



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE BIOLOGÍA, ECOLOGÍA Y GESTIÓN**

**Caracterización y zonificación de la microcuenca del río
Machángara para estudios de procesos biogeoquímicos e isótopos
estables de carbono, nitrógeno, hidrogeno y oxígeno**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

BIÓLOGO CON MENCIÓN EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN

Autores:

**DAVID ANTONIO PADRÓN SUÁREZ
OMAR MAURICIO VÁZQUEZ SARMIENTO**

Director:

GUSTAVO CHACÓN VINTIMILLA Ph.D.

**CUENCA, ECUADOR
2019**

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestro director de tesis, Gustavo Chacón, por todo el apoyo y las enseñanzas durante este trabajo de titulación y por permitirnos ser parte de su equipo.

A nuestro tribunal, David Siddons y Raffaella Ansaloni, por todos sus comentarios y sugerencias para este proyecto y para nosotros. A Catalina Díaz, por todo el apoyo en las gestiones y en sus sugerencias.

A los laboratoristas por toda su ayuda y disposición en los diferentes laboratorios de la Facultad de Ciencia y Tecnología.

A David Ordoñez, David Falcones, Mateo, Juan Carlos, Angie, Gaby, Paula, Alfredo y Johnny por toda su ayuda en la fase de campo y la fase de laboratorio.

A Elecaastro, Etapa, la Universidad del Azuay y la escuela de biología por las facilidades para poder ejecutar este proyecto.

DEDICATORIA

A mis padres Omar y Vero, a mis hermanos Martín e Ismael, por toda su paciencia y su ayuda desde el primer día que me conocieron. Recuerden que cuando me vean volar, ustedes me pintaron las alas...

A la música, por ser la amiga que nunca me ha abandonado y que me ha levantado en los peores momentos donde nada más podía hacerlo.

A todos mis héroes plasmados en los CD's que han sido mis mejores amigos y compañeros todos los días, a toda hora. Gracias por su arte y todo lo que me han enseñado.

A todos mis demás familiares y amigos en general, a las personas que se han ido y las que han llegado, gracias.

“Cualquier cosa es posible si tienes suficiente valor. Son nuestras decisiones las que nos muestran lo que podemos llegar a ser, mucho más que nuestras propias habilidades”

J.K. Rowling

Omar

Este trabajo se lo dedico principalmente a mis abuelitos por haberme dado el ejemplo de perseverar y luchar en la vida, que por más duro se ponga el camino no existen imposibles en este andar, lo que me ha servido para ser una persona de bien y nunca rendirme

A mis padres Antonio y Liliana que en todo momento han estado ofreciéndome su amor y orientación, a pesar de todo, han sido incondicionales para llegar a la meta y cumplir mis sueños, por todo eso y más siento que les debo la vida y les tengo un amor infinito, gracias a ustedes estoy aquí

A mi hermana Jhenifer que ha sido mi compañera de vida, por su constante apoyo y sobre todo por darme la dicha de ser tío.

A mis familiares en general, amigos y todas esas personas que estuvieron en mi camino y brindaron su apoyo en esta etapa de vida, no tengo más que agradecerles por todo el cariño brindado.

"Lo que eres es lo que has sido. Lo que serás es lo que haces a partir de ahora".

BUDA

Antonio

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN	1
Capítulo I.....	6
Materiales y métodos	6
1.1 Descripción del sitio de estudio y meteorología	6
1.2 Tipos de fragmentos de vegetación	7
1.2.1 Pastizal activo ganadero.....	7
1.2.2 Plantación de <i>Pinus patula</i>	7
1.2.3 Bosque andino.....	8
1.2.4 Páramo	8
1.2.5 Bosque de <i>Polylepis reticulata</i>	8
1.3 Características meteorológicas	9
1.4 Geopedología.....	11
1.5 Instalación de parcelas, muestreo de suelos y análisis	12
1.5.2 Medida de la densidad aparente y la capacidad de campo de una muestra de suelo por el método de las cajas metálicas (DA) (CC).....	13
1.5.3 Determinación de pH en H ₂ O, KCl y CaCl ₂ y conductividad.	14

1.5.4 Determinación de nitrógeno mineral (N total, NH ₄ y NO ₃)	16
1.5.5 Determinación de cationes intercambiables (K, Ca, Mg, Mn, Al, Fe, y Na) y capacidad efectiva de intercambio catiónico (CEIC)	16
1.5.6 Determinación de fósforo (PO ₄) (Bray II modificado).....	17
1.5.7 Análisis de conectividad.....	17
1.5.8 Levantamiento de vegetación por unidades de muestreo	18
1.5.9 Análisis estadísticos	19
Capítulo II	20
Resultados	20
2. 1 pH.....	22
2.2 Conductividad	24
2.3 PO ₄ , nitrógeno total, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Na y Al.....	27
2.4 Mapa de conectividad.....	28
2.5 Se presentan resultados de vegetación por unidad de muestreo.....	30
2.5.1 Pastizal.....	31
2.5.2 Bosque andino.....	31
2.5.3 Bosque <i>Polylepis reticulata</i>	32
2.5.4 Bosque de <i>Pinus patula</i>	33
2.5.5 Páramo	33
2.6 Diversidad Alfa.....	34
Capítulo III.....	35
Discusión.....	35
Referencias citadas.....	40
Anexos	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio y puntos de muestreo	6
Figura 2. Patrón climático de precipitación y temperatura en la región estudiada	11
Figura 3. Promedio de materia orgánica por cada sitio de estudio	21
Figura 4. Promedio del carbono orgánico del suelo por cada sitio de estudio.....	21
Figura 5. Promedio de densidad aparente por cada sitio de estudio	22
Figura 6. Promedio de valores de pH en H ₂ O por cada sitio de estudio	23
Figura 7. Promedio de valores de pH en KCl por cada sitio de estudio	23
Figura 8. Promedio de pH en CaCl ₂ por cada sitio de estudio	24
Figura 9. Promedio de conductividad eléctrica en H ₂ O por cada sitio de muestreo .	25
Figura 10. Promedio de conductividad eléctrica en KCl por cada sitio de muestreo	25
Figura 11. Promedio de conductividad eléctrica en CaCl ₂ por cada sitio de muestreo	26
Figura 12. Localidades de avifauna de acuerdo al tipo de cobertura	28
Figura 13. Porcentaje de cobertura que podrían estar ocupando las diferentes especies de aves de acuerdo a su rango de distribución	29
Figura 14. Riqueza de aves por tipo de cobertura vegetal	30
Figura 15. Número de especies por familia vegetal.....	30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Localización geográfica y características meteorológicas de los sitios estudiados.....	9
Tabla 2. Variación mensual del porcentaje de humedad atmosférica y temperatura del suelo.	10
Tabla 3. Escala de pH.....	15
Tabla 4. Escala de salinidad	16
Tabla 5. Valores de CEIC: capacidad efectiva de intercambio catiónico, MOS: materia orgánica del suelo, COS: carbono orgánico del suelo, DAp: densidad aparente del suelo, CEa: conductividad eléctrica aparente.....	26
Tabla 6. Valores de PO ₄ , NT, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Na y Al por cada sitio de estudio	27
Tabla 7. Listado de especies vegetales presente en la unidad de pastizal.....	31
Tabla 8. Listado de especies vegetales presentes en la unidad de bosque andino	32
Tabla 9. Listado de especies vegetales presentes en la unidad de bosque de polylepis reticulata.....	32
Tabla 10. Listado de especies vegetales presentes en la unidad de bosque de Pinus patula.....	33
Tabla 11. Listado de especies vegetales presente en la unidad de páramo	34
Tabla 12. Diversidad Alfa.....	34

ÍNDICE DE ANEXOS

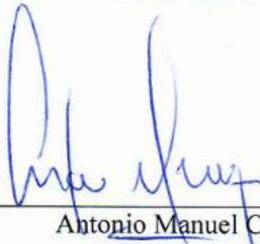
Anexo 1. Extracción de muestras en el campo.	50
Anexo 2. Análisis de la vegetación	50
Anexo 3. Procesamiento y análisis de las muestras en el laboratorio	51

**CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RÍO MACHÁNGARA
PARA ESTUDIOS DE PROCESOS BIOGEOQUÍMICOS E ISÓTOPOS ESTABLES DE
CARBONO, NITRÓGENO, HIDRÓGENO Y OXÍGENO**

RESUMEN

El manejo en cuencas hidrográficas andinas subestima la importancia de las condiciones biológicas para producir servicios ambientales. Este estudio zonificó la cuenca del río Machángara a escala de paisaje. En páramo (Par), bosque de *Polylepis reticulata* (Pr), bosque andino (Ba), pastizal (Pa) y plantación de *Pinus patula* (Pp), se analizó vegetación, suelos y conectividad ecológica (CE) mediante una base de datos ornitológica. Pa y Pp mostraron degradación de suelos y disminución de biodiversidad; la relación aves/sitios (CE) fue alta, favoreciendo a lugares con disponibilidad efectiva de condiciones y recursos (Par, Pr y Ba). Así, en el contexto de adaptación al cambio climático, el enfoque ecosistémico para la conservación podría reemplazar al tradicional basado en usos del suelo para el manejo.

Palabras clave: río Chulco, Andosol, acidez, uso del suelo, sostenibilidad



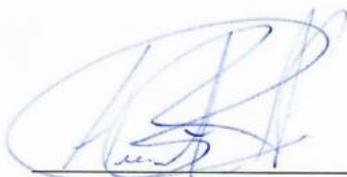
Antonio Manuel Crespo Ampudia

Coordinador de Escuela

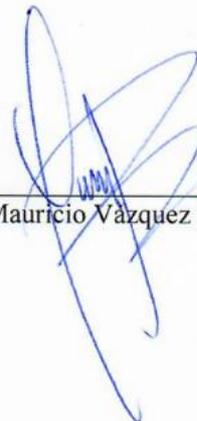


Gustavo Javier Chacón Vintimilla

Director de Titulación



David Antonio Padrón Suarez



Omar Mauricio Vázquez Sarmiento

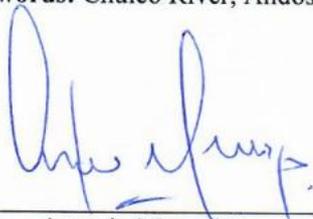
Autores

CHARACTERIZATION AND ZONING OF THE MICROBASIN OF THE MACHÁNGARA RIVER FOR STUDIES OF BIOGEOCHEMICAL PROCESSES AND STABLE ISOTOPES OF CARBON, NITROGEN, HYDROGEN AND OXYGEN

ABSTRACT

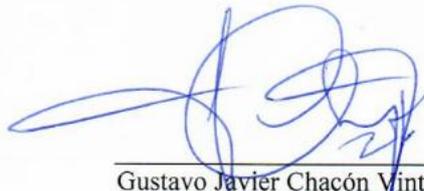
Management in the Andean watersheds underestimates the importance of biological conditions to produce environmental services. This study zoned the Machángara river basin at landscape scale. Vegetation, soils and ecological connectivity (CE) were analyzed through an ornithological database in páramo (Par), Polylepis reticulata forest (Pr), Andean forest (Ba), pasture (Pa) and Pinus patula plantation (Pp). Pa and Pp showed soil degradation and biodiversity decrease. The birds/sites ratio (CE) was high, favoring places with effective availability of conditions and resources (Par, Pr and Ba). Regarding the adaptation to climate change, the ecosystem approach to conservation could replace the traditional one based on land use for management.

Keywords: Chulco River, Andosol, acidity, land use, sustainability



Antonio Manuel Crespo Ampudia

Faculty Coordinator



Gustavo Javier Chacón Vintimilla

Thesis Director



David Antonio Padrón Suarez

Authors



Omar Mauricio Vázquez Sarmiento



Translated by
Ing. Paul Arpi

Padrón Suarez David Antonio
Vázquez Sarmiento Omar Mauricio
Trabajo de titulación
Chacón Vintimilla Gustavo, Ph.D.
Febrero, 2019

Caracterización y zonificación de la microcuenca del río Machángara para estudios de procesos biogeoquímicos e isótopos estables de carbono, nitrógeno, hidrógeno y oxígeno

INTRODUCCIÓN

La conservación en cuencas hidrográficas andinas se entiende principalmente desde lo político-institucional y socio-económico. Parte de las decisiones se toman subestimando la importancia directa de los recursos biológicos para producir servicios. Este problema deriva de la escasez de información disponible tomada en periodos de tiempo suficientes y continuos (Farley y Bremer 2017). Al presente, la investigación considera disturbios estructurales, cambios atmosféricos e hídricos, pero no incluye procesos ecosistémicos.

Así, los recursos biológicos pueden sufrir alteraciones significativas en proporción al tipo e intensidad de uso del suelo (Chacón *et al.* 2009), mientras ciertas condiciones ecológicas (agua, suelo) pueden cambiar hasta poner en grave riesgo su adecuada provisión para la gente. Por tanto, responder preguntas alrededor de procesos biogeoquímicos (Vargas-Ríos 2013, Vásquez *et al.* 2015, Eguakun y Job 2018) es imprescindible para comprender la resiliencia de distintos hábitats y su biodiversidad, prevenir descargas excesivas de nutrientes en agua y suelo, seleccionar medidas para enfrentar contaminación, o restaurar áreas degradadas, y contribuir a la toma de decisiones con criterios de variación biológica.

Para el efecto, esta propuesta preliminar pretende caracterizar y zonificar la microcuenca del río Machángara, siguiendo los lineamientos que demanda la investigación con isótopos estables y, conducir, posteriormente, estudios que

identifiquen flujos temporales de nutrientes (C, N, H, O) en sistemas de transición y gradientes altitudinales (Lidman *et al.* 2017).

Las regiones de montaña son prioritarias para la conservación debido a su alta biodiversidad, endemismo y mantenimiento natural de la viabilidad de los ecosistemas (Vargas-Ríos 2013, Vázquez *et al.* 2015). La provisión de servicios como el agua y el suelo para la gente es notoria a través de la creciente atención de la ciencia, política pública e interés privado por mantener capitales y flujos naturales que respaldan el bienestar humano. Esta atención tiene el potencial de incidir positivamente en la toma de decisiones y la preocupación por amparar sistemas ecológicos resilientes, sostenibles y en constante monitoreo (Ruckelshaus *et al.* 2015).

Los Andes y el Ecuador andino poseen un conjunto complejo de recursos y condiciones en paisajes heterogéneos altamente antropizados que resultan de prácticas actuales y pasadas de deforestación, incendios, cultivos, pastoreo, siembra de plantaciones con árboles exóticos, creación artificial de cuerpos lénticos y lóticos, expansión urbana, etc., (Chacón *et al.* 2009, De la Cruz *et al.* 2009, Bruijnzeel *et al.* 2011). De esta manera se continúa reduciendo la productividad general y la capacidad para producir servicios ecológicos (Chacón *et al.* 2015, Vargas-Ríos 2013, Vázquez *et al.* 2015). Actualmente, a escala de micro cuenca hidrológica, las pasturas ganaderas en superficies amplias de terreno dominan el paisaje; mientras que los cultivos agrícolas (Estupiñán *et al.* 2009) y las plantaciones con árboles de eucalipto ocupan superficies pequeñas de terreno (Chacón *et al.* 2009). Estos usos se concentran habitualmente entre los 2.400 m y los 2.800 m, entre los pisos de bosque andino y páramo hacia arriba, y los valles interandinos urbanizados hacia abajo (Farley y Bremer 2017).

