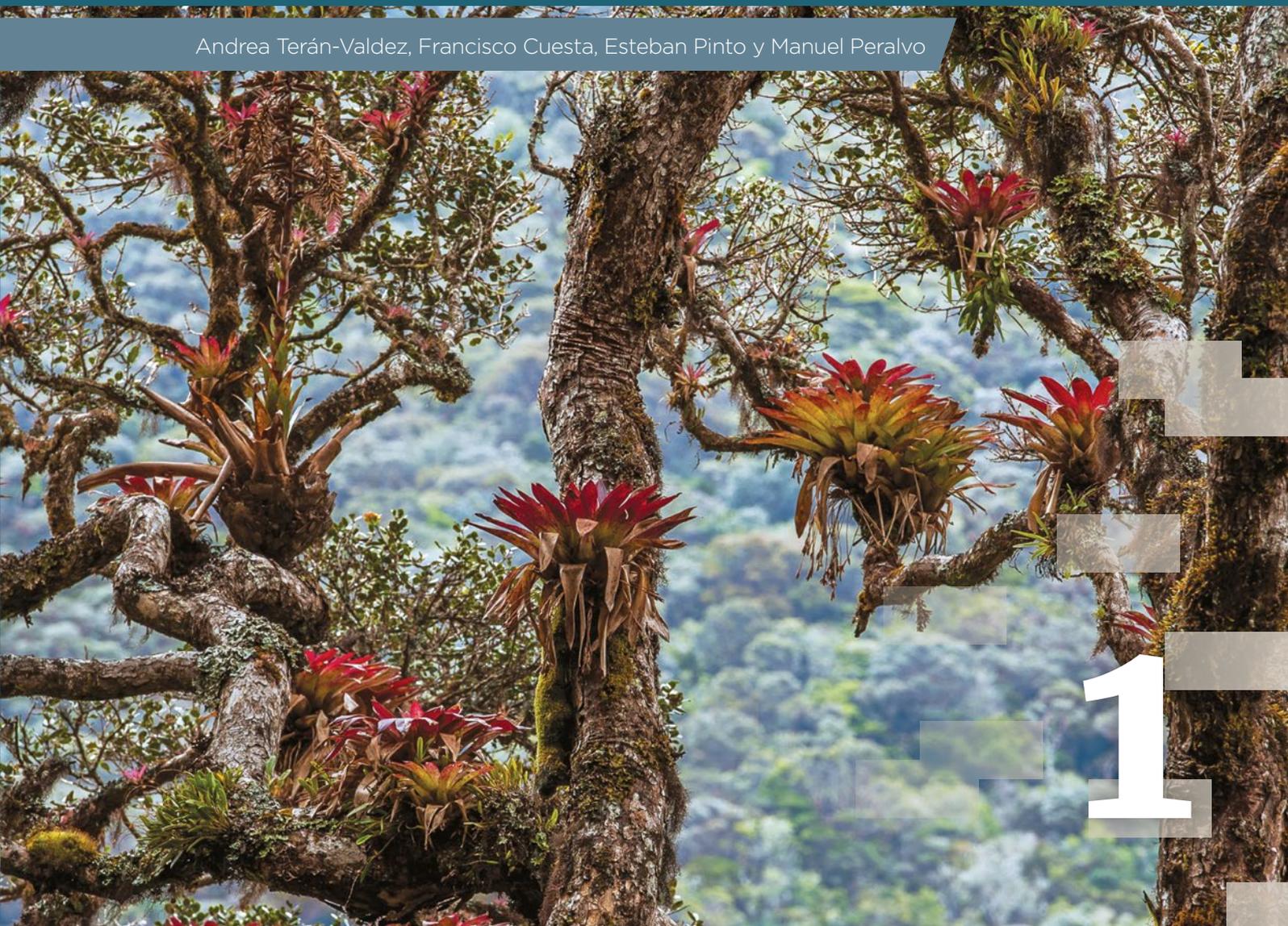
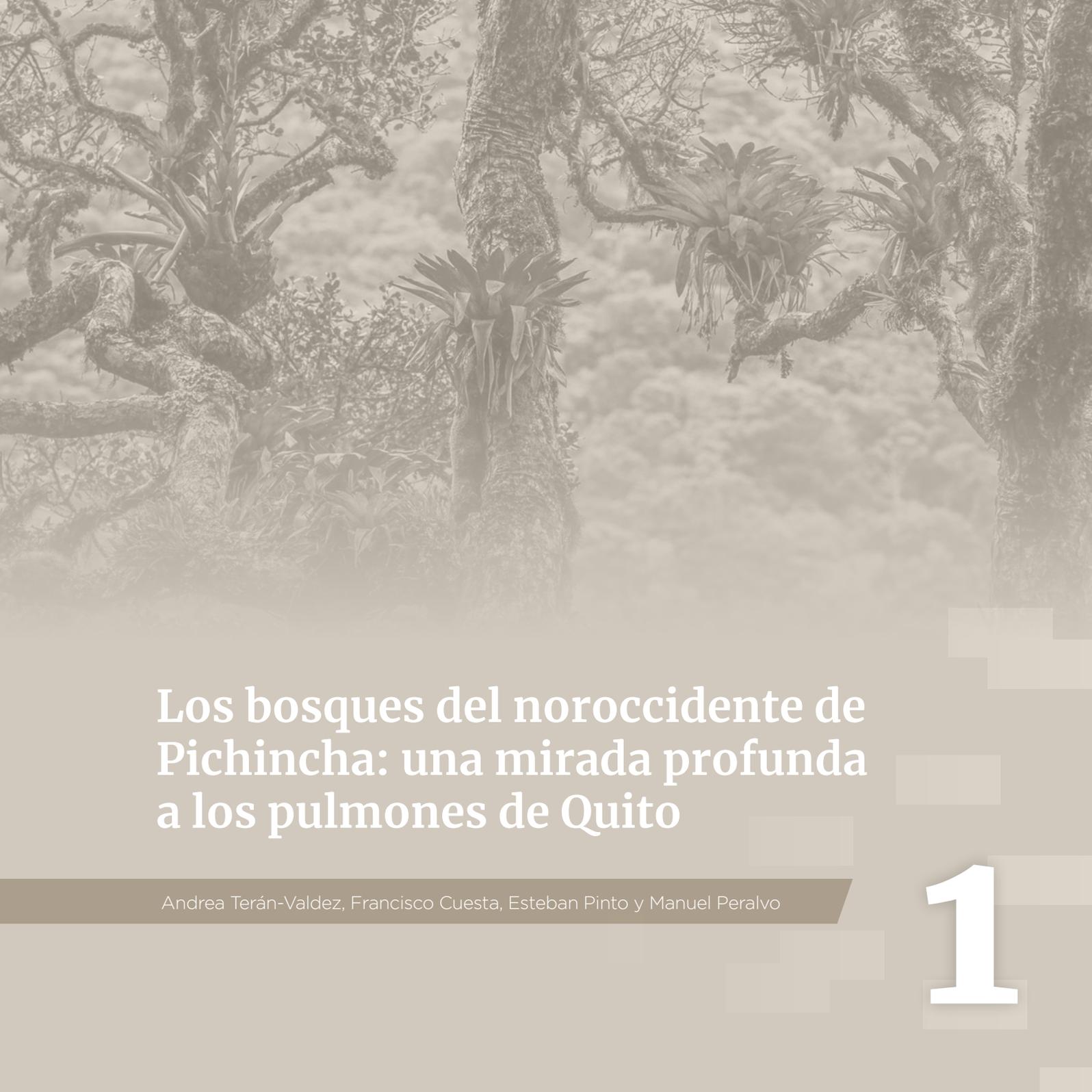


Los bosques del noroccidente de Pichincha: una mirada profunda | a los pulmones de Quito

Andrea Terán-Valdez, Francisco Cuesta, Esteban Pinto y Manuel Peralvo



1

A sepia-toned photograph of a forest. The image shows several tree trunks with bromeliads growing on them. The background is a dense forest of trees. The overall tone is muted and historical.

Los bosques del noroccidente de Pichincha: una mirada profunda a los pulmones de Quito

Andrea Terán-Valdez, Francisco Cuesta, Esteban Pinto y Manuel Peralvo

1

Consortio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina - CONDESAN

Oficina en Lima-Perú:

Las Codornices 253
Surquillo
Tel. +51 1 618 9400

Oficina en Quito-Ecuador:

Germán Alemán E12-123 y
Carlos Arroyo del Río
Tel. +593 2 2248491

condesan@condesan.org | www.condesan.org

©CONDESAN. 2019

ISBN: 978-9942-809-02-5

Autores: Andrea Terán-Valdez¹, Francisco Cuesta^{1,3}, Esteban Pinto¹ y Manuel Peralvo

1 Área de biodiversidad CONDESAN.

2 Área de medios de vida y paisajes sostenibles CONDESAN.

3 Department of Ecosystem & Landscape Dynamics, University of Amsterdam, Netherlands.

Corrección de estilo, ilustración, diseño gráfico y diagramación:

Manthra Comunicación · www.manthra.ec · info@manthra.net

Fotografía portada:

Dimas Olaya

Favor citar este documento de la siguiente forma:

Terán-Valdez, A., Cuesta, F., Pinto, E., y Peralvo, M. 2019. Los bosques del noroccidente de Pichincha: una mirada profunda a los pulmones de Quito. Proyecto EcoAndes, CONDESAN, Quito, Ecuador.

Esta publicación fue desarrollada en el marco del Proyecto EcoAndes y el Programa Bosques Andinos, financiados por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) y la Cooperación Suiza para Desarrollo y Cooperación (COSUDE), respectivamente. El Proyecto EcoAndes se implementó a través del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (ONU-Medio Ambiente) y ejecutado por el Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN) en Ecuador y Perú.



Con el apoyo de:

MINISTERIO DEL AMBIENTE



PERÚ
Ministerio del Ambiente



| Presentación

Este documento expone los resultados de 2 años de monitoreo de biodiversidad y carbono en los bosques montanos del noroccidente de Pichincha, en un gradiente de elevación que va de 500 a 3.900 m. Por la diversidad de ecosistemas presentes y por la alta vulnerabilidad ante presiones de actividades humanas (antrópicas) e impactos del cambio climático, este territorio fue priorizado para trabajar en manejo de recursos naturales a escala de paisaje. Distintos esfuerzos institucionales se concentran alrededor de tres ejes clave: (1) conservación de la naturaleza, (2) restauración de áreas degradadas y (3) producción agrícola sostenible.

El sistema de monitoreo en bosques y diferentes estudios sobre restauración ecológica y sistemas de producción sostenible fueron impulsados por CONDESAN¹, en colaboración con la Fundación Imaymana y propietarios de importantes reservas privadas.

El monitoreo se realizó en las reservas Mashpi Shungo/Pambiliño, Mashpi Lodge, Sacha Urcu, Reserva Río Bravo, Reserva Intillacta, Bellavista Cloud Forest, El Cedral Ecolodge, Reserva Verdecocha y Reserva Yanacocha (Figura 1).

El sistema de monitoreo se estableció para incrementar el conocimiento sobre estos ecosistemas. En particular, se estudiaron los contenidos de carbono en todos los reservorios de un bosque, su productividad y los patrones de variación en el gradiente de elevación. Las parcelas de monitoreo se instalaron en localidades representativas de bosques secundarios en diferentes estadios, con un promedio de recuperación de 25 años (± 5).

1. Este trabajo fue parte del proyecto EcoAndes y del Programa Bosques Andinos. El Proyecto Binacional EcoAndes-Multiplicando los beneficios ambientales y sociales proveídos por la biodiversidad y los reservorios de carbono de los ecosistemas alto andinos fue implementado desde 2014 hasta 2018. El Programa Bosques Andinos-Mejoramiento de las capacidades de adaptación y mitigación frente el cambio climático en los bosques andinos se implementa desde 2014 hasta 2019 por un consorcio conformado por CONDESAN y HELVETAS Swiss Intercooperation, y financiado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE). www.condesan.org

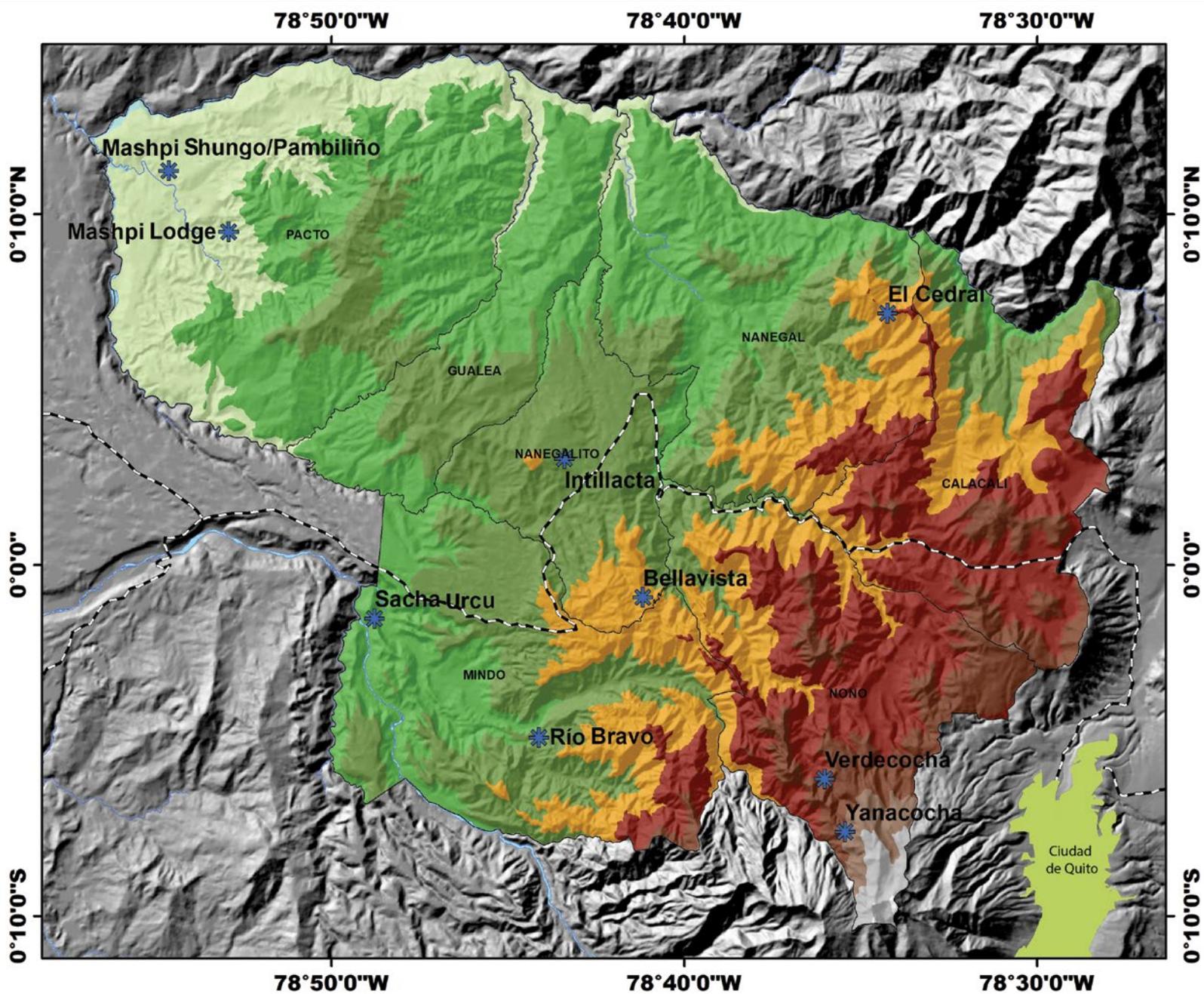


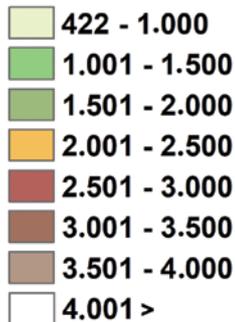
Figura 1. Mapa de ubicación de las reservas donde están instaladas las parcelas de monitoreo de biodiversidad y carbono.
Elaborado por: Edwin Ortiz y Andrea Terán



