus condiciones hidrometeorológicas.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adler, T., Underwood, K. L., Rizzo, D. M., Harpold, A., Sterle, G., Li, L., Wen, H., Stinson, L., Bristol, C., Stewart, B., Lini, A., Perdrial, N., & Perdrial, J. N. (2021). Drivers of Dissolved Organic Carbon Mobilization From Forested Headwater Catchments: A Multi Scaled Approach. *Frontiers in Water*, 3, 63. <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.578608>
- Aguirre, N., Torres, J., & Velasco-Linares, P. (2013). *Guía para la restauración ecológica en los Páramos del Antisana. Comunidad Andina, Ministerio del Ambiente, PRAA - FONAG, CONDESAN. Quito: Ecuador.*
- Alvarado, C. (2009). *Caracterización hidrogeológica de las vertientes occidentales del volcán Antisana como parte de los estudios de los Glaciares y Páramos frente al Cambio Climático.* Universidad Central del Ecuador.
- Álvarez, R. (2000). Reseña de “Manual de análisis estadístico de datos” de JUAN JAVIER SÁNCHEZ CARRIÓN. *Reis. Revista Española de Investigaciones Sociológicas*, 91, 208–211. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99717878014>
- Aparecido, L. M. T., Teodoro, G. S., Mosquera, G., Brum, M., Barros, F. de V., Pompeu, P. V., Rodas, M., Lazo, P., Müller, C. S., Mulligan, M., Asbjornsen, H., Moore, G. W., & Oliveira, R. S. (2018). Ecohydrological drivers of Neotropical vegetation in montane ecosystems. In *Ecohydrology* (Vol. 11, Issue 3, p. e1932). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/eco.1932>
- Berghuijs, W. R., Woods, R. A., & Hrachowitz, M. (2014). A precipitation shift from snow towards rain leads to a decrease in streamflow. *Nature Climate Change*, 4(7), 583–586. <https://doi.org/10.1038/nclimate2246>
- Berrones, G., & Oyarzun, C. (2013). Transpiration effect on runoff in two types of forest of the coast mountains, southern Chile. *Enfoque UTE*, 4(2), 18+. <https://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/view/26/27>
- Blaurock, K., Beudert, B., Gilfedder, B. S., Fleckenstein, J. H., Peiffer, S., & Hopp, L. (2021). Low hydrological connectivity after summer drought inhibits DOC export in a forested headwater catchment. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25(9), 5133–5151. <https://doi.org/10.5194/hess-25-5133-2021>
- Bridgman, S. D., Megonigal, J. P., Keller, J. K., Bliss, N. B., & Trettin, C. (2006). The carbon balance of North American wetlands. *Wetlands*, 26(4), 889–916. [https://doi.org/10.1672/0277-5212\(2006\)26\[889:TCBONA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1672/0277-5212(2006)26[889:TCBONA]2.0.CO;2)
- Butman, D. E., Wilson, H. F., Barnes, R. T., Xenopoulos, M. A., & Raymond, P. A. (2015). Increased mobilization of aged carbon to rivers by human disturbance. *Nature Geoscience*, 8(2), 112–116. <https://doi.org/10.1038/ngeo2322>
- Buytaert, W., & De Bievre, B. (2012). Water for cities: The impact of climate change and demographic growth in the tropical Andes. *Water Resources Research*, 48(8), 8503. <https://doi.org/10.1029/2011WR011755>
- Buytaert, Wouter, Céleri, R., De Bièvre, B., & Cisneros, F. (2006). *Hidrología del Páramo Andino: propiedades, importancia y vulnerabilidad.* <https://www.researchgate.net/publication/228459137>
- Campoverde Guerra, D. H. (2020). *Desarrollo de un sistema de comunicaciones en la banda UHF y SHF para un vehículo aéreo no tripulado de ala fija para el monitoreo de los humedales Pugllohuma y Jatunhuaycu en las inmediaciones del volcán Antisana [Escuela Politécnica Nacional].* https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20822/1/CD_10344.pdf

- Carrera, N., Barreal, M. E., Rodeiro, J., & Briones, M. J. I. (2011). Interactive effects of temperature, soil moisture and enchytraeid activities on C losses from a peatland soil. *Pedobiologia*, 54(5–6), 291–299. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2011.07.002>
- Carrillo-Rojas, G., Silva, B., Córdova, M., Célleri, R., & Bendix, J. (2016). Dynamic mapping of evapotranspiration using an energy balance-based model over an andean páramo catchment of southern Ecuador. *Remote Sensing*, 8(2), 160. <https://doi.org/10.3390/rs8020160>
- Castañeda-Martín, A. E., & Montes-Pulido, C. R. (2017). Carbono almacenado en páramo andino. *Entremado*, 13(1), 210–221. <https://doi.org/10.18041/entramado.2017v13n1.25112>
- Célleri, R., & Feyen, J. (2009). The hydrology of tropical andean ecosystems: Importance, knowledge status, and perspectives. *Mountain Research and Development*, 29(4), 350–355. <https://doi.org/10.1659/mrd.00007>
- Chow, A. T., Tanji, K. K., & Gao, S. (2003). Production of dissolved organic carbon (DOC) and trihalomethane (THM) precursor from peat soils. *Water Research*, 37(18), 4475–4485. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00437-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00437-8)
- Cooper, C., & Merritt, D. (2012). Western Mountain Wetlands (pp. 313-328). *University of California Press: Berkeley, California, USA*. https://www.researchgate.net/publication/280794821_Western_mountain_wetlands
- Craine, J. M., & Gelderman, T. M. (2011). Soil moisture controls on temperature sensitivity of soil organic carbon decomposition for a mesic grassland. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(2), 455–457. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.10.011>
- Curiel Yuste, J., Hereş, A. M., Ojeda, G., Paz, A., Pizano, C., García-Angulo, D., & Lasso, E. (2017). Soil heterotrophic CO₂ emissions from tropical high-elevation ecosystems (Páramos) and their sensitivity to temperature and moisture fluctuations. *Soil Biology and Biochemistry*, 110, 8–11. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.02.016>
- De Lira Arenas, G. (2011). Modelos de regresión lineal con problemas de autocorrelación. *Centro de Investigación En Matemáticas CIMAT*.
- De Mera Rodríguez, S. E., & Jerves Ramírez, M. J. (2020). *Efectos de los controladores hidrometeorológicos en la concentración del carbono orgánico disuelto (COD) en el agua de suelo y río de una cuenca de Páramo andino* [Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/35625>
- De Wit, H. A., Valinia, S., Weyhenmeyer, G. A., Futter, M. N., Kortelainen, P., Austnes, K., Hessen, D. O., Räike, A., Laudon, H., & Vuorenmaa, J. (2016). Current Browning of Surface Waters Will Be Further Promoted by Wetter Climate. *Environmental Science and Technology Letters*, 3(12), 430–435. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.6b00396>
- Delpla, I., Jung, A. V., Baures, E., Clement, M., & Thomas, O. (2009). Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. In *Environment International* (Vol. 35, Issue 8, pp. 1225–1233). Pergamon. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2009.07.001>
- Dong, H., Qian, L., Yan, J., & Wang, L. (2020). Evaluation of the carbon accumulation capability and carbon storage of different types of wetlands in the Nanhui tidal flat of the Yangtze River estuary. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(9), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08547-0>

- Duan, S., He, Y., Kaushal, S. S., Bianchi, T. S., Ward, N. D., & Guo, L. (2017). Impact of wetland decline on decreasing dissolved organic carbon concentrations along the Mississippi River continuum. *Frontiers in Marine Science*, 3(JAN), 280. <https://doi.org/10.3389/FMARS.2016.00280>
- EPMAPS, & FONAG. (n.d.). *Predios e instalaciones de la estación científica Agua y Páramo: áreas de conservación hídrica Paluguillo, Antisana y Alto Pita. Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito, Fondo para la Protección del Agua.*
- EPMAPS, & FONAG. (2018). *Actualización del Plan de Manejo del Área de conservación Hídrica Antisana.* 100. file:///C:/Users/INTEL-HP/AppData/Local/Temp/PlanManejoAntisana_Feb2018.pdf
- Fasching, C., Ulseth, A. J., Schelker, J., Steniczka, G., & Battin, T. J. (2016). Hydrology controls dissolved organic matter export and composition in an Alpine stream and its hyporheic zone. *Limnology and Oceanography*, 61(2), 558–571. <https://doi.org/10.1002/lno.10232>
- Felizzola, J. F., Cak, A. D., Figueiredo, R. de O., & Lima, M. de O. (2019). Metals and dissolved organic carbon (DOC) of surface waters in two adjacent watersheds in the Eastern Amazon. *Revista Ambiente e Agua*, 14(6), 1–24. <https://doi.org/10.4136/ambiente.2377>
- Fernández, E. (2011). Territorio y hábitat ambiental ¿Prevalece la conservación de los humedales? *Universidad Nacional de Colombia, Bitácora Urbano-Territorial, ISSN-e 0124-7913, Vol. 19, Nº. 2, 2011., 19(2), 77–88.*
- Fernández Lizana, M. (2020). Advantages of R as a tool for data Analysis and Visualization in Social Sciences. *Revista Científica de La UCSA*, 7(2), 97–111. <https://doi.org/10.18004/ucsa/2409-8752/2020.007.02.097>
- FONAG. (2018). *Informe De Cumplimiento De Metas - Plan De Monitoreo 2018.*
- FONAG. (2019a). *FONAG trabaja en la restauración del humedal Puglllohuma.* <http://www.fonag.org.ec/web/fonag-trabaja-en-la-restauracion-del-humedal-puglllohuma-2/>
- FONAG. (2019b). *Informe de cumplimiento de metas. Plan de monitoreo 2019.*
- FONAG. (2020). *Reporte monitoreo de impacto, sitio Área de Conservación Hídrica Alto Pita.*
- Franco Vidal, L., Delgado, J., & Andrade, G. I. (2013). Factores de la vulnerabilidad de los humedales altoandinos de Colombia al cambio climático global. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 22(2), 69–85. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v22n2.37018>
- Freeman, C., Fenner, N., Ostle, N. J., Kang, H., Dowrick, D. J., Reynolds, B., Lock, M. A., Sleep, D., Hughes, S., & Hudson, J. (2004). Export of dissolved organic carbon from peatlands under elevated carbon dioxide levels. *Nature*, 430(6996), 195–198. <https://doi.org/10.1038/nature02707>
- Gavin, A. L., Nelson, S. J., Klemmer, A. J., Fernandez, I. J., Strock, K. E., & McDowell, W. H. (2018). Acidification and Climate Linkages to Increased Dissolved Organic Carbon in High-Elevation Lakes. *Water Resources Research*, 54(8), 5376–5393. <https://doi.org/10.1029/2017WR020963>

- Gergel, S. E., Turner, M. G., & Kratz, T. K. (1999). Dissolved organic carbon as an indicator of the scale of watershed influence on lakes and rivers. *Ecological Applications*, 9(4), 1377–1390. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(1999\)009\[1377:DOCAAI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(1999)009[1377:DOCAAI]2.0.CO;2)
- Godin, P., Macdonald, R. W., Kuzyk, Z. Z. A., Goñi, M. A., & Stern, G. A. (2017). Organic matter compositions of rivers draining into Hudson Bay: Present-day trends and potential as recorders of future climate change. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 122(7), 1848–1869. <https://doi.org/10.1002/2016JG003569>
- Gualdrón, O. E. (2006). *Desarrollo de diferentes métodos de selección de variables para sistemas multisensoriales*.
- Guerrero, S. C. (2017). Una metodología para el tratamiento de la multicolinealidad a través del escalamiento multidimensional. *Ciencia En Desarrollo*, 8(2), 9–24. <https://doi.org/10.19053/01217488.v8.n2.2017.5239>
- Guo, Y., Wan, Z., & Liu, D. (2010). Dynamics of dissolved organic carbon in the mires in the Sanjiang Plain, Northeast China. *Journal of Environmental Sciences*, 22(1), 84–90. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(09\)60078-4](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(09)60078-4)
- Hernández, M. (2010). *Suelos de humedales como sumideros de carbono y fuentes de metano*. Terra Latinoamericana.
- Herrera-Oliva, C. S., Campos-Gaytán, J. R., & Carrillo-González, F. M. (2017). Estimación de datos faltantes de precipitación por el método de regresión lineal: Caso de estudio Cuenca Guadalupe, Baja California, México. *Investigación y Ciencia, Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 25(71), 34–44. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67452917005>
- Hofstede, R. G. M., & Llambí, L. D. (2020). Plant Diversity in Páramo—Neotropical High Mountain Humid Grasslands. In *Encyclopedia of the World's Biomes* (pp. 362–372). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.11858-5>
- Hofstede, R. G. M., Segarra, P., & Mena, P. (2003). *Los Páramos del mundo. Proyecto Atlas Mundial de los Páramos. Global Peatland Initiative/NC-IUCN/ EcoCiencia, Quito*.
- Houle, D., Khadra, M., Marty, C., & Couture, S. (2020). Influence of hydro-morphologic variables of forested catchments on the increase in DOC concentration in 36 temperate lakes of eastern Canada. *Science of the Total Environment*, 747. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141539>
- Inamdar, S. P., & Mitchell, M. J. (2006). Hydrologic and topographic controls on storm-event exports of dissolved organic carbon (BOC) and nitrate across catchment scales. *Water Resources Research*, 42(3). <https://doi.org/10.1029/2005WR004212>
- IPCC. (2007). *Informe de síntesis sobre el cambio climático 2007. Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático*. 10.1017 / CBO9781107415324.004
- Játiva Varela, H. S. (2018). *Caracterización hidrogeológica de las microcuencas 1, 2 y 3 de la Unidad Hídrica Jatunhuaycu*. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/15215>
- Josse, C., Cuesta, F., Navarro, G., Barrera, V., Cabrera, E., Chacón, E., Ferreira, W., Peralvo, M., & Saito, J. (2009). *Ecosistemas de los Andes del Norte y Centro. Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela. Secretaría General de la Comunidad Andina, Programa Regional ECOBONA-Intercooperation, CONDESAN-Proyecto Páramo Andino, Programa BioAndes, EcoCiencia, NatureServe*, . 135–164. <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/39336>