Los bosques y páramo se presentan fragmentados, desordenados, desconectados, en diferentes grados de regeneración y madurez (Minga *et al.* 2016). Los remanentes están relegados a pequeñas franjas arbustivas que crecen alrededor de las plantaciones de eucaliptos, siguiendo los linderos de propiedades privadas, o en quebradas inaccesibles. Las plantaciones de pinos se establecen ordinariamente en el piso de transición entre el bosque y el páramo (Josse *et al.* 2009, Chacón *et al.* 2015).

En términos de escenarios de cambio climático, se ha reportado que sus efectos son sinérgicos con los de uso del territorio y que adquieren mayor importancia en bosques y páramos debido a su sensibilidad para responder a modificaciones en la biodiversidad, temperatura, regímenes de precipitación, etc., (Gallardo-Lancho 2016). En este sentido, las variaciones de temperatura como condición global, se evidencia en ascensos de zonas bioclimáticas en periodos de tiempo relativamente cortos, con zonas de transición que se muestran más vulnerables, alterando patrones de diversidad, estructura y dinámica de la vegetación en gradientes altitudinales (Minga *et al.* 2016), dinámica de sucesiones, regeneración, etc., (Farley y Bremer 2017).

A escala de micro cuenca, los bosques y el páramo podrían bien ser considerados como estados de transición en un mismo continuo para incrementar conectividad; pero, sobre todo, para mantener diversidad de ecosistemas y detener cambios en ciclos hidrológicos y de nutrientes, el desplazamiento y extinción de especies nativas, la pérdida de servicios ambientales y la disminución del bienestar social (Sarmiento y León 2015).

La gestión de cuencas hidrográficas adopta la noción de un concepto integral de conservación, más complejo, que empieza a concretarse. No obstante, los progresos son todavía limitados al no utilizar simultáneamente indicadores biológicos (recursos) y físicos (condiciones) (Farley y Bremer 2017). La información disponible demuestra la ausencia de resultados obtenidos a partir de programas permanentes de monitoreo sobre la interrelación biodiversidad-entorno físico (Vargas-Ríos 2013, Vázquez *et al.* 2015). Aun si se considera estados naturales de transición y sistemas antrópicos, la mayor parte de la investigación es foránea e induce toma de decisiones poco aplicadas a contextos propios (Gallardo-Lancho 2016). Al mismo tiempo, el cambio climático pone en riesgo la capacidad de adaptación de la biodiversidad a nuevas condiciones creadas, reduciendo resiliencia ecosistémica para producir servicios y para posibilitar la conexión de hábitats entre sí (MAE y FAO 2014).

La cuenca del río Machángara desempeña un papel importante en el desarrollo económico, social y ambiental de la zona austral del país, puesto que contribuye con:

La generación de energía, que está integrada al sistema nacional interconectado de energía eléctrica, a partir de los embalses de Chanlud y Labrado. Los sistemas de riego Machángara y Checa – Sidcay – Ricaurte captan las aguas del río Machángara, conduciendo cada uno un caudal de 700l/s. A partir de la planta de tratamiento de Tixán, que se origina en la Central Hidroeléctrica Saymirín, ETAPA contribuye con 1920l/s de agua potable, para la ciudad de Cuenca. Los caudales, captados para uso industrial y piscicultura constituyen al menos el 5% del caudal total utilizado en la cuenca. (Domínguez, 2002). Alrededor de 120 manufacturas, ubicadas en el Parque Industrial, de la ciudad de Cuenca, son beneficiadas del recurso hídrico de esta subcuenca. Brinda oportunidades ganaderas de pastura, silvo pastoril (ganadería y bosques) y de agricultura (Domínguez, 2002).

El Ministerio del Ambiente en el año de 1985, publicó en el Registro Oficial, que el 77% de la superficie total de la subcuenca es área de Bosque y Vegetación Protectora Machángara – Tomebamba, considerada como un espacio de vida, para la conservación de los indicadores genéticos existentes (Monsalve, Quintanilla *et al.*, 2011). Por ello, se considera a la subcuenca del río Machángara como un ecosistema estratégico, que debe ser cuidado, conservado, protegido y manejado adecuadamente, ya que servirá de soporte económico y ambiental, para las futuras generaciones.

Para comprender una función ecosistémica (provisión de agua o suelo), se utiliza metodologías que permiten identificar fuentes de nutrientes y procesos que, siendo metabolizados por la biodiversidad, sostienen la productividad del sistema y ayudan a gestores de condiciones hidrológicas y edáficas, o tomadores de decisión, a enfrentar problemáticas de vulnerabilidad al cambio climático, de selección de medidas que pueden directamente lidiar con fuentes de contaminación directa, establecer rutas de flujo de nutrientes y manejo apropiado de diferentes usos del suelo (Vargas-Ríos 2013, Vázquez *et al.* 2015, Farley y Bremer 2017). Para el efecto, la aplicación de isótopos estables, como trazadores naturales, es considerada una herramienta rápida y concluyente (International Atomic Energy Agency, 2013).

Esta utiliza las variaciones de sus proporciones isotópicas para distinguir fuentes y procesos; si la composición isotópica de diferentes fuentes o procesos (productos finales) son distintos entre ellos y la variabilidad de cada producto final es limitada, se puede estimar las fuentes de nutrientes o la contribución de múltiples productos finales (Gallardo-Lancho 2016). Las técnicas isotópicas pueden ser una herramienta efectiva para distinguir entre diferentes fuentes de N, especialmente entre: a) ecosistemas agrícolas y fertilizantes sintéticos; b) fuga de aguas residuales debido a la rápida urbanización; c) depósito atmosférico de nitrógeno debido a un alto nivel de emisiones de gases; pero también entre procesos biogeoquímicos e hidrológicos como nitrificación y desnitrificación (Kendall *et al.* 1995, Kendall y McDonnell 1998). Adicionalmente, la detección de cambios isotópicos puede utilizarse como indicador de deforestación u otros usos (Arismendi, 2007).

Capítulo I

Materiales y métodos

1.1 Descripción del sitio de estudio y meteorología:

La subcuenca del río Machángara forma parte de la cuenca hidrográfica del río Paute. Se sitúa en las estribaciones de la cordillera andina occidental, en las provincias de Azuay en su mayoría, y de Cañar. Cubre un área de territorio de aproximadamente 324.900 ha. Se localiza entre los 78°59" - 79°04" de longitud oeste y los 02°47" - 02°53" de latitud sur, a una altura sobre el nivel del mar que fluctúa entre 4.415 m y 2.400 m (IERSE, 2018).

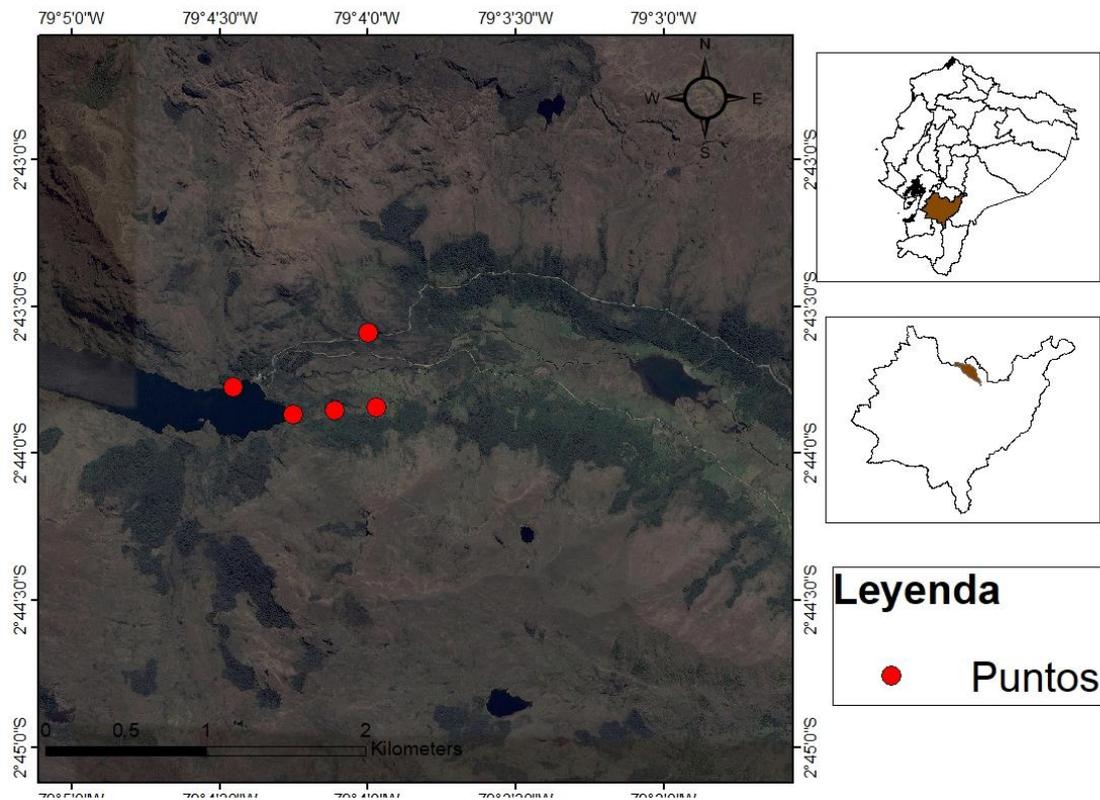


Figura 1. Área de estudio y puntos de muestreo

Específicamente, los sitios de muestreo se emplazan en la microcuenca del río Chulco (Tabla 1).

1.2 Tipos de fragmentos de vegetación

Los tipos de cobertura presentes en la subcuenca del río Machángara, se dan principalmente por dos factores que son el uso que se le da al suelo y las condiciones ecológicas (precipitación, temperatura, altitud). Esto ha llevado a que se formen mosaicos de coberturas no naturales como eucalipto-matorrales o eucalipto-cultivos. Los tipos de fragmentos que se trabajaron en este proyecto fueron: Pastizal activo ganadero, plantación de *Pinus patula*, bosque andino, páramo y bosque de *Polylepis reticulata*.

1.2.1 Pastizal activo ganadero

Los sitios con pasto activo ganadero, generalmente nacen de la tala o quema de bosques andinos o paramo. Muchas veces su nacimiento no es para el ganado, si no para cultivos de habitantes de la zona, pero que con el paso del tiempo y al perder gran parte de la fertilidad del suelo, estos cultivos son remplazados por pasto. Se encuentran casi siempre desde el inicio de la subcuenca, hasta su parte más alta. En su parte más baja, hay una mezcla entre cultivos y pasto y en algunos casos se forma una especie de mosaico en el paisaje.

1.2.2 Plantación de *Pinus patula*

En la subcuenca concurren varias plantaciones de pino (*Pinus patula*) a lo largo de la cuenca del río Machángara. Ninguna de las plantaciones recibe cuidado forestal o podas, por lo que la configuración de estos parches se da de manera totalmente natural y descontrolada. *Pinus patula* es una de las especies más utilizadas en plantaciones, ya que presentan un ciclo corto de producción maderera. Estas plantaciones están situadas de forma dispersa sobre los 3000 m. Pueden formar de 1 a 500 ha en pendientes fuertes, áreas abandonadas o erosionadas (Morris, 1997).

1.2.3 Bosque andino

Los parches de bosques nativos forman un dosel cerrado de entre 2 a 4 m de altura. Se encuentran desde la zona media la subcuenca, entre los 3000 y 3400 m. En sitios talados, quemados o con una pendiente pronunciada, este bosque desaparece y reaparece el matorral. Estos bosques son ecosistemas muy frágiles ya que son muy vulnerables a la erosión por estar una gran parte de ellos en pendientes y en zonas con condiciones intensas de lluvia y cambios climáticos (Bussmann, 2005).

1.2.4 Páramo

Los páramos son ecosistemas tropicales de altura propios de los Andes del norte y centrales. Tienen características biofísicas y socioeconómicas muy particulares. El páramo, es un tipo de cobertura que esta sobre los 3.400 msnm., y es el más predominante en los Andes del país. Presenta especies de plantas con formas de crecimiento variadas y que son capaces de adaptarse a condiciones de temperatura bajas, radiación intensa y hasta sequedad. El detalle más notorio de esta zona es la presencia de especies herbáceas formadoras del colchón de paja, como se lo llama coloquialmente, como son *Calamagrostis* y *Festuca* spp. En algunos sitios son capaces de llegar a presentar una cobertura vegetal próxima al 100%. (De la Cruz *et al*, 2009).

1.2.5 Bosque de *Polylepis reticulata*

Los parches de *Polylepis* son configuraciones vegetales que se encuentran en las zonas más altas de los andes. Concretamente entre los 3400 y 4000 m s.n.m. Estos bosques son los únicos que puede desarrollarse formando parches o bosques a estas grandes alturas. El género *Polylepis* es endémico de los Andes y va desde Venezuela hasta Argentina y Chile. La diversidad de estos bosques es única, ya que pueden llegar a incluir plantas vasculares, musgos, líquenes y varias es especies de epífitas. A más de esto, es un sitio que albergan a Mamíferos, reptiles, aves e insectos que usan la flora de estos sitios para protegerse de depredadores, alimentarse y hasta reproducirse (Lugo y Scatena 1992, Fjeldsa y Kessler 1996, Smithers y Atkins 2001). Este tipo de bosque presenta una alta especificidad y endemismo, lo que lo hace tan único y especial (Fjeldsa y Kessler 1996).

1.3 Características meteorológicas

La estación meteorológica más cercana a los sitios de estudio es la denominada El Labrado y se encuentra instalada en 7142,24 E 96981,86 N, a 3.434 m s.n.m. Es una estación automática que registra y transfiere datos en tiempo real. La Empresa Municipal de Agua Potable de Cuenca, Ecuador (ETAPA EP) proveyó los datos que corresponden a los años 2015, 2016, 2017 y 2018, con los cuales se calculó los regímenes de precipitación, humedad y temperatura del aire y del suelo para el área de estudio (Tabla 1 y 2, Figura 1).

Tabla 1. Localización geográfica y características meteorológicas de los sitios estudiados

Áreas de estudio*	UTM E	UTM N	Altitud (m)	Precipitación total anual (promedio) (mm)	Humedad promedio anual (aire) (%)	Temperatura promedio anual (aire) (°C)	Temperatura promedio anual (suelo) (°C)
Pino	714073,30	9698130,55	3116				
<i>Polylepis</i>	716019,00	9698837,00	3035				
Bosque	714476,00	9697658,00	3116	1.318,1	90,5	8,6	12,1
Páramo	714834,00	9698029,00	3021				
Pastizal	715021,00	9698042,00	3021				

* Plantación de *Pinus patula*, bosque de *Polylepis reticulata*, bosque andino.