Simbología

-  Carretera principal
-  Parcelas de monitoreo

Rangos de elevación (m)



Fuente: IGM

También se presentan resultados del monitoreo de prácticas de restauración ecológica, de contenidos de carbono y diversidad en prácticas agroforestales en sistemas de café y cacao. Adicionalmente, se incluye información obtenida mediante un análisis de cambios de cobertura y uso de la tierra (CCUT), que permite comprender la dinámica histórica reciente de uso del suelo en las parroquias involucradas en los diferentes estudios.

Estos estudios son analizados e interpretados bajo un enfoque de paisaje, donde el manejo de recursos naturales se basa en la recuperación y conservación de los remanentes de ecosistemas y en la producción sostenible de la tierra. El noroccidente de Pichincha se caracteriza por ser un mosaico de usos de suelo. Fragmentos de bosque se cruzan con áreas agrícolas y pecuarias. Por eso es fundamental vincular la conservación con la producción agrícola, y trabajar en una visión de desarrollo que integre la conservación de la naturaleza y el bienestar humano.

Este documento está dirigido principalmente a dos grupos: propietarios de las reservas involucradas, para que el conocimiento generado pueda ser utilizado en la gestión de cada reserva y así ser difundido a un público más amplio, como vecinos, turistas o estudiantes, y Gobiernos Autónomos Descentralizados Parroquiales (GAD) del noroccidente. Con esto se busca generar una mejor gestión del territorio.



Características generales de la zona de monitoreo

El noroccidente de Pichincha está localizado en la cordillera occidental de los Andes, al norte de Ecuador, en una altitud desde 424 hasta 4.600 m. Tiene una geografía accidentada y gran parte del territorio tiene pendientes fuertes o muy fuertes, superiores a 37% (Ortiz, 2018). Según la Clasificación de Ecosistemas del Ecuador Continental, en esta región se encuentran los siguientes ecosistemas: bosque siempreverde piemontano, bosque siempreverde montano bajo, bosque siempreverde montano, bosque siempreverde montano alto, bosque de *Polylepis*, y páramo herbáceo (MAE, 2013).

Estos ecosistemas se caracterizan por ser húmedos o hiperhúmedos. La temperatura es relativamente constante a lo largo del año. Son bosques multiestratos, con un dosel arbóreo de 20 a 30 m de altura y árboles emergentes sobre los 35 m (MAE, 2013). La Tabla 1 muestra las características climáticas de cada ecosistema.

Tabla 1. Clima general de los distintos ecosistemas presentes en el noroccidente de Pichincha. Las estaciones climáticas de donde se obtuvieron los datos de precipitación son: B. piemontano-La Bonita, 636 m, B. montano bajo-Chiriboga, 1.898 m, B. montano-Buenos Aires-2.193 m, B. montano alto-Achupallas, 3.161 m (MAE, 2013). Los datos de temperatura fueron obtenidos de loggers instalados en las parcelas de monitoreo.

Ecosistema: bosque siempreverde	Reservas	Altitud (m)	Precipitación anual promedio (mm)	Temperatura media (°C)	Época lluviosa	Época seca
Piemontano	<ul style="list-style-type: none"> • Mashpi Lodge • Mashpi Shungo/Pambiliño 	300 - 1.400	2.203	20,6	noviembre - abril	mayo - agosto
Montano bajo	<ul style="list-style-type: none"> • Sacha Urcu • Río Bravo • Intillacta 	1400 - 2.000	2.815	17,2	diciembre - mayo	junio-octubre
Montano	<ul style="list-style-type: none"> • Bellavista • El Cedral 	2.000 - 3.100	1.992	14,1	diciembre - mayo	junio-octubre
Montano alto	<ul style="list-style-type: none"> • Yanacocha • Verdecocha 	3.100 - 3.600	1.236	8,5	marzo - abril	junio - septiembre

Cambio de cobertura y uso de la tierra en la zona

La zona presenta diferentes usos de suelo, de los cuales 60% corresponde a bosques, 0,7% a páramo y 39% a actividades humanas o antrópicas (asentamientos urbanos, agricultura y ganadería) (Ortiz, 2018). Predominan sistemas de pequeños productores agrícolas y ganaderos. La ganadería, el uso de la tierra más extendido en el área, cubre el 80% del área intervenida (IEE, 2013).

Existe evidencia de ocupación humana en el Noroccidente de Pichincha desde 5.000 a.C. Sin embargo, las reformas agrarias de los 60 y 70 del siglo pasado y la construcción de la vía Calacalí - La Independencia a finales de los 90 son los

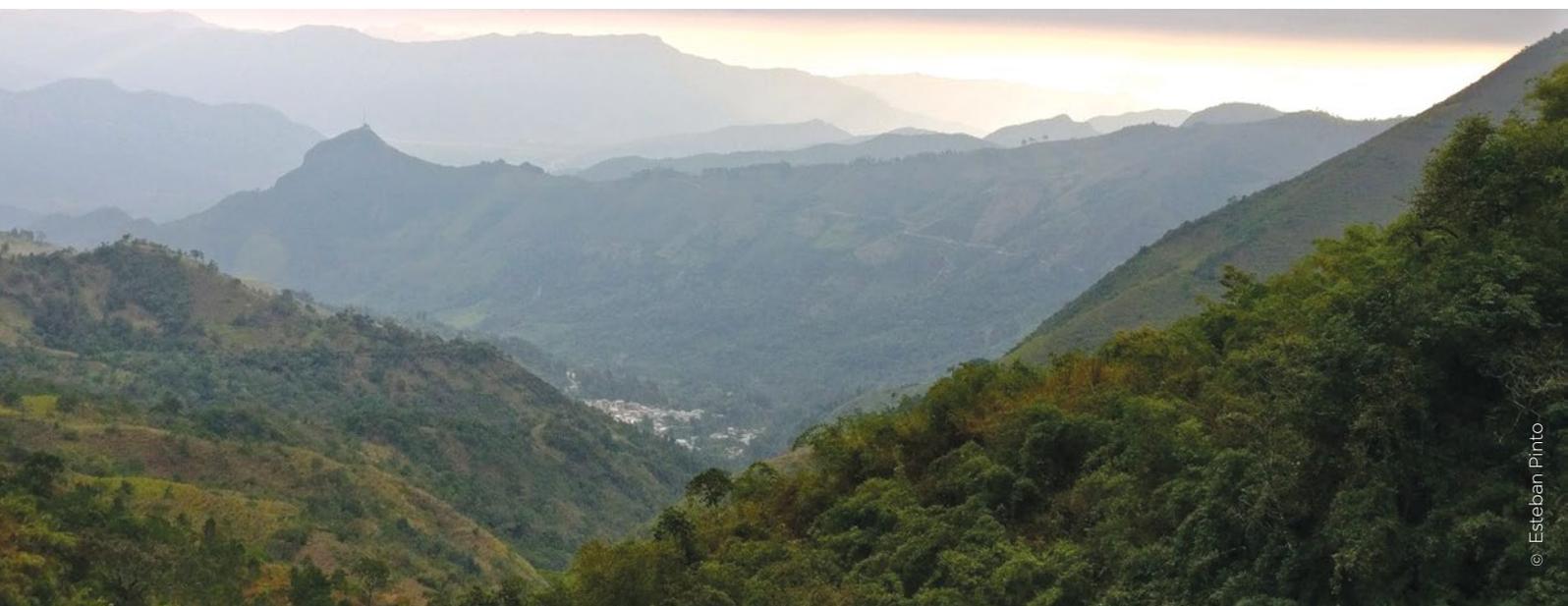
períodos más importantes de expansión de usos agropecuarios en el área. En los últimos 26 años, desde 1991 hasta 2017, la pérdida bruta de bosque ha sido de 16.912 ha (17% en relación a la cobertura en 1991). Esto equivale a una tasa de pérdida anual de 0,66% (Tabla 2, Figura 2).

Tabla 2. Datos de deforestación por parroquia.

Parroquia	Área de bosque 2017 (ha)	Área agrícola 2017 (ha)	Deforestación 1991-2017 (ha)	Deforestación 1991-2017 (%)	Tasa de cambio anual (%)
Gualea	5.612	6.446	1.973	16,4	-0,63
Pacto	21.287	13.411	4.583	13,2	-0,51
Nanegal	17.744	6.855	1.062	4,3	-0,17
Mindo	22.322	4.573	594	2,2	-0,08
Calacalí	5.730	13.209	245	1,3	-0,05
Nanegalito	7.649	4.878	28	0,23	-0,01
Nono	10.368*	9.775	27	0,13	0,00

*Nono cuenta, además, con 1.099 ha de páramo.

Fuente: Ortiz, 2018



Las parroquias con mayor pérdida de bosque son Gualea y Pacto. Nanegalito y Nono son las que menor porcentaje de cambio presentan en los años mencionados (Ortiz, 2018). Esta pérdida de bosque genera una desconexión entre los ecosistemas presentes en el paisaje, lo que altera las funciones de los ecosistemas y pone en riesgo la conservación de algunas poblaciones de especies y ciertos servicios ecosistémicos a mediano y largo plazo.

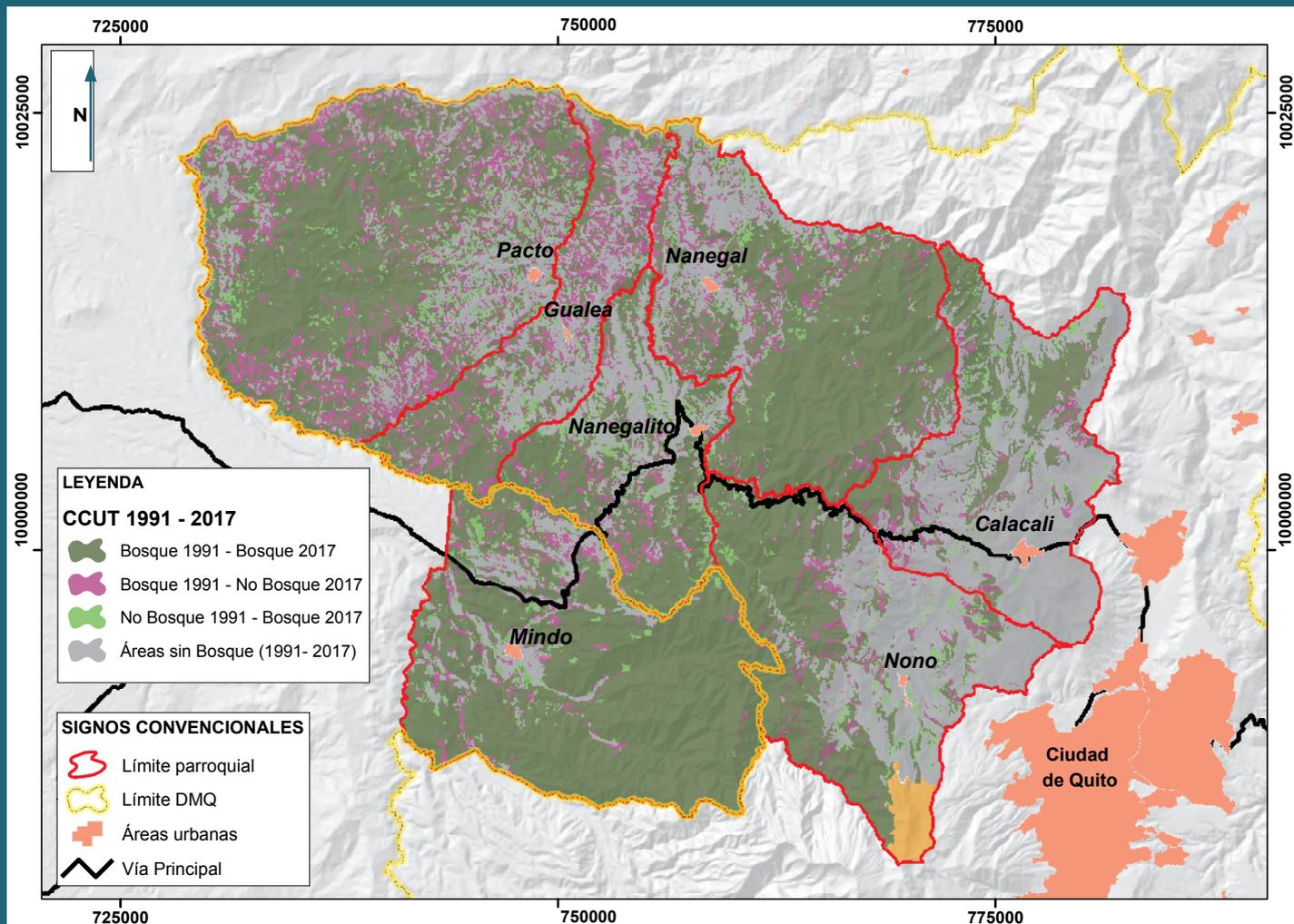


Figura 2. Mapa de cambio de cobertura de suelo para el período 1991-2017 en el noroccidente de Pichincha. **Fuente:** Ortiz, 2018.