- Jumbo, Y. (2017). *Definición de perímetros de protección en Cuencas Hidrográficas mediante modelación hidrológica conceptual: caso de la Cuenca Jatunhuaycu en las cercanías del volcán Antisana* [Escuela Politécnica Nacional].
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/16567/1/CD-7228.pdf>
- Kayranli, B., Scholz, M., Mustafa, A., & Hedmark, Å. (2010). Carbon storage and fluxes within freshwater wetlands: A critical review. *Wetlands*, 30(1), 111–124.
<https://doi.org/10.1007/s13157-009-0003-4>
- Kolka, R., Weishampel, P., & Fröberg, M. (2008). Measurement and Importance of Dissolved Organic Carbon. In *Field Measurements for Forest Carbon Monitoring* (pp. 171–176). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8506-2_13
- Laine, M. P. P., Strömmer, R., & Arvola, L. (2014). DOC and CO₂-C releases from pristine and drained peat soils in response to water table fluctuations: A mesocosm experiment. *Applied and Environmental Soil Science*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/912816>
- Laudon, H., Buttle, J., Carey, S. K., McDonnell, J., McGuire, K., Seibert, J., Shanley, J., Soulsby, C., & Tetzlaff, D. (2012). Cross-regional prediction of long-term trajectory of stream water DOC response to climate change. *Geophysical Research Letters*, 39(17). <https://doi.org/10.1029/2012GL053033>
- Ledesma, J. L. J., Köhler, S. J., & Futter, M. N. (2012). Long-term dynamics of dissolved organic carbon: Implications for drinking water supply. *Science of the Total Environment*, 432, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.05.071>
- Li, Z., Liu, X., Ma, T., Kejia, D., Zhou, Q., Yao, B., & Niu, T. (2013). Retrieval of the surface evapotranspiration patterns in the alpine grassland-wetland ecosystem applying SEBAL model in the source region of the Yellow River, China. *Ecological Modelling*, 270, 64–75. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.09.004>
- Limpens, J., Berendse, F., Blodau, C., Canadell, J. G., Freeman, C., Holden, J., Roulet, N., Rydin, H., & Schaepman-Strub, G. (2008). Peatlands and the carbon cycle: From local processes to global implications - A synthesis. *Biogeosciences*, 5(5), 1475–1491. <https://doi.org/10.5194/bg-5-1475-2008>
- Lindig-Cisneros, R., & Zedler, J. B. (2007). La restauración de humedales. *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)*.
<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/467/lindig.html>
- Llambí, L. D., Soto - W, A., Célleri, R., De Bievre, B., Boris, O., & Borja, P. (2012). *Ecología, Hidrología y Suelos de Páramo. Proyecto Páramo Andino*.
- Lou, X. D., Zhai, S. Q., Kang, B., Hu, Y. L., & Hu, L. Le. (2014). Rapid response of hydrological loss of DOC to water table drawdown and warming in zoige peatland: Results from a mesocosm experiment. *PLoS ONE*, 9(11).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0109861>
- Lugo, J. I. (1988). *Elementos de la geomorfología aplicada (Métodos Cartográficos)*. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Luna-Romero, E., García Batista, R. M., Uriguen Aguirre, P. A., & Vega Jaramillo, Y. (2018). Importancia económica de los servicios ecosistémicos de los humedales: La Tembladera. *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(3), 40–48.
<http://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/index>
- Ma, W., Li, Z., Ding, K., Huang, J., Nie, X., Zeng, G., Wang, S., & Liu, G. (2014). Effect of soil erosion on dissolved organic carbon redistribution in subtropical red soil under rainfall simulation. *Geomorphology*, 226, 217–225.

<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.08.017>

- Macrae, M. L., Devito, K. J., Strack, M., & Waddington, J. M. (2013). Effect of water table drawdown on peatland nutrient dynamics: Implications for climate change. *Biogeochemistry*, 112(1–3), 661–676. <https://doi.org/10.1007/s10533-012-9730-3>
- Maestre, J., & Martin-Gorriz, B. (2010). Influencia de la humedad relativa y el viento en el funcionamiento de condensadores radiativos pasivos. *III Jornadas de Introducción a La Investigación de La UPCT, May*, 1–4. <https://repositorio.upct.es/handle/10317/2027>
- Maldonado, M. S. (2014). An introduction to the bofedales of the Peruvian High Andes. *Mires and Peat*, 15(15), 1–13. <http://www.mires-and-peat.net/>, ISSN1819-754X
- Marín, F., Dahik, C. Q., Mosquera, G. M., Feyen, J., Cisneros, P., & Crespo, P. (2018). Changes in soil hydro-physical properties and SOM due to pine afforestation and Grazing in Andean environments cannot be generalized. *Forests*, 10(1), 17. <https://doi.org/10.3390/f10010017>
- Martínez, M., Ortiz, R., Ríos Rosa Acosta, H., Martínez, M. M., Ortiz, D. R., Titular, I., Ríos, D. H., & Auxiliar MsC Rosa Acosta, I. (2010). Análisis de las correlaciones en poblaciones cubanas de maíz. *Cultivos Tropicales*, 31(2), 82–91. <https://doi.org/10.1234/ct.v31i2.104>
- Mastný, J., Kaštovská, E., Bárta, J., Chroňáková, A., Borovec, J., Šantrůčková, H., Urbanová, Z., Edwards, R. K., & Pícek, T. (2018). Quality of DOC produced during litter decomposition of peatland plant dominants. *Soil Biology and Biochemistry*, 121, 221–230. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.03.018>
- McGlynn, B. L., & McDonnell, J. J. (2003). Role of discrete landscape units in controlling catchment dissolved organic carbon dynamics. *Water Resources Research*, 39(4). <https://doi.org/10.1029/2002WR001525>
- Mena Vásconez, P., & Hofstede, R. (2006). *Los páramos ecuatorianos. Botánica Económica de los Andes Centrales, CONDESAN, UICN-Sur, EcoCiencia. Quito*. 19.
- Méndez-Ramírez, I., Moreno-Macías, H., Gómez-Humarán, I. M., & Murata, C. (2014). Conglomerados como solución alternativa al problema de la multicolinealidad en modelos lineales. *Ciencias Clínicas*, 15(2), 39–46. <https://doi.org/10.1016/j.cc.2015.08.002>
- Mierle, G., & Ingram, R. (1991). The role of humic substances in the mobilization of mercury from watersheds. *Springer Link, Water, Air, & Soil Pollution*, 56(1), 349–357. <https://doi.org/10.1007/BF00342282>
- Mitra, S., Wassman, R., & Vlek, P. L. (2005). An appraisal of global wetland area and its organic carbon stock. *Global Environment Research*, 88(1), 25–35. <https://doi.org/00113891>
- Mitsch, W. J., Bernal, B., Nahlik, A. M., Mander, Ü., Zhang, L., Anderson, C. J., Jørgensen, S. E., & Brix, H. (2013). Wetlands, carbon, and climate change. *Landscape Ecology*, 28(4), 583–597. <https://doi.org/10.1007/s10980-012-9758-8>
- Moore, T. R., & Clarkson, B. R. (2007). Dissolved organic carbon in New Zealand peatlands. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 41(1), 137–141. <https://doi.org/10.1080/00288330709509902>
- Moreno-Casasola, P., & Travieso-Bello, A. C. (2007). Los humedales. *Entornos Veracruzanos: La Costa de La Mancha. Instituto de Ecología A. c. Xalapa, Veracruz, México*.

- Morris, P. J., Belyea, L. R., & Baird, A. J. (2011). Ecohydrological feedbacks in peatland development: A theoretical modelling study. *Journal of Ecology*, 99(5), 1190–1201. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2011.01842.x>
- Mosquera, G. M., Célleri, R., Lazo, P. X., Vaché, K. B., Perakis, S. S., & Crespo, P. (2016). Combined use of isotopic and hydrometric data to conceptualize ecohydrological processes in a high-elevation tropical ecosystem. *Hydrological Processes*, 30(17), 2930–2947. <https://doi.org/10.1002/hyp.10927>
- Mosquera, G. M., Lazo, P. X., Célleri, R., Wilcox, B. P., & Crespo, P. (2015). Runoff from tropical alpine grasslands increases with areal extent of wetlands. *Catena*, 125, 120–128. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.10.010>
- Moyano, F. E., Manzoni, S., & Chenu, C. (2013). Responses of soil heterotrophic respiration to moisture availability: An exploration of processes and models. In *Soil Biology and Biochemistry* (Vol. 59, pp. 72–85). Pergamon. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.01.002>
- Muller, F. L. L., & Tankéré-Muller, S. P. C. (2012). Seasonal variations in surface water chemistry at disturbed and pristine peatland sites in the Flow Country of northern Scotland. *Science of the Total Environment*, 435–436, 351–362. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.06.048>
- Musolff, A., Fleckenstein, J. H., Opitz, M., Büttner, O., Kumar, R., & Tittel, J. (2018). Spatio-temporal controls of dissolved organic carbon stream water concentrations. *Journal of Hydrology*, 566, 205–215. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.09.011>
- Ortega, R. M. M., Pendás, L. C. T., Ortega, M. M., Abreu, A. P., & Cánovas, A. M. (2009). El coeficiente de correlación de los rangos de spearman caracterización. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 8(2), 0–0. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-519X2009000200017&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Padhi, R. K., Subramanian, S., Mohanty, A. K., & Satpathy, K. K. (2019). Comparative assessment of chlorine reactivity and trihalomethanes formation potential of three different water sources. *Journal of Water Process Engineering*, 29, 100769. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.02.009>
- Parra, M. (2020). *Análisis de la calidad de agua en las Áreas de Conservación Hídrica del Fonag para la evaluación de la eficacia de las estrategias de protección y conservación hídrica*. <http://repositorio.uti.edu.ec/handle/123456789/1514?mode=full>
- Peña, E. J., Sandoval, H., Zuñiga, O., & Torres, M. (2009). Estimates of carbon reservoirs in high-altitude wetlands in the colombian andes. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, 110(2), 115–126. <https://jarts.info/index.php/jarts/article/view/26>
- Pértega Díaz, S., & Pita Fernández, S. (2000). Técnicas de regresión: Regresión Lineal Simple. *Fisterra*, 7, 91–94. <https://www.fisterra.com/formacion/metodologia-investigacion/tecnicas-regresion-regresion-lineal-simple/>
- Pesántez, J., Mosquera, G. M., Crespo, P., Breuer, L., & Windhorst, D. (2018). Effect of land cover and hydro-meteorological controls on soil water DOC concentrations in a high-elevation tropical environment. *Hydrological Processes*, 32(17), 2624–2635. <https://doi.org/10.1002/hyp.13224>
- Pizarro, R., Ausensi, P., Aravena, D., Sangüesa, C., León, L., & Balocchi, F. (2009). Evaluación de Métodos Hidrológicos para la Completación de datos faltantes de precipitación en estaciones de la Región del Maule, Chile. *Aqua-LAC*, 1(2), 172–184.

<https://doi.org/10.29104/phi-aqualac/2009-v1-2-07>

- Qu, W., Han, G., Wang, J., Li, J., Zhao, M., He, W., Li, X., & Wei, S. (2021). Short-term effects of soil moisture on soil organic carbon decomposition in a coastal wetland of the Yellow River Delta. *Hydrobiologia*, *848*(14), 3259–3271. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04422-8>
- Quichimbo, P., Cárdenas, I., Tenorio, G., Crespo, P., Borja, P., & Célleri, R. (2011). Efecto del cambio de cobertura vegetal sobre las propiedades hidrofísicas del suelo en un área de páramo, sur del Ecuador. *Grupo de Ciencias de La Tierra y Del Ambiente, Universidad de Cuenca, October 2016*, 255–265. <https://doi.org/9789872775803>
- Quinteros, L. (2017). *Respuesta hídrica de suelos de páramo bajo diferentes niveles de degradación, estudio de caso a escala parcela. (Tesis de Grado)* [Quito, 2017.]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/18887>
- Quiroz Dahik, C., Crespo, P., Stimm, B., Mosandl, R., Cueva, J., Hildebrandt, P., & Weber, M. (2021). Impacts of pine plantations on carbon stocks of páramo sites in southern Ecuador. *Carbon Balance and Management*, *16*(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s13021-021-00168-5>
- Ramsar. (2010). Uso racional de los humedales. Conceptos y enfoques para el uso racional de los humedales. In *Manuales Ramsar 4a. edición*. <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/hbk4-01sp.pdf>
- Raymond, P. A., & Saiers, J. E. (2010). Event controlled DOC export from forested watersheds. *Biogeochemistry*, *100*(1), 197–209. <https://doi.org/10.1007/s10533-010-9416-7>
- Ribadeneira, D. (2020). *Medición de Carbono Orgánico Disuelto en humedales degradados. FONAG (Fondo para la Protección del Agua)*. <http://www.fonag.org.ec/web/medicion-de-carbono-organico-disuelto-en-humedales-degradados/>
- Roa-García, M. C., Brown, S., Schreier, H., & Lavkulich, L. M. (2011). The role of land use and soils in regulating water flow in small headwater catchments of the Andes. *Water Resources Research*, *47*(5), 5510. <https://doi.org/10.1029/2010WR009582>
- Roa-García, María Cecilia, & Brown, S. (2016). Caracterización de la acumulación de carbono en pequeños Humedales Andinos en la cuenca alta del Río Barbas (Quindío, Colombia). *Caldasia*, *38*(1), 117–136. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v38n1.57833>
- Rundel, P. (1994). Tropical Alpine climates. In *Tropical Alpine Environments*.
- Salimi, S., Almuktar, S. A. A. N., & Scholz, M. (2021). Impact of climate change on wetland ecosystems: A critical review of experimental wetlands. In *Journal of Environmental Management* (Vol. 286, p. 112160). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112160>
- Salimi, S., & Scholz, M. (2021). Impact of future climate scenarios on peatland and constructed wetland water quality: A mesocosm experiment within climate chambers. *Journal of Environmental Management*, *289*, 112459. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112459>
- Sánchez, R., Romero, L., Jiménez, J., Salas, J., Corrales, L., Álvarez, J., Álvarez, S., Bonilla, D., Gutiérrez, N., Martínez, M., Ortiz, E., Salgado, J., Villalobos, J., Esquivel, G., Rojas, L., Gómez, C., Jiménez, Q., Vargas, O., & Birkel, C. (2019). DOC Transport and Export in a Dynamic Tropical Catchment. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, *124*(6), 1665–1679. <https://doi.org/10.1029/2018JG004897>