El régimen de precipitación disminuye drásticamente en agosto, e incrementa enseguida hasta presentar un primer pico pluviométrico positivo en octubre y noviembre. A partir de noviembre, los promedios de precipitación aumentan considerablemente hasta marzo en donde se observa un segundo pico pluviométrico positivo, mayor al de octubre (Figura 1). En general, se presenta dos periodos húmedos y uno seco durante todo el año hidrológico; el periodo de lluvias de magnitud comienza en febrero y se extiende hasta mayo; entre octubre y noviembre, la magnitud de lluvias decrece parcialmente y disminuye sustancialmente en junio, julio y agosto. Aun así, las lluvias son perennes sobre los 3.000 m de altura y muestran más variación en las elevaciones medias y bajas (< 3.000 m).

En los últimos cinco años, estos patrones meteorológicos han sido reportados con alguna frecuencia en la región andina del sur ecuatoriano (Campozano *et al.*, 2016). En la zona baja de la cuenca, la precipitación media anual es de 500 mm; la temperatura

media anual es de 8 °C y 16 °C; a su vez, estos valores de temperatura tienen relación con la altitud; hay una reducción de 1 °C por cada 300 m de elevación (Chávez y Villavicencio, 2011).

Con porcentajes elevados de humedad del aire, su temperatura es relativamente baja y con poca variación anual (Tabla 2): promedia 8,6 °C (Tabla 1), con una máxima de 11 °C y, mínima, de 6,1 °C (Figura 1). Para la temperatura del suelo, la variación anual es mucho menor que la del aire (Tabla 2); no obstante, muestra se más caliente en un promedio de 3 °C adicionales (Tabla 1). Las variaciones de las temperaturas del aire y del suelo corresponden comúnmente a lo reportado para regiones andinas del sur del Ecuador (Chacón *et al.*, 2003; Córdova, 2016).

Tabla 2. Variación mensual del porcentaje de humedad atmosférica y temperatura del suelo.

	Humedad del aire (%)	Temperatura del suelo (°C)
Enero	84,8	12,9
Febrero	91,5	12,8
Marzo	94,4	12,6
Abril	93,5	12,6
Mayo	94,2	12,2
Junio	94,0	11,3
Julio	93,5	10,6
Agosto	91,3	10,7
Septiembre	87,6	11,2
Octubre	86,7	12,4
Noviembre	85,1	13,0
Diciembre	88,8	12,6

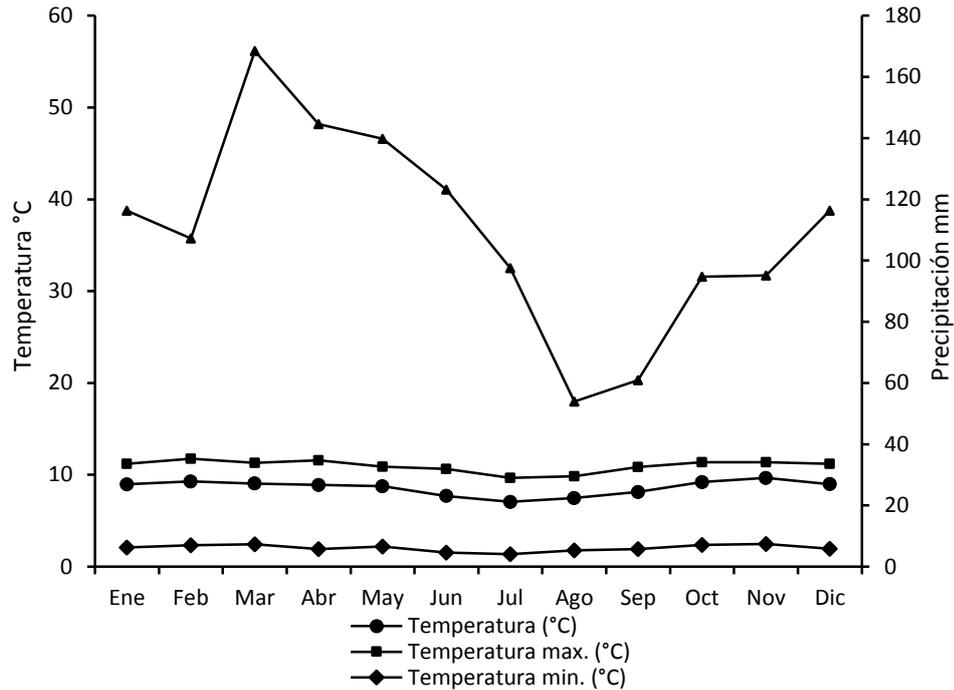


Figura 2. Patrón climático de precipitación y temperatura en la región estudiada

1.4 Geopedología

En el sur de Ecuador, la geomorfología andina es el resultado de transformaciones erosivas y depósito parcial de una capa fina de ceniza volcánica holocénica proveniente de los volcanes del norte (Sangay, por ejemplo). Los valles interandinos son de origen glaciar, lacustre, fluvial y aluvial, sedimentarios y cubiertos por materiales piroclásticos. Los valles alto andinos son también de origen glaciar, pero volcánicos en su totalidad (cretácicos y terciarios tempranos). Los procesos de transformación dominantes en estas regiones son los cambios de mineralogía, desde los minerales primarios hasta estados intermedios de micas a illitas, y de vermiculitas y materiales volcánicos a alófana. También se puede observar movimientos de arcilla (horizonte argílico) en los suelos más estables.

En casos excepcionales, sobre materiales muy arenosos y donde se producen altas precipitaciones y bajas temperaturas, se identifican movimientos de hierro y aluminio ligados a la materia orgánica en el subsuelo (horizontes espódicos y plácicos), especialmente en los páramos (Buytaert *et al.*, 2006).

La influencia de las cenizas volcánicas en menor escala y el clima en mayor escala son los responsables de la acumulación de materia orgánica en el suelo (MOS). La acumulación de MOS también determina su alta porosidad y capacidad de retención de agua. El conocimiento de las sustancias húmicas en los suelos es fundamental para comprender el papel de la materia orgánica en la estabilización de los agregados del suelo y el secuestro de C de CO₂ atmosférico (Hayes y Clapp, 2001; Schmidt *et al.*, 2011).

Los suelos se clasifican como Histic Andosols no alofánicos, húmicos de color muy oscuro debido al efecto del clima frío y húmedo, y la formación de complejos organometálicos. La MOS tiene una composición molecular que permite su acumulación en el perfil del suelo con dominio de compuestos alifáticos. Los contenidos de C y Al intercambiable son elevados; mientras que el Al contribuye a la estabilización del carbono orgánico. El pH es bajo (Buytaert *et al.*, 2006; Chacón *et al.*, 2016). Los andosoles tienen una alta tasa de retención aniónica, en particular de fosfatos y sulfatos. La retención de fósforo es superior al 85%. Estas características limitan la eficiencia de la fertilización de los cultivos (Podwojewski y Poulénard, 2000).

1.5 Instalación de parcelas, muestreo de suelos y análisis

En las diferentes zonas de muestreo, se aplicó el mismo procedimiento para la extracción de las muestras. Con ayuda de barretas, palas y picos, se realizó una excavación uniforme y cómoda para poder realizar la toma de los suelos. En cada sitio se tomaron 10 muestras, 5 de suelo superficial (aproximadamente en los primeros 5 a 10 cm de profundidad) y 5 de suelo profundo (aproximadamente a 15 cm de profundidad). Cada muestra fue empaquetada y marcada para su posterior identificación.

Las diferentes muestras se dejaron secar a temperatura ambiente durante una semana después de su extracción en el campo. Posterior a ello y antes de realizar los diferentes análisis químicos y físicos, las muestras fueron tamizadas a 2 mm (porcentaje de MOS,

densidad aparente, capacidad de campo, conductividad, pH en agua, pH en KCl, pH CaCl₂, textura al tacto) y a 150 µm para fósforo, para homogenizarlas, manteniendo cierta estructura y eliminando materiales orgánicos u organismos claramente visibles (raíces, rocas, tejido vegetal, anélidos, etc.).

1.5.1 Medida del porcentaje de materia orgánica del suelo por el método de calcinación (%MOS)

Para análisis de muestras de suelos altamente orgánicos, nos basamos en la metodología de Walkley & Black, 1934. (Metodología para Andosoles e Histosoles).

Se colocó 5 g de suelo homogenizado en un crisol. El crisol con el suelo se pesa en una balanza analítica; luego de obtenido el peso, se colocó el crisol (más el suelo) en una mufla y se dejó elevar la temperatura a 550 °C. Una vez alcanzada esta temperatura se dejó la muestra por 4 h. Luego de las 3 h, se apaga la mufla y se deja enfriar hasta que las muestras puedan ser extraídas de la mufla y puestas en un desecador. Luego, se pesaron las muestras nuevamente. La diferencia de peso y con la aplicación de la siguiente fórmula, se obtiene el porcentaje de materia orgánica del suelo en cuestión:

$$\frac{(\text{Peso seco más crisol} - \text{Peso crisol}) - (\text{Peso calcinado más crisol} - \text{peso crisol})}{\text{Peso seco más crisol} - \text{Peso crisol}} \times 100$$

1.5.2 Medida de la densidad aparente y la capacidad de campo de una muestra de suelo por el método de las cajas metálicas (DA) (CC)

Al momento de realizar las excavaciones para la extracción de las muestras de suelo, se identificó un pequeño perfil que queda después en el agujero y en donde se puede observar el horizonte que se desea muestrear. Colocamos, en aproximadamente la mitad del horizonte que interesa, la boca de una caja metálica según el plano vertical de la pared del perfil del suelo. Realizando una ligera rotación de la mano, se introduce la caja hasta que su lado posterior (base) quedando esta al ras de la pared del perfil. La caja se extrae del perfil con el mismo movimiento. La muestra de suelo que se extrae con la caja queda al ras de su borde circular (boca). La caja se etiqueta y se cubrió con

parafilm para no alterar su estructura al momento de transportarla al laboratorio (Castellanos et al, 2000).

En el laboratorio, las cajas se secaron en un horno a 105 °C por 48 h. Luego de ese tiempo, se dejan enfriar y se procede a pesar la caja con el suelo en una balanza analítica. Enseguida, se retira el suelo de la caja y se mide el volumen de la caja con agua destilada. Aplicamos la fórmula a continuación para obtener el valor de la densidad aparente del suelo:

$$\frac{\text{Peso seco (caja más suelo)} - \text{Caja (caja sin suelo)}}{\text{Volumen de la caja}}$$

Para la medida de la capacidad de campo, se realiza el mismo procedimiento. La diferencia entre peso húmedo y peso seco muestra la cantidad de agua que se perdió según la siguiente fórmula:

$$\frac{[\text{Peso húmedo (caja más suelo)} - \text{Peso seco (caja más suelo)}] - \text{Peso de la caja (sin suelo)}}{(\text{Densidad de la sustancia})}$$

1.5.3 Determinación de pH en H₂O, KCl y CaCl₂ y conductividad.

Para la determinación de pH en la zona de estudio, se muestrearon el suelo superficial (5 a 10 cm de profundidad) que resulto de la unión de 5 submuestras ubicadas en puntos determinados en el campo y el suelo profundo que, de igual forma, resulto de la unión de 5 submuestras en diferentes puntos de la unidad de muestreo (15 a 20 cm de profundidad). Se utilizó el prefijo Ss – Suelo superficial y Sp - Suelo profundo, acompañados del número de muestra tomada, para efectos de identificación. Ejemplo: BA-Ss-01. Los resultados se encuentran ordenados de izquierda a derecha, de mayor a menor. Para los análisis de conductividad, se utilizaron las mismas muestras que las que se usaron para medir pH. Usualmente la CE se expresa en mmhos/cm o en uS/cm.

Tanto para la determinación del pH como de la conductividad se procedió de la siguiente forma:

Se preparó una solución en proporción 2:1 (dos partes de agua destilada, una parte de suelo) (o soluciones de KCl 1 M, o de CaCl₂ 0,01 M). Agitamos fuertemente y dejamos

reposar. Posteriormente se introducen los electrodos para el pH o para la conductividad eléctrica según sea el caso.

En las muestras con alto contenido de materia orgánica puede ocurrir el efecto de suspensión. En los suelos calcáreos puede absorberse dióxido de carbono por la suspensión. En estas circunstancias y en los suelos con bajos contenidos de sales solubles es difícil alcanzar un pH de equilibrio (Castellanos et al, 2000).

Tabla 3. Escala de pH.

Reacción	pH
Fuertemente ácido	Menor que 5
Moderadamente ácido	5,1 – 6,5
Neutro	6,6 – 7,3
Moderadamente alcalino	7,4 – 8,5
Fuertemente alcalino (suelos sódicos)	Mayor que 8,5

La diferencia entre pH medido en KCl 1 N (pH KCl) y pH medido en agua (pH H₂O) se define como delta pH.

$$DpH = pH \text{ KCl} - pH_{H_2O}$$

En suelos no salinos:

- D pH > 0 indica predominio de carga positiva.
- D pH = 0 indica carga neutral.
- D pH < 0 indica predominio de carga negativa.

En suelos salinos y / o con pH > 7, el D pH tiene un significado distinto. Si pH KCl es similar a pH H₂O, indica que el suelo está saturado de bases.

La tabla que nos indica la salinidad en los suelos, es la de la guía para la descripción de suelos de la FAO (FAO, 2009).

Tabla 4. Escala de salinidad

		Mmhos/cm
N	(cerca) No salino	< 0,75
SL	Ligeramente salino	0,75 - 2
MO	Moderadamente salino	2 - 4
ST	Fuertemente salino	4 - 8
VST	Muy fuertemente salino	8 - 15
EX	Extremadamente salino	> 15

1.5.4 Determinación de nitrógeno mineral (N total, NH₄ y NO₃)

Se pesaron 5 gr de suelo directamente en un Erlenmeyer de 125 ml. Se preparó una solución de KCl 2 M diluyendo 149,12 gr de KCl en 1 litro de agua destilada. Añadimos 50 ml de solución al Erlenmeyer y se lo tapo con film, asegurando que no se riegue la solución y se procedió a agitar de extremo a extremo, durante 30 minutos. Filtramos el contenido del Erlenmeyer con un filtro whatman No 41 en embudos de vidrio y recipientes apropiados. Para los análisis de nitritos, aforamos los 50 ml de extracción en balones de 250 ml y se procedió a realizar las mediciones en el espectrofotómetro de U/V visible (Castellanos et al, 2000).

Para los análisis de nitrógeno amoniacal se midió 10 ml de muestra y se adiciono: 6 ml de diluyente básico, 4 ml de hipoclorito y 4 ml de agente salicilato. Se dejó reaccionar 5 minutos en la oscuridad y se procedió a realizar las mediciones en el espectrofotómetro de U/V visible (Tabares, 2007).