Se observa una recuperación de 8.400 ha de bosque para el mismo período, equivalentes a 8,5% de la cobertura en 1991. Si se considera esta recuperación en las estadísticas, la pérdida neta de bosque (pérdida bruta menos bosque recuperado) es de 8,6%. Esto equivale a una tasa de pérdida anual de 0,33%. Sin embargo, los datos de recuperación de bosque no permiten determinar con certeza el estado del bosque recuperado ni la estabilidad del mismo. Es probable que muchos fragmentos recuperados se transformen a otros usos de la tierra en un futuro cercano, ya que en gran parte del territorio no es raro que se deje remontar partes de las fincas unos años y luego se tumba el bosque secundario joven para establecer cultivos de ciclo corto, como naranjilla o tomate de árbol. Los datos de pérdida y recuperación de bosque deben ser analizados bajo esa consideración.

Los patrones de deforestación observados tienen que ver con un uso del territorio en el que convergen factores socioeconómicos, biofísicos y geográficos. En el noroccidente hay diferencias en la remanencia de bosque a escala de finca, asociadas a la interacción entre la topografía, la accesibilidad, las características agroecológicas de los sistemas productivos locales y las figuras de gestión del territorio.

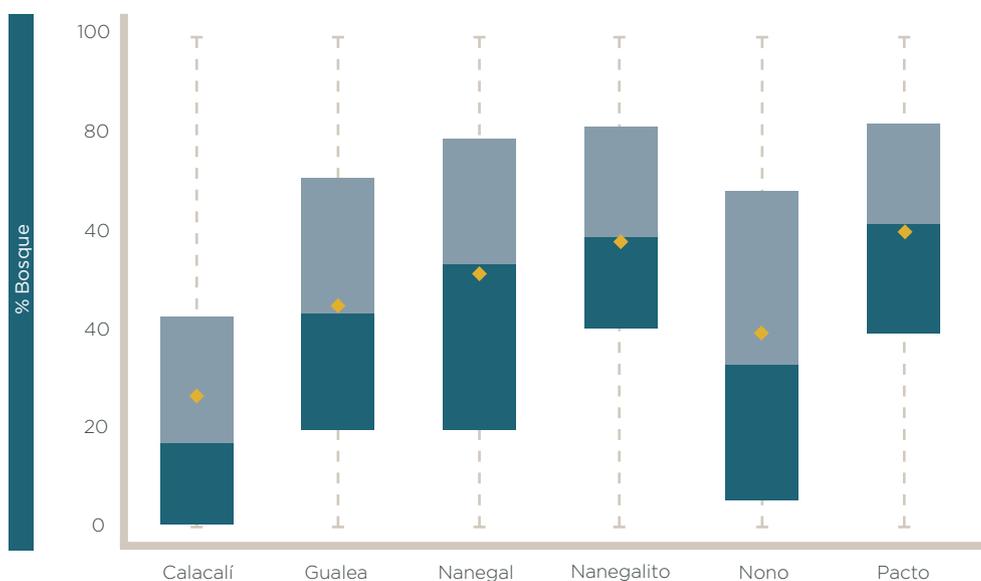


Figura 3. Remanencia promedio de bosque (en porcentaje) de bosques en fincas catastradas en seis parroquias del Noroccidente del DMQ. **Fuente:** Peralvo *et al.*, 2018.



En general, la remanencia promedio a nivel de finca es menor en las parroquias de la parte alta (Calacalí y Nono, 26% y 39% respectivamente). En Nanegalito y Pacto está alrededor de 60% (Figura 3).

Existen diferencias importantes entre las fincas ubicadas en las Áreas de Conservación y Uso Sostenible (ACUS) y el Corredor Ecológico del Oso Andino, con una remanencia promedio de entre 60% y 70%, y las fincas fuera del Sistema Metropolitano de Áreas Naturales Protegidas (SMANP) con un promedio de 38% (Figura 4).

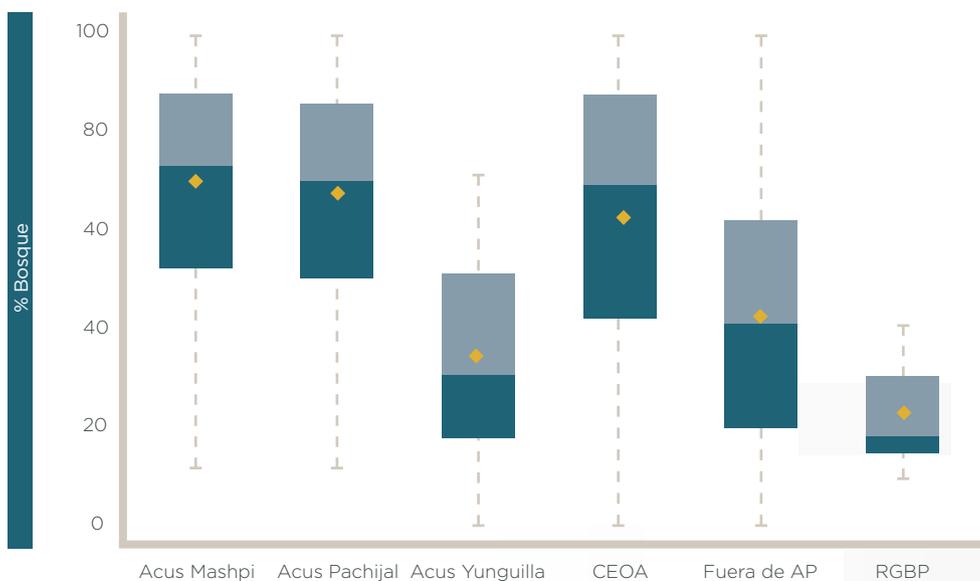


Figura 4. Patrones de remanencia promedio de bosque (en porcentaje) en fincas catastradas dentro y fuera de las áreas del SMANP. **Fuente:** Peralvo *et al.*, 2018. CEOA: Corredor ecológico del oso andino; AP: Área protegida; RGBP: Reserva geobotánica Pululahua.



La tasa de pérdida bruta anual para los bosques montaños occidentales de Ecuador fue de 0,75% en el periodo 1990-2016 (Pinto *et al.*, 2018). La tasa de deforestación anual a nivel nacional en el periodo 2014-2016 fue de 0,74%. Todas las parroquias se encuentran por debajo del índice nacional, excepto Guala y Pacto (con altas tasas de deforestación, muy cercanas a la tasa de pérdida nacional). Esto refleja la conservación de los bosques en ciertas parroquias y también evidencia la intensa transformación histórica. Las tasas de deforestación son bajas por escasez de bosque, no por un cuidado del ambiente.

Se observa una relación positiva entre la remanencia de bosque y la pendiente promedio de las fincas, así como entre la remanencia de bosque y la distancia al centro poblado más cercano. Los patrones sugieren que los bosques remanentes están confinados a áreas poco accesibles con elevada pendiente. Esto plantea un reto importante para conservar los remanentes de bosque y recuperar la conectividad en el gradiente de elevación, en áreas con distintos usos agropecuarios.

Manejo sostenible de la tierra con enfoque de paisaje

Dadas estas cifras de pérdida de ecosistemas y los impactos generados, es fundamental promover actividades para mejorar la conectividad del paisaje y apoyar la recuperación de biodiversidad y servicios ecosistémicos. Por eso, este documento se enfoca en tres ejes: la conservación de los remanentes de bosque, la restauración de bosques en áreas no aptas para la producción, y el mejoramiento de la producción agrícola y pecuaria a través de prácticas sostenibles. El trabajo en estos tres ejes aporta al desarrollo sostenible del territorio, donde el bienestar de las personas se conjuga con la protección de la naturaleza, asegurando los recursos naturales para las presentes y futuras generaciones (Figura 5).



Figura 5. Representación de un paisaje que incorpora los tres ejes que incorpora los tres ejes de manejo sostenible de la tierra en su gestión territorial. **Fuente:** Aguilar-Garavito *et al.*, 2015.

La cantidad de bosque remanente en el noroccidente de Pichincha, su accesibilidad y su cercanía a Quito generan condiciones únicas y confieren un alto potencial para actividades de turismo de naturaleza, educación, capacitación, investigación, producción agroecológica, entre otras actividades. Por lo que, es de gran importancia gestionar la conservación de los remanentes de bosque.

Las actividades agrícolas convencionales ejercen una presión constante sobre estos bosques y los ponen en riesgo. La producción convencional (ganadería extensiva, monocultivos, uso de agroquímicos) genera pérdida y contaminación del suelo y agua, demanda por tierra y otras externalidades socio-ambientales, que reducen el rendimiento agrícola. Esto obliga a los y las agricultoras a extender sus actividades hacia áreas de bosque que conservan suelo productivo.

Aquí cobran importancia los otros dos ejes mencionados. La restauración ecológica permitirá recuperar áreas degradadas, que ya no son útiles para la producción, pero que se podrían usar en el futuro si se las restaura. Es posible recuperar áreas de producción marginal poco aptas, como zonas de pendiente fuerte o áreas importantes para la protección de fuentes de agua (quebradas, zonas de recarga hídrica). Esta restauración debe complementarse con la promoción de prácticas productivas sostenibles (sistemas agroforestales y silvopastoriles, plantaciones forestales sucesionales, entre otras), que pueden intensificar la producción en las áreas más adecuadas para estas actividades, y permitirán conservar el suelo para una producción futura, que no se extienda a áreas de bosque o a zonas no aptas para agricultura.

La intervención de CONDESAN y sus socios estratégicos en este territorio se basó en los tres ejes mencionados. Se estudiaron los bosques para conocer su diversidad, su potencial de almacenamiento de carbono y su capacidad de regeneración natural. Se analizó la restauración ecológica, con el fin de determinar las prácticas adecuadas para las condiciones ambientales y de degradación de la zona. Se estudió el aporte de las prácticas agroforestales en la conservación de la naturaleza, para validarlas y replicarlas en otras áreas.

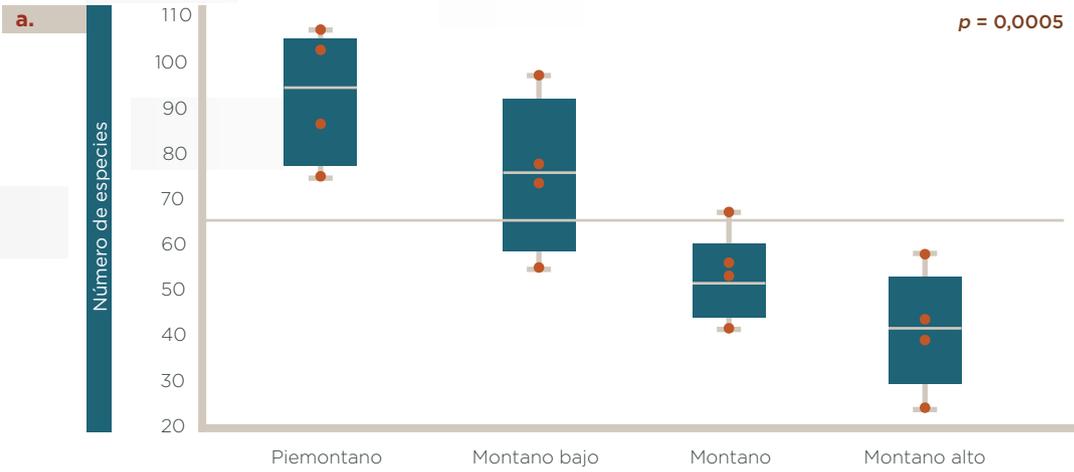


Eje 1. Los bosques del noroccidente de Pichincha

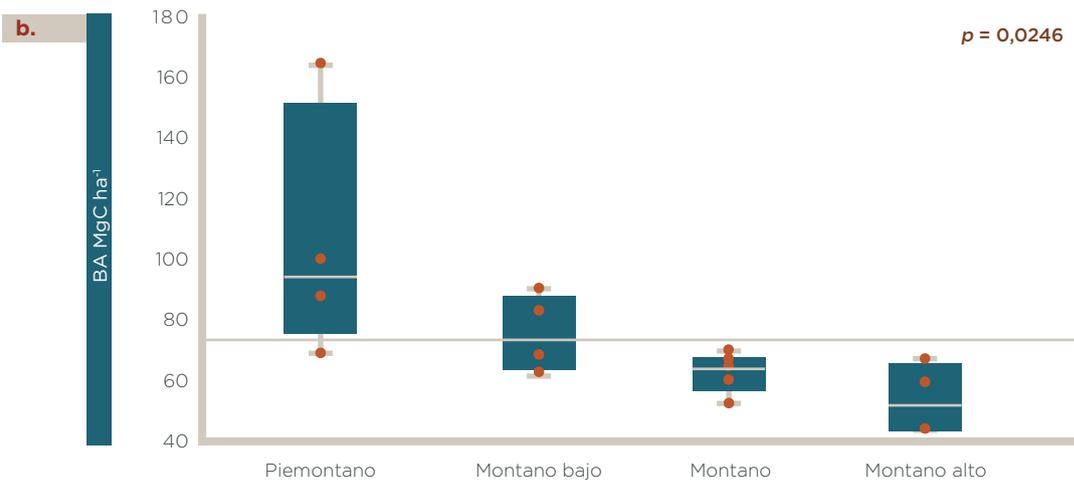
Importancia de los bosques: riqueza de especies y biomasa de los árboles

Riqueza es el número de especies encontradas en una comunidad, un paisaje o una región (Colwell, 2009), y es una manera de medir la diversidad de un área. Este documento hará referencia a la riqueza de árboles en las parcelas monitoreadas. La biomasa aérea se refiere a la materia viva seca de una planta sobre el suelo (tronco, ramas y hojas), en la que se almacena carbono (aproximadamente 50% de la biomasa de una planta es carbono) (Marklund y Schoene, 2006).