- Schlesinger, W. H., & Melack, J. M. (1981). Transport of organic carbon in the world's rivers. *Tellus*, 33(2), 172–187. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v33i2.10706>
- Sharifi, A, Kalin, L., & Hantush, M. (2012). Modeling Dissolved Organic Carbon (DOC) Dynamics in Flooded Wetlands. *Presented at 9th INTECOL International Wetlands Conference, Orlando, FL*.
https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=NRMRL&dirEntryId=252385
- Sharifi, Amirreza, Kalin, L., Hantush, M. M., Isik, S., & Jordan, T. E. (2013). Carbon dynamics and export from flooded wetlands: A modeling approach. *Ecological Modelling*, 263, 196–210. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.04.023>
- Sharma, R. C., & Singh, S. (2018). Water quality and phytoplankton diversity of high altitude wetland, Dodi Tal of Garhwal Himalaya, India. *Biodiversity International Journal*, 2(5), 484–493. <https://doi.org/10.15406/bij.2018.02.00103>
- Silva-Yumi, J., Martínez, R. C., Serrano, C. M., & Lescano, G. C. (2021). Allophane, a natural nanoparticle present in andisoles of Ecuador, properties and applications. *Granja: Revista de Ciencias de La Vida*, 33(1), 53–66.
<https://doi.org/10.17163/LGR.N33.2021.05>
- Smith, J. M. B., & Cleef, A. M. (1988). Composition and Origins of the World's Tropicalpine Floras. *Journal of Biogeography*, 15(4), 631. <https://doi.org/10.2307/2845441>
- Storch, H. Von, & Zwiers, F. W. (1999). *Statistical Analysis in Climate Research*. Cambridge University Press.
- Strock, K. E., Theodore, N., Gawley, W. G., Ellsworth, A. C., & Saros, J. E. (2017). Increasing dissolved organic carbon concentrations in northern boreal lakes: Implications for lake water transparency and thermal structure. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 122(5), 1022–1035. <https://doi.org/10.1002/2017JG003767>
- Suárez Duque, D., Acurio, C., Chimbolema, S., & Aguirre, X. (2016). Análisis del carbono secuestrado en humedales altoandinos de dos áreas protegidas del Ecuador. *Ecología Aplicada*, 15(2), 171. <https://doi.org/10.21704/rea.v15i2.756>
- Thompson, J. B., Zurita-Arthos, L., Müller, F., Chimbolema, S., & Suárez, E. (2021). Land use change in the Ecuadorian páramo: The impact of expanding agriculture on soil carbon storage. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 53(1), 48–59.
<https://doi.org/10.1080/15230430.2021.1873055>
- Torres, J. (2014). *Diseño de un modelo de restauración ecológica aplicable a los ecosistemas de Páramos degradados en el Ecuador* [Universidad Nacional de Loja].
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/12183>
- Valle Moreno, J., & Guerra Bustillo, C. (2012). La Multicolinealidad en modelos de Regresión Lineal Múltiple. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(4), 80–83.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93223755013>
- Vargas Barrera, R. (2008). *Estadística II Administración Pública Territorial* (Escuela Su).
- Wagai, R., Kajiura, M., Asano, M., & Hiradate, S. (2015). Nature of soil organo-mineral assemblage examined by sequential density fractionation with and without sonication: Is allophanic soil different? *Geoderma*, 241–242, 295–305.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.11.028>
- Ward, A., Dargusch, P., Grussu, G., & Romeo, R. (2016). Using carbon finance to support climate policy objectives in high mountain ecosystems. *Climate Policy*, 16(6), 732–751.
<https://doi.org/10.1080/14693062.2015.1046413>

- Warner, K. A., Fowler, R. A., & Saros, J. E. (2020). Differences in the effects of storms on dissolved organic carbon (DOC) in boreal lakes during an early summer storm and an autumn storm. *Water (Switzerland)*, 12(5), 1452. <https://doi.org/10.3390/w12051452>
- Warner, K. A., & Saros, J. E. (2019). Variable responses of dissolved organic carbon to precipitation events in boreal drinking water lakes. *Water Research*, 156, 315–326. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.03.036>
- Wen, H., Perdrial, J., Abbott, B. W., Bernal, S., Dupas, R., Godsey, S. E., Harpold, A., Rizzo, D., Underwood, K., Adler, T., Sterle, G., & Li, L. (2020). Temperature controls production but hydrology regulates export of dissolved organic carbon at the catchment scale. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(2), 945–966. <https://doi.org/10.5194/hess-24-945-2020>
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York.
- Wickham, Hadley. (2009). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. In NY: SpringerVerlag. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-98141-3>
- Winter, T. C., & LaBaugh, J. W. (2003). Hydrologic Considerations in Defining Isolated Wetlands. *Wetlands*, 23(3), 532–540. [https://doi.org/10.1672/0277-5212\(2003\)023\[0532:HCIDIW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1672/0277-5212(2003)023[0532:HCIDIW]2.0.CO;2)
- Wright, A. L., & Reddy, K. R. (2009). Dissolved Organic Matter in Wetlands. *Department of Soil and Water Sciences, UF/IFAS Extension*, 1–3. <https://edis.ifas.ufl.edu>.
- XI, M., LU, X. guo, LI, Y., & KONG, F. long. (2007). Distribution characteristics of dissolved organic carbon in annular wetland soil-water solutions through soil profiles in the Sanjiang Plain, Northeast China. *Journal of Environmental Sciences*, 19(9), 1074–1078. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(07\)60175-2](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(07)60175-2)
- Xiao, D., Deng, L., Kim, D. G., Huang, C., & Tian, K. (2019). Carbon budgets of wetland ecosystems in China. *Global Change Biology*, 25(6), 2061–2076. <https://doi.org/10.1111/gcb.14621>
- Yáñez-cajo, D. J., Valencia, N. T., Carvajal, L. V, D, W. P. A., & López-parra, J. L. (2019). Estructura de la comunidad de Macroinvertebrados del Río Jatunhuayco EPMAPS, Reserva Ecológica Antisana, sistema de captación del agua de Quito. *Boletín Técnico, Serie Zoológica*, 14(14–15), 21–34.
- Yugsi Zambrano, M. N. (2018). *Caracterización hidrogeológica con determinación de la conductividad hidráulica del humedal Pugllohuma*. Universidad Central del Ecuador. *Ingeniería en Geología*. Quito. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/15216>
- Zhang, T., Shi, S., Zhang, W., Wu, Y., Yang, M., & Wang, P. (2016). Environmental factors and dissolved organic carbon content in a Jinchuan peatland. *Shengtai Xuebao/ Acta Ecologica Sinica*, 36(3), 160–165. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2016.04.001>
- Zhu, L., Deng, Z., Xie, Y., Li, X., Li, F., Chen, X., Zou, Y., Zhang, C., & Wang, W. (2021). Factors controlling *Carex brevicuspis* leaf litter decomposition and its contribution to surface soil organic carbon pool at different water levels. *Biogeosciences*, 18(1). <https://doi.org/10.5194/bg-18-1-2021>

9. APÉNDICES

Apéndice A. Informe sobre los métodos y técnicas de muestreo de la cobertura vegetal.

- **Humedal Jatunhuaycu**

En el humedal Antisana se empleó la metodología punto intercepto. Para obtener información de la vegetación del humedal se realizó tres transectos que se cruzan en el humedal. En cada transecto a cada 25 cm se observó las especies que en ese punto se encontraron. En cada transecto se levantó información de riqueza de las especies, tanto de especies nativas de páramo como de especies introducidas por el pastoreo. De las plantas observadas se registraron características como: altura, frecuencia, coloración de flor, entre otras.

- **Humedal Pugllohuma**

En el humedal Pugllohuma se establecieron 3 transectos permanentes de 30 m. (ver Figura 1), en cada transecto se ubicaron cinco cuadrantes de 1 x 1 m separados cada uno 5 m. de distancia entre sí, es decir se colocaron a los 0, 7, 14, 21 y 28 m. cómo se indica en la Figura 2. En cada cuadrante se determinó el porcentaje de cobertura vegetal, suelo descubierto, necromasa y agua, además se registró el porcentaje individual de las especies vegetales y briofitos.

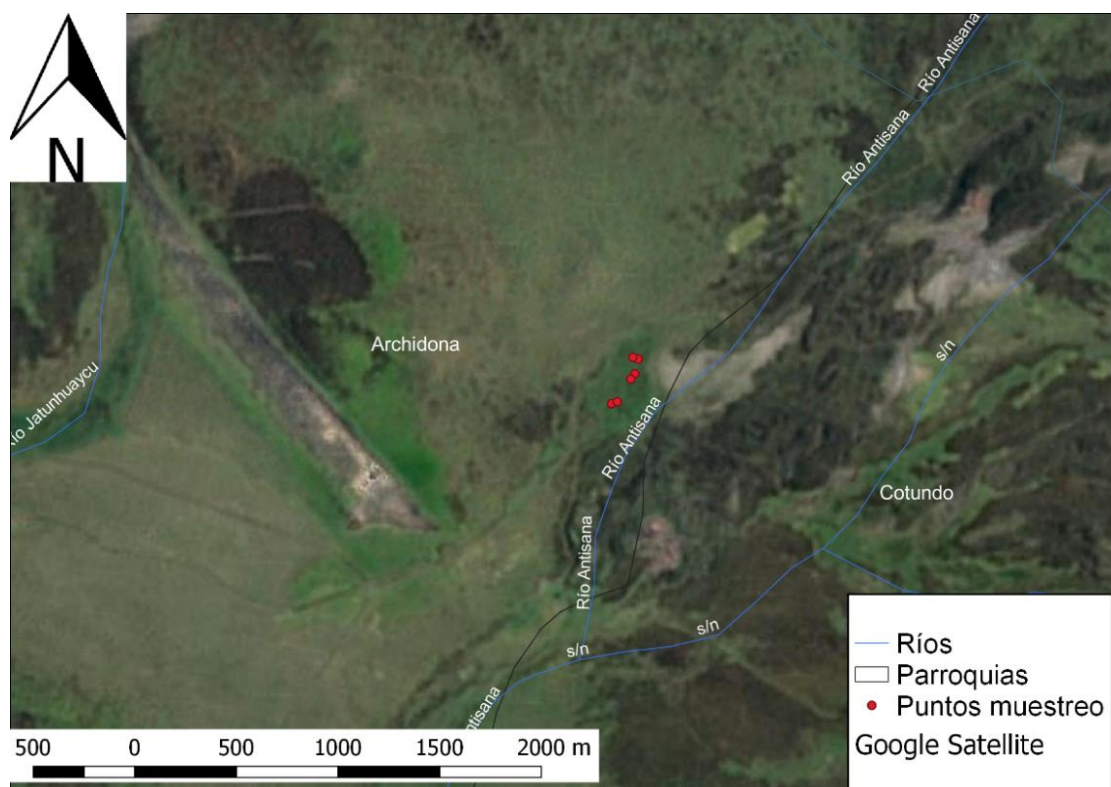


Figura 1. Localización de los transectos de 30 m en el humedal Pugllohuma.

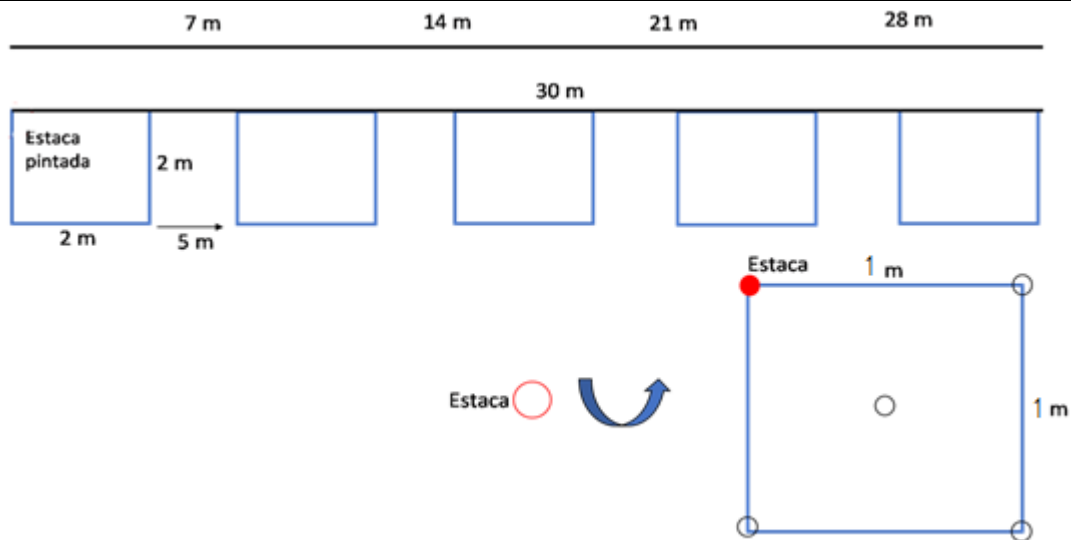


Figura 2. Distribución de los cuadrantes de 1x1 m en el transecto de 30 m (FONAG 2018).

Los cuadrantes de 1 x 1 m se delimitaron con dos tubos PVC, los cuales se ubicaron en posición diagonal para referencia, quedando así en esquinas opuestas y enterrados 60 cm para que permanezcan sujetos por más tiempo. Se pintó de color naranja las esquinas de los tubos, indicando así el primer tubo el inicio de la medición. Adicionalmente, dentro de este cuadrante se registró la información de 25 puntos mediante la metodología del punto intercepto, como se muestra en la Figura 3.

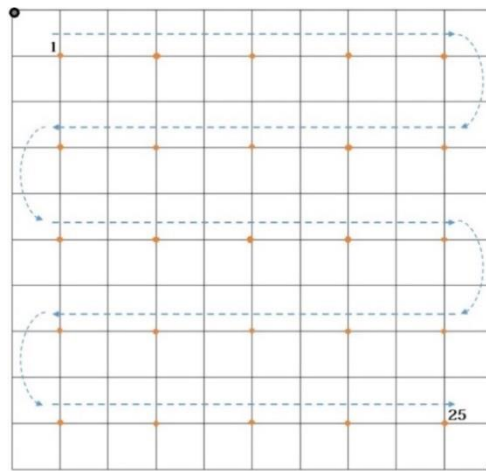


Figura 3. El censo del cuadrante de 1 x 1 m a través de una grilla dividida en 100 cuadrados de 10 x 10 cm. La dirección del punto intercepto se muestra en la línea punteada azul.

Se establecieron 3 transectos de 50 m con metodología de punto intercepto cada 50 cm (ver Figura 4), para determinar la estructura y composición de una formación vegetal y registrar la presencia/ausencia de las plantas.