1.5.5 Determinación de cationes intercambiables (K, Ca, Mg, Mn, Al, Fe, y Na) y capacidad efectiva de intercambio catiónico (CEIC)

Se pesaron 5 g de suelo directamente en un Erlenmeyer de 125 ml. Se preparó una solución de BaCl₂ 0,1 M diluyendo 24,43 gr de BaCl₂ (2H₂O) en 1 litro de agua destilada. Añadimos 50 ml de solución al Erlenmeyer, lo tapamos con film y agitamos

de extremo a extremo durante 30 minutos. Filtramos el contenido del Erlenmeyer con un filtro Whatman No 41 en embudos de vidrio y recipientes apropiados (Castellanos *et al.*, 2000). Calculamos la CEIC como la sumatoria de todos los cationes intercambiables ($\sum_{CEIC} = K + Ca + Mg + Mn + Al + Fe + Na$). Para los análisis se aforo los 50 ml de extracción en balones de 250 ml. Se realizaron disoluciones de 50, 20 y 10 a muestras que lo necesitaban. Cada dilución fue etiquetada en el laboratorio. Luego de esto se procedió a realizar las mediciones en el espectrofotómetro de absorción atómica.

1.5.6 Determinación de fósforo (PO₄) (Bray II modificado)

Se pesaron 3 gr de suelo directamente en un Erlenmeyer de 50 ml. Preparamos una solución de NH₄F 0,03 N + HCl 0,1 N con 8,1 ml de HCl concentrado (12,38 N) 1,11 gr de NH₄F gr y agua destilada hasta completar 1 litro. Añadimos 50 ml de solución al Erlenmeyer, lo tapamos y agitamos por 1 minuto de extremo a extremo. Filtramos el contenido del Erlenmeyer con un filtro whatman No 41 en embudos de vidrio y recipientes apropiados (Castellanos *et al.*, 2000).

Para los análisis se aforó los 50 ml de extracción en balones de 250 ml. Se procedió a colocar carbono activo para intentar quitar o disminuir la coloración presente en algunas de nuestras muestras. Se filtraron las muestras tres veces con papel filtro y se realizó una dilución de 10 ml de muestra en balones de 100ml. Luego se ejecutaron las mediciones en el espectrofotómetro de U/V visible (Tabares, 2007).

1.5.7 Análisis de conectividad

Para la elaboración del mapa de conectividad ecosistemita se utilizó información de la página del GBIF (Global Biodiversity Information Facility) donde se descargaron los puntos georreferenciados de las especies de aves presentes en la microcuenca del Machangara. Posterior a la obtención de los puntos, se utilizó el programa ArcMap V 10.1, en el cual con información digital de SIG Tierras (Geoportal) y el Instituto Militar

Geográfico del Ecuador, se realizó un clip de los puntos de aves y cobertura vegetal de la microcuenca del Machángara.

Para identificar el área que ocupan las diferentes especies de aves se realizó un buffer con un área de dos km por punto y seguido un intersectó entre los puntos y el buffer para calcular el porcentaje de cobertura de suelo que ocupan las aves en el área de estudio. De tal forma se puede generar un mapa que nos indique como las especies están interactuando en los diferentes tipos de cobertura vegetal. Por otro lado, también se analizó la riqueza de las diferentes especies de acuerdo a la cobertura del suelo.

1.5.8 Levantamiento de vegetación por unidades de muestreo

Para el levantamiento de vegetación se establecieron cuadrantes y se tomó en cuenta a las especies presentes dentro de las cinco unidades de muestreo de la microcuenca del Machángara (Tabla 1). Los cuadrantes se fijaron alrededor de donde fueron tomadas las muestras de suelo, para las unidades que pertenecen a bosque andino, plantación de *Pinus patula* y bosque de *Polylepis reticulata*, se consideró individuos de un diámetro a la altura del pecho (DAP) $\geq 2,5$ cm en cuadrantes de 50m².

En las unidades de muestreo correspondientes a páramo y pastizal se instalaron cuatro cuadrantes de 5 m x 5 m modificados (Gentry, 1992; Minga, *et al.* 2016). Cada parcela fue dividida en 4 subparcelas 1 m², de las cuales se fijaron en cada esquina del cuadrante (Gentry, 1992). Para las parcelas se registró un inventario de las especies presentes siguiendo el método de cobertura de especies herbáceas modificado para la caracterización de las unidades de muestreo de suelos (Braun-Blanquet, 1979).

Para la identificación de los individuos se utilizó las guías de campo de los páramos como: (Sklenár *et al.* 2005; Ulloa *et al.* 2005; Aguilar *et al.* 2009; Minga *et al.* 2016). Además, se tuvo presente imágenes de herbarios digitales, las especies no fueron colectadas.

1.5.9 Análisis estadísticos

En este trabajo se utilizó un análisis de varianza para variables de suelo (ANOVA de dos vías) que nos permite comparar diferentes medias, cuando existen dos o más variables independientes o factores y cuando al menos uno de ellos se ha medido usando los mismos participantes / factor intra-sujeto o cuando al menos uno se ha medido usando participantes distintos / factor entre – sujeto (Spiegel, 2007). También se realizó un análisis exploratorio de datos por medio de un Análisis de Componentes Principales normalizado, ACP, (Hotelling 1933) que nos permite describir un grupo de datos no correlacionados. Los datos se van ordenando según su varianza original. Esto es importante porque reduce la dimensionalidad de un grupo de datos (Perez-Neto *et al*, 2005). Los análisis se realizaron con el paquete estadístico XLSTAT©-Ecology, versión 2019.1.1.56421 (Addinsoft, 2019).

Capítulo II

Resultados

Para posteriores programas de investigación que derivaran de este trabajo de titulación, por cada sitio de muestreo se dejaron establecidas 5 parcelas de 100 m² para el monitoreo en el tiempo. La materia orgánica de los suelos estudiados en promedio se mantiene al 50,6 % (figura 3). El carbono orgánico del suelo se presenta en 123,2 t/ha (figura 4). La densidad aparente en promedio se presenta en 0,5 g/cm³ (figura 5). En cada figura se presenta el número de muestras (n= 5) y el coeficiente de determinación (R²), cuanto más cerca de 1 se sitúe este valor, mayor será el ajuste del modelo a la variable que se está intentando explicar de igual forma a la inversa. También se colocaron las barras de error que nos indican el error que se estima en una medida, es decir, la incertidumbre de nuestros valores. Las letras asignadas por el análisis de tukey a cada sitio nos indican las diferencias entre nuestras medias y si la estadística es significativa o no, para cada sitio de estudio. Si un sitio presenta la letra a y otro la b, esto quiere decir que los valores entre estos dos sitios son bastante diferentes. Si un sitio presenta las letras ab, bc, cb, etc, quiere decir que estos sitios presentan valores intermedios (Scott y Knott 1974).

La abreviatura para cada sitio de estudio es la siguiente: Bosque de *Polylepis* (Pr), Bosque Andino (Bn), Plantación de Pino (Pp), Paramo (Par) y Pastizal (Pa). Los resultados se encuentran ordenados de izquierda a derecha, de mayor a menor. En bosque de *Polylepis*, la materia orgánica presente en los suelos fue del 46,4 % en promedio. En el bosque andino fue de 49,6 %. En la plantación de pino, la MO llegó a un 57,7 % en promedio. En el páramo, se presenta 51,8 % de promedio. Y en el pastizal, la MO llegó a un 47,63 %.

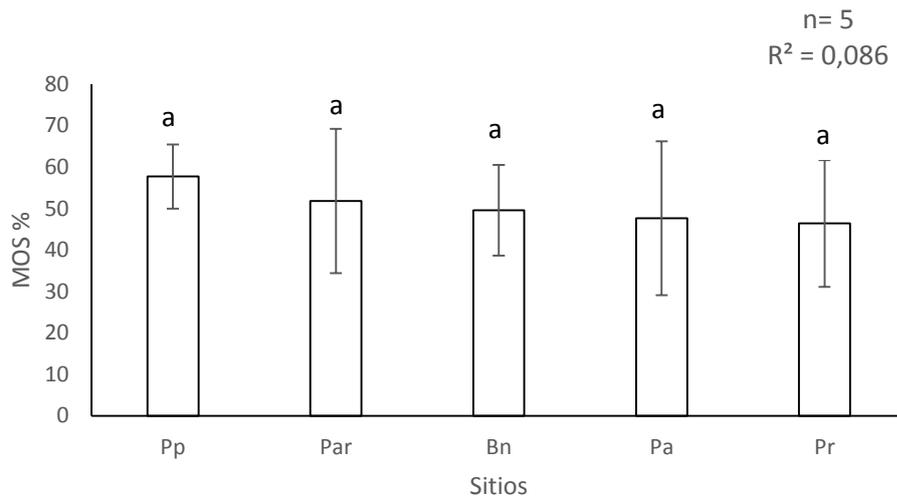


Figura 3. Promedio de materia orgánica por cada sitio de estudio

El carbono orgánico del suelo, en promedio, se presentó con los siguientes valores: Bosque de *Polylepis*, 85,2. Bosque andino, 68,2. Plantación de pino, 111,6. Páramo, 163,1. Pastizal, 188.

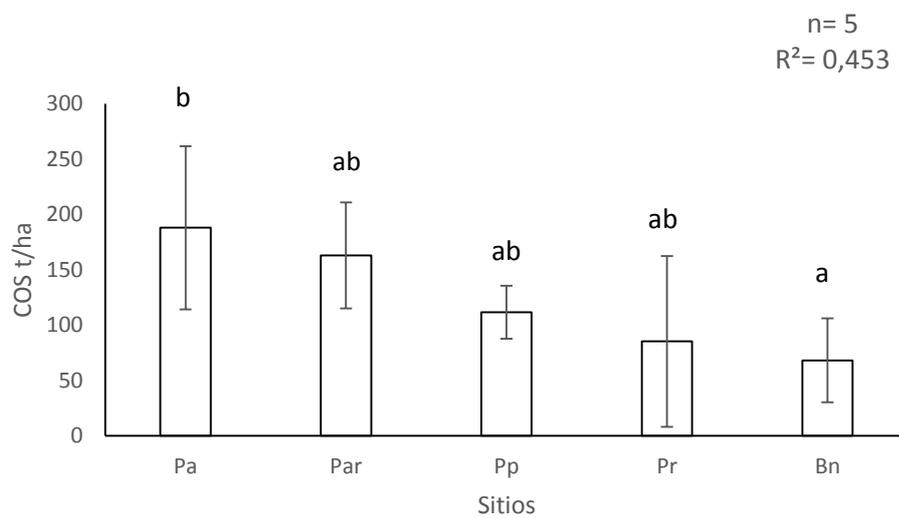


Figura 4. Promedio del carbono orgánico del suelo por cada sitio de estudio

El promedio de densidad aparente en los distintos sitios fue de: Bosque de *Polylepis*, 0,31. Bosque andino, 0,28. Plantación de pino, 0,39. Páramo, 0,63. Pastizal, 0,78.

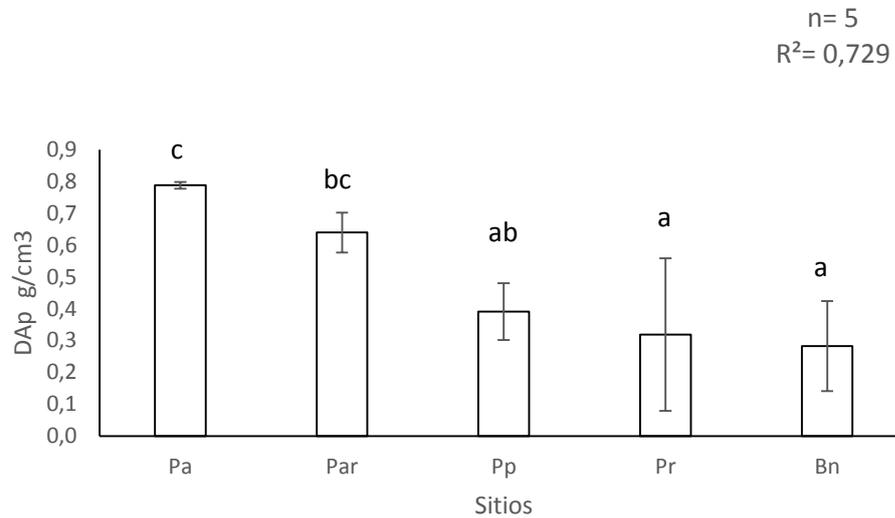


Figura 5. Promedio de densidad aparente por cada sitio de estudio

2. 1 pH

En las siguientes figuras se observa que los valores de pH en H₂O se mantuvieron alrededor de 4,15 en promedio, en todos los sitios de muestreo (figura 6). El pH en KCl y CaCl₂ en promedio presentaron valores de 4,25 y 4 respectivamente (figura 7 y 8). Se observa claramente una tendencia hacia el pH ácido en toda la zona. Los sitios de estudio con los valores de pH en H₂O, KCl y CaCl₂ más altos, fueron el Bosque de *Polylepis* y el pasto. Aunque no existen diferencias significativas entre todos los lugares.