El monitoreo indica que la riqueza de la comunidad de árboles estudiada está correlacionada al tipo de ecosistema, resultado de las condiciones bioclimáticas de cada zona, que covarían a lo largo del gradiente de elevación. Las partes bajas de la cordillera, correspondientes a bosques piemontanos, tienen un mayor número de especies por metro cuadrado ($0,026 \pm 0,004$) que los bosques montanos altos ($0,011 \pm 0,004$), de mayor elevación. La riqueza decrece a medida que aumenta la elevación. Se observa la misma relación en la cantidad de biomasa arbórea aérea acumulada en los ecosistemas; a menor altitud, mayor biomasa y viceversa (Figura 6). Los diferentes ecosistemas son estadísticamente diferentes entre sí, en relación a la riqueza y cantidad de biomasa (ANOVA, $p = 0,0005$ y $p = 0,0246$).



16



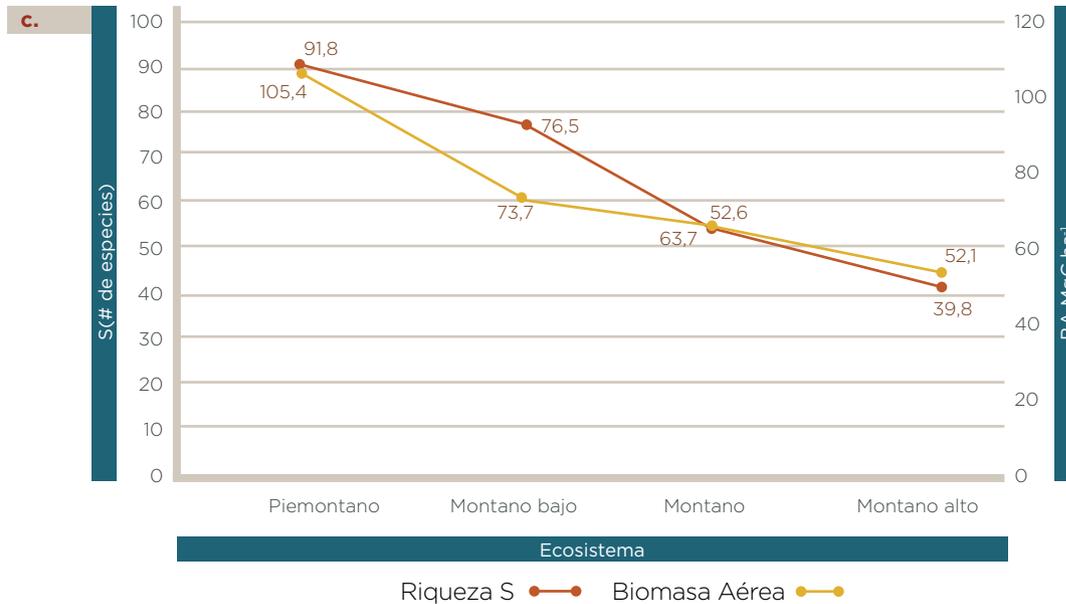


Figura 6. Relación entre la riqueza (número de especies en una parcela de 60 x 60 m) (A) y la biomasa aérea (B) con el tipo de ecosistema. Los valores presentados corresponden al Recenso 1 (medición realizada después de 2 años de la línea base). La biomasa de la figura B está expresada en cantidad de carbono almacenado. La línea horizontal dentro de cada caja muestra la media de número de especies, calculada a partir del promedio de todas las parcelas instaladas en cada ecosistema. Los extremos de las cajas muestran el número mínimo y máximo de especies. Los círculos rojos representan el valor de cada parcela. Biomasa (línea amarilla) y riqueza (línea roja) son graficados de manera conjunta para mostrar la relación entre ambos atributos (C). En los dos casos, los valores decrecen a medida que la elevación incrementa.

Este primer monitoreo sugiere una relación directamente proporcional entre la riqueza de la comunidad de árboles en un área y la biomasa acumulada en el sistema. Resultados similares han sido reportados por Ferreira *et al.*, (2018) en gradientes de disturbio en bosques de Brasil, donde la biodiversidad de árboles se asoció positivamente con el carbono en bosques primarios, secundarios y altamente perturbados.

Sin embargo, las relaciones positivas carbono-biodiversidad se disiparon cuando los bosques acumularon cerca de 100 MgC ha⁻¹. Esto significa que, en bosques menos perturbados, la cantidad de biomasa acumulada no refleja su biodiversidad. Esta relación se puede observar en la Figura 7. La parcela de Mashpi Lodge, que es un bosque maduro conservado, se aleja de la relación.

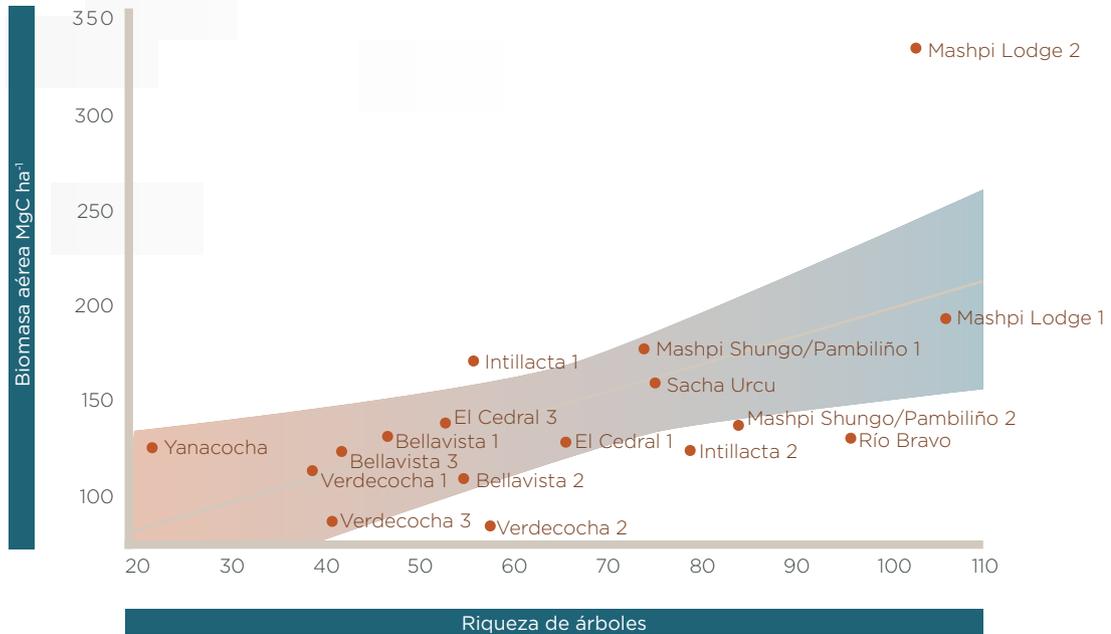


Figura 7. Relación entre la riqueza y la biomasa de las parcelas de monitoreo. El R^2 es de 0,37, y la relación es altamente significativa, con un $p = 0,0096$. La zona sombreada en naranja y azul representa el intervalo de confianza de la relación. Los puntos que están fuera de esta zona, son valores que se alejan de esta relación. Tanto la biomasa como la riqueza fueron reportados para cada parcela.

Se debe tener precaución con las medidas de conservación basadas en el carbono almacenado en los ecosistemas, pues no siempre reflejarán la biodiversidad, especialmente en remanentes con altos niveles de conservación.

Esta relación sugiere que, para priorizar áreas de conservación, la cantidad de biomasa almacenada en los bosques no debe ser el único criterio de definición; la mitigación del cambio climático uno de ellos, pero no el único. La priorización de áreas de conservación es un enfoque normativo de planificación territorial, que debe integrar múltiples objetivos enfocados a contribuir al desarrollo sostenible.

El carbono también se encuentra en otros compartimentos del bosque, como raíces, hojarasca, árboles muertos en pie y carbono orgánico del suelo

(Figura 8). El presente monitoreo cuantificó el carbono en otros dos reservorios, la necromasa (hojarasca y árboles muertos en pie) y el suelo. La biomasa subterránea no fue considerada por su dificultad de estimación².

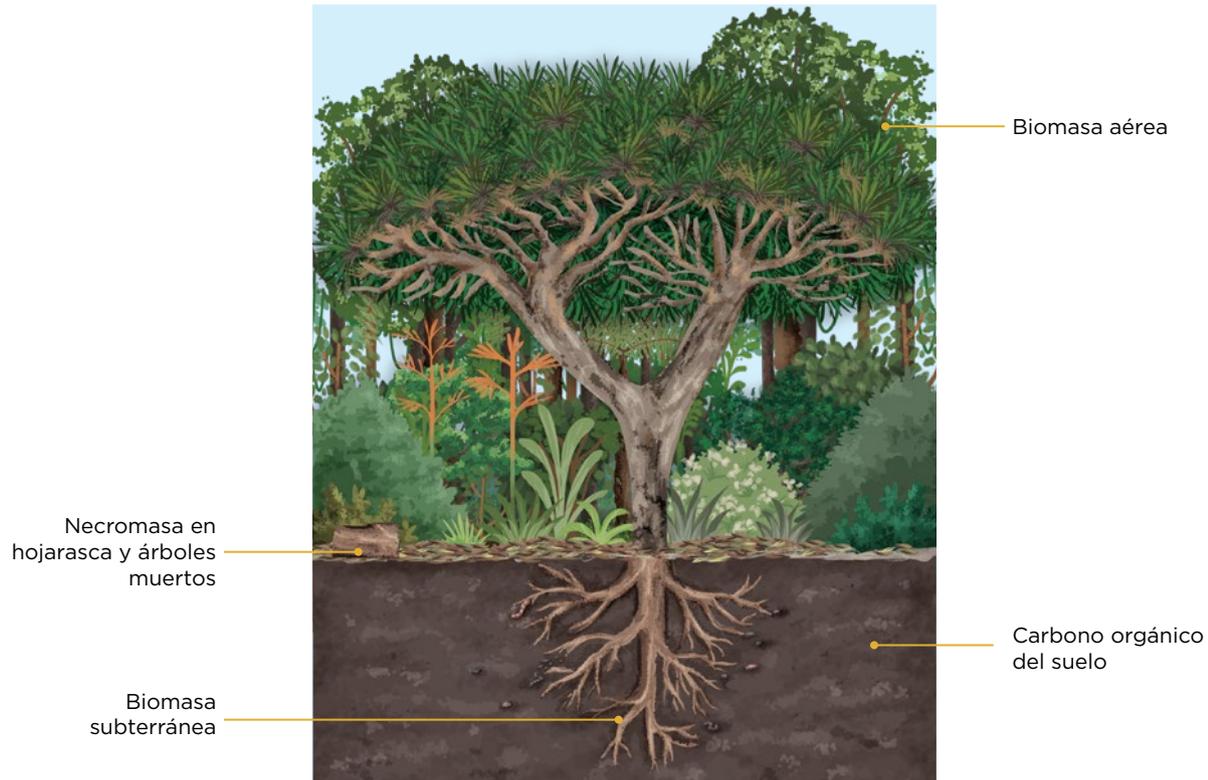


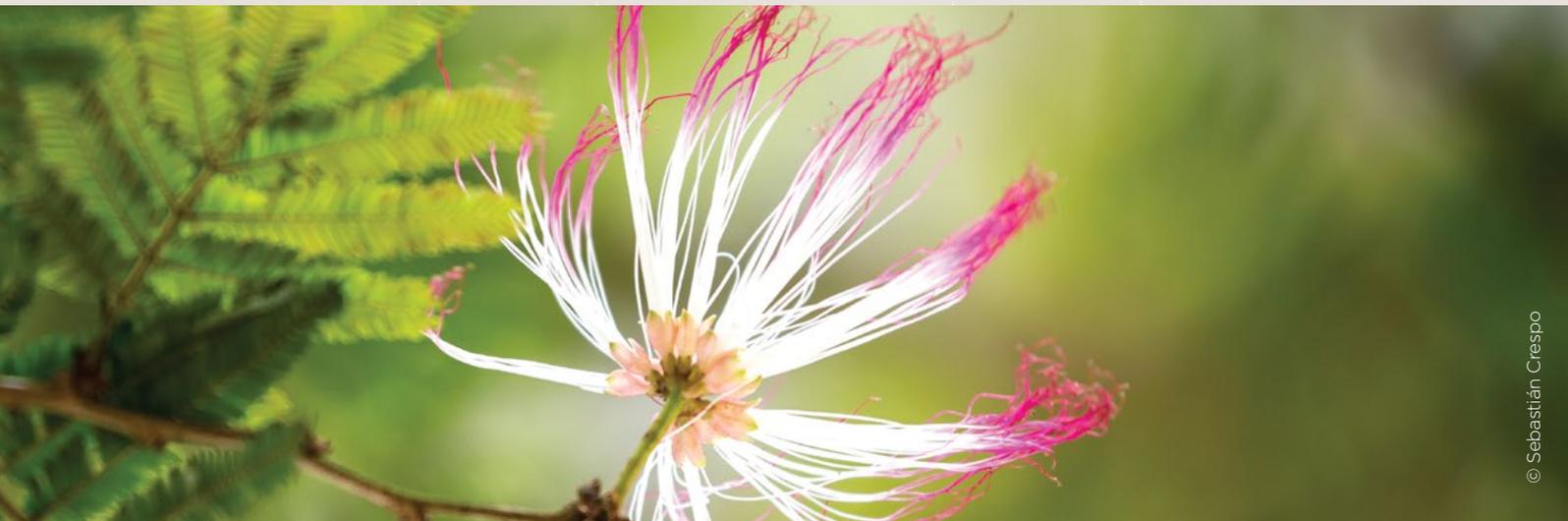
Figura 8. Reservorios de carbono dentro de un bosque. Biomasa aérea, necromasa en hojarasca, necromasa en árboles muertos, biomasa subterránea y carbono orgánico del suelo. Dentro del presente monitoreo se cuantificó el carbono dentro de todos los reservorios, excepto en la biomasa subterránea.