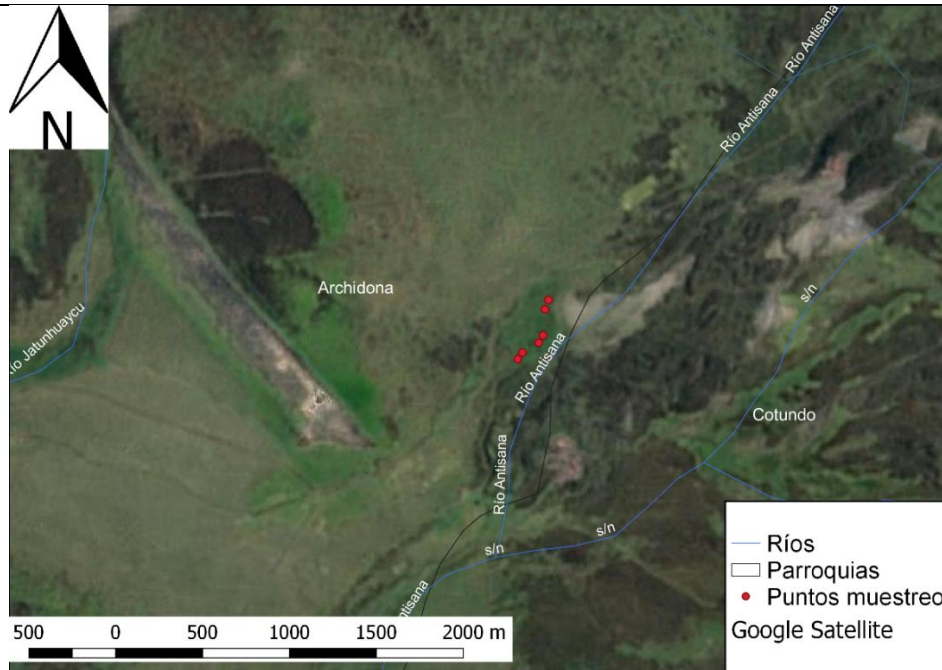


Figura 4. Localización de los transectos de 50 m en el humedal Pughlohuma.

- **Humedal Tungurahua**

En el humedal Tungurahua se dio seguimiento a los transectos permanentes cuya línea base se levantó en el 2017 (ver Figura 1). En cada transecto de 30 m se establecieron tres cuadrantes de 1 x 1, ubicados a 5, 15 y 25 m (ver Figura 2), en donde se determinó el % de cobertura vegetal, suelo descubierto, necromasa y agua, además de las formas de vida presentes.

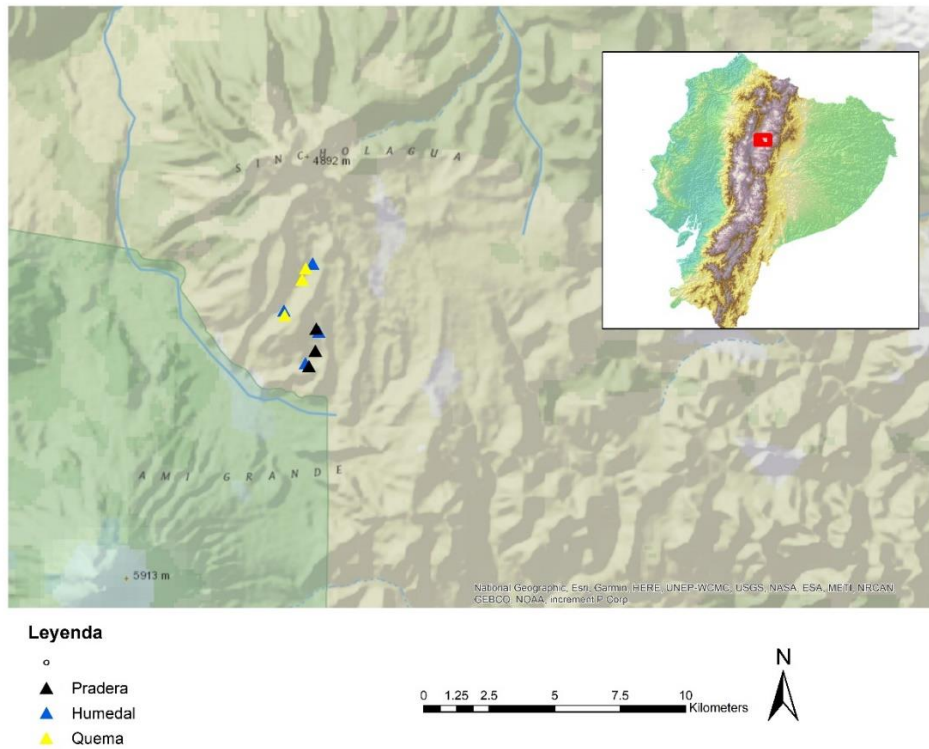


Figura 1. Ubicación de los puntos de estudio de la zona de Tungurahua.

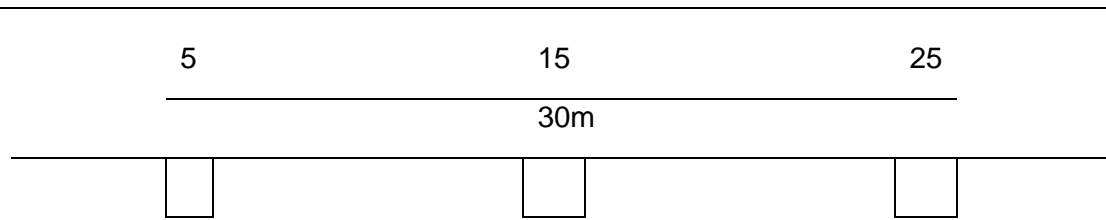


Figura 2. Distribución de los cuadrantes de 1x1 m en el transecto de 30 m.

En cada sub cuadrante de 1 x 1 m se aplicó la metodología punto intercepto, registrándose 25 puntos (ver Figura 3). Adicionalmente, en cada transecto de 30 m se levantó con punto intercepto cada metro, para conocer la riqueza, formas de vida y crecimiento vertical.

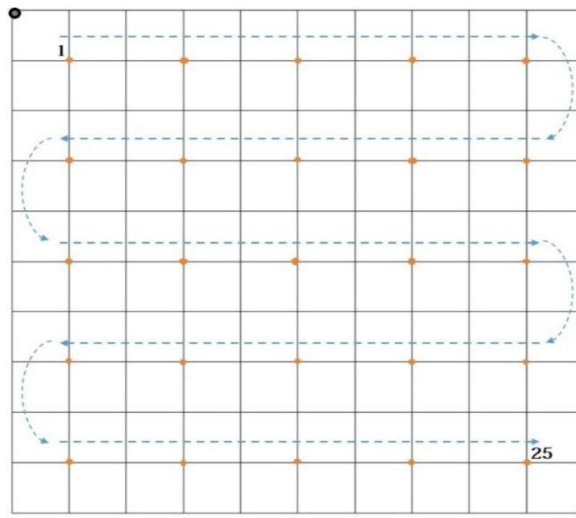


Figura 3. Diagrama del punto intercepto en el cuadrante de 1x1 m.

Nota. El informe sobre las técnicas de muestreo de la cobertura vegetal de los humedales del sitio de estudio fue facilitado por el FONAG. En el documento se muestra únicamente la metodología del informe general “levantamiento de información de cobertura vegetal” y en el caso de los resultados obtenidos se explican en los Apéndices C, D y E.

Apéndice B. Informe de las características intrínsecas y estado de los humedales.

Humedal	Ubicación/ Altitud/Área	Estado del humedal
Humedal - Jatunhuaycu	Ubicación: Área de Conservación Hídrica Antisana (4115 msnm) Extensión: 45 ha. Es un aporte del río Jatunhuaycu, captado por la Empresa de Agua Potable de Quito.	El humedal Jatunhuaycu de 45 ha. Forma parte de un complejo de turberas que se asientan en el valle de la cuenca del río Jatunhuaycu. Este humedal presenta drenajes en menor densidad que el Pugllohuma, pero son mucho más profundos, además de mostrar secuelas en la estructura de su vegetación por el pisoteo de vacas. Este humedal forma parte de un área de alrededor de 900 ha que fueron adquiridas por el FONAG en el año 2018, debido a su importancia hídrica y a que estaba siendo sobre pastoreada y generándose como consecuencia de esta acción drenajes artificiales. A finales del 2018 se inició el rehumedecimiento de este humedal mediante el bloqueo de drenajes artificiales y el desvío de una vertiente.
Humedal Pugllohuma	Provincia de Napo, Cantón Archidona Área de Conservación Hídrica Antisana (4115 msnm) Extensión: 14,2 ha.	Hasta el 2010 y por más de 100 años formó parte de una extensa Hacienda y sirvió como zona de pastoreo de ovejas, vacas y caballos, época en la que se construyeron alrededor de 3680 metros de drenajes artificiales. Retiro de caballos, vacas y ovejas que pastoreaban en el lugar En noviembre del 2017, después de 1 año de monitoreo de línea base, se realizó el bloqueo de estos drenajes mediante diques de madera para limitar la escorrentía y mitigar el desecamiento.
Humedal Tungurahua	Ubicación: Área de conservación Alto Pita (3800 hasta los 4100 msnm). Extensión: 26 ha.	Están dentro de un área que se integró al área de intervención del FONAG en mayo del 2017, al momento presenta distintos grados de degradación resultado de las actividades de pastoreo que se realizaban en el mismo. Se excluyeron alrededor de 300 alpacas. Recibe agua de vertientes y de ladera. En comparación con los humedales Jatunhuaycu y Pugllohuma este se encuentra menos perturbado y la mayor parte del tiempo está saturado.

Nota. El informe fue facilitado por el FONAG.

Levantamiento de información de cobertura vegetal e Riqueza y Abundancia de Especies en el Humedal Antisana

El presente estudio se desarrolló dentro del Área de Conservación Hídrica Antisana. Esta zona de humedal ha sido históricamente afectada y degradada por actividades antrópicas tales como el pastoreo intensivo y la agricultura. Su conservación es de gran importancia para la ciudad de Quito puesto que el agua de sus microcuencas es captada para abastecer el sistema de agua potable de la parte sur de la ciudad (Aguirre y Torres, 2013). La finalidad del estudio es obtener información sobre la composición florística del humedal.

Para el análisis estadístico del inventario cuantitativo, se utilizaron las fórmulas propuestas por (Campbell *et al.*, 1986) para análisis de diversidad, similitud, riqueza y abundancia, utilizando los Índices de diversidad de Simpson, Shannon-Weaver o Similitud de Jaccard.

Riqueza y Abundancia de Especies

Riqueza

Es el número total de especies registradas en un censo de una comunidad (Moreno, 2001).

Abundancia Relativa

Se analizó la abundancia relativa y la riqueza de los sitios de muestreo con el objetivo de caracterizar las comunidades vegetales a través de la curva de rango-abundancia. Estos análisis son utilizados para detectar modificaciones en las poblaciones a través del tiempo o en diferentes lugares en un espacio determinado (Carrillo *et al.*, 2000).

Para el cálculo de la abundancia relativa se divide el número de individuos de cada especie para el total de individuos colectados extrapolarlo este valor con la riqueza específica.

$$P_i = n_i / N$$

Donde:

n_i = es el número de individuos de la especie i , dividido para el número total de individuos de la muestra (N).

Índice de diversidad de Simpson

Es una medida de dominancia que enfatiza el rol de las especies más comunes y refleja mejor la riqueza de especies. En el presente trabajo se utilizó el valor de la expresión 1-D, para expresar este índice, siendo:

$$D = \sum P_i^2$$

Donde:

D = Valor de Simpson

Σ = Sumatoria

P_i^2 = Proporción de individuos elevada al cuadrado

Este índice mide la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar de una población de N individuos provengan de la misma especie. Si una especie dada i ($i=1, 2, S$) es representada en la comunidad como P_i (Proporción de individuos), la probabilidad de extraer al azar dos individuos de la misma especie, se denomina probabilidad conjunta [$P_i (P_i)$, o P_i^2].

El valor de D varía inversamente con la heterogeneidad: si los valores de D decrecen la diversidad aumenta y viceversa (Krebs, 1985). Al utilizar la forma $1-D$, la interpretación es inversa: a mayores valores de $1-D$, la diversidad será mayor, y a menores valores, la diversidad del sitio será menor (Krebs, 1985).

Valores del índice de Simpson.

0-0,40 = Dominancia baja

04-0,80 = Dominancia media

0,80-1 = Dominancia alta

Índice Shannon-Wiener (H')

Es una de las medidas de diversidad que parten del supuesto de que una comunidad (ensamblaje de organismos presentes en un hábitat), es análoga a un sistema termodinámico en la cual existe un número finito de individuos (análogo a cantidad de energía), los cuales pueden ocupar un número -también finito- de categorías (especies, análogo de estados).

Para entender mejor este tema, debemos considerar que: un sistema con un número finito de individuos y de categorías (especies); sin restricciones en cuanto al número de especies ni de individuos por categoría (especie), está dada por la Fórmula de Brillouin; equivale a la incertidumbre acerca de la identidad de un elemento tomado al azar de una colección de N elementos distribuidos en s categorías, sin importar el número de elementos por categoría ni el número de categorías. Dicha incertidumbre aumenta con el número de categorías (riqueza) y disminuye cuando la mayoría de los elementos pertenecen a una categoría.

$$H' = 1/N \log (N! / \prod ni!)$$

Donde:

H' = Índice de diversidad,

ni = número de individuos en la milésima especie,

$N = \sum ni$ total de individuos en todas las especies.

Utilizando la aproximación de Stirling para $N!$: $\ln N! \approx N \ln N - N$

Se obtiene la Fórmula de Shannon-Weaver que es la forma en la cual normalmente se presenta la diversidad de especies basada en la teoría de

Información: $H' = -\sum p_i \ln p_i$

Donde:

$p_i = ni/N$ proporción de individuos en la milésima especie.

Valores de Interpretación de Shannon

0-2= Diversidad baja

2-3= Diversidad media

3-4,5= Diversidad alta

RESULTADOS

En el transecto uno se registraron 24 especies. Las especies más importantes por su frecuencia fueron: *Plantago rígida* Kunth, *Hypochaeris sessiliflora* Kunth, *Calamagrostis fibrovaginata* Lægaard, *Carex tristicha* Spruce ex Boott, *Juncus stipulatus* Nees & Meyen, *Carex crinalis* Boott, *Agrostis toluensis* Kunth, *Oritrophium limnophilum* (Sch. Bip.) Cuatrec.