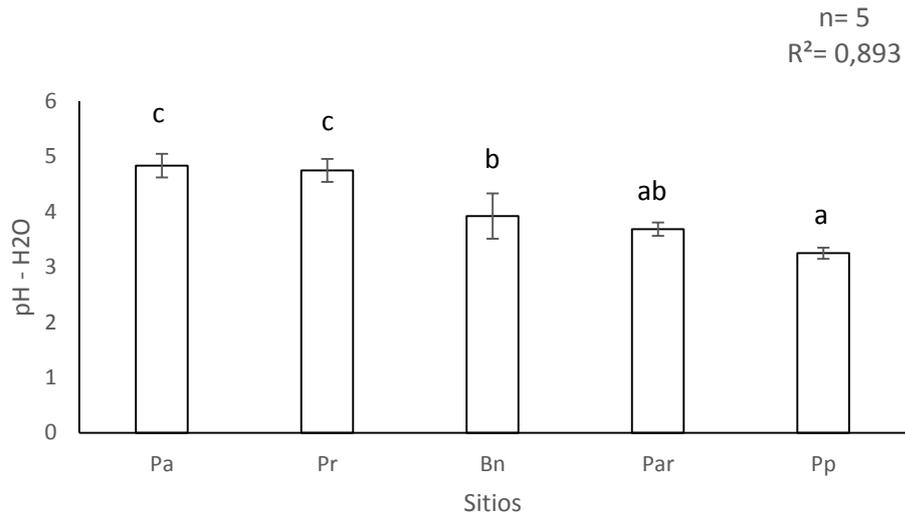


Figura 6. Promedio de valores de pH en H₂O por cada sitio de estudio

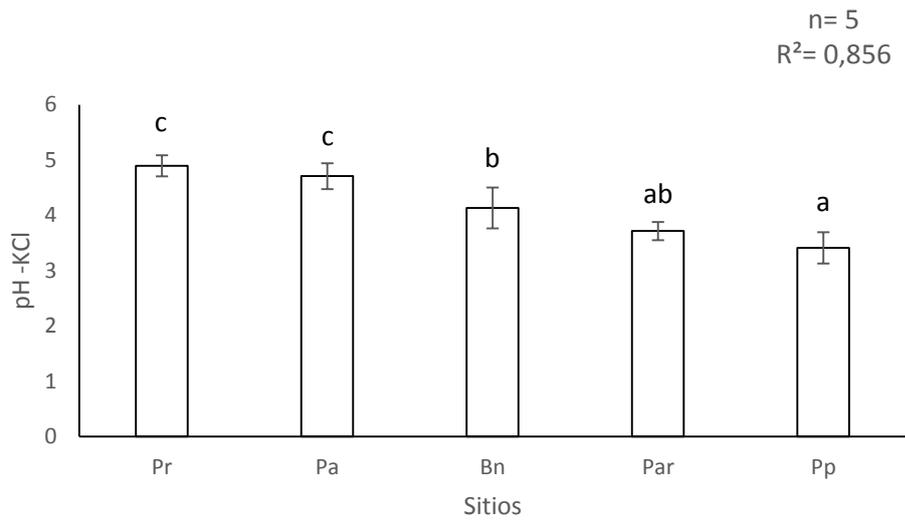


Figura 7. Promedio de valores de pH en KCl por cada sitio de estudio

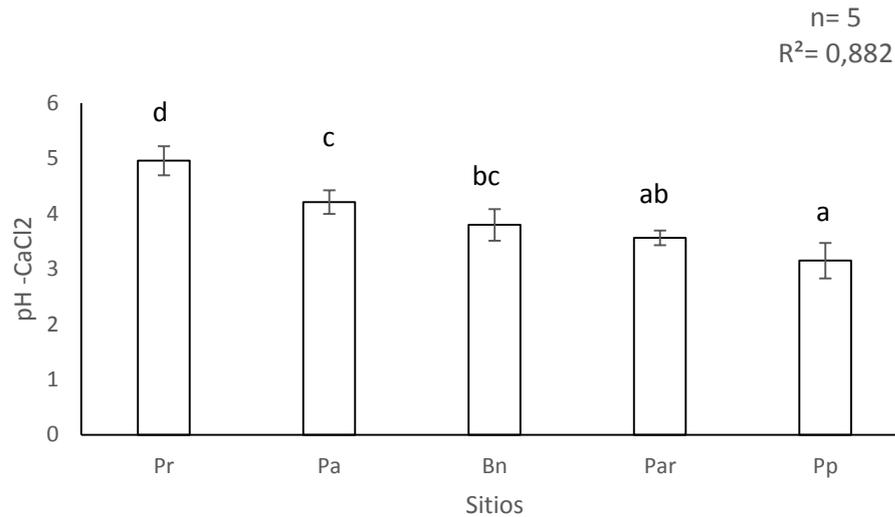


Figura 8. Promedio de pH en CaCl₂ por cada sitio de estudio

2.2 Conductividad

En promedio, los sitios que presentaron los valores más altos de CE, en H₂O, fueron el Pasto y la plantación de pino (figura 9). En KCl, la plantación de pino y el bosque de polylepis fueron los que valores más altos arrojaron en promedio y el pasto arrojó los valores más bajos (figura 10). Aunque casi no hay variaciones significativas entre sitios. En promedio, los lugares con los resultados más altos en KCl y CaCl₂ fueron el bosque de polylepis y el bosque andino. La CE en KCl no presenta diferencias significativas entre los sitios, pero, la CE en CaCl₂ presenta una tendencia a la baja en los demás sitios de estudio (figura 11). En H₂O, el pasto y la plantación de pino tuvieron los valores más altos. En este caso, los valores disminuyeron para bosque de polylepis, plantación de pino y paramo. Los valores de conductividad eléctrica de nuestras muestras nos indican que los suelos de nuestro estudio son fuertemente salinos, según la tabla de salinidad indicada por la FAO (FAO, 2009).

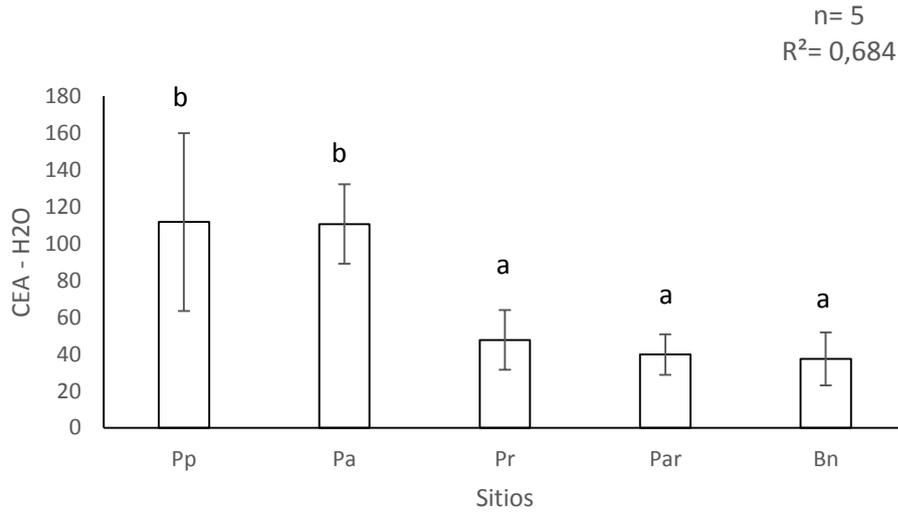


Figura 9. Promedio de conductividad eléctrica en H2O por cada sitio de muestreo

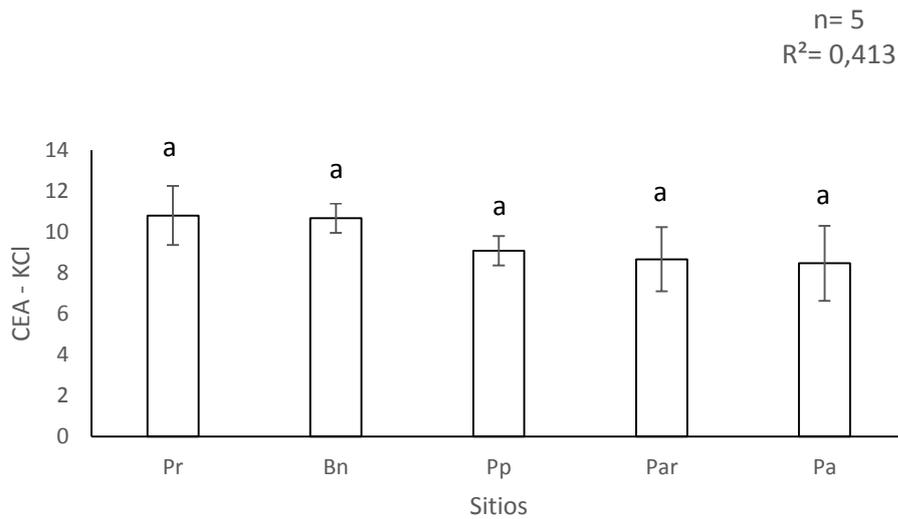


Figura 10. Promedio de conductividad eléctrica en KCl por cada sitio de muestreo

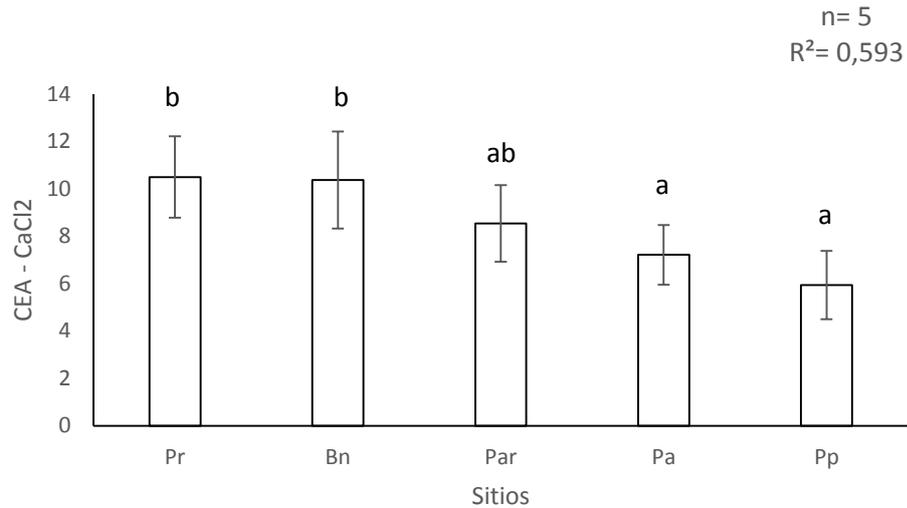


Figura 11. Promedio de conductividad eléctrica en CaCl₂ por cada sitio de muestreo

Se presenta una tabla resumen de todos los valores obtenidos por cada sitio de estudio de MOS: materia orgánica del suelo, COS: carbono orgánico del suelo, DAp: densidad aparente del suelo, CEa: conductividad eléctrica aparente, con la probabilidad alfa (*P*) que nos indica la probabilidad de que nuestros datos sean significativos o no al 95 %. También hemos calculado la CEIC (capacidad efectiva de intercambio catiónico) sumando los 7 cationes (K, Ca, Mg, Al, Fe, Mn, Na) (Grupo de Investigación del Ecosistema Suelo, 2019).

Tabla 5. Valores de CEIC: capacidad efectiva de intercambio catiónico, MOS: materia orgánica del suelo, COS: carbono orgánico del suelo, DAp: densidad aparente del suelo, CEa: conductividad eléctrica aparente

	CEIC	MOS	COS	DAp	pH-H ₂ O	pH-KCl	pH-Cl ₂	CEaH ₂ O	CEaKCl	CEaCaCl ₂
Pr	18,1 ab	46,4 a	85,2 b	0,3 b	4,7 a	4,9 a	5,0 a	47,7 ab	10,8 a	10,5 a
Pa	45,3 a	47,6 a	188,0 a	0,8 a	4,8 a	4,7 a	4,2 ab	110,6 a	8,5 b	7,2 ab
Bn	6,5 bc	49,6 a	68,2 b	0,3 b	3,9 ab	4,1 ab	3,8 ab	37,4 b	10,7 a	10,4 a
Pp	4,9 bc	57,7 a	111,6 ab	0,4 ab	3,2 b	3,4 b	3,2 b	111,7 a	9,1 ab	5,9 b
Par	3,0 c	51,8 a	163,1 ab	0,6 ab	3,7 ab	3,7 b	3,6 ab	39,8 b	8,7 ab	8,5 ab
<i>P</i> =	<0,0001	0,758	0,013	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,025	0,001

2.3 PO₄, nitrógeno total, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Na y Al

A continuación, se presentan los promedios de los datos de los análisis químicos de nuestras muestras y la probabilidad alfa (*P*). Se analizó NT, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Na y Al. El fosforo presenta valores altos en el bosque de polylepis, que se muestran significativos estadísticamente. Para el nitrógeno total, existe una variación que favorece a la plantación de pino. Estadísticamente no hay diferencia de K en los sitios de estudio. Para el Ca y el Mg, hay una presencia mayor en pastizal, que es estadísticamente significativo. El Mn no presenta significancia. En caso del Fe, también hay diferencias significativas en todos los sitios de estudio. El Na presenta valores más o menos altos, pero no se presenta una diferencia estadística. El Aluminio se presenta en valores más altos en el bosque andino y en la plantación de pino, aunque tampoco son valores estadísticamente significativos. Los resultados se dejan ver en la siguiente tabla.

Tabla 6. Valores de PO₄, NT, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Na y Al por cada sitio de estudio

	PO ₄	N _{tot}	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Na	Al
	mg/kg	mg/kg	cmol/kg	cmol/kg	cmol/kg	cmol/kg	cmol/kg	cmol/kg	cmol/kg
Pr	6,9 a	73,0 a	0,3 a	13,8 ab	2,9 ab	0,030 a	0,012 ab	0,212 a	0,87 a
Pa	1,8 b	67,4 a	0,2 a	40,1 a	4,0 a	0,076 a	0,007 b	0,224 a	0,65 a
Bn	2,0 b	72,0 a	0,3 a	2,7 c	1,1 b	0,078 a	0,008 b	0,136 a	2,22 a
Pp	0,4 c	80,7 a	0,3 a	0,6 d	0,5 b	0,058 a	0,050 a	0,203 a	3,23 a
Par	0,6 bc	66,7 a	0,2 a	1,1 cd	0,7 b	0,041 a	0,010 ab	0,160 a	0,84 a
<i>P</i> =	0,039	0,731	0,321	< 0,0001	< 0,0001	0,157	0,002	0,080	0,098

2.4 Mapa de conectividad

En el mapa se puede identificar las localidades de avifauna georreferenciadas y los puntos en los cuales se encuentran las diferentes especies que están ocupando la microcuenca del Machángara. También se observa el área que podría estar ocupando las diferentes localidades de avifauna en relación a la cobertura vegetal presente en la microcuenca.

En total existen registrados dieciocho puntos de avifauna en la microcuenca del Machángara, en los cuales están presentes ocho puntos dentro de páramo, cuatro en bosque andino, cinco en cultivo y uno en áreas pobladas. Los puntos de avifauna más significativos pertenecen a los presentes en bosque andino ya que de acuerdo al buffer de 2 km las aves están interactuando con más tipos de cobertura vegetal en relación a páramo, pastizal, cultivos, matorrales y plantaciones forestales (Figura12).

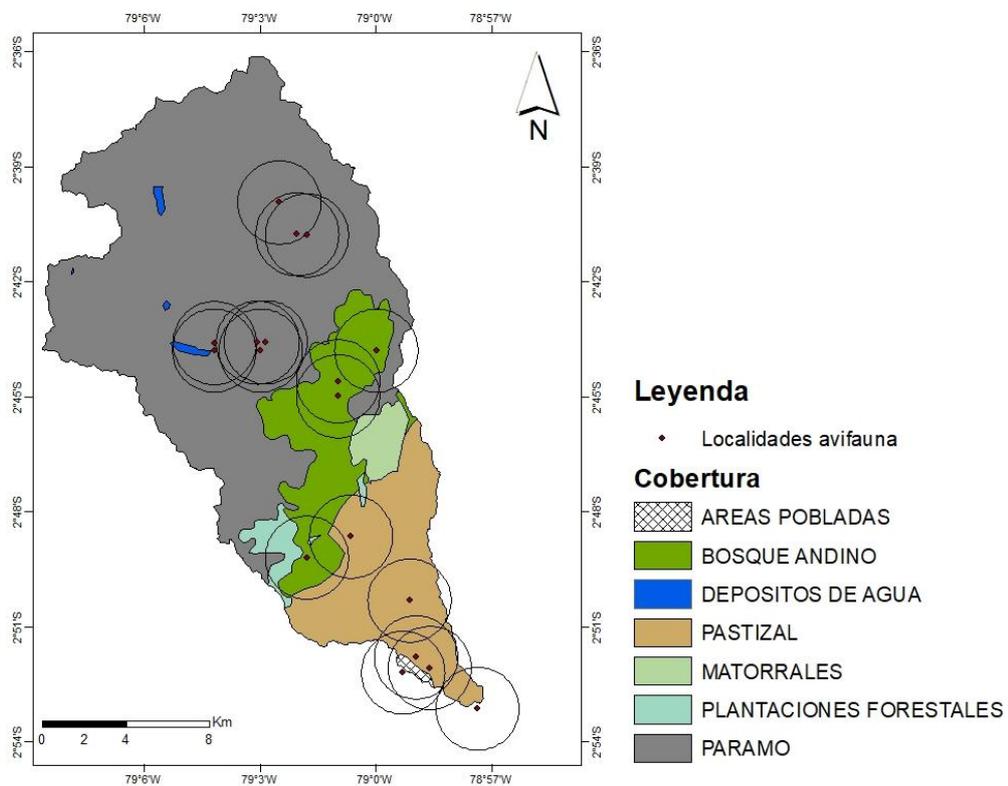


Figura 12. Localidades de avifauna de acuerdo al tipo de cobertura

Por otro lado, los dieciocho puntos de avifauna indican una relación con los diferentes tipos de cobertura vegetal, en los que se puede observar el porcentaje de área utilizadas por las localidades de avifauna. En el caso de las localidades uno, dos, tres, cuatro, cinco, seis, ocho y nueve representan un 99 % de área utilizada en páramo y un 1% en cuerpos de agua, en las localidades doce, catorce, dieciséis y dieciocho, cultivos representan un 87.7%, bosque andino 8.4 % y áreas pobladas un 3.9% y finalmente las localidades siete, diez, once y trece, bosque andino ocupa un 78.8%, páramo 17,2 % y cultivos 3.4% del área que están ocupando las localidades de avifauna de acuerdo la cobertura presente (Figura13).