2. La biomasa en raíces se puede estimar a través de dos métodos: cálculos con factores predeterminados, o muestras destructivas de árboles. El primero es poco preciso, pues hay factores de proporción entre biomasa aérea versus biomasa subterránea para pocas especies de árboles, y hay pocos estudios realizados para los ecosistemas de Ecuador. El segundo requiere del corte de varios individuos de la misma especie para obtener la biomasa presente en las raíces, que varía entre las especies. Este método es costoso y de difícil logística. Por esos motivos no se incluyó el cálculo de biomasa en raíces en el presente monitoreo.

La necromasa alberga una pequeña porción (2,75 - 7%) del carbono en el sistema. El suelo almacena una gran proporción (30 - 60%) (Tabla 3, Figura 9). La estimación de este último reservorio es costosa, pero es muy importante para no subestimar la cantidad de carbono presente en un ecosistema.

Tabla 3. Carbono almacenado en los diferentes reservorios (biomasa aérea, necromasa y carbono orgánico del suelo) para todas las reservas. Se presenta la media \pm la desviación estándar.

Reserva	# parcelas	Biomasa	Necromasa	Suelo	Carbono total
Bellavista	3	60,6 \pm 5,8	7,0 \pm 1,9	48,7 \pm 2,7	116,2 \pm 7,9
El Cedral	2	65,3 \pm 1,5	9,9 \pm 3	101,8 \pm 48,9	177 \pm 53,4
Intillacta	2	73,7 \pm 16,6	10,7 \pm 2,5	64 \pm 18,3	148,4 \pm 32,4
Mashpi Lodge	2	131,4 \pm 50,6	5,8 \pm 1,7	71,8 \pm 17,6	209 \pm 66,5
Mashpi Shungo	2	78,3 \pm 12,5	9,1 \pm 0,9	48,3 \pm 4,5	135,8 \pm 8,9
Sacha Urcu	1	78,8	7,7	90,1	176,7
Río Bravo	1	62,9	9,4	31,3	103,7
Verdecocha	3	47,6 \pm 8,3	7,1 \pm 1,1	93,7 \pm 16,2	148,5 \pm 8
Yanacocha	1	62	10,7	44	116,8
Promedio general	17	72,1 \pm 28,3	8,3 \pm 2,2	68,5 \pm 27,6	148,9 \pm 39,2



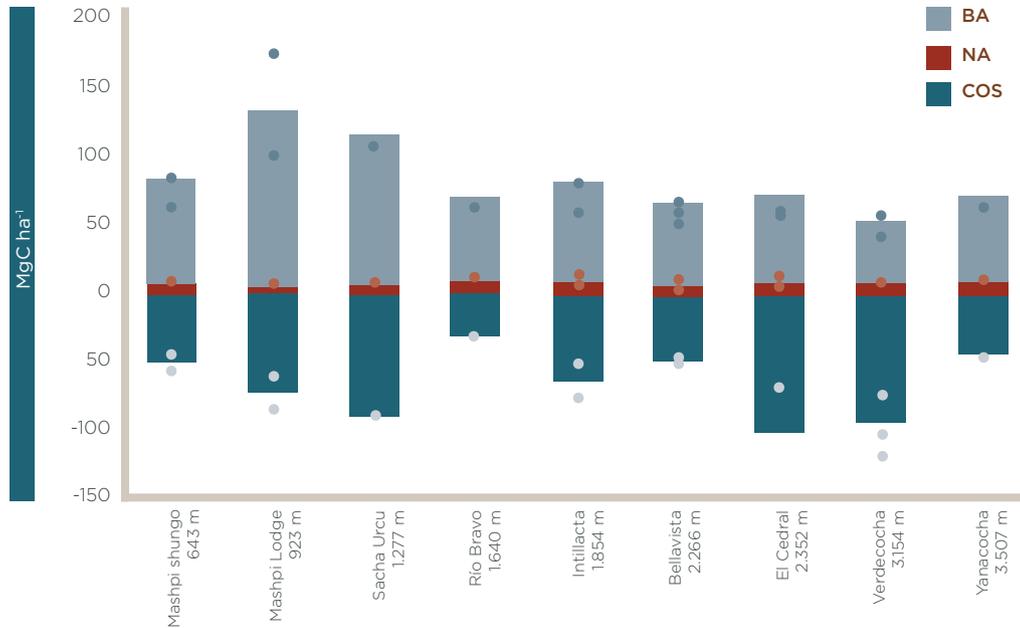


Figura 9. Carbono presente en los diferentes reservorios cuantificados. BA= Biomasa aérea, NA= Necromasa aérea, COS= Carbono orgánico del suelo. Las barras representan el promedio para todas las parcelas instaladas por reserva, y los círculos pequeños representan los valores por parcela.

El carbono del suelo es relativamente estable, en términos de variación de contenidos de carbono a lo largo del tiempo, a diferencia del carbono en la biomasa aérea, que tiene una dinámica más acelerada. Sin embargo, esta estabilidad depende del manejo del suelo. Actividades de labranza profunda generan la liberación del carbono almacenado. Por eso es mejor evitar estas prácticas, para conservar el carbono bajo el suelo.

La Figura 10 muestra la distribución del contenido de biomasa³ en el noroccidente de Pichincha, según su gradiente de elevación. El carbono almacenado en la biomasa será mayor en la parte baja, e irá decreciendo a medida que incrementa la elevación.

3. El mapa de biomasa se realizó a través de un modelamiento, usando variables de temperatura media ambiental, amplitud térmica diaria y precipitación del trimestre más seco del año.

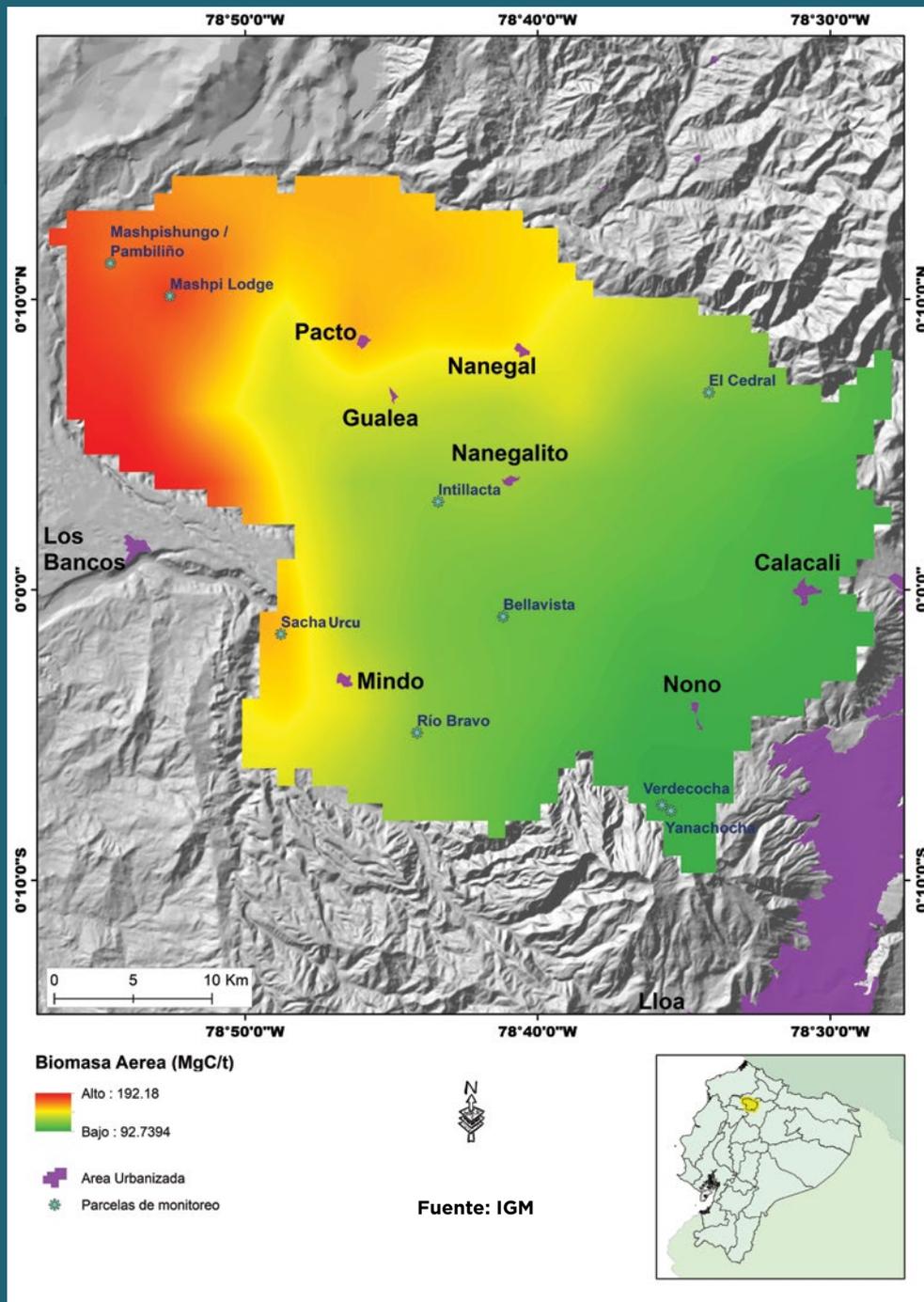


Figura 10. Mapa de carbono proyectado para todo el territorio del noroccidente de Pichincha. En rojo, los sitios con mayor cantidad de carbono, correspondiente al área de Mashpi. **Fuente:** Cuesta *et al.*, (in prep.).



Especies relevantes en el gradiente y para cada reserva

De 631 especies de árboles registradas en el gradiente altitudinal del noroccidente de Pichincha, desde Mashpi hasta Verdecocha, se seleccionaron algunas como especies focales en el territorio (Tabla 4). Estas son aquellas especies particularmente importantes, por su rol ecológico, ambiental y/o social, y pueden ser utilizadas para fortalecer esfuerzos de conservación en estas especies. No significa que el resto de especies carezcan de importancia, sino que, cada una de ellas cumple una función dentro del ecosistema. Los criterios utilizados para identificar las especies focales en el noroccidente son los siguientes.

- Especies presentes en la mayoría de las reservas donde están establecidas las parcelas de monitoreo. Estas están distribuidas a lo largo de todo el gradiente de elevación.
- Especies que se encuentran en riesgo de extinción, bajo las categorías de “vulnerable” o “en peligro”.
- Especies endémicas.
- Especies que acumulan una gran cantidad de biomasa (capacidad de captura rápida de carbono).
- Especies con varios usos que puedan ser aprovechadas de manera sostenible.

Tabla 4. Especies focales en las parcelas del noroccidente de Pichincha. Los criterios de selección se encuentran resaltados en negrita. Las especies con el espacio de reservas en blanco no se encontraron en las parcelas de monitoreo, pero estaban presentes en el territorio. Es importante incluirlas por su rareza (endemismo) y su uso difundido en el área. Mashpi Shungo/Pambiliño (MAPI), Mashpi Lodge (MALO), Sacha Urcu (SAUR), Río Bravo (RIBR), Intillacta (INTI), Bellavista (BECL), El Cedral (CEDR), Verdecocha (VERD), Yanacocha (YANA).

Especie	Nombre común	Reservas	Categoría riesgo (UICN, 2004)	Endemismo	Biomasa aérea total (kg)*	Uso
<i>Aegiphila alba</i>	Palo blanco/ Pechuga de gallina	BECL, INTI, MAPI, RIBR	No evaluada		10,45	Madera, agroforestería, cerca viva
<i>Blakea rotundifolia</i>	Matapalo	BECL, CEDR, INTI	Vulnerable	Ecuador	1,92	
<i>Brachyotum gleasonii</i>	Desconocido	YANA	Vulnerable	Ecuador	0,3	
<i>Calliandra pittieri</i>	Chipero, carbonero		No evaluada			Ornamental, agroforestería, cerca viva
<i>Castilla elastica</i>	Caucho, cauchillo	MAPI	No evaluada		13,13	Madera, agroforestería, elaboración de caucho
<i>Ceroxylon echinulatum</i>	Palma de cera	INTI	Vulnerable		6,31	
<i>Critoniopsis occidentalis</i>	Juan negro	BECL, CEDR, INTI, MALO, MIND, RIBR, VERD	No evaluada		12,39	
<i>Croton floccosus</i>	Sangre de drago, sangre de gallina	BECL, CEDR	Casi amenazada	Bosques montanos del norte de Ecuador	28,28	Látex medicinal
<i>Cyathea caracasana</i>	Helecho arborescente, chonta	CEDR, MALO, MAPI, RIBR, VERD, YANA	No evaluada		5,23	
<i>Dacryodes cupularis</i>	Kunchai, anime	MALO, MAPI, MIND	No evaluada		22,65	Medicinal, madera
<i>Guarea kunthiana</i>	Manzano colorado, aguacatillo guatusero	BECL, CEDR, INTI, MALO, MAPI, RIBR, VERD	No evaluada		14,96	Madera

Especie	Nombre común	Reservas	Categoría riesgo (UICN, 2004)	Endemismo	Biomasa aérea total (kg)*	Uso
<i>Huberodendron patinoi</i>	Carrá		Vulnerable			Madera
<i>Magnolia chiguila</i>	Magnolia, cherimollo		Vulnerable	Pichincha e Imbabura		Ornamental, madera
<i>Magnolia mashpi</i>	Magnolia, cucharillo	MALO	Vulnerable	Pichincha	4,65	
<i>Magnolia mindoensis</i>	Magnolia		Vulnerable	Bioregión del Chocó (Colombia y Ecuador)		
<i>Miconia bracteolata</i>	Alamuja, cillooyudo	VERD, YANA	No evaluada		22,55	
<i>Miconia clathrantha</i>	Colca	BECL, CEDR, INTI, MAPI, MIND, RIBR, VERD	No evaluada		40,34	
<i>Miconia theaezans</i>	kullka blanca, amarillo	BECL, CEDR, MALO, MAPI, MIND, RIBR, VERD	No evaluada		14,87	
<i>Nectandra cf. Subbullata</i>	Canelo	BECL, CEDR, INTI	Vulnerable		24,33	
<i>Oenocarpus bataua</i>	Ungurahua, chambil, chapil		No evaluada			Madera, comestible, extracción de aceites
<i>Oreopanax grandifolius</i>	Puma maki	BECL, RIBR	Casi amenazada	Ecuador	0,04	
<i>Wettinia oxycarpa</i>	Pambil, bisola	MAPI	No evaluada		0,02	Madera, comestible, extracción de aceites

*Este valor fue calculado mediante la suma de la biomasa de todos los individuos registrados en todo el gradiente (todas las parcelas).