En el transecto dos se registraron 27 especies. Las especies más importantes por su frecuencia son: *Distichia muscoides* Nees & Meyen, *Eleocharis albibracteata* Nees & Meyen ex Kunth, *Plantago rígida* Kunth, *Carex bonplandii* Kunth, *Breutelia* cf., *Ranunculus praemorsus* Kunth ex DC., *Geranium multipartitum* Benth., *Carex crinalis* Boott.

En total en el humedal se encontraron 31. Las especies más importantes por su frecuencia son: *Plantago rígida* Kunth, *Eleocharis albibracteata* Nees & Meyen ex Kunth, *Calamagrostis fibrovaginata* Lægaard, *Geranium multipartitum* Benth., *Disterigma empetrifolium* (Kunth) Drude, *Juncus stipulatus* Nees & Meyen, *Hypochaeris sessiliflora* Kunth, *Distichia muscoides* Nees & Meyen, *Agrostis breviculmis* Hitchc., *Bartsia stricta* (Kunth) Benth.

Es importante mencionar que varias especies del grupo Bryopyta, se encuentran en los transectos realizados. Además de presentarse con el pisoteo de ganado e intervención humana tenemos la presencia de varias especies del grupo de las briofitas. Lamentablemente en el Ecuador, existen pocos estudios de este grupo y conocer la relación que existe con la demás vegetación Tabla 1.

Tabla 1. Especies encontradas en el humedal de Antisana.

No	FAMILIA	ESPECIES	HUMEDAL		
			T1	T2	T3
1	Apiaceae	<i>Azorella aretioides</i> (Spreng.) DC.			7
2	Apiaceae	<i>Oreomyrrhis andicola</i> (Kunth) Hook. f.			1
3	Asteraceae	<i>Cotula australis</i> (Sieber ex Spreng.) Hook. f.		1	
4	Asteraceae	<i>Hypochaeris sessiliflora</i> Kunth	58	3	15
5	Asteraceae	<i>Oritrophium limnophilum</i> (Sch. Bip.) Cuatrec.	3	1	3
6	Asteraceae	<i>Werneria nubigena</i> Kunth	1		2
7	Asteraceae	<i>Werneria pygmaea</i> Gillies ex Hook. & Arn.		1	1
8	Bartramiaceae	<i>Breutelia</i> cf.	1	8	
9	Campanulaceae	<i>Lysipomia montioides</i> Kunth	1	1	4
10	Caryophyllaceae	<i>Arenaria</i> sp.		1	
11	Caryophyllaceae	<i>Cerastium cerastoides</i> (L.) Britton	2		
12	Caryophyllaceae	<i>Cerastium imbricatum</i> Kunth		1	1

13	Cyperaceae	<i>Carex bonplandii</i> Kunth	2	8	
14	Cyperaceae	<i>Carex crinalis</i> Boott	26	5	2
15	Cyperaceae	<i>Carex sp1</i>	8	2	
16	Cyperaceae	<i>Carex sp2</i>	1	1	
17	Cyperaceae	<i>Carex tristicha</i> Spruce ex Boott	44		2
18	Cyperaceae	<i>Eleocharis albibracteata</i> Nees & Meyen ex Kunth	3	31	45
19	Cyperaceae	<i>Phylloscirpus sp.</i>			2
20	Cyperaceae	<i>Uncinia sp.</i>		3	
21	Ericaceae	<i>Disterigma empetrifolium</i> (Kunth) Drude			16
22	Gentianaceae	<i>Gentiana sedifolia</i> Kunth	2		
23	Geraniaceae	<i>Geranium multipartitum</i> Benth.	1	5	17
24	Indeterminada	Morfo 2			3
25	Indeterminada	Morfo 1		2	
26	Juncaceae	<i>Distichia muscoides</i> Nees & Meyen		66	15
27	Juncaceae	<i>Juncus stipulatus</i> Nees & Meyen	5	4	15
28	Juncaceae	<i>Luzula racemosa</i> Desv.	1		
29	Leucobryaceae	<i>Campylopus sp.</i>			6
30	Lycopodiaceae	<i>Huperzia crassa</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Rothm.			3
31	Orchodaceae	<i>Myrosmodes nubigenum</i> Rchb. f.		1	
32	Orobanchaceae	<i>Bartsia stricta</i> (Kunth) Benth.	2	2	7
33	Plantaginaceae	<i>Plantago rigida</i> Kunth	84	14	97
34	Poaceae	<i>Aciachne flagellifera</i> Lægaard	5		
35	Poaceae	<i>Agrostis breviculmis</i> Hitchc.	2	1	10
36	Poaceae	<i>Agrostis sp 1</i>			1
37	Poaceae	<i>Agrostis toluensis</i> Kunth	14	1	
38	Poaceae	<i>Calamagrostis fibrovaginata</i> Lægaard	36	1	19
39	Poaceae	<i>Calamagrostis sp2</i>	3	3	
40	Poaceae	<i>Festuca andicola</i> Kunth	2		2
41	Poaceae	<i>Muhlenbergia ligularis</i> (Hack.) Hitchc.			2
42	Poaceae	<i>Poa annua</i> L.			1
43	Poaceae	Morfo 3		4	
44	Ranunculaceae	<i>Caltha sagittata</i> Cav.			4
45	Ranunculaceae	<i>Ranunculus praemorsus</i> Kunth ex DC.		6	4
46	Rosaceae	<i>Lachemilla mandoniana</i> (Wedd.) Rothm.			1
47	Rubiaceae	<i>Galium sp.</i>			1

Análisis entre Transectos

La riqueza de los transectos es menor esto se debe a que el sitio está disturbado por la presencia de pisoteo de ganado y ramoneo de los animales en estos últimos años, a pesar de estar regenerándose se encuentran especies introducidas que están asociadas con los cultivos como *Cotula australis* (Sieber ex Spreng.) Hook. f. (Asteraceae), *Poa Annua* L., las que se encuentran distribuidas en los Andes del Centro y Sur del Ecuador (Jørgensen y León-Yáñez, 1999), las que parecen malezas de las zonas templadas del país.

Algunos autores manifiestan que los ecosistemas mejor conservados presentan una menor riqueza de especies como Mena y Medina (2001), quien dice que los sitios menos disturbados tienen mayor riqueza de especies, pero esta afirmación no es universal como en esta investigación ya que existe una riqueza mediana.

Riqueza de los tres Transectos

Existen distintas maneras para conocer el estado de conservación de un lugar natural, una es analizando la presencia especies que son indicadoras. En el transecto tres tenemos la presencia de especies introducidas las que están presentes con cultivos tiene mayor intervención, en el humedal se registró especies indicadoras de pastoreo intensivo como *Lachemilla orbiculata* (Rosaceae) e *Hypochaeris sessiliflora* Kunth (Asteraceae), que a pesar de ser especies nativas toleran el pisoteo de los animales, debido a su estructura radicular (Hofstede, 2001).

Según Medina y Mena (2001), existen especies indicadoras de humedales, un ejemplo de las turberas y pantanos, presentan especies del género *Sphagnum*, algunas ciperáceas y varias formadoras de almohadillas, entre ellas está, *Plantago* y *Azorella*, así también plantas acuáticas, que crecen en las orillas de los lagos como *Isoetes*. En esta investigación se encontraron especies más abundantes pertenecen a los géneros *Plantago*, *Distichia*, *Azorella* y *Carex*, *Uncinia*, *Eleocharis*, *Juncus* especies propias de zonas húmedas, además de la presencia de *Isoetes*, incluso algunas Poaceas están cubriendo espacios dejados; esto nos da a dar pensar que la retención del agua en las almohadillas del humedal ha disminuido, especialmente porque el humedal tiene mucho drenaje.

La diversidad y calculada para los tres transectos de la zona de investigación es de 0,897 que es una diversidad alta. Como se puede observar en la tabla 2, los transectos analizados presentan una diversidad alta con relación al número de registros por especie (Tabla 2). El transecto donde se registró mayor número de especies es T3, pero la riqueza no necesariamente indica que un sector tiene un mejor estado de conservación que otro.

Tabla 2. Riqueza (S), diversidad de Shannon (H') y Simpson (D) en tres Transectos

Estimadores alfa	T1	T2	T3
S	24	27	31
H	2,223	2,322	2,558
D	0,8441	0,8146	0,8601

En el transecto que se registraron más especies es en el tres mientras el con menos especies fue el uno. Los transectos presentan un porcentaje de similitud de 23.4 % entre los tres, lo que permite concluir que se tratan de transectos con características heterogéneas con términos de composición florística, lo que puede deberse a que el humedal se encuentra en diferente estado de conservación. Las especies exclusivas de cada transecto es el 48.9% de las 47 especies encontradas en esta investigación Tabla 3.

Tabla 3. Especies compartidas entre los transectos

Transecto	Especies compartidas
T1 & T2	17
T2 & T3	15
T1 & T3	14

En cuanto al análisis de diversidad beta, los estimadores Jaccard registran que la mayor similitud se presentó entre los transectos T1 y T3, en tanto que los transectos que registraron los valores más bajos de similitud son T2 y T3, Tabla 4.

Tabla 4. Análisis de similitud según el estimador Jaccard

Jaccard	T1	T2	T3
T1	0	0,6482	2E-07u
T2	0,0683	0	0,0096
T3	0,6760	0,3742	0

Conclusiones

En el área se observan grandes alteraciones causados por la intervención humana, resultado de esto el humedal, en su mayoría, por zonas de pastos, lo que ha incidido directamente en la conservación, afectando a la composición de especies por localidad, que se ve influenciada por la variación en la distribución homogénea del hábitat necesario para la supervivencia de determinada especie, puesto que la reducción de estos ecosistemas da paso a formación de meta poblaciones, y estos subsecuentemente a la desaparición de la especie.

Los humedales como se demostró en este estudio son un importante refugio de biodiversidad en los páramos, porque mantiene especies de zonas secas y húmedas. Pero también son ecosistemas frágiles que requieren atención por parte de los usuarios de sus servicios ecosistémicos y de los tomadores de decisión, para que los usos dentro de ellos sean normados y de esta forma prevenir daños.

Nota. El informe sobre el levantamiento de información de la cobertura vegetal del humedal Antisana fue facilitado por el FONAG. En el documento se muestra únicamente un resumen introductorio sobre el objetivo del estudio y resultados y conclusiones, retirándose gran parte de la información introductoria y en el caso de la metodología fue eliminado de este apartado y se explica en el Apéndice A.

Apéndice D. Informe sobre el monitoreo de la cobertura vegetal del humedal Pugllohuma.

Monitoreo de la cobertura vegetal en el humedal Pugllohuma del área de conservación Hídrica Antisana

El presente estudio se desarrolló dentro del Área de Conservación Hídrica Antisana, en la Unidad Hidrográfica Pugllohuma. Esta zona de humedal ha sido históricamente afectada y degradada por actividades antrópicas tales como el pastoreo intensivo y la agricultura. Su conservación es de gran importancia para la ciudad de Quito puesto que el agua de sus microcuencas es captada para abastecer el sistema de agua potable de la parte sur de la ciudad (Aguirre y Torres, 2013). La finalidad del estudio es evaluar el estado de conservación de las comunidades vegetales del humedal Pugllohuma mediante análisis de Diversidad, Similitud, Abundancia y comparar con el estudio de línea base 2016.

Para el análisis estadístico del inventario cuantitativo, se utilizaron las fórmulas propuestas por (Campbell *et al.*, 1986) para análisis de diversidad, similitud, riqueza y abundancia, utilizando los Índices de diversidad de Simpson, Shannon-Weaver o Similitud de Jaccard.

Riqueza

Es el número total de especies registradas en un censo de una comunidad (Moreno, 2001).

Abundancia Relativa

Se analizó la abundancia relativa y la riqueza de los sitios de muestreo con el objetivo de caracterizar las comunidades vegetales a través de la curva de rango-abundancia. Estos análisis son utilizados para detectar modificaciones en las poblaciones a través del tiempo o en diferentes lugares en un espacio determinado (Carrillo *et al.*, 2000). Para el cálculo de la abundancia relativa se divide el número de individuos de cada especie para el total de individuos colectados extrapolando este valor con la riqueza específica.

$$P_i = n_i / N$$

Donde:

n_i = es el número de individuos de la especie i , dividido para el número total de individuos de la muestra (N).

Índice de diversidad de Simpson

Es una medida de dominancia que enfatiza el rol de las especies más comunes y refleja mejor la riqueza de especies. En el presente trabajo se utilizó el valor de la expresión $1-D$, para expresar este índice, siendo:

$$D = \sum P_i^2$$

Donde:

D = Valor de Simpson

Σ = Sumatoria

P_i^2 = Proporción de individuos elevada al cuadrado

Este índice mide la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar de una población de N individuos provengan de la misma especie. Si una especie dada i ($i=1, 2, S$) es representada en la comunidad como P_i (Proporción de individuos), la probabilidad de extraer al azar dos individuos de la misma especie, se denomina probabilidad conjunta [$P_i (P_i)$, o P_i^2].

El valor de D varía inversamente con la heterogeneidad: si los valores de D decrecen la diversidad aumenta y viceversa (Krebs, 1985). Al utilizar la forma $1-D$, la interpretación es inversa: a mayores valores de $1-D$, la diversidad será mayor, y a menores valores, la diversidad del sitio será menor (Krebs, 1985).

Valores del índice de Simpson.

0-0,40 = Dominancia baja

04-0,80 = Dominancia media

0,80-1 = Dominancia alta

Índice Shannon-Wiener (H')

Es una de las medidas de diversidad que parten del supuesto de que una comunidad (ensamblaje de organismos presentes en un hábitat), es análoga a un sistema termodinámico en la cual existe un número finito de individuos (análogo a cantidad de energía), los cuales pueden ocupar un número -también finito- de categorías (especies, análogo de estados).

Para entender mejor este tema, debemos considerar que: un sistema con un número finito de individuos y de categorías (especies); sin restricciones en cuanto al número de especies ni de individuos por categoría (especie), está dada por la Fórmula de Brillouin; equivale a la incertidumbre acerca de la identidad de un elemento tomado al azar de una colección de N elementos distribuidos en s categorías, sin importar el número de elementos por categoría ni el número de categorías. Dicha incertidumbre aumenta con el número de categorías (riqueza) y disminuye cuando la mayoría de los elementos pertenecen a una categoría.

$$H' = 1/N \log (N! / \prod ni!)$$

Donde:

H' = Índice de diversidad,

ni = número de individuos en la milésima especie,

$N = \sum ni$ total de individuos en todas las especies.