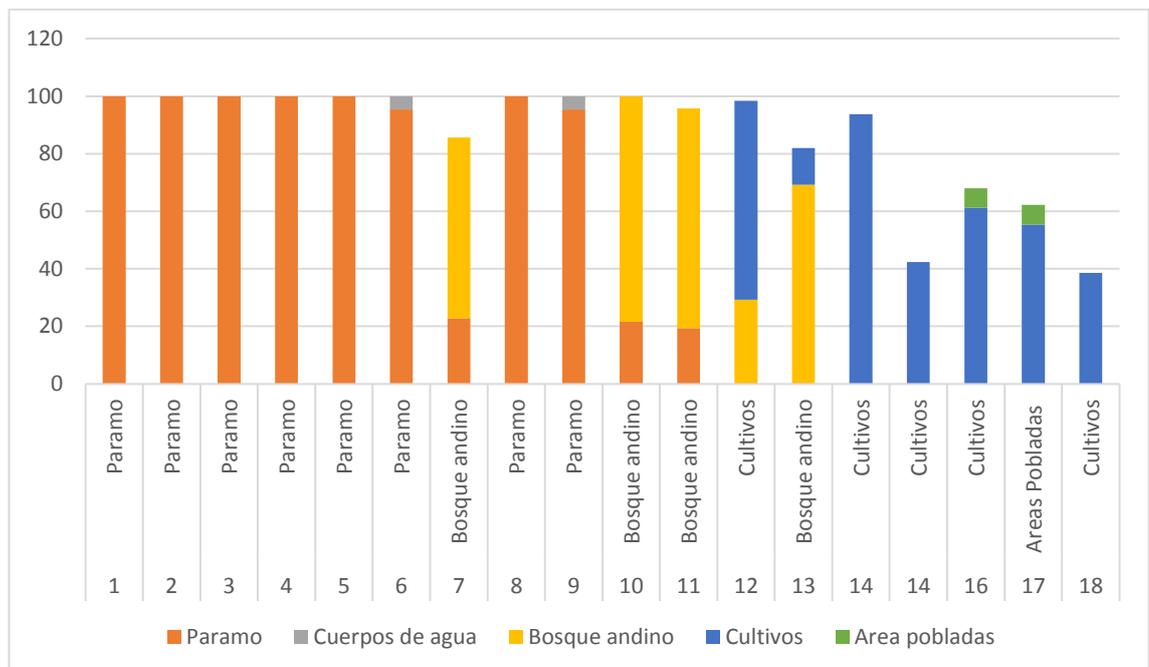


Figura 13. Porcentaje de cobertura que podrían estar ocupando las diferentes especies de aves de acuerdo a su rango de distribución

En total, de los dieciocho puntos de avifauna se registraron 99 especies por toda el área de estudio. Se puede observar una relación con la cobertura vegetal, existe una mayor riqueza en el área bosque andino, seguida por páramo y cultivos que puede estar relacionado a la disponibilidad de recursos presentes (Figura14).

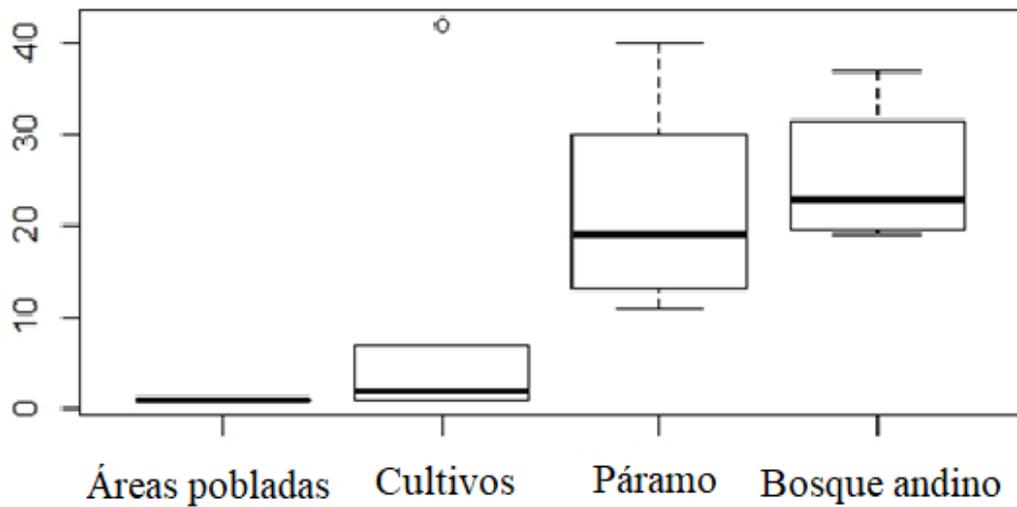


Figura 14. Riqueza de aves por tipo de cobertura vegetal

2.5 Se presentan resultados de vegetación por unidad de muestreo

En total en las unidades de muestreo se registraron 31 especies, pertenecientes a 12 órdenes y 17 familias. Las familias con mayor número de especies son Asteraceae 25,8 % y Ericaceae 16,1 %, y en total representan el 42% de las especies registradas, como se puede observar en la (Figura 15).

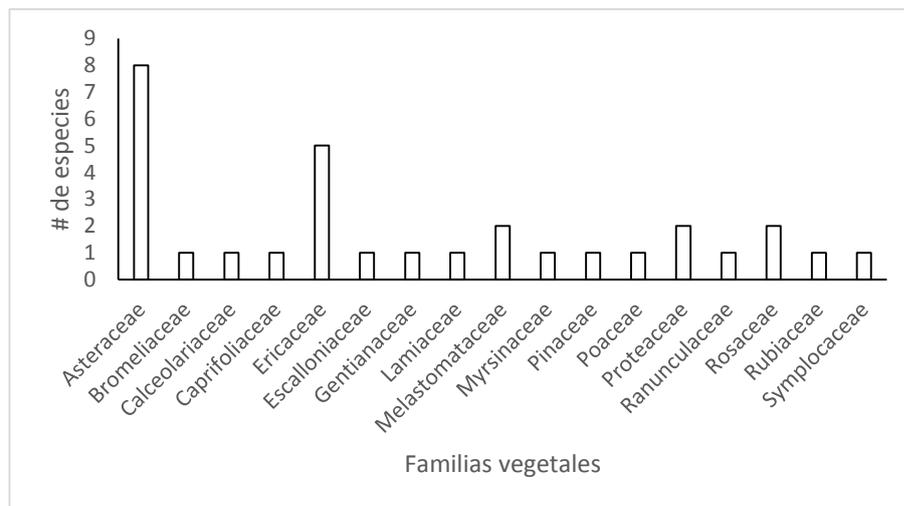


Figura 15. Número de especies por familia vegetal

2.5.1 Pastizal

En total de 6 especies que corresponden a 2 familias asociadas a 2 órdenes. La familia con mayor número de especies fue *Poaceae* donde *Pennisetum clandestinum* fue la que indicaba mayor abundancia en la unidad de muestreo y seguida de *Trifolium repens* de la familia *Fabaceae* (Tabla 7).

Tabla 7. Listado de especies vegetales presente en la unidad de pastizal

Orden	Familia	Especie
Poales	Poaceae	<i>Pennisetum clandestinum</i>
Poales	Poaceae	<i>Lolium perenne</i>
Poales	Poaceae	<i>Anthoxanthum odoratum</i>
Fabales	Fabaceae	<i>Trifolium repens</i>
Poales	Poaceae	<i>Paspalum bombladianum</i>

2.5.2 Bosque andino

En esta unidad se registraron 13 especies que pertenecen a 6 órdenes y 8 familias. Asteraceae y Ericaceae son las familias con mayor número de especies. Las especies más abundantes son *Macleania rupestris*, *Oreocallis grandiflora* y *Myrsine dependens* (Tabla 8).

Tabla 8. Listado de especies vegetales presentes en la unidad de bosque andino

Orden	Familia	Especie	Individuos
Proteales	Proteaceae	<i>Myrica parvifolia</i>	13
Ericales	Ericaceae	<i>Gaultheria glomerata</i>	11
Ericales	Ericaceae	<i>Vaccinium floribundum</i>	15
Asterales	Asteraceae	<i>Diplostephium rupestris</i>	22
Ericales	Myrsinaceae	<i>Myrsine dependens</i>	31
Gentianales	Rubiaceae	<i>Arcytophyllum vernicosum</i>	18
Proteales	Proteaceae	<i>Oreocallis grandiflora</i>	28
Ericales	Ericaceae	<i>Macleania rupestris</i>	24
Asterales	Asteraceae	<i>Chuquiraga jussieui</i>	5
Myrtales	Melastomataceae	<i>Brachyotum confertum</i>	23
Poales	Bromeliaceae	<i>Puya sp</i>	17
Asterales	Asteraceae	<i>Diplostephium glandulosum</i>	18
Ericales	Symplocaceae	<i>Symplocos quitensis</i>	10

2.5.3 Bosque *Polylepis reticulata*.

En esta unidad se registraron 8 especies que pertenecen a cinco familias. Rosácea es la familia con mayor número de especies. La especie más abundante es *Polylepis reticulata* (Tabla 9).

Tabla 9. Listado de especies vegetales presentes en la unidad de bosque de *polylepis reticulata*

Orden	Familia	Especie	Individuos
Rosales	Rosaceae	<i>Polylepis incana</i>	10
Rosales	Rosaceae	<i>Polylepis reticulata</i>	28
Asterales	Asteraceae	<i>Gynoxys sp</i>	14
Dipsacales	Caprifoliaceae	<i>Valeriana Hirtella</i>	9
Asterales	Asteraceae	<i>Gynoxys buxifolia</i>	8
Escallonial	Escalloniaceae	<i>Escallonia myrtilloides</i>	7
Lamiales	Calceolariaceae	<i>Calceolaria calycina</i>	12

2.5.4 Bosque de *Pinus patula*

Dentro de esta plantación se desarrolla un sotobosque muy pobre en diversidad. Las especies que se pudieron encontrar fueron *Vaccinium floribundum*, *Gynoxis buxifolia*, *Puya eyngioides*, entre otras. La especie más abundante es *Pinus patula* (Tabla 10).

Tabla 10. Listado de especies vegetales presentes en la unidad de bosque de *Pinus patula*

Orden	Familia	Especie	Individuos
Pinales	Pinaceae	<i>Pinus patula</i>	25
Ericales	Ericaceae	<i>Vaccinium floribundum</i>	5
Asterales	Asteraceae	<i>Gynoxis buxifolia</i>	5
Poales	Bromeliaceae	<i>Puya eyngioides</i>	8

2.5.5 Páramo

Se caracteriza por la predominancia de plantas adaptadas a condiciones de bajas temperaturas, radiación ultravioleta intensa, cambios rápidos de insolación que provocan sequedad fisiológica. Estas adaptaciones han permitido el crecimiento de plantas con distintas formas de crecimiento como: pastos en macollas como la paja *Calamagrostis intermedia*, arbustos enanos *Disterigma empetrifolium*, y postrados y plantas vagrantes y geófitas, entre otras (Tabla 11).

Tabla 11. Listado de especies vegetales presente en la unidad de páramo

Orden	Familia	Especie
Poales	Poaceae	<i>Calamagrostis intermedia</i>
Ranunculales	Ranunculaceae	<i>Ranunculus peruvianus</i>
Asterales	Asteraceae	<i>Hypochoeris sessiliflora</i>
Gentianales	Gentianaceae	<i>Gentiana sedifolia</i>
Ericales	Ericaceae	<i>Disterigma empetrifolium</i>
Myrtales	Melastomataceae	<i>Miconia pernettifolia</i>
Asterales	Asteraceae	<i>Oritrophium peruvianum</i>
Lamiales	Lamiaceae	<i>Satureja nubigena</i>

2.6 Diversidad Alfa

El área estudio presenta un valor alto de diversidad, presentando especies con abundancias relativamente equitativas, sin embargo, es probable que presente una alta dominancia de ciertas especies. El bosque andino presentó una mayor diversidad relativa en cuanto a las demás unidades de muestreo y en la plantación de *Pinus patula* se registró la menor diversidad. Por otro lado, las parcelas ubicadas en Páramo y bosque de *Polylepis reticulata* presentan una diversidad media con respecto los demás tipos de vegetación (Tabla 12).

Tabla 12. Diversidad Alfa

Tipo vegetación	Riqueza	Abundancia (media±sd)	Shannon	Simpson	Shannon - Global	Simpson - global
Bosque Andino	14	376 (25,86±11,41)	2,56	0,92		
Páramo	9	176 (19,56±7,7)	2,13	0,87	3,44	0,96
Pino	4	41 (10,25±9,91)	1,09	0,57		
Polylepis	9	122 (13,56±6,35)	2,11	0,87		

Capítulo III

Discusión

Los suelos de los sitios de estudio son mayormente andosoles. Esto puede indicar la alta presencia de materia orgánica de casi el 50 %, ya que al ser suelos que están desarrollados o influenciados por cenizas volcánicas presentan una estructura muy estable y con alta porosidad (Ollier 1988, Arnalds 2008). Al ser también resistentes a la erosión y tienen una buena retención de agua y permeabilidad, permiten un correcto desarrollo de las raíces de las plantas y, por lo tanto, una acumulación mayor de materia orgánica (Podwojewski y Poulénard, 2000). Los procesos de descomposición de la materia orgánica son en su mayoría anaeróbicos por la saturación alta de agua y el indicador de ph sumamente bajo. La densidad aparente en nuestros resultados ($0,5 \text{ g/cm}^3$) presenta un valor ligeramente superior a lo normal para estos tipos de suelos que usualmente presentan una DA de entre $<0,9$ a $0,3$. Estos datos también se encuentran dentro del rango de suelos orgánicos y volcánicos, de acuerdo a la norma oficial mexicana, que indica que los suelos que presentan una densidad aparente menor a 1.00 g/cm^3 , son suelos volcánicos (NOM-021-RECNAT-2000).