Mediante un estudio de presencia y abundancia de especies en cada reserva, a través de un análisis estadístico de coordenadas principales (PCO por sus siglas en inglés), se determinó que algunas especies son específicamente relevantes según el sitio por su abundancia. Estas especies diferencian un lugar de otro y caracterizan a cada reserva monitoreada (Tabla 5).

Tabla 5. Especies representativas para cada reserva por su abundancia. Información de nombre común, importancia ecológica y usos. La información de cada especie fue obtenida de Pinto *et al.*, (2018) y de la Torre *et al.*, (2008)

Especie	Nombre común	Reservas	Importancia ecológica	Uso
<i>Saurauia tomentosa</i>	Moquillo	Verdecocha	El fruto atrae pavas de monte y la flor es visitada por las abejas.	Fruto comestible. El tallo es maderable, usado en la construcción y en la elaboración de bateas y bunques.
<i>Axinaea macrophylla</i>	Amarillo	Yanacocha y Verdecocha	Desconocido	Fabricación de carbón. El tallo es usado en la carpintería y en la construcción.
<i>Chrysochlamys colombiana</i>	Desconocido	El Cedral	Las flores son visitadas por insectos y las semillas atraen aves.	El tronco es usado como leña y para la elaboración de carbón. Se usa como cerca viva.
<i>Chrysochlamys dependens</i>	Desconocido	Sacha Urcu	Sus flores son visitadas por insectos y los frutos atraen aves.	El fruto es comestible.
<i>Sapium stylare</i>	Cauchillo, cauchín	El Cedral	Útil para la restauración de bosque.	El tallo se usa para elaborar cajones y palillos de fósforos.
<i>Croton floccosus</i>	Sangre de drago, sangre de gallina	El Cedral	Útil para la restauración de bosques por su rápido crecimiento. Sus flores son visitadas por insectos y sus semillas atraen aves.	Medicinal: el látex cicatriza heridas y las hojas se usan para tratar úlceras, hongos y problemas de próstata.
<i>Prestoea acuminata</i>	Palmito, pambil	Bellavista	Desconocido	El fruto, el cogollo y las hojas son comestibles. El tallo se usa en la construcción y para elaborar lanzas. Las hojas se sirven para techar viviendas.
<i>Bunchosia argentea</i>	Amambajec-cocho	Intillacta	El fruto es alimento de monos y aves.	El fruto es comestible. El tallo es maderable.
<i>Calatola costarricensis</i>	Huevo de burro, palo azul, sapil de corazón	Río Bravo	El fruto es alimento de guantas, guatusas, dantas y saínos.	La pulpa del fruto es comestible. El tallo sirve para la construcción. Las hojas se usan para protección de caries. Tiene uso ceremonial. Se usa como cerca viva



Especie	Nombre común	Reservas	Importancia ecológica	Uso
<i>Dacryodes cupularis</i>	Copal, ánime	Mashpi	Sus flores son visitadas por insectos y los frutos atraen aves.	El fruto es comestible. El tallo se usa para elaborar chapas decorativas, embalaje y encofrado.
<i>Wettinia aequalis</i>	Chonta, bisola	Mashpi	Flores visitadas por escarabajos	El palmito es comestible. El tallo para hacer puntales en la construcción de viviendas.
<i>Geissanthus andinus</i>	Desconocido	Yanacocha y Verdecocha	Desconocido	Desconocido

Comparación de la riqueza y la biomasa entre ecosistemas

Los valores de biomasa y riqueza pueden ser difíciles de comprender e interpretar si no se tienen valores referenciales u otros sistemas para contrastar. En la Figura 11 se muestra la cantidad de biomasa aérea (en términos de carbono almacenado) y los valores de riqueza a lo largo de un gradiente de uso de la tierra. Se toman en cuenta prácticas agrícolas convencionales (plantaciones de cacao, café, y plantación forestal), prácticas sostenibles (sistemas agroforestales de café y cacao), bosques secundarios monitoreados y un bosque en Yasuní (área insignie de biodiversidad).

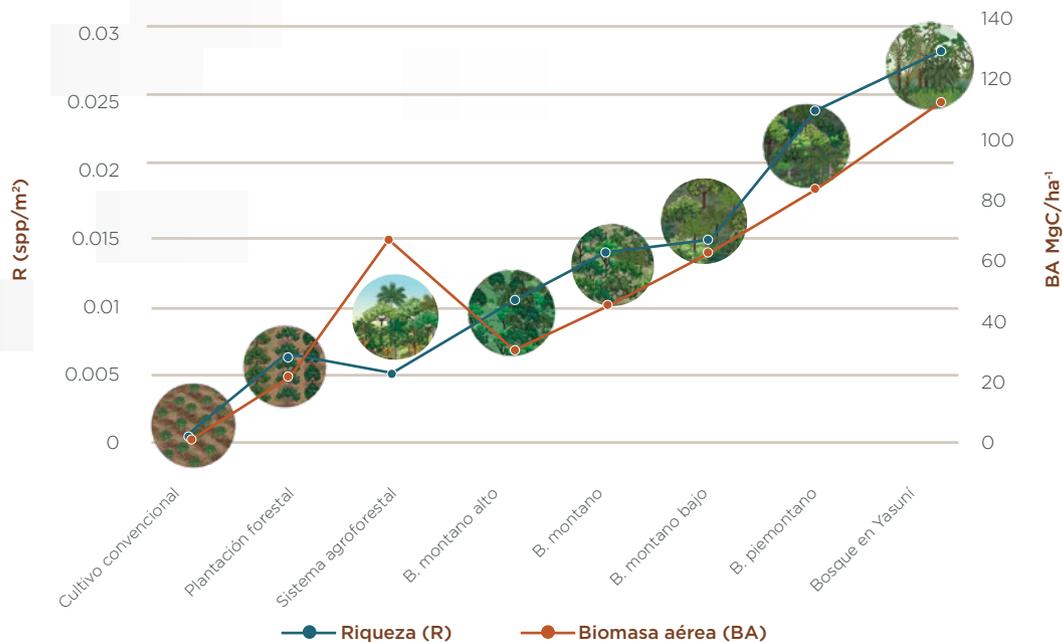


Figura 11. Valores de riqueza (R) y biomasa contrastado con diferentes tipos de uso de la tierra y tipos de ecosistemas

Los diferentes usos de la tierra representan un gradiente de conservación a lo largo de un paisaje. Las prácticas agrícolas convencionales de cultivo de cacao y café corresponden a áreas poco conservadas, con valores de riqueza y biomasa cercanos a cero. Los sistemas agroforestales de café y cacao tienen valores más altos de biomasa y riqueza que los sistemas convencionales, pero se debe considerar que la diversidad en estos sistemas es manejada.

Las especies presentes son plantadas con un interés de producción y no de conservación de biodiversidad (aunque en sistemas agroforestales más complejos, se pueden combinar estos intereses). Por eso, si bien la riqueza es alta, en algún caso cuantitativamente equiparable a la riqueza de un bosque, en términos cualitativos no es posible comparar.

No es lo mismo un bosque secundario o maduro que un sistema agroforestal con la riqueza manejada. Cada uno tiene un fin diferente y es necesario en diferentes contextos, por lo que uno no puede reemplazar a otro. Además, en estos sistemas se observa una ruptura de la relación entre biomasa y riqueza

(Figura 7), pues el sistema de café agroforestal presenta un alto valor de riqueza, pero un valor bajo de biomasa. Sin embargo, considerando ambos factores, aún es mejor establecer un sistema agroforestal manejado de forma sostenible que un sistema convencional.

No se pueden tomar decisiones de manejo en base a un solo criterio, como la cantidad de biomasa o a la riqueza de un sistema. Se debe analizar cada factor y es necesario priorizar el uso de la tierra de acuerdo a las necesidades socio-económicas, las características ambientales y los ecosistemas.

Influencia del disturbio en la dinámica de los bosques

Mediante un análisis multitemporal de cambios en la cobertura de bosque, en el periodo 1985-2000-2015⁵, se determinó el grado de fragmentación del paisaje (400 ha) alrededor de cada reserva, para lograr un proxy de disturbios en los bosques estudiados. El índice de fragmentación hace referencia al número y al tamaño de fragmentos (parches) de bosque en el paisaje de 400 ha que contiene a cada parcela de monitoreo. Un paisaje sin intervención tendría una cobertura continua de 400 ha, con un solo fragmento de bosque.

Un paisaje degradado (intervenido por actividades antrópicas como la agricultura) está compuesto por varios fragmentos de bosque, en una matriz con diferentes usos de la tierra (Figura 12). La cantidad, el tamaño de los parches en el paisaje y sus cambios a lo largo del tiempo (análisis multitemporal) brindan información sobre la historia de uso de la tierra y el nivel de disturbio de los sitios monitoreados. Conocer el grado de fragmentación es importante, pues la intervención que ha sufrido un bosque en el pasado influye en la dinámica de los reservorios de carbono y los patrones de diversidad.

5. El índice de fragmentación fue calculado a partir de imágenes satelitales Landsat, en paisajes de 400 ha, donde cada parcela está en el punto central del paisaje. Este índice constituye un proxy de la historia de uso de suelo y la degradación que han sufrido las parcelas y sus paisajes circundantes (Cuesta *et al.*, in prep.).

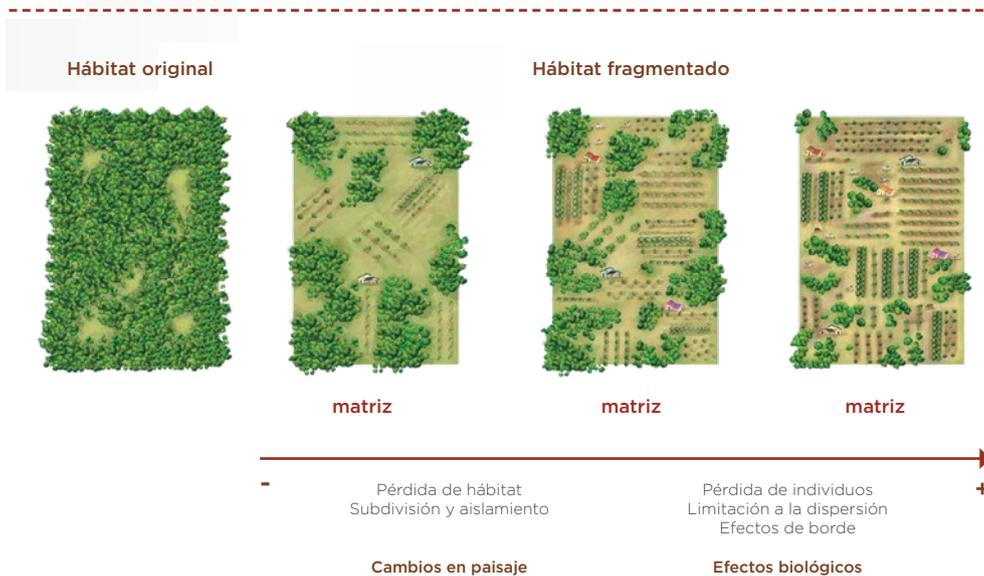


Figura 12. Esquema de un paisaje continuo, no intervenido, versus paisajes fragmentados, donde se observan diferencias entre el tamaño y la forma de los parches de bosque. A menor número y tamaño de parches, mayor fragmentación del bosque.

Este análisis determinó que los paisajes con mayor intervención humana reciente son Intillacta, Mashpi Shungo y Sacha Urcu. En la Figura 13 se observa la dinámica de cambio en el paisaje. Intillacta ya tuvo una fuerte fragmentación en 1985, que aumentó hasta el 2000. En 2015 no se evidencia un índice tan alto. Se observa la misma dinámica en Sacha Urcu, pero esta localidad conserva altos índices de fragmentación en 2015.

Mashpi Shungo tiene una historia diferente. En 1985 el paisaje no presentaba mayor fragmentación, pero en el 2000 la fragmentación incrementa considerablemente y desciende en 2015. Las otras reservas presentan valores más bajos de fragmentación.

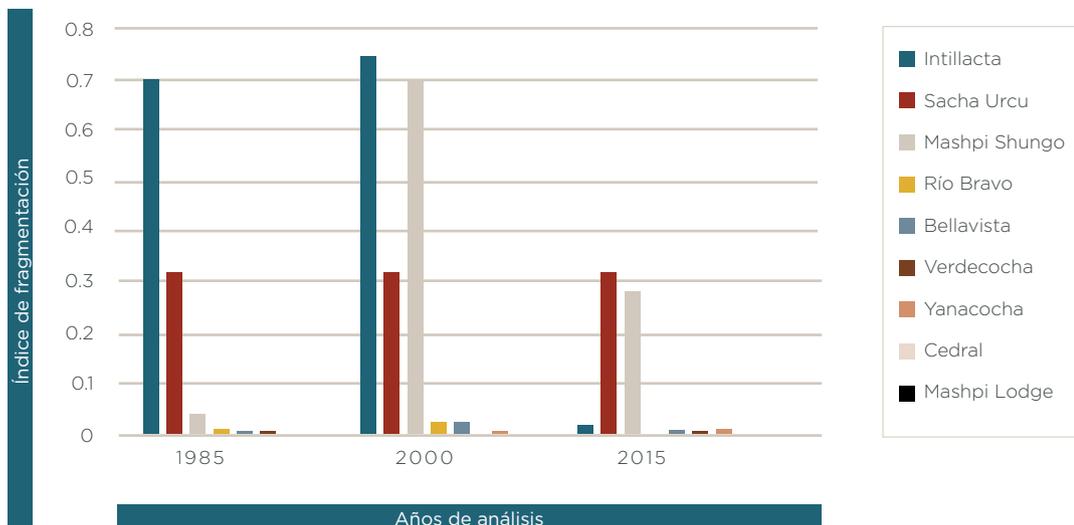


Figura 13. Valores del índice de fragmentación para cada reserva en los tres periodos analizados.
Fuente: Cuesta *et al.*, (in prep.).