Utilizando la aproximación de Stirling para $N!$: $\ln N! \approx N \ln N - N$

Se obtiene la Fórmula de Shannon-Weaver que es la forma en la cual normalmente se presenta la diversidad de especies basada en la teoría de

Información: $H' = -\sum p_i \ln p_i$

Donde:

$p_i = ni/N$ proporción de individuos en la milésima especie.

Valores de Interpretación de Shannon

0-2= Diversidad baja

2-3= Diversidad media

3-4,5= Diversidad alta

RESULTADOS

Riqueza y abundancia de especies de los transectos de 30 m.

Al realizar el estudio de riqueza general, los tres transectos de 30 m registraron 40 especies, mientras que, en riqueza y abundancia de cada uno de los transectos se determinó que el T3 presenta una riqueza y abundancia con 23 especies y 56 individuos, seguido del T1 con 21 especies y 53 individuos, el T2 con menor riqueza y abundancia. El T3 presenta mayor riqueza y abundancia con respecto a los demás transectos, ya que no existe dominancia de una sola especie, como se encontró en T1 y T2 con *Plantago rígida* (ver Tabla 1).

Con los resultados obtenidos de las especies, no se puede afirmar cuál de los transectos analizados presenta un mejor estado de conservación, porque a nivel de especies, presentan una relación común en las áreas con y sin diques. Sin embargo, la composición de la vegetación del área de estudio en el humedal es afín en cuanto a especies, pues el humedal ha sido impactado en años anteriores por intervención antropogénica con la presencia de ganadería bovina, ovina y caballar. Actualmente, se puede mencionar que el humedal está recuperándose naturalmente de forma lenta, por lo que se observó el aumento de la cobertura vegetal de ciertas especies, como son las almohadillas, típicas de estos ecosistemas.

Diversidad y dominancia de especies en los transectos de 30 m.

La diversidad general presente en los transectos T1 y T2 es baja, mientras que el T3 presenta una diversidad media de 2,61 esto se debe a que en los transectos T1 y T2, se registró la dominancia de la especie de *Plantago rígida*, mientras que el T3 registró un mayor número de especies en los transectos con baja dominancia.

Tabla 1. Especies encontradas en los transectos de 30 m con metodología de cuadrantes.

No	FAMILIA	ESPECIES	Línea base			Monitoreo		
			T1	T2	T3	T1	T2	T3
1	Apiaceae	<i>Azorella aretioides</i> (Spreng.) DC.			7			2
2	Apiaceae	<i>Oreomyrrhis andicola</i> (Kunth) Hook. f.			1			2
3	Apiaceae	<i>Azorella pedunculata</i> (Spreng.) Mathias & Constance						1
4	Apiaceae	<i>Niphogeton dissecta</i> (Benth.) J.F. Macbr.						1
5	Asteraceae	<i>Cotula australis</i> (Sieber ex Spreng.) Hook. f.		1				
6	Asteraceae	<i>Hypochaeris sessiliflora</i> Kunth	58	3	15	16	2	4
7	Asteraceae	<i>Oritrophium limnophilum</i> (Sch. Bip.) Cuatrec.	3	1	3		1	
8	Asteraceae	<i>Werneria nubigena</i> Kunth	1		2	1		3
9	Asteraceae	<i>Werneria pygmaea</i> Gillies ex Hook. & Arn.		1	1			

10	Boraginaceae	Morfo sp1					4	2
11	Bartramiaceae	<i>Breutelia cf.</i>	1	8				
12	Bryophyta	Morfo sp2					13	
13	Campanulaceae	<i>Lysipomia montioides</i> Kunth	1	1	4	3	1	2
14	Caryophyllaceae	<i>Arenaria sp.</i>		1				
15	Caryophyllaceae	<i>Cerastium candicans</i> Wedd.				0		
16	Caryophyllaceae	<i>Cerastium cerastoides</i> (L.) Britton	2					
17	Caryophyllaceae	<i>Cerastium</i> L.				2		
18	Caryophyllaceae	<i>Cerastium imbricatum</i> Kunth		1	1			
19	Cyperaceae	<i>Carex bonplandii</i> Kunth	2	8				
20	Cyperaceae	<i>Carex crinalis</i> Boott	26	5	2			
21	Cyperaceae	<i>Carex sp1</i>	8	2		24	2	3
22	Cyperaceae	<i>Carex sp2</i>	1	1				
23	Cyperaceae	<i>Carex tristicha</i> Spruce ex Boott	44		2			
24	Cyperaceae	<i>Eleocharis albibracteata</i> Nees & Meyen ex Kunth	3	31	45	12	15	11
25	Cyperaceae	<i>Phylloscirpus sp.</i>			2			3
26	Cyperaceae	<i>Uncinia sp.</i>		3				
27	Ericaceae	<i>Disterigma empetrifolium</i> (Kunth) Drude			16			15
28	Gentianaceae	<i>Gentiana sedifolia</i> Kunth	2					
29	Geraniaceae	<i>Geranium multipartitum</i> Benth.	1	5	17	5	2	48
30	Indeterminada	sp2			3			
31	Indeterminada	sp1		2				
32	Juncaceae	<i>Distichia muscoides</i> Nees & Meyen		66	15		65	5
33	Juncaceae	<i>Juncus stipulatus</i> Nees & Meyen	5	4	15			
34	Juncaceae	<i>Luzula racemosa</i> Desv.	1					1
35	Leucobryaceae	<i>Campylopus sp.</i>			6			
36	Lycopodiaceae	<i>Huperzia crassa</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Rothm.			3			1
37	Orchodaceae	<i>Myrosmodes nubigenum</i> Rchb. f.		1		1		
38	Orobanchaceae	<i>Bartsia stricta</i> (Kunth) Benth.	2	2	7			
39	Plantaginaceae	<i>Plantago rigida</i> Kunth	84	14	97	122	21	98
40	Poaceae	<i>Aciachne flagellifera</i> Lægaard	5					
41	Poaceae	<i>Agrostis breviculmis</i> Hitchc.	2	1	10	25		8
42	Poaceae	<i>Agrostis sp 1</i>			1			
43	Poaceae	<i>Agrostis toluensis</i> Kunth	14	1				
44	Poaceae	<i>Calamagrostis fibrovaginata</i> Lægaard	36	1	19			
45	Poaceae	<i>Calamagrostis sp2</i>	3	3		6		3
46	Poaceae	<i>Festuca andicola</i> Kunth	2		2			
47	Poaceae	<i>Muhlenbergia ligularis</i> (Hack.) Hitchc.			2			
48	Poaceae	<i>Poa annua</i> L.			1			
49	Poaceae	sp3		4				
50	Ranunculaceae	<i>Caltha sagittata</i> Cav.			4			
51	Ranunculaceae	<i>Ranunculus praemorsus</i> Kunth ex DC.		6	4		8	
52	Rosaceae	<i>Lachemilla mandoniana</i> (Wedd.) Rothm.			1			1
53	Rubiaceae	<i>Galium sp.</i>			1	1		

Riqueza y abundancia de especies de los transectos de 50 m.

La riqueza en el estudio de monitoreo de los 3 transectos de 50 m., se registró un total de 25 especies. A nivel de transectos, el T3 presentó mayor riqueza o mayor número de especies (19) y una abundancia de 213 individuos en comparación a los transectos T1 y T2 (ver Tabla 2).

Diversidad y dominancia de especies en los transectos de 50 m.

La diversidad general presente en los transectos de 50 m nos indica una diversidad baja. Los transectos T3 (1,84) y T2 (1,68) presentan mayor diversidad, ya que no existe la dominancia de una sola especie en los transectos. La misma tendencia se observa en la dominancia de especies de los transectos T3 y T2 frente al T1.

Tabla 2. Especies encontradas en los transectos de 50 m con metodología punto intercepto.

No	FAMILIA	ESPECIES	Línea base			Monitoreo		
			T1	T2	T3	T1	T2	T3
1	Apiaceae	<i>Azorella aretioides</i> (Spreng.) DC.			7			2
2	Apiaceae	<i>Oreomyrrhis andicola</i> (Kunth) Hook. f.			1			2
3	Apiaceae	<i>Azorella pedunculata</i> (Spreng.) Mathias & Constance						1
4	Apiaceae	<i>Niphogeton dissecta</i> (Benth.) J.F. Macbr.						1
5	Asteraceae	<i>Cotula australis</i> (Sieber ex Spreng.) Hook. f.		1				
6	Asteraceae	<i>Hypochaeris sessiliflora</i> Kunth	58	3	15	16	2	4
7	Asteraceae	<i>Oritrophium limnophilum</i> (Sch. Bip.) Cuatrec.	3	1	3		1	
8	Asteraceae	<i>Werneria nubigena</i> Kunth	1		2	1		3
9	Asteraceae	<i>Werneria pygmaea</i> Gillies ex Hook. & Arn.		1	1			
10	Boraginaceae	Morfo sp1					4	2
11	Bartramiaceae	<i>Breutelia cf.</i>	1	8				
12	Bryophyta	Morfo sp2					13	
13	Campanulaceae	<i>Lysipomia montioides</i> Kunth	1	1	4	3	1	2
14	Caryophyllaceae	<i>Arenaria sp.</i>		1				
15	Caryophyllaceae	<i>Cerastium candicans</i> Wedd.				0		
16	Caryophyllaceae	<i>Cerastium cerastoides</i> (L.) Britton	2					
17	Caryophyllaceae	<i>Cerastium L.</i>				2		
18	Caryophyllaceae	<i>Cerastium imbricatum</i> Kunth		1	1			
19	Cyperaceae	<i>Carex bonplandii</i> Kunth	2	8				
20	Cyperaceae	<i>Carex crinalis</i> Boott	26	5	2			
21	Cyperaceae	<i>Carex sp1</i>	8	2		24	2	3
22	Cyperaceae	<i>Carex sp2</i>	1	1				
23	Cyperaceae	<i>Carex tristicha</i> Spruce ex Boott	44		2			
24	Cyperaceae	<i>Eleocharis albibracteata</i> Nees & Meyen ex Kunth	3	31	45	12	15	11
25	Cyperaceae	<i>Phylloscirpus sp.</i>			2			3
26	Cyperaceae	<i>Uncinia sp.</i>		3				
27	Ericaceae	<i>Disterigma empetrifolium</i> (Kunth) Drude			16			15
28	Gentianaceae	<i>Gentiana sedifolia</i> Kunth	2					

29	Geraniaceae	<i>Geranium multipartitum</i> Benth.	1	5	17	5	2	48
30	Indeterminada	sp2			3			
31	Indeterminada	sp1		2				
32	Juncaceae	<i>Distichia muscoides</i> Nees & Meyen		66	15		65	5
33	Juncaceae	<i>Juncus stipulatus</i> Nees & Meyen	5	4	15			
34	Juncaceae	<i>Luzula racemosa</i> Desv.	1					1
35	Leucobryaceae	<i>Campylopus</i> sp.			6			
36	Lycopodiaceae	<i>Huperzia crassa</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Rothm.			3			1
37	Orchodaceae	<i>Myrosmodes nubigenum</i> Rchb. f.		1		1		
38	Orobanchaceae	<i>Bartsia stricta</i> (Kunth) Benth.	2	2	7			
39	Plantaginaceae	<i>Plantago rigida</i> Kunth	84	14	97	122	21	98
40	Poaceae	<i>Aciachne flagellifera</i> Lægaard	5					
41	Poaceae	<i>Agrostis breviculmis</i> Hitchc.	2	1	10	25		8
42	Poaceae	<i>Agrostis</i> sp 1			1			
43	Poaceae	<i>Agrostis toluensis</i> Kunth	14	1				
44	Poaceae	<i>Calamagrostis fibrovaginata</i> Lægaard	36	1	19			
45	Poaceae	<i>Calamagrostis</i> sp2	3	3		6		3
46	Poaceae	<i>Festuca andicola</i> Kunth	2		2			
47	Poaceae	<i>Muhlenbergia ligularis</i> (Hack.) Hitchc.			2			
48	Poaceae	<i>Poa annua</i> L.			1			
49	Poaceae	sp3		4				
50	Ranunculaceae	<i>Caltha sagittata</i> Cav.			4			
51	Ranunculaceae	<i>Ranunculus praemorsus</i> Kunth ex DC.		6	4		8	
52	Rosaceae	<i>Lachemilla mandoniana</i> (Wedd.) Rothm.			1			1
53	Rubiaceae	<i>Galium</i> sp.			1	1		

Comparación de la riqueza de los transectos de 50 m en línea base 2016 y monitoreo 2019.

La mayor riqueza se registró en el estudio de Línea base, donde el T3 presenta el mayor número de especies (31), seguido del T2 con 27 especies y el T1 con 24, frente al estudio de monitoreo, donde se registró menor número de especies. El transecto T3 igualmente presenta mayor número de especies, sin embargo, se observa un cambio, donde el T2 presenta menor número de especies que el T1 como se indica en la Figura 1.

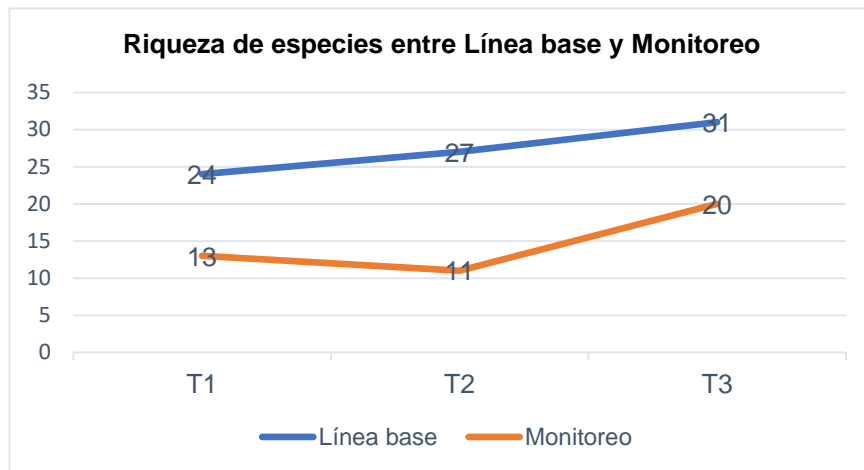


Figura 1. Comparación de riqueza de especies en transectos de 50 m. entre línea base (2016) y monitoreo (2019).