La tasa de carbono orgánico presente en los suelos de nuestro estudio es alta ($123,2 \text{ t/ha}$). Esto se debe a las temperaturas bajas del sitio de estudio y por la formación de complejos órgano - minerales estables que muchas veces son tóxicos para los microorganismos que descomponen la materia orgánica del suelo (Podwojewski y Poulénard, 2000). El pH de nuestros suelos de estudio se mantuvo fuertemente ácido (4 a $4,25$) ya que, al ser zonas con alta retención de agua, existe un exceso y por lo tanto se da una rápida lixiviación. Son suelos desaturados (Podwojewski y Poulénard, 2000).

Según Blasco Laménca, 1976, el contenido de nitrógeno total tiende a subir a medida que aumentan la precipitación y la altitud. En los suelos de la plantación de pino, el Nitrógeno total sufre un aumento considerable, esto se puede deber a que, al ser estos suelos ácidos, el amonio no se nitrifica o también estas plantaciones, al presentar una

capa de acícula de varios centímetros de profundidad, el proceso de lixiviación es más lento y hace que el N se concentre por más tiempo en los horizontes primarios del suelo. La alta presencia de Ca, Mg y Na en los suelos de estudio, corroboran nuestros valores altos de conductividad eléctrica y los valores bajos de pH. Esto se puede deber a los usos antrópicos actuales o pasados que se les da a estos suelos o también porque son suelos que dependen mucho de la roca madre en donde están asentados. Sobre esta actúan las diferentes coberturas que de una u otra forma influyen en las diferentes propiedades químicas o físicas de estos suelos (Quichimbo *et al.*, 2012).

Otro factor que puede influenciar a la conductividad es el cambio de cobertura vegetal. Las presencias de N, K, Ca y Mg, nos indican una fertilidad moderada y buena del suelo, pero, caso contrario sucede con el Fe, Mn y Na, que nos indican una degradación del suelo consecuencia de la acides y altas concentraciones de Al^{+++} intercambiable que se liberan de las estructuras alofanicas por la meteorización provocada por actividades antrópicas y por el cambio de cobertura vegetal que puede suscitar procesos de oxidación (Hofstede 1995, Hofstede *et al.* 2002, Jhonson y Maynard 2006). Los valores del fósforo no fueron representativamente altos, ya que la fijación del fósforo está relacionada con el contenido de carbono en el suelo. La fracción orgánica o el humus en los Andisoles es mayor en los suelos volcánicos que se encuentran sobre los 2.500 msnm, esto puede llegar a formar fácilmente complejos con metales como el Al. La presencia de bajas cantidades de Al, puede deberse que hay una gran acumulación de materia orgánica lo cual favorece a la formación de estos complejos (Acevedo, 2008). La retención de fósforo en el suelo puede ser un factor que limita el desarrollo de cultivos o de vegetación natural (Espinosa, 2004).

La cobertura de bosque andino indicó mayor riqueza de aves, que puede deberse a la disponibilidad de hábitats y recursos que brinda el área (Niall y Whittaker, 2007) en las cuales también incluyen zonas de transición como cultivos y pastos que pueden ser potencialmente usados por especies oportunistas. La riqueza de aves en el ecosistema de páramo, concuerdan con estudios que reportan la riqueza de aves para los páramos del Ecuador (Carrión 2000; Astudillo *et al.* 2014, 2014; Astudillo *et al.* 2017). Para las coberturas de área pobladas y cultivos, es de interés decir que los estudios sobre la

diversidad en estos ecosistemas son escasos (Gentry 1995; Webster 1995); sin embargo, la riqueza obtenida representa en términos generales la diversidad registrada a través de los ecosistemas en general (Niall y Whittaker, 2007; Latta *et al.* 2011).

Además, una característica fundamental a considerar para ambas zonas es la distribución espacial de las especies, ya que los rangos de abundancia de muchas especies no son estables a lo largo del tiempo (Colwell *et al.* 2004; Magurran 2004; Gómez de Silva, 2005). La distribución espacial de la riqueza de las aves muestra una relación con la estructura de la vegetación (Laurance y Bierrgaard, 1997). En los diferentes casos observamos una diferencia probablemente en función de la composición y estructura del hábitat de los puntos registrados.

Considerando que las especies suelen presentar patrones de distribución discontinuos producidos por la variación espacial de las condiciones ambientales que determinan la calidad de sus hábitats (Santos, 2006) posiblemente la variación entre las localidades de avifauna esté relacionada al grado de intervención que este presenta. El área de estudio de pastizal al estar ubicada en un rango de elevación al alto el ecosistema es dominante; los resultados obtenidos en este monitoreo se relacionan con algunos estudios en donde se muestra que el páramo presenta patrones similares que los registrados en este estudio (Beltrán *et al.* 2009).

Las familias poaceae, y asteraceae, muestran ser las familias con mayor número de especies para el páramo. De igual manera, estos resultados, se corroboran con los estudios de Caranqui *et al.* (2016) y Cabrera *et al.* (2014) los cuales explican que los páramos son ecosistemas dominados por especies herbáceas. Finalmente, *Calamagrostis intermedia* (J. Presl Steud, 2006) indica ser como la más abundante en monitoreos anteriores, similar a nuestros resultados. Además, *Calamagrostis intermedia*, presenta gran capacidad de adaptación; entre los 2500 y 4500 msnm crece y forma densos pajonales donde puede sobrevivir a condiciones adversas tanto del terreno como el clima (Minga *et al.* 2016).

Las unidades de muestreo de pastizal están influenciadas por la ganadería, en consecuencia, presentan una menor riqueza relativa. En general los paisajes montanos influenciados por pastoreo presentan una fuerte dominancia de gramíneas y leguminosas generalmente pueden ser *Pennisetum clandestinum*, *Lolium perenne* y *Trifolium repens* (Armijos y Josue 2017). Este estudio identifico las tres especies dentro de la unidad de muestreo por lo que podemos confirmar nuestra información.

De acuerdo a los resultados, el bosque andino presenta una elevada diversidad de especies. Este resultado puede ser comparado por Richter & Moreira (2005) en el estudio realizado en la cadena de los Andes, donde consideran a estos hábitats como uno de los más importantes centros de diversidad florística. Para el área estudio, la familia asteracea registra mayor número de especies; esta familia es importante para la riqueza de los bosques montanos de la región (Gentry 1995; Galindo *et al.* 2003). Las diferencias en la distribución espacial de las especies están relacionadas a la composición vegetal (Sierra *et al.* 1999).

Se considera importante para la conservación de la biodiversidad a escala de paisaje el establecimiento de corredores biológicos que fomenten la conectividad. Esto gana importancia en paisajes fragmentados en áreas urbanas y periurbanas en donde la intervención antrópica es notoria y tanto los bosques y los corredores naturales son limitados y se encuentran en una matriz altamente modificada. En la actualidad, varios de los enlaces de bosque asociados principalmente a cuencas hidrográficas no conectan naturalmente los fragmentos de conservación entre sí (Zualaga *et al.*, 2017). Esto potencialmente puede ser un problema para la conectividad, pues el propiciar el uso de estos enlaces naturales sin la pertinente revisión, podría conducir a que el flujo de organismos se direccionara hacia otras áreas (Hilty *et al.*, 2006). En general, algunas especies de aves y otros organismos típicamente especies generalistas, pueden usar y desplazarse a través de este tipo de coberturas (Vélez *et al.*, 1995; Castaño *et al.*, 2008).

Adicional a la necesidad de generar un manejo con visión ecosistémica de los enlaces para conectar los fragmentos de bosque, es necesario que se logre monitorear los

componentes florísticos, faunísticos y flujos de nutrientes de la red de conectividad, ya que es necesario crear una línea base de información ecosistémica y mantener un monitoreo de la red ecológica en el tiempo, para conocer su impacto real y entender sobre servicios ecosistémicos presentes. Mantener información es fundamental para permitir el manejo adecuado sobre la cuenca y también generar proyectos de investigación similares en el área.

Referencias citadas

- Acevedo Sandoval, O. (2008). Identificar las fracciones de aluminio en un andosol del estado de Hidalgo, México.
- Addinsoft (2019). XLSTAT statistical and data analysis solution. Boston, USA. <https://www.xlstat.com>
- Arismendi I. 2007. Los isótopos estables como potenciales indicadores de deforestación en cuencas hidrográficas. *Bosque* 28: 183-186.
- Armijos, L., & Josue, M. (2017). *Evaluación de nitrógeno ureico en leche y sangre de vacas bajo pastoreo de Rye grass perenne (Lolium perenne), Trébol blanco (Trifolium repens) y Kikuyo (Pennisetum clandestinum) durante la época de lluvias* (Bachelor's thesis, Quito: UCE).
- Astudillo, P. X. (2014). *Effects of landscape fragmentation on bird communities in a tropical hotspot* (Doctoral dissertation, Philipps-Universität Marburg).
- Barberi, F., Coltelli, M., Ferrara, G., Innocenti, F., Navarro, J. M. And Santacroce, R., 1988. Plio-quadernary volcanism in Ecuador. *Geological Magazine*, 125: 1–14.
- Beltrán, K., Salgado, S., Cuesta, F., León-Yáñez, S., Romoleroux, K., Ortiz, E., ... & Velástegui, A. (2009). Distribución espacial, sistemas ecológicos y caracterización florística de los páramos en el Ecuador. *Quito: EcoCiencia, Proyecto Páramo Andino y Herbario QCA*.
- BRAUN BLANQUET, J. (2015). Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales.
- Bruijnzeel, L. A., Scatena, F. N., y Hamilton, L. S. (Eds.). 2011. Tropical montane cloud forests: science for conservation and management. Cambridge University Press.
- Bussmann, Rainer W. (2005). Bosques andinos del sur de Ecuador, clasificación, regeneración y uso. *Revista Peruana de Biología*, 12(2), 203-216.
- Buytaert, W., 2004. The properties of the soils of the south Ecuadorian páramo and the impact of land use changes on their hydrology. Ph.D. thesis, Faculty of Agricultural and Applied Biological Sciences, Katholieke Universiteit Leuven.
- Buytaert, W., J. Deckers y G. Wyseure. 2006. Description and classification of nonallophanic Andosols in south Ecuadorian alpine grasslands (páramo). *Geomorphology*, 73: 207-221.

- Buytaert, W., Sevink, J., Leeuw, B. D. and Deckers, J., 2005b. Clay mineralogy of the soils in the south Ecuadorian pramo region. *Geoderma*, In press.
- Caranqui, J., Lozano, P., & Reyes, J. (2016). Composición y diversidad florística de los páramos en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo, Ecuador. *Enfoque UTE*, 7(1), 33-45.
- Carrera, D. (2011). Salinidad en suelos y aguas superficiales y subterráneas de la cuenca evaporítica de Río Verde- Matehuala, San Luis Potosí. Tesis de Doctorado en Ciencias, Programa de Hidrociencias, Colegio de Postgraduados, México. p. 334.
- Carrera, D., Guevara, P., & Gualichicomin, G. (2014, May). Caracterización físico-química desde el punto de vista agrícola de los suelos en la zona de riego del proyecto multipropósito Chone. In Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE (Vol. 9, No. 1, pp. 71-80).
- Castaño Villa GJ, Morales Betancourt JA, Bedoya-Álvarez ML. Aportes de una plantación forestal mixta a la conservación de la avifauna en el cañón del río Cauca, Colombia. *Rev Fac Nal Agr Medellín*. 2008;61(1):4358-4365.
- Castellanos, J. Z., Uvalle-Bueno, J. X., & Aguilar-Santelises, A. (2000). Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas agrícolas, plantas y ECP. Chapingo, Edo. de México: Instituto de capacitación para la productividad agrícola.
- Colmet-Daage, F., Cucalon, F., Delaune, M., Gautheyrou, J., Gautheyrou, M. and Moreau, B., 1967. Caractéristiques de quelques sols d'Equateur dérivés de cendres volcaniques. II. Conditions de formation et d'évolution. *Cahiers ORSTOM, serie Pédologie*, 5: 353–392.
- Córdova, M., Célleri, R., Shellito, C. J., Orellana-Alvear, J., Abril, A., & Carrillo-Rojas, G. (2016). Near-surface air temperature lapse rate over complex terrain in the Southern Ecuadorian Andes: implications for temperature mapping. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 48(4), 673-684.
- Chacón G, D Gagnon, D Paré. 2009. Comparison of soil properties of native forests and *Pinus patula* plantations, and pastures in the Andean highlands of southern Ecuador: ¿land-use history or recent vegetation effects? *Soil Use and Management* 25: 427-433.

- Chacón, G., D. Gagnon y D. Paré. 2015. Soil agricultural potential in four common Andean land use types in the Highlands of Southern Ecuador as revealed by a corn bioassay. *Agricultural Sciences* 6: 1129-1140.
- Chacón-Vintimilla, G., Gagnon, D., Paré, D., & Proulx, D. (2003). Impacto de la deforestación, pastizales, plantaciones de Eucalipto y Pino en suelos de bosque montano alto, en la Sierra Sur del Ecuador. *Revista de Investigaciones de la Universidad del Azuay*, 11, 19-34.
- Changkun F. Wanqin Y. Tan B. Zhenfeng X. Zhang Y. Yang J. Ni X. y Wu F. 2017. Seasonal dynamics of litterfall in a sub-alpine spruce-fir forest on the Eastern Tibetan Plateau: Allometric scaling relationships based on one year of observations. *Forests* 8(9), 314.
- Changkun F. Wanqin Y. Tan B. Zhenfeng X. Zhang Y. Yang J. Ni X. y Wu F. 2017. Seasonal dynamics of litterfall in a sub-alpine spruce-fir forest on the Eastern Tibetan Plateau: Allometric scaling relationships based on one year of observations. *Forests* 8(9), 314.
- Chávez, L, y Villavicencio, V. (2011). Estudio arqueológico en las cuencas media y bajas del rio machangara (Tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- De la Cruz, R., Mena Vásconez, P., M. Morales, P. Ortiz, G. Ramón, S. Rivadeneira, E. Suárez, J. F.Terán y C. Velázquez. 2009. Gente y ambiente de páramo: realidades y perspectivas en el Ecuador. *EcoCiencia-Abya Yala*. Quito.
- DICK, R.P. SoilBiological, chemical, and physical dynamics during transition to nonthermall residue management grass seed systems. Online Internet. Oregon, GSCSSA, 2004. Progress reports FY00. Disponible en: <http://gscssa.wsu.edu/progress/00/100.htm>. (Consultado en Enero de 2019).
- Dominguez, J. (2011). ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEFINITIVO (EIAD) DE LA SUSTITUCIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SAYMIRÍN I – II.
- Eguakun, F. S., y Job, M. 2018. Statistical relationship between leaf litter and tree growth characteristics of *Tectona grandis* species. *World News of Natural Sciences* 18: 252-261.