La fragmentación modifica la dinámica del bosque, pues hay una correlación positiva entre la fragmentación del sitio y las tasas de reclutamiento⁶, de recambio de especies⁷ y de cambio en la biomasa de los bosques⁸ (correlación determinada con una prueba no paramétrica de Spearman) (Tabla 6). A mayor degradación (en términos de fragmentación del paisaje), mayor dinámica en el bosque, que se refleja en mayores tasas de reclutamiento, más recambio de especies e incremento acelerado de la biomasa.

6. Tasa de reclutamiento es una medida de la regeneración del bosque y se determina mediante los árboles nuevos que se miden en los diferentes censos a lo largo del tiempo.
7. El recambio de especies se refiere a la dinámica de regeneración del bosque versus la mortalidad dentro del mismo.
8. El cambio de biomasa se refiere a la diferencia de biomasa entre censos. En bosques secundarios y maduros, normalmente el cambio de biomasa es positivo y existe un incremento a lo largo del tiempo. Sin embargo, se puede dar una disminución debido a una mortalidad alta de individuos.

Tabla 6. Atributos demográficos obtenidos en los diferentes sitios de monitoreo. Se muestra la media \pm la desviación estándar.

Reserva	Porcentaje de reclutamiento anual	Tasa de recambio de especies	Tasa de cambio neto de la biomasa aérea	Cambio en biomasa entre censos MgC/ha ⁻¹
Mashpi Lodge	3,1 \pm 1,9	3,6 \pm 0,8	13,6 \pm 2,9	6,22 \pm 3,5
Mashpi shungo	11,8 \pm 2,7	9,2 \pm 3	13,5 \pm 4,5	3,65 \pm 1,7
Sacha Urcu	16	12,3	16,1	4,23
Río Bravo	18	11,5	15,3	3,22
Intillacta	17,2 \pm 8,2	12,9 \pm 6,9	21,8 \pm 2,4	5,25 \pm 1,7
Bellavista	12,7 \pm 4,6	8,9 \pm 3,4	18,1 \pm 8,5	3,65 \pm 1,9
Cedral	11,2 \pm 3,5	8,8 \pm 1,8	0,04 \pm 12	-0,11 \pm 2,8
Verdecocha	9,6 \pm 1,6	7 \pm 0,8	11 \pm 1,9	1,8 \pm 0,5
Yanacocha	9,7	6,3	13	2,73

El estado de conservación y la recuperación de un bosque se refleja en la distribución de las clases diamétricas y su cambio en el tiempo. Esto se refiere al porcentaje de individuos con diámetros pequeños, medianos y grandes, y como estos migran de una categoría a otra (Figura 14). En la mayoría de las reservas, la mayor cantidad de ganancias, se observa en la categoría de 5-10 cm. Esto se debe principalmente al reclutamiento de árboles en el segundo censo, e indica que son bosques secundarios en recuperación. En bosques más maduros, como en el caso de Mashpi Lodge, el incremento se da en clases diamétricas superiores, de 30 - 50 cm.

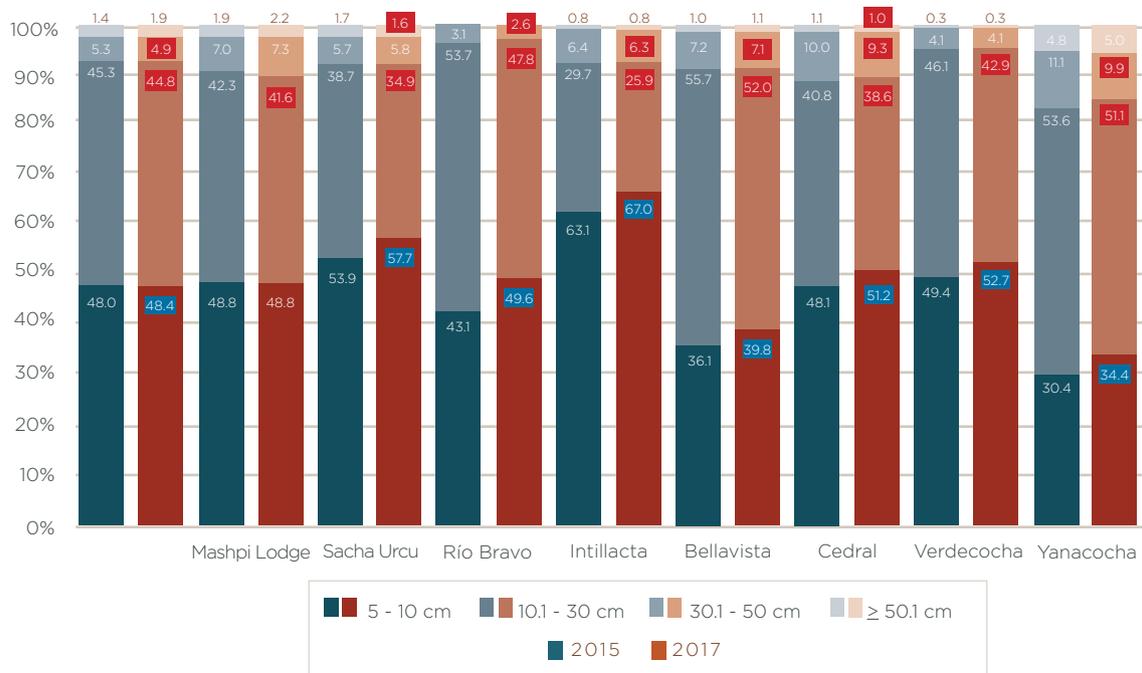


Figura 14. Distribución de clases diamétricas dentro de cada reserva. Los números en rojo representan una disminución de esa clase diamétrica, y los números en azul, un incremento.

Los cambios en las clases diamétricas se reflejan también en el cambio de biomasa entre censos (Tabla 6). La captura de carbono, producto de la ganancia de biomasa, es importante en los bosques con un mayor reclutamiento de árboles (aumento en las clases diamétricas inferiores, de 5 - 10 cm), pero es mayor en los bosques maduros (Mashpi Lodge). Esto confirma la importancia de conservar los bosques maduros como lugares de gran acumulación de biomasa aérea, y de proteger los bosques secundarios en recuperación como escenarios con alto potencial de almacenamiento de carbono a corto y mediano plazo. Los valores negativos se deben a la alta mortalidad de árboles, mayor en bosques secundarios por sus dinámicas demográficas.

Eje 2. La restauración en el noroccidente de Pichincha

Una gran área del noroccidente de Pichincha ha sido destinada a la ganadería. Parte de este territorio es apta para esta actividad. Otras no lo son por la fuerte pendiente de los Andes tropicales. Además, debido al manejo ganadero convencional y extensivo, se ha generado degradación del ecosistema y de los suelos, que pone en riesgo la conservación de los ecosistemas andinos presentes y la producción agrícola.

La restauración ecológica de áreas de conservación y de producción es fundamental en este territorio. Sin embargo, no hay suficiente información sobre las prácticas más adecuadas. En las parroquias de Nanegal, Gualea, Mindo y Nanegalito se realizó un monitoreo de áreas intervenidas por el Ministerio del Ambiente, dentro de su Programa Nacional de Restauración Forestal (PNRF), para conocer los aciertos y desaciertos de las actividades de restauración, con el fin de mejorar intervenciones futuras. Se realizaron ensayos de restauración liderados por la Fundación Imaymana, para identificar las actividades más factibles en el territorio.

El monitoreo del PNRF arrojó los siguientes resultados:

La mortalidad de los individuos plantados fue alta, superior a 25% en todas las parroquias excepto en Nanegal, donde el promedio de tasa de mortalidad en las parcelas fue menor a 10%. Esta tasa se debe a varios factores, pero principalmente a la falta de mantenimiento de las áreas después de la siembra. Nanegal, que continuó el mantenimiento de algunas áreas, presentó la tasa más baja de mortalidad, dentro de un rango aceptable. Porcentajes superiores a 25% son demasiado altos, e indican la necesidad de cambios en el manejo de las prácticas. Para iniciar cualquier actividad de restauración, es necesario planificar y contar con los recursos para mantenimientos futuros, o los esfuerzos iniciales pueden perderse.

Una práctica muy difundida fue la siembra en bloque de especies nativas con un distanciamiento de 5 x 5 m. Sin embargo, no aportó a desencadenar un proceso de regeneración natural. Esto fue evidente, pues el incremento de biomasa de las plantas sembradas fue insignificante, no crecieron de acuerdo a lo esperado ni eliminaron el pasto ganadero, que constituye una barrera para la restauración.



En algunos sitios, se desencadenó un proceso de regeneración natural⁹, pero vinculado a la cercanía de remanentes de bosque (a mayor cercanía, mayor riqueza de especies de regeneración natural) y no a la práctica implementada.

La cantidad de bosque en el territorio hace que la regeneración natural, siempre y cuando no haya barreras como el pasto miel (*Setaria sphacelata*) que no permite el crecimiento de otras especies, sea una herramienta que puede usarse para la restauración de los bosques. El costo de esta práctica es mucho menor que el de aquellas que involucran la siembra de plantas.

Sin embargo, este proceso puede ser lento. Por eso cada propietario deberá evaluar la urgencia de recuperar un sitio, y si es posible o no esperar a la regeneración natural. La velocidad dependerá de la cercanía a fuentes de semillas, a barreras existentes, al estado de degradación del sitio, entre otros factores. Para mayor información, se puede consultar la Guía de restauración para los bosques del noroccidente de Pichincha (Proaño *et al.*, 2019). Si el tiempo disponible para recuperar un área es corto, se debe intervenir con otras prácticas de siembra de plantas, especialmente especies pioneras, que aporten a la erradicación de las barreras de la regeneración natural.

Se identificó a algunas especies que respondieron de manera positiva a fuertes condiciones de degradación. Fueron las que sobrevivieron y más se desarrollaron (en términos de incremento de biomasa en el tiempo). Estas especies pueden ser consideradas para futuras intervenciones y se enlistan en la Tabla 7.

9. Regeneración natural es la capacidad de auto-recuperación de un ecosistema, es decir, es el desarrollo de flora nueva en un sitio que ha sido disturbado, sin intervención humana.

Tabla 7. Especies plantadas que tuvieron mayor supervivencia. Se muestra su aporte a la biomasa del sistema; una mayor cantidad de biomasa representa un mayor crecimiento y abundancia de dichas especies. **Fuente:** Terán-Valdez y Cuesta, en prep.

Especies	Nombre común	Incremento en biomasa kg/parcela ¹			
		Gualea	Mindo	Nanegal	Nanegalito
<i>Alnus acuminata</i>	Aliso	0,19	-	0,05	-
<i>Brunfelsia grandiflora</i>	Chiricaspi	-	0,43	-	-
<i>Carica papaya</i>	Papaya	-	-	1,08	-
<i>Cecropia gabrielis</i>	Guarumo	-	0,15	-	-
<i>Cedrela montana</i>	Cedro andino	0,29	0,61	-	0,25
<i>Cordia alliodora</i>	Laurel	0,38	-	0,49	0,26
<i>Coussapoa contorta</i>	Matapalo	-	0,27	-	-
<i>Delostoma integrifolium</i>	Yalomán	-	-	-	0,34
<i>Handroanthus chrysanthus</i>	Guayacán	1,58	-	0,05	-
<i>Inga spectabilis</i>	Guaba	0*	0,22	0,01	0,27
<i>Myrcia</i> sp a	-	-	-	0,77	0,002
<i>Nectandra acutifolia</i>	Pacche	-	0,1	0,05	0*
<i>Nectandra laurel</i>	Canelo	0,26	-	0*	-
<i>Ocotea cernua</i>	Canelo	0,17	0,02	0,46	-
<i>Ocotea floribunda</i>	Canelo	0,33	-	0,003	-
<i>Ocotea</i> sp b	-	-	0,30	-	-
<i>Palicourea amethystina</i>	Cafetillo	-	0,47	-	-
<i>Roupala monosperma</i>	Roble	-	0,15	-	-
<i>Triplaris cumingiana</i>	Fernán Sánchez	-	0,12	0,27	-

*El incremento fue tan pequeño que se aproxima a 0.

En cuanto a ensayos de restauración, se diseñaron prácticas con dos enfoques principales: conservación y producción. Estas prácticas se pueden dividir en tres grupos:

1. Ensayos de restauración ecológica en áreas usadas históricamente para producción ganadera, donde el pasto africano (*Setaria sphacelata*) domina el área y constituye una barrera para la regeneración natural del ecosistema. Se probó principalmente la siembra adensada de plantas con diferentes velocidades de crecimiento (pioneras, secundarias y maduras). Las de crecimiento rápido o pioneras fueron más abundantes. La intención es que el rápido desarrollo de especies pioneras desplace el pasto y se desencadene un proceso de regeneración natural (Duarte *et al.*, 2017b).
2. Ensayos de rehabilitación a través de sistemas agroforestales, para recuperar servicios ecosistémicos que mejoren la producción agrícola.
3. Ensayos de restauración con el uso de alisos (*Alnus nepalensis*) y el pastoreo de ganado. Los alisos son especies de rápido crecimiento, que fijan nitrógeno en el suelo. Una de las principales limitantes de las prácticas de restauración en lugares con presencia de pasto miel (*Setaria sphacelata*) es que este impide el crecimiento de otras especies. Por eso se usó el sobrepastoreo con ganado al inicio de las prácticas, como una herramienta para debilitar el pasto. Los resultados indican que esta actividad facilita un proceso de regeneración natural, y puede ser usada como una estrategia de bajo costo. Los alisos aportan a la recuperación del suelo por sus propiedades de fijación de nitrógeno, y pueden ser usados bajo una perspectiva de producción, pues serán una fuente de madera una vez que hayan crecido (Duarte *et al.*, 2017b).