El presente estudio registró un mayor número de individuos de *Lachemilla orbiculata* e *Hypochaeris sessiliflora* en la línea base, esto se debe a su estructura radicular el cual sirve de soporte para especies adultas y permite tolerar el pisoteo de los animales (Danilo Minga, 2016), caracterizándolas como especies pioneras e indicadoras del estado de conservación / degradación de humedales, mientras que en el estudio de monitoreo se registró con menor frecuencia estas especies. Estudios realizados por (Medina y Mena, 2001), analizan que existen especies indicadoras de humedales, un ejemplo de las turberas y pantanos, presentan especies del género *Sphagnum*, algunas Ciperáceas y varias formadoras de almohadillas, entre ellas está *Plantago* y *Azorella*, así también plantas acuáticas que crecen en las orillas de los lagos como *Isoetes*. En el presente estudio se encontraron especies más abundantes pertenecientes a los géneros *Plantago*, *Distichia*, *Azorella*, *Carex*, *Uncinia*, *Eleocharis*, especies propias de zonas húmedas. La especie de *Plantago rígida* fue la más dominante en el estudio de monitoreo, seguida de la especie de *Distichia muscoides*, ya que son especies propias de ecosistemas lacustres, *Plantago* se caracteriza por la regulación del sistema hídrico por su gran importancia en la formación del suelo y retención del agua en los humedales (Danilo Minga, 2016).

Comparación de Diversidad en transectos de 50 m. entre línea base 2016 y monitoreo 2019

Al comparar la riqueza de cada transecto entre la línea base y el monitoreo, se observa que ambas aumentan paulatinamente; sin embargo, la diversidad entre ambos muestreos se observa que ha disminuido de un nivel medio en línea base a uno bajo en monitoreo según Shannon y de un nivel alto a uno medio según Simpson respectivamente, como se indica en la Tabla 3. Los transectos de 50 m presentaron una diversidad media a diferencia de los transectos de 30 m, esto se puede explicar por la diferente distribución de los transectos, los mismos que atraviesan diferentes hábitats presentes en el área de estudio. También se debe a que se aplicó diferente metodología en los transectos de 30 y 50 m y que en estos últimos no se registraron especies dominantes. La composición vegetal entre línea base y monitoreo comparten diferencias en riqueza, la que ha disminuido en monitoreo, esto puede suceder porque el área de estudio está presentando una mejor retención hídrica, por los trabajos de

restauración que están dando a cabo en el ecosistema lacustre en estudio, ya que especies que se encontraban han ido desapareciendo, por no tolerar una gran cantidad de humedad. En cuanto a especies que son propias de estos ecosistemas lacustres van aumentando en su cobertura vegetal, como son (*Plantago rígida*, *Distichia muscoides*, *Caltha sagittata*, *Juncus stipulatus*, *Eleocharis albibracteata*, genero de *Carex*, especies de *Bryopyta* esto puede estar pasando por el proceso de restauración activa que se presente al momento en el área.

Tabla 3. Índices de Diversidad y riqueza en transectos de 50 m. en línea base 2016 y monitoreo 2019.

Transectos	RIQUEZA		ÍNDICE DE SHANNON		ÍNDICE DE SIMPSON	
	Línea base	Monitoreo	Línea base	Monitoreo	Línea base	Monitoreo
T1	24	10	2,22	1,55	0,84	0,65
T2	27	11	2,32	1,65	0,81	0,71
T3	31	20	2,56	1,86	0,86	0,73

CONCLUSIONES

En el presente estudio se comprueba que la intervención del hombre y ganadería en los humedales cambian las condiciones naturales del mismo; a pesar de que en el análisis no se pudo conseguir un lugar sin intervención, el proceso de conservación ejecutado por el FONAG, ha permitido su regeneración, lo que se corroboró con el análisis de comparación en distintas épocas, por los cambios en la composición del vegetal del humedal. Además, el índice de diversidad utilizado muestra una diversidad media y baja, dato que muestra que las actividades de conservación realizadas en el humedal por parte del FONAG están dando resultados.

En el estudio de línea base se registró mayor riqueza y diversidad de especies en comparación con el estudio de monitoreo, ya que la zona de estudio en el año 2016, presentaban grandes alteraciones causadas por la intervención humana, lo que ha incidido directamente en la conservación, por lo que en su mayoría presentaba zonas de pasto y especies indicadoras de dicha alteración como especies de *Lachemilla orbiculata*, *Hypochaeris sessiliflora*, *Poa Annua*.

En el monitoreo ya no se registró *Lachemilla orbiculata*, *Hypochaeris sessiliflora* o su presencia fue menor diversidad y riqueza, la presencia de diques ha ido inundando el área, por lo que ha generado el desarrollo de especies propias del humedal como *Plantago rígida*, *Distichia muscoides*, *Caltha sagittata*, genero de *Carex*, especies de *Bryopyta*; la disminución de especies en el estudio de monitoreo también se explica porque especies encontradas son de ciclo corto como *Poa Annua* por lo cual, ya no se presentaron en el estudio.

Nota. El informe sobre el levantamiento de información de la cobertura vegetal del humedal Puglllohuma fue facilitado por el FONAG. En el documento se muestra únicamente un resumen introductorio sobre el objetivo del estudio y resultados y conclusiones, retirándose gran parte de la información introductoria y en el caso de la metodología fue eliminado de este apartado y se explica en el Apéndice A.

Apéndice E. Informe sobre el monitoreo de la cobertura vegetal del humedal Tungurahua.

Monitoreo de cobertura vegetal, riqueza y abundancia de especies del Humedal Alto Pita: Tungurahua

El presente estudio se llevó a cabo en el Área de Conservación Alto Pita dentro del humedal Tungurahua. Este ecosistema se caracteriza por presentar zonas de herbazales abiertos, que se encuentran dominados por especies de los géneros *Stipa*, *Senecio* y *Plantago*, que ha originado un proceso importante de degradación del ecosistema, expresado a través de la erosión del suelo, pérdida de cobertura vegetal y capacidad de regulación hídrica. La vegetación se encuentra en asociaciones de las especies *Agrostis breviculmis* Hitchc. y *Lachemilla orbiculata* (Ruiz & Pav.) ambas resistentes al pisoteo del ganado. La finalidad del presente estudio es evaluar el estado de conservación de las comunidades vegetales del humedal Alto Pita mediante análisis de Diversidad, Similitud, Abundancia y comparar con el estudio de línea base 2017.

Riqueza y Abundancia de Especies

Riqueza

Es el número total de especies registradas en un censo de una comunidad (Moreno, 2001).

Abundancia Relativa

Se analizó la abundancia relativa y la riqueza de los sitios de muestreo con el objetivo de caracterizar las comunidades vegetales a través de la curva de rango-abundancia. Estos análisis son utilizados para detectar modificaciones en las poblaciones a través del tiempo o en diferentes lugares en un espacio determinado (Carrillo et al., 2000).

Para el cálculo de la abundancia relativa se divide el número de individuos de cada especie para el total de individuos colectados extrapolando este valor con la riqueza específica.

$$P_i = n_i / N$$

Donde:

n_i = es el número de individuos de la especie i , dividido para el número total de individuos de la muestra (N).

Índice de diversidad de Simpson

Es una medida de dominancia que enfatiza el rol de las especies más comunes y refleja mejor la riqueza de especies. En el presente trabajo se utilizó el valor de la expresión 1-D, para expresar este índice, siendo:

$$D = \sum P_i^2$$

Donde:

D = Valor de Simpson

Σ = Sumatoria

P_i^2 = Proporción de individuos elevada al cuadrado

Este índice mide la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar de una población de N individuos provengan de la misma especie. Si una especie dada i ($i=1, 2, S$) es representada en la comunidad como P_i (Proporción de individuos), la probabilidad de extraer al azar dos individuos de la misma especie, se denomina probabilidad conjunta [$P_i (P_i)$, o P_i^2].

El valor de D varía inversamente con la heterogeneidad: si los valores de D decrecen la diversidad aumenta y viceversa (Krebs, 1985). Al utilizar la forma $1-D$, la interpretación es inversa: a mayores valores de $1-D$, la diversidad será mayor, y a menores valores, la diversidad del sitio será menor (Krebs, 1985).

Valores del índice de Simpson.

0-0,40 = Dominancia baja

04-0,80 = Dominancia media

0,80-1 = Dominancia alta

Índice Shannon-Wiener (H')

Es una de las medidas de diversidad que parten del supuesto de que una comunidad (ensamblaje de organismos presentes en un hábitat), es análoga a un sistema termodinámico en la cual existe un número finito de individuos (análogo a cantidad de energía), los cuales pueden ocupar un número -también finito- de categorías (especies, análogo de estados).

Para entender mejor este tema, debemos considerar que: un sistema con un número finito de individuos y de categorías (especies); sin restricciones en cuanto al número de especies ni de individuos por categoría (especie), está dada por la Fórmula de Brillouin; equivale a la incertidumbre acerca de la identidad de un elemento tomado al azar de una colección de N elementos distribuidos en s categorías, sin importar el número de elementos por categoría ni el número de categorías. Dicha incertidumbre aumenta con el número de categorías (riqueza) y disminuye cuando la mayoría de los elementos pertenecen a una categoría.

$$H' = 1/N \log (N! / \prod ni!)$$

Donde:

H' = Índice de diversidad,

ni = número de individuos en la milésima especie,

$N = \sum ni$ total de individuos en todas las especies.

Utilizando la aproximación de Stirling para $N!$: $\ln N! \approx N \ln N - N$

Se obtiene la Fórmula de Shannon-Weaver que es la forma en la cual normalmente se presenta la diversidad de especies basada en la teoría de

Información: $H' = -\sum p_i \ln p_i$

Donde:

$p_i = ni/N$ proporción de individuos en la milésima especie.

Valores de Interpretación de Shannon

0-2= Diversidad baja

2-3= Diversidad media

3-4,5= Diversidad alta

Los índices de diversidad Shannon y Simpson se realizaron en el programa Past 3.5.

RESULTADOS

Frecuencia de los transectos del Humedal Tungurahua.

En los transectos de Tungurahua se registró 12 familias, correspondientes a 21 especies, donde el THT2 registró 12 especies y 65 individuos y THT1 registro 11 especies y 67 individuos, con resultados casi homogéneos, esto puede deberse a que los transectos son similares.

Las especies más representativas por su frecuencia en los transectos de humedal fueron *Eleocharis albibracteata*, *Plantago rígida*, *Oreobolus ecuadorensis*, *Distichia muscoides*, *Werneria pygmaea* (ver Tabla 1). Las especies de *Baccharis caespitosa*, *Hypochaeris sessiliflora*, *Carex tristicha*, *Loricaria thuyoides*, se registraron en los transectos de humedal.

Tabla 1. Frecuencia de los transectos del Humedal y la zona de prado de Tungurahua.

Familia	Especie	THT1	THT2
Plantaginaceae	<i>Plantago rigida</i> Kunth	19	
Cyperaceae	<i>Eleocharis albibracteata</i> Nees & Meyen ex Kunth	11	15
Juncaceae	<i>Distichia muscoides</i> Nees & Meyen	10	4
Asteraceae	<i>Werneria pygmaea</i> Gillies ex Hook. & Arn.	10	1
Cyperaceae	<i>Oreobolus ecuadorensis</i> T. Koyama	5	11
	<i>Azorella pedunculata</i> (Spreng.) Mathias &		
Apiaceae	Constance	4	
Hypericaceae	<i>Hypericum lancioides</i> Cuatrec.	3	3
Cyperaceae	<i>Carex tristicha</i> Boeckeler	2	4
Asteraceae	<i>Baccharis caespitosa</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	1	12
Bartramiaceae	<i>Breutelia</i> (Bruch & Schimp.) Schimp.	1	6
Asteraceae	<i>Loricaria thuyoides</i> (Lam.) Sch. Bip.	1	1
Asteraceae	<i>Hypochaeris sessiliflora</i> Kunth		6
Orobanchaceae	<i>Bartsia</i> L.		1
Asteraceae	<i>Oritrophium limnophilum</i> (Sch. Bip.) Cuatrec.		1
Poaceae	<i>Calamagrostis intermedia</i> (J. Presl) Steud.		
Poaceae	<i>Agrostis breviculmis</i> Hitchc.		
Apiaceae	<i>Niphogeton dissecta</i> (Benth.) J.F. Macbr.		
Rosaceae	<i>Lachemilla orbiculata</i> (Ruiz & Pav.) Rydb.		
Geraniaceae	<i>Geranium sibbaldioides</i> Benth.		
Geraniaceae	<i>Geranium multipartitum</i> Benth.		
Lycopodiaceae	<i>Lycopodium clavatum</i> L.		
TOTAL		67	65

Riqueza, diversidad y dominancia en los transectos del humedal Tungurahua.

La riqueza de los transectos del humedal THT1, THT2, son medianamente homogéneos, por la similaridad que existe en la zona donde se ubican los transectos; los índices de diversidad Simpson nos indican una diversidad alta y diversidad media en los transectos de THT2 y THT1, con baja dominancia, como se indica en la Tabla 2.

Tabla 2. Riqueza (S), Diversidad de Shannon (H') y Simpson (1-D) Dominancia (Pi) en los transectos del humedal Tungurahua.

Estimadores alfa	S	H	1-D	Pi
THT1	11	2,02	0,84	0,16
THT2	12	2,13	0,86	0,14

Comparación entre línea base y monitoreo de la frecuencia de especies del humedal de Tungurahua.

En el estudio de línea base y monitoreo del humedal de Tungurahua se registró 17 familias, correspondientes a 33 especies, donde THT2 del estudio de monitoreo presenta la mayor riqueza con 22 especies y 50 individuos y la menor riqueza con 11 especies y 49 individuos en THT1 de línea base.

El mayor número de especies e individuos se registró en el estudio de monitoreo, ya que aparecieron nuevas especies como *Hypericum sprucei*, *Cotula australis*, *Cuatrecasasiella isernii*, *Disterigma empetrifolium*, *Gentianella rupícola*, *Phlegmariurus crassus*, *Lachemilla mandoniana*, *Eleocharis acicularis*, *Gamochaeta americana*, etc., cómo se indica en la Tabla 3., esto se debe a que la zona de estudio se encuentra en una recuperación pasiva, además de esto no existe un tensionante en el área, como el pastoreo, que se realizaba años atrás, provocando fuertes cambios al ecosistema.