- Espinosa, J. (2004). Suelos volcánicos, dinámica del fosforo y producción de papa. In *Memorias del XVI congreso latinoamericano de la Ciencia del Suelo*. SCCS, Cartagena, Colombia.
- Estupiñan, L., Gómez, J. E., Barrantes, V. J., y Limas, L. F. 2009. Efecto de actividades agropecuarias en las características del suelo en el páramo El Granizo, (Cundinamarca-Colombia). *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica* 12: 79-89.
- FAO, R. (2009). Guía para la descripción de suelos. Bolivia. Cuarta edición Traducido y adaptado al castellano por Ronald Vargas Rojas (Proyecto FAOSWALIM, Nairobi, Kenya-Universidad Mayor de San Simón,).
- FAO/ISRIC/ISSS, 1998. World Reference Base for Soil Resources. No. 84 in World Soil Resources Reports. FAO, Rome, 88 pp.
- Farley KA, LL Bremer. 2017. "Water is life": local perceptions of páramo grasslands and land management strategies associated with payment for ecosystem services. *Annals of the American Association of Geographers* 107: 371-381.
- Fjeldså, J., Kessler, M., Engblom, G., & Driesch, P. (1996). Conserving the biological diversity of *Polylepis* woodlands of the highland of Peru and Bolivia: a contribution to sustainable natural resource management in the Andes (p. 250). Copenhagen: Nordeco.
- GALINDO, R., BETANCUR, J., & CADENA, J. J. (2003). Estructura y composición florística de cuatro bosques andinos del santuario de flora y fauna Guanentá-Alto río Fonce, cordillera oriental colombiana. *Caldasia*, 25(2), 313-335.
- Gallardo-Lancho JF. 2016. La materia orgánica del suelo. Residuos orgánicos, humus, compostaje y captura de carbono. Sociedad Iberoamericana de Física y Química Ambiental, Salamanca, España. 492 p.
- Gentry, A. H. (1992). Diversity and floristic composition of Andean forests of Peru and adjacent countries: implications for their conservation. *Memorias del Museo de Historia Natural, UNMSM (Lima)*, 21, 11-29.
- Gentry, A. H., Churchill, S., Balslev, H., Forero, E., & Luteyn, J. (1993, June). Patterns of diversity and floristic composition in neotropical montane forests. In *Biodiversity and conservation of neotropical montane forests. Proceedings of the Neotropical Montane Forest Biodiversity and Conservation Symposium*.

- Ges (Grupo de Investigación del Ecosistema Suelo). 2019. Base de datos de propiedades edáficas de Azuay, Cañar y Morona Santiago. En construcción. Universidad del Azuay, Escuela de Biología Ecología y Gestión, Cuenca, Ecuador.
- Hassink, J. 1994. Effects of soil texture and grassland management on soil organic C and N and rates of C and N mineralization. *Soil Biol. Biochem.* 26: 1221-1231.
- Hayes, M. H., & Clapp, C. E. (2001). Humic substances: considerations of compositions, aspects of structure, and environmental influences. *Soil Science*, 166(11), 723-737.
- Hayes, M. H., y Clapp, C. E. 2001. Humic substances: considerations of compositions, aspects of structure, and environmental influences. *Soil Science* 166: 723-737.
- Hilty JA, Brooks C, Heaton E, Merenlender AM. Forecasting the effect of land-use change on native and non-native mammalian predator distribution. *Biodivers Conserv.* 2006; 15:2853-2871.
- Hoffman, G. J., & Rawlins, S. L. (1970). Diseño y ejecución de cámaras climáticas soleadas. *Trans. ASAE*, 13: 656-660.
- Hofstede, R. G. (1995). The effects of grazing and burning on soil and plant nutrient concentrations in Colombian páramo grasslands. *Plant and Soil*, 173(1), 111-132.
- Hofstede, R. G., Groenendijk, J. P., Coppus, R., Fehse, J. C., & Sevink, J. (2002). Impact of pine plantations on soils and vegetation in the Ecuadorian high Andes. *Mountain Research and Development*, 22(2), 159-167.
- Hotelling, H. (1933). Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *Journal of educational psychology*, 24(6), 417.
- IERSE. 2018. Cartografía temática. Universidad del Azuay. Cuenca, Ecuador.
- International Atomic Energy Agency, 2013. Application of isotope techniques for assessing nutrient dynamics in river basins. IAEA Library Cataloguing in Publication Data, Vienna IAEA-TECDOC series ISSN 1011-4289, no. 1695.
- JHONSON-MAYNARD J (2006) Allophanes, 72-74 pp. In: LAL R, (ed) Encyclopedia of Soil Sciences. Cambridge University Press. New York, EU.:
- Josse C, Cuesta F, Navarro G, Barena V, Cabrera E, Chacón E, et al. 2009. Ecosistemas de los Andes del Norte y Centro. Lima: SGCAN-Proyecto Páramo AndinoEcobona.

- Kendall, C., Campbell, D.H., Burns, D. a, Shanley, J.B., Silva, S.R., Chang, C.C.Y. 1995. Tracing sources of nitrate in snowmelt runoff using the oxygen and nitrogen isotopic compositions of nitrate, in: Biogeochemistry of Seasonally Snow-Covered Catchments Proceedings of a Boulder Symposium, July 1995. pp. 339–347.
- Kendall, C., McDonnell, J., 1998. Isotopes tracers in Catchment Hydrology, First. ed. Oxford, UK.
- Lamenca, M. B. (1976). Suelos agrícolas volcánicos de América Central. Anuario de estudios centroamericanos, 393-401.
- Latta, S. C., Tinoco, B. A., & Graham, C. H. (2011). Patterns and magnitude of temporal change in avian communities in the Ecuadorian Andes. *The Condor*, 113(1), 24-40.
- Lidman, J., Jonsson, M., Burrows, R. M., Bundschuh, M., y Sponseller, R. A. 2017. Composition of riparian litter input regulates organic matter decomposition: Implications for headwater stream functioning in a managed forest landscape. *Ecology and Evolution* 7: 1068-1077.
- Lugo, A. E., & Scatena, F. N. (1992). Epiphytes and climate change research in the Caribbean: a proposal. *Selbyana*, 123-130.
- M.R. Spiegel; J. Schiller; R. A. Srinivasan (2007). «9. Análisis de la varianza». Probabilidad y Estadística [Schaum's Outline of Theory and Problems of Probability and Statistics]. Schaum (2ª edición). México D.F.: McGraw-Hill. pp. 335-371. ISBN 978-970-10-4231-1.
- MAE (Ministerio del Ambiente del Ecuador); FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, IT). 2014. Experiencias de manejo y gestión de cuencas en el ecuador: Indicadores para una evaluación rápida. Quito.
- Magurran, A. E. (1988). Diversity indices and species abundance models. In *Ecological diversity and its measurement* (pp. 7-45). Springer, Dordrecht.
- Minga D, R Ansaloni, A Verdugo, C Ulloa-Ulloa. 2016. Flora del páramo del Cajas, Ecuador. Imprenta Don Bosco. Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador. 286 p.
- Minga, D., Ansaloni, R., Verdugo, A., & Ulloa, C. (2016). Flora del páramo del Cajas, Ecuador. *Cuenca, (Ecuador): Universidad del Azuay*.

- Morris, A., 1997. Afforestation projects in highland Ecuador: patterns of success and failure. *Mountain Research and Development*, 17(1):31-42.
- Nanzyo, M., Shoji, S. and Dahlgren, R., 1993. Volcanic Ash Soils: genesis, properties and utilisation. *Developments in Soil Science N_21*. Elsevier, Amsterdam, 288 pp.
- NIALL, O., WHITTAKER, R. (2007). How resilient are Andean Montane forest bird communities to habitat degradation? *Biodivers Conserv*, 16:1131–1159.
- NOM-021-RECNAT-2000. Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.
- Parra M. R. E. (2003). Los suelos y la fertilización del olivar cultivado en zonas calcáreas. Madrid: Mundi-Prensa. p.20.
- Peres-Neto, Pedro R.; Jackson, Donald A.; Somers, Keith M (2005). How many principal components? stopping rules for determining the number of non-trivial axes revisited. *Computational Statistics & Data Analysis* 49 (4): 974-997. doi:10.1016/j.csda.2004.06.015. Consultado el 17 de enero de 2019.
- Podwojewski, P. (1999). Los suelos de las altas tierras andinas: los páramos del Ecuador. *Bol Soc Ecuador Cie Suelo*, 18(9), 14
- Podwojewski, P., & Poulénard, J. (2000). La degradación de los suelos de los páramos. *Los suelos del páramo*. Quito: Grupo de Trabajo en Páramos/Abya-Yala, 27-36.
- Poulénard, J., 2000. Les sols des páramos d'Equateur sur couverture pyroclastique. Diversité, génèse et propriétés physiques. Ph.D. thesis, Université Henry Poincaré - Nancy I.
- Quichimbo, P., Tenorio, G., Borja, P., Cárdenas, I., Crespo, P., & Célleri, R. (2012). Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: páramo de Quimsacocha al sur del Ecuador. *Suelos Ecuatoriales*, 42(2), 138-153.
- Rázuri, L., Linares, J., Romero, E., Galindo, A., y Hernández, J. (2005). Evolución de la Salinidad en un Suelo del Valle de Quibor. Venezuela: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. pp.25
- Richards (1959). Editor. Suelos salinos y sódicos. Personal del laboratorio de salinidad de los Estados Unidos de América. *Manual de agricultura No. 60*. p. 172.

- Richter, M., & Moreira-Muñoz, A. (2005). Heterogeneidad climática y diversidad de la vegetación en el sur de Ecuador: un método de fitoindicación. *Revista peruana de Biología*, 12(2), 217-238.
- Romero, M. P., Santamería, D. M., y Zafra, C. A. (2009). Bioingeniería y suelo: abundancia microbiana, pH y conductividad eléctrica bajo tres estratos de erosión. *Umbral Científico*, 9.
- Ruckelshaus, M., McKenzie, E., Tallis, H., Guerry, A., Daily, G., Kareiva, P., ... & Bernhardt, J. 2015. Notes from the field: lessons learned from using ecosystem service approaches to inform real-world decisions. *Ecological Economics* 115: 11-21.
- SALAMANCA, A., & SADEGHIAN, S. (2006). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana.
- Santos, T., & Tellería, J. L. (2006). Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies. *Revista Ecosistemas*, 15(2).
- Sarmiento, C., y León, O. (eds.). 2015. Transición bosque-páramo. Bases conceptuales y métodos para su identificación en los Andes colombianos. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Sauer, W., 1957. El mapa geológico del Ecuador. Editorial Universitaria, Quito.
- Scott, A. J., & Knott, M. (1974). A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. *Biometrics*, 507-512.
- Schjellerup, I., 1992. Pre-Columbian field systems and vegetation in the jalca of northeastern Peru. In: Balslev, H. and Luteyn, J. L. (eds.), Páramo: An Andean ecosystem under human influence. Academic Press London, pp. 137-149.
- Schmidt, M. W., Torn, M. S., Abiven, S., Dittmar, T., Guggenberger, G., Janssens, I. & Nannipieri, P. (2011). Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature*, 478(7367), 49.
- Sklenar, P., Luteyn, J. L., Ulloa Ulloa, C., Jorgensen, P. M., & Dillon, M. O. (2005). Flora genérica de los páramos: Guía ilustrada de las plantas vasculares. *Memoirs of The New York Botanical Garden*, 92.
- Smithers, P., & Atkins, N. (2001). Altitudinal variation in páramo invertebrate communities on Volcán Chiles, with particular reference to Carabidae

- (Coleoptera). The Ecology of Volcán Chiles: high-altitude ecosystems on the Ecuador-Colombia border, 145-151.
- Soil Survey Staff, 2003. Keys to Soil Taxonomy, Ninth Edition. United States Department of Agriculture, 332 pp.
- Soil survey staff, 1998. Keys to soil Taxonomy. Eighth Edition. USDA
- Tabares Lozano, J. (2007). Validación De Técnicas Analíticas Nitrógeno Amoniacal Kjeldahl, Determinación De Calcio Con Ion Selectivo, Espectrofotometría Para Sulfatos, Fosfatos Nitrógeno Amoniacal Nessler Determinación De Aceites Y Grasas Para El Análisis De Aguas Residuales Y Domésticas En El Laboratorio De Aguas Y Ambiental De La Universidad Del Quindío.
- Ulloa, C., Álvarez, S., Jørgensen, P., & Minga, D. (2005). Guía de 100 plantas silvestres del páramo del Parque Nacional Cajas. *Etapa, Cuenca*.
- Ulloa, C., Hidalgo, P., & Aguilar, Z. (2009). Guía de Plantas Útiles de los Páramos de Zuleta, Ecuador.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. 1996. Soil survey laboratory methods manual. Soil Survey Investigations Report N 42. Version 3.0. Washington DC, USA, 693p.
- Vargas-Ríos O. 2013. Disturbios en los páramos andinos. In Cortés-Duque J, CE Sarmiento-Pinzón eds. Visión socioecosistémica de los páramos y la alta montaña colombiana: memorias del proceso de definición de criterios para la delimitación de páramos. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia. p. 39-57.
- Vásquez DL, H Balslev, P. Sklenář. 2015. Human impact on tropical-alpine plant diversity in the northern Andes. *Biodiversity y Conservation* 24: 2673-2683.
- Villareal H, Álvarez M, Córdoba S, Escobar F, Fagua G, Gast F, Mendoza H, Ospina M, Umaña A. 2004. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de inventarios de biodiversidad. Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. Bogotá, Colombia. 236 p.
- Vélez G, Cuadros T, Fresneda E. Relaciones entre algunas variables de la estructura del hábitat en rodales de Pinus patula y la diversidad de la avifauna en la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Oriente Antioqueño. *Crónica Forestal y del Medio Ambiente*. 1995; 10:25-54.

- Villareal H, Álvarez M, Córdoba S, Escobar F, Fagua G, Gast F, Mendoza H, Ospina M, Umaña A. 2004. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de inventarios de biodiversidad. Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. Bogotá, Colombia. 236 p
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37(1), 29-38.
- Wasay S. A., Barrington S. F., Tokunaga S. 1998. Organic acids to remediate a clay loam polluted by heavy metals. *Canadian Agricultural Engineering*. Pag. 9-15.
- White S. 2013. Grass páramo as hunter-gatherer landscape. *The Holocene* 23: 898-915.
- Winckell, a. Y c. Zebrowski. 1997. Los paisajes andinos de la sierra del Ecuador. En: Los paisajes naturales del Ecuador. A. Winckell (Ed.), *Geografía Básica del Ecuador*. 4(2):3-207. CEDIG. Quito
- Winckell, A., Zebrowski, C. and Delaune, M., 1991. évolution de modèle quaternaire et des formations superficielles dans les Andes de l'équateur. *Géodynamique*, 6: 97–117. Zehetner, F., Miller, W. P. and West, L. T., 2003. Pedogenesis of Volcanic Ash Soils in Andean Ecuador. *Soil Science Society of America Journal*, 67: 1797–1809.
- Wolf, B., & Snyder, G. (2003). *Sustainable soils: the place of organic matter in sustaining soils and their productivity*. CRC Press.
- Zuluaga, G. J. C., Muñoz, J. L. V., & Zuluaga, I. N. M. (2017). Modelo de conectividad ecológica de fragmentos de bosque andino en Santa Elena (Medellín, Colombia). *Acta Biológica Colombiana*, 22(3), 379-393.

Anexos



Anexo 1. Extracción de muestras en el campo.



Anexo 2. Análisis de la vegetación



Anexo 3. Procesamiento y análisis de las muestras en el laboratorio