Tabla 3. Comparación entre línea base y monitoreo de las especies encontradas en el humedal de Tungurahua

Familia	Especies	Línea base		Monitoreo	
		THT1	THT2	THT1	THT2
Asteraceae	<i>Hypochaeris sessiliflora</i> Kunth		6		1
Asteraceae	<i>Oritrophium limnophilum</i> (Sch. Bip.) Cuatrec.		1	1	
Ornithaceae	<i>Bartsia</i> L.		1		
Plantaginaceae	<i>Plantago rigida</i> Kunth	19		4	1
Cyperaceae	<i>Eleocharis albibracteata</i> Nees & Meyen ex Kunth	11	15	7	7
Cyperaceae	<i>Oreobolus ecuadorensis</i> T. Koyama	5	11	7	9
Apiaceae	<i>Azorella aretioides</i> (Spreng.) Willd. ex DC.	4		1	1
Hypericaceae	<i>Hypericum lancioides</i> Cuatrec.	3	3		
Cyperaceae	<i>Carex tristicha</i> Boeckeler	2	4		
Asteraceae	<i>Baccharis caespitosa</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	1	12	5	1
Bartramiaceae	<i>Breutelia</i> (Bruch & Schimp.) Schimp.	1	6		4
Juncaceae	<i>Distichia muscoides</i> Nees & Meyen	1	4	1	4
Asteraceae	<i>Werneria pygmaea</i> Gillies ex Hook. & Arn.	1	1	8	
Asteraceae	<i>Loricaria thuyoides</i> (Lam.) Sch. Bip.	1	1	1	4
Hypericaceae	<i>Hypericum sprucei</i> N. Robson			8	1
Asteraceae	<i>Cotula australis</i> (Sieber ex Spreng.) Hook. f.			7	2
Asteraceae	<i>Cuatrecasasiella isernii</i> (Cuatrec.) H. Rob.			3	
Ericaceae	<i>Disterigma empetrifolium</i> (Kunth) Drude			2	3
Gentianaceae	<i>Gentianella rupicola</i> (Kunth) Holub			2	1
Lycopodiaceae	<i>Phlegmariurus crassus</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) B. Øllg.			1	1
Rosaceae	<i>Lachemilla mandoniana</i> (Wedd.) Rothm.			1	1
Cyperaceae	<i>Eleocharis acicularis</i> (L.) Roem. & Schult.			1	
Asteraceae	<i>Gamochoaeta americana</i> (Mill.) Wedd			1	
Isoetaceae	<i>Isoetes</i> L.			1	
Cyperaceae	<i>Phylloscirpus acaulis</i> (Phil.) Goetgh. & D.A. Simpson			1	
Aneuraceae	<i>Riccardia</i> Gray			1	
Poaceae	<i>Cortaderia sericantha</i> (Steud.) Hitchc.				3
Cyperaceae	<i>Carex bonplandii</i> Kunth				2
Juncaceae	<i>Distichia acicularis</i> Balslev & Lægaard				1
Apiaceae	<i>Eryngium humile</i> Cav.				1
Gentianaceae	<i>Halenia weddelliana</i> Gilg				1
Bryophyta	sp. 3				1
Rubiaceae	<i>Nertera granadensis</i> (Mutis ex L. f.) Druce				1
TOTAL		49	57	63	50

Comparación entre la línea base y monitoreo de riqueza, diversidad y dominancia en los transectos del humedal Tungurahua.

Al comparar los transectos el estudio de monitoreo presenta la mayor riqueza, con el doble de especies registradas en línea base; el estimador Simpson indica una alta diversidad y el estimador Shannon indica una diversidad media, como se indica en la Tabla 4.

Tabla 4. Comparación entre línea base y monitoreo de riqueza (S), diversidad de Shannon (H') y Simpson (1-D) Dominancia (Pi) en los Transectos del Humedal de Tungurahua.

Estimadores alfa	S	H	1-D	Pi	
Línea base	THT1	11	1.84	0.77	0.23
	THT2	12	2.13	0.86	0.14
Monitoreo	THT1	21	2.69	0.92	0.08
	THT2	22	2.77	0.92	0.08

CONCLUSIONES

Dentro del área de estudio en su mayoría las especies de plantas registradas son especies nativas y características de ecosistemas de páramo. Los índices de diversidad utilizados indican en la mayor parte del estudio una diversidad media y en pocos casos diversidad alta, dato que muestra que los esfuerzos efectuados por conservar esta zona, están dando resultado. Sin embargo, se requiere mayor conservación y cuidado de las especies ya que existe diversidad media y en casos raros una diversidad baja.

Con este estudio se comprueba que la intervención antropogénica y ganadera cambia las condiciones naturales en ecosistemas de humedales y pajonales en los páramos y produce impactos a los mismo. A pesar de tener estos impactos, el proceso de conservación, para los dos lugares, ha permitido su regeneración y eso se ha podido corroborar mediante los análisis de cada lugar.

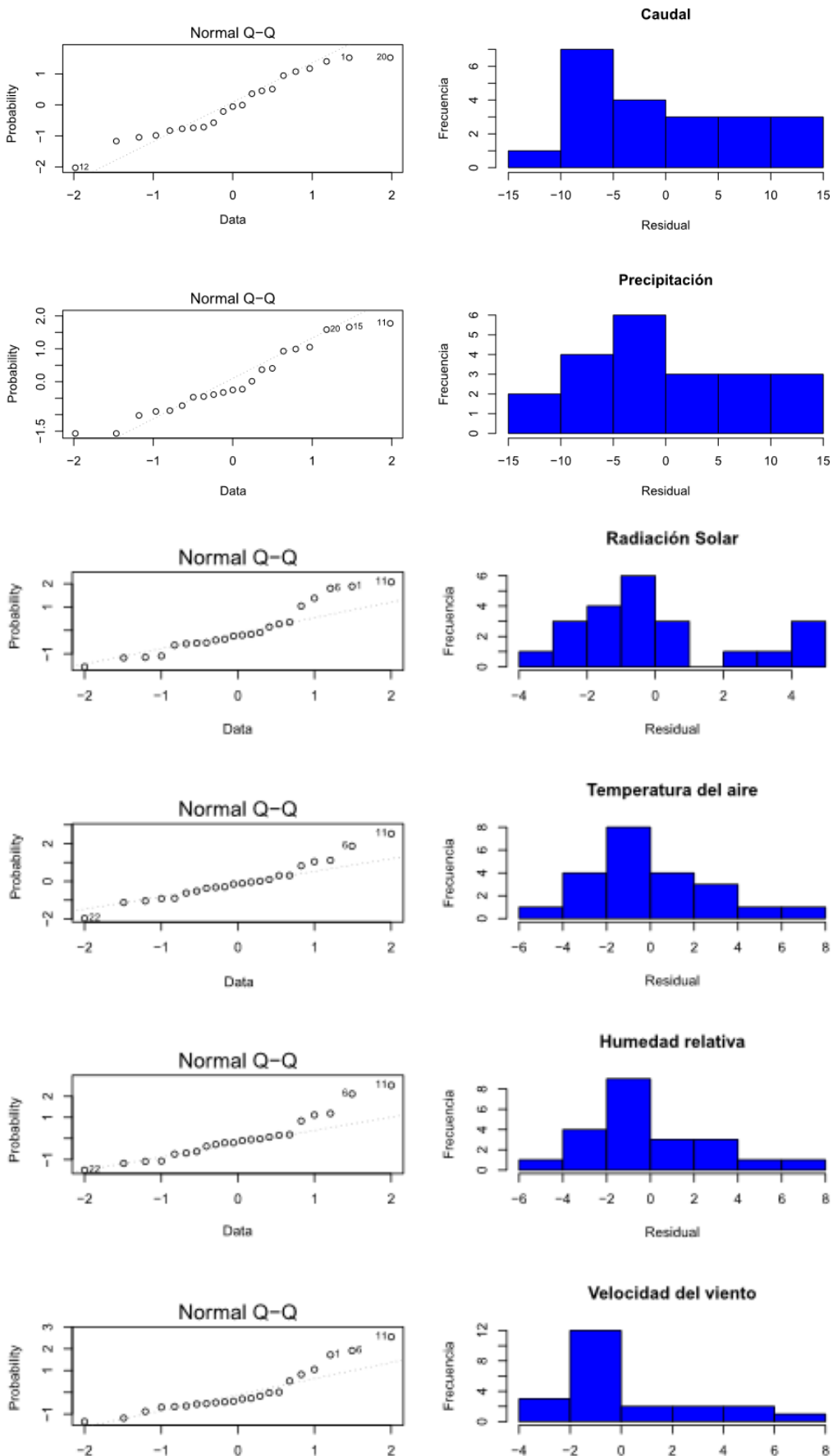
Nota. El informe sobre el levantamiento de información de la cobertura vegetal del humedal Tungurahua fue facilitado por el FONAG. En el documento se muestra únicamente un resumen introductorio sobre el objetivo del estudio y resultados y conclusiones, retirándose gran parte de la información introductoria y en el caso de la metodología fue eliminado de este apartado y se explica en el Apéndice A.

Apéndice F. Propiedades hidro físicas del humedal Jatunhuaycu y Tungurahua.

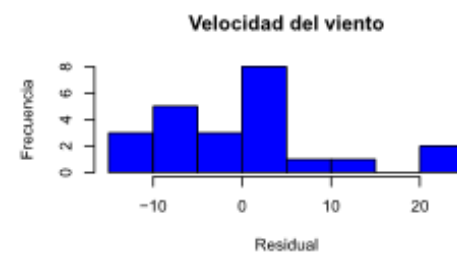
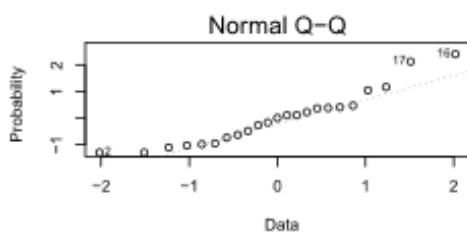
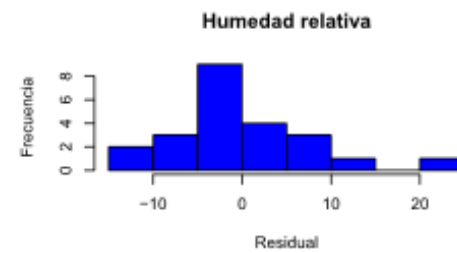
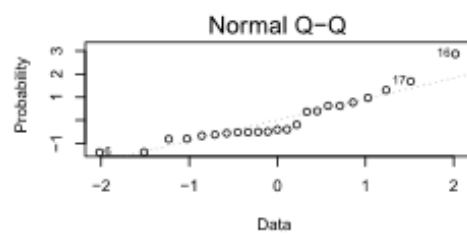
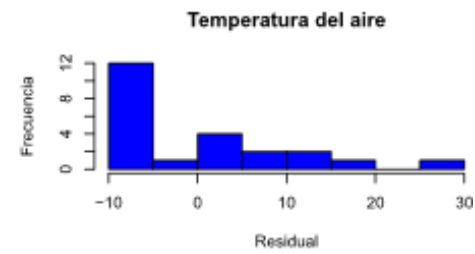
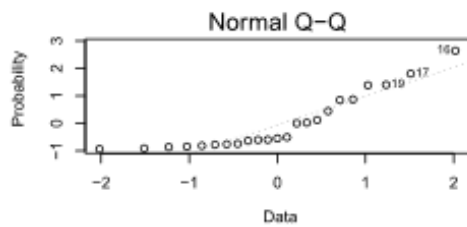
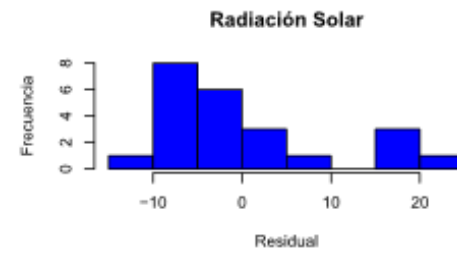
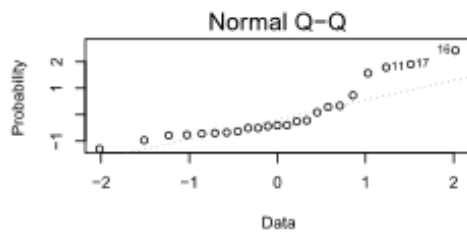
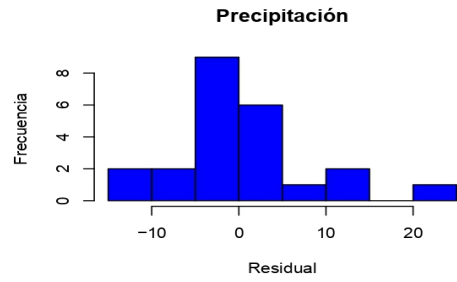
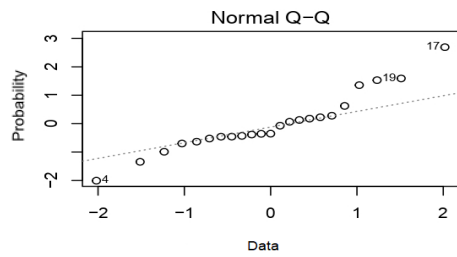
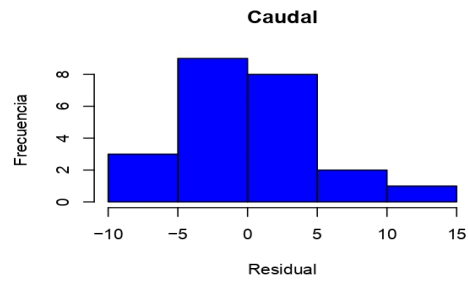
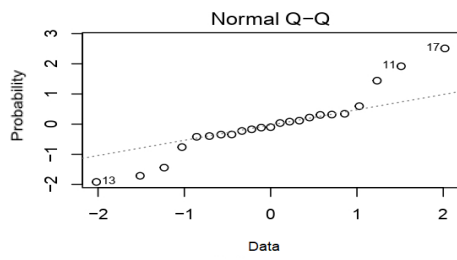
Humedal	Profundidad (cm)	Densidad aparente (g/cm ³)	Porosidad (%)	Conductividad hidráulica (cm/h)
Jatunhuaycu	0 - 10	0,11	93,25	6,52
	10 - 30	0,29	74,11	3,02
	30 - 60	0,23	82,96	1,52
	60 - 120	0,33	82,16	5,1
Tungurahua	0 - 10	0,11	91,2	2,22
	10 - 30	0,39	80,5	1,85
	30 - 60	0,06	95,89	3,6
	60 - 120	0,12	92,40	8,41

Nota. Las propiedades hidro físicas de los humedales Jatunhuaycu y Tungurahua fueron otorgados por el FONAG.

Apéndice G. Gráficos residuales de distribución normal en el humedal Jatunhuaycu.



Apéndice H. Gráficos residuales de distribución normal en el humedal Pugllahoma.



Apéndice I. Gráficos residuales de distribución normal en el humedal Tungurahua.