Eje 3. Las prácticas agroforestales en el noroccidente de Pichincha

La degradación del suelo causada por la agricultura convencional es un problema que avanza a nivel mundial. Por eso se deben promover prácticas agrícolas que no comprometan la conservación de la naturaleza ni el bienestar humano en el presente y el futuro. Los sistemas agroforestales (SAF) han surgido como una herramienta de producción alternativa sostenible, que aporta a mantener y recuperar ciertos atributos ecosistémicos. Dos de estos atributos son el almacenamiento de carbono y la diversidad del ecosistema.

Para conocer el aporte de algunos sistemas agroforestales establecidos en el noroccidente de Pichincha, se realizaron mediciones de carbono almacenado y diversidad presente en SAF de café y cacao. Se contrastaron con sistemas de producción convencional (monocultivo) y con bosques de referencia. Para la evaluación de diversidad se usó a los escarabajos peloteros y a las aves como indicadores.

En la Tabla 8 se muestran los resultados de la cuantificación de carbono en los diferentes sistemas agrícolas. Se observa que los sistemas agroforestales almacenan una cantidad de carbono mucho mayor a los cultivos convencionales en la biomasa aérea. Los cultivos convencionales almacenan una cantidad similar a un pasto para ganado, cuya media es de 1,01 MgC/ha⁻¹.

En los sistemas monitoreados, la cantidad de carbono es significativamente menor a la almacenada en los bosques secundarios de referencia, que se encuentran en condiciones climáticas similares a los cultivos estudiados (ver en la Figura 6 la cantidad de carbono en un bosque piemontano).

La biomasa presente en un SAF dependerá de las especies que forman parte del sistema, del tiempo de creación de la plantación y del manejo del cultivo. Un SAF puede llegar a almacenar más carbono del que aquí se reporta. Por ejemplo, uno de los motivos por los que el SAF de café tiene mayores contenidos que el de cacao es la edad de establecimiento. El primero tiene 9 años y el segundo 7 (Pinto y León, 2018).

El carbono almacenado en la necromasa tiene valores superiores a los de los sistemas convencionales. Esto es de gran importancia, porque la cantidad de hojarasca en el suelo influye de manera positiva en su estado, pues aporta al

reciclaje de nutrientes y al mantenimiento de microorganismos del suelo. El carbono orgánico del suelo presentó valores más altos para los sistemas convencionales que para los SAF, y se asemeja a los valores de algunos bosques (Tabla 8).

Sin embargo, estos datos deben ser interpretados con cautela, pues estos valores pueden ser la consecuencia de insumos agroquímicos en los sistemas convencionales, y no de una mejor calidad de suelo. Este reservorio debería ser monitoreado en el futuro para entender la evolución del suelo bajo este tipo de manejo convencional.

Tabla 8. Carbono almacenado en los diferentes sistemas agrícolas y en los tres reservorios principales. Se muestra la media \pm la desviación estándar.

Sistema	Biomasa Aérea Mg C/ha ⁻¹	Necromasa Aérea Mg C/ha ⁻¹	Carbono Orgánico del Suelo Mg C/ha ⁻¹
Agroforestal cacao	17,23 \pm 3,8	1,72 \pm 0,52	24,66 \pm 5,8
Agroforestal café	28,5 \pm 6,86	4,98 \pm 1,79	15,44 \pm 5,2
Convencional cacao	0,56 \pm 0,3	1,3 \pm 0,95	28,24 \pm 6,26
Convencional café	1,24 \pm 0,42	0,76 \pm 1,36	43,63 \pm 12,6

Se encontraron diferencias significativas en cuanto a aves y escarabajos entre los cultivos convencionales y los SAF. Los SAF y los bosques no mostraron diferencias significativas (Freile *et al.*, 2017; Villamarín-Cortez *et al.*, 2017). En la Figura 15 se muestra la similitud en la diversidad funcional (considerando tanto aves como escarabajos) entre los diferentes sistemas. Los sistemas agroforestales comparten -85% de las características de la comunidad de los bosques secundarios. El cacao convencional comparte un poco menos de 80%, y el café convencional apenas 55%.

El grupo de aves en el sistema convencional de café presentó una riqueza menor al SAF y al bosque (104 especies para el bosque, 107 para el SAF de café

y 40 para el cultivo convencional). Se encontraron 18 especies particularmente importantes para la conservación, que están en riesgo de amenaza o son endémicas. Estas especies estuvieron más representadas en el bosque (Freile *et al.*, 2017).

En cuanto a cultivos de cacao, el patrón de riqueza se repitió. El sistema convencional presenta menos riqueza que los otros dos sistemas (144 especies en el bosque, 145 en el SAF y 76 en el sistema convencional). Se registraron 45 especies importantes para la conservación, 39 presentes en el bosque, 22 en el SAF de cacao y 7 en el cacao convencional (Freile *et al.*, 2017).

En cuanto a la diversidad de escarabajos, los sistemas agroforestales contienen especies que también se encuentran en el interior del bosque. Los sistemas convencionales presentan especies diferentes, adaptadas a las condiciones más abiertas del sistema (Villamarín-Cortez *et al.*, 2017).

En base a esta información, los sistemas agroforestales aportan a la conservación de la diversidad y a la captura de carbono. Por eso se deben fomentar y priorizar estas prácticas alternativas frente a otras actividades agrícolas convencionales. Estos sistemas pueden ser promovidos en áreas de amortiguamiento¹⁰ de zonas protegidas o zonas núcleo¹¹.

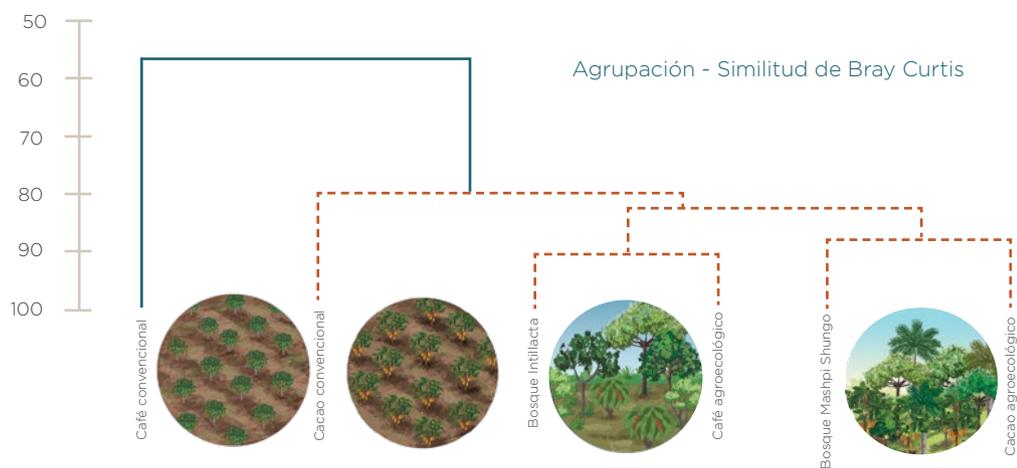


Figura 15. Análisis de similitud entre los sistemas productivos y los bosques de referencia.

10. Una zona de amortiguamiento es el espacio que rodea a un área protegida, por lo que las actividades que se lleven a cabo en esta zona influyen directamente en la conservación del ecosistema al interior del área protegida.

11. Las zonas núcleo pueden ser parte o no de un área protegida. Se caracterizan por tener un alto grado de conservación, en el que los atributos y las funciones ecosistémicas se preservan en gran medida.

Metodología general para el levantamiento de información

Se instalaron parcelas de 60 m de lado, en subparcelas de 20 x 20 m. En cada parcela se midieron todos los árboles, las palmas y los helechos arborescentes, que tenían un DAP (diámetro a la altura del pecho, 1,3 m sobre el suelo) mayor o igual a 5 cm (Figura 17). Cada individuo fue identificado taxonómicamente, se calculó su diámetro, altura comercial y altura total (Osinaga-Acosta *et al.*, 2014). Se tomaron nueve muestras de hojarasca en cuadrantes de 0,5 m de lado, tres muestras de suelo con barreno (caracterización química) y tres muestras de suelo con un cilindro de acero de 5 cm de diámetro (estimación de densidad aparente del suelo).

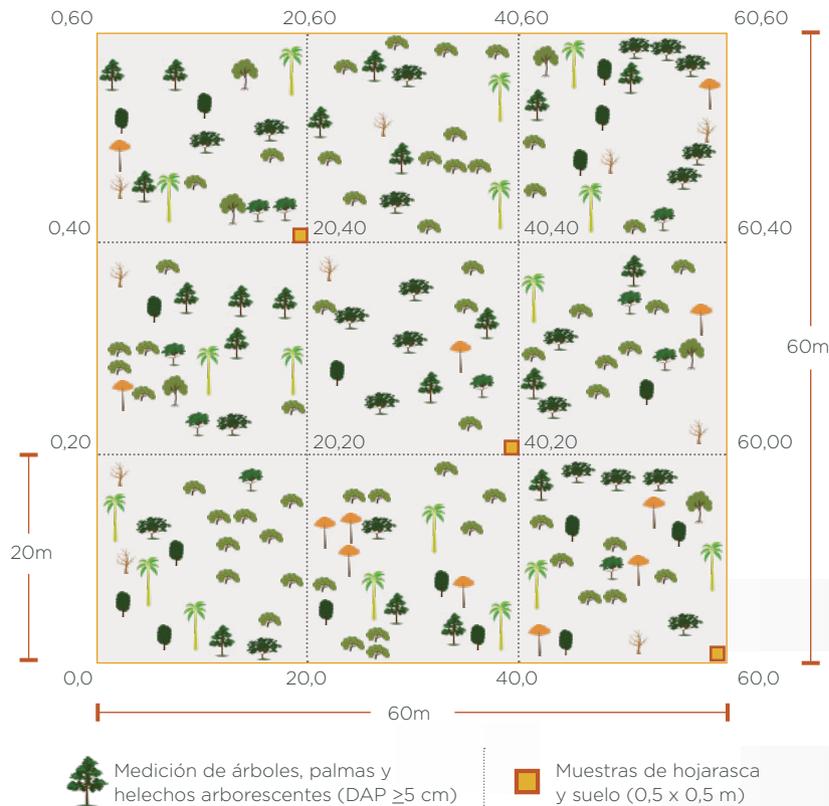


Figura 16. Parcela de monitoreo de biodiversidad y contenidos de carbono. Adaptado de Pinto y Cuesta (2019).

La biomasa de cada parcela fue determinada sumando la biomasa de cada individuo, que fue calculada a través de ecuaciones alométricas que usan el diámetro, la altura y la densidad de la madera (Chave *et al.*, 2014). Las muestras de hojarasca fueron secadas y pesadas, y las muestras de suelo fueron analizadas en el laboratorio especializado de suelos del INIAP. El carbono orgánico del suelo se calculó mediante la fórmula que utiliza la densidad aparente, el porcentaje de carbono y la profundidad de suelo (Schlegel *et al.*, 2001).

Los estudios de restauración y prácticas agroforestales fueron monitoreados con la misma metodología utilizada para bosques, con variaciones en el tamaño de parcela, de 20 x 10 m para el monitoreo de la restauración y de dimensiones variadas (desde 20 x 20 m hasta 40 x 40 m) para las prácticas agroforestales.

Osinaga-Acosta *et al.*, (2014) y Duarte *et al.*, (2017) describen en las metodologías para el levantamiento de información en bosques y en áreas en restauración.





© Sebastián Crespo



© Sebastián Crespo

Conclusiones y recomendaciones

Los Andes tropicales son vulnerables ante el cambio climático. Su fragmentación y degradación incrementan esta vulnerabilidad y ponen en riesgo a las especies que los habitan. Los resultados presentados en este documento muestran la importancia de estos bosques en términos de diversidad de flora y en la mitigación del cambio climático, por el rol que juegan en la captura de carbono. Considerando la importancia de los remanentes de Chocó Andino, en junio de 2018 esta área fue declarada como Reserva de la Biósfera por la UNESCO.

Todo esto resalta la importancia de la conservación de los bosques a través del manejo integrado de todo el paisaje, considerando a las poblaciones humanas que habitan el territorio. Una visión integrada de manejo del territorio, con objetivos de conservación de remanentes de bosques, restauración de áreas degradadas y producción sostenible, promueve objetivos de desarrollo sostenible. Se busca generar beneficios para los productores locales y potenciar sinergias entre adaptación y mitigación al cambio climático.

La información generada sirve como una herramienta para tomar decisiones informadas y adoptar prácticas de restauración y producción validadas. Con los datos de biomasa y su relación con la biodiversidad, se concluye que no se pueden tomar decisiones de manejo en base a un solo criterio. Se debe analizar cada factor para determinar la calidad del mismo. Se deben considerar las necesidades socio-económicas de las poblaciones, las características ambientales y la necesidad de preservar ciertos servicios ecosistémicos.

Si bien se ha levantado información valiosa, es importante mantener el monitoreo de los bosques y de las áreas de restauración y producción sostenible para conocer la evolución de estos ecosistemas a largo plazo. Se espera que los sistemas naturales y antrópicos experimenten cambios en el futuro, como consecuencia del cambio climático. El monitoreo continuo permitirá tomar medidas de adaptación pertinentes para hacer frente a los cambios, garantizar la preservación de los ecosistemas, sus servicios asociados y el bienestar de la naturaleza y las personas.

Además, existe el reto de conectar los remanentes de bosque. Para esto, en la zona baja de la parroquia de Pacto se ha planteado un biocorredor para ayudar la conectividad entre los parches remanentes de la microcuenca del río Mashpi.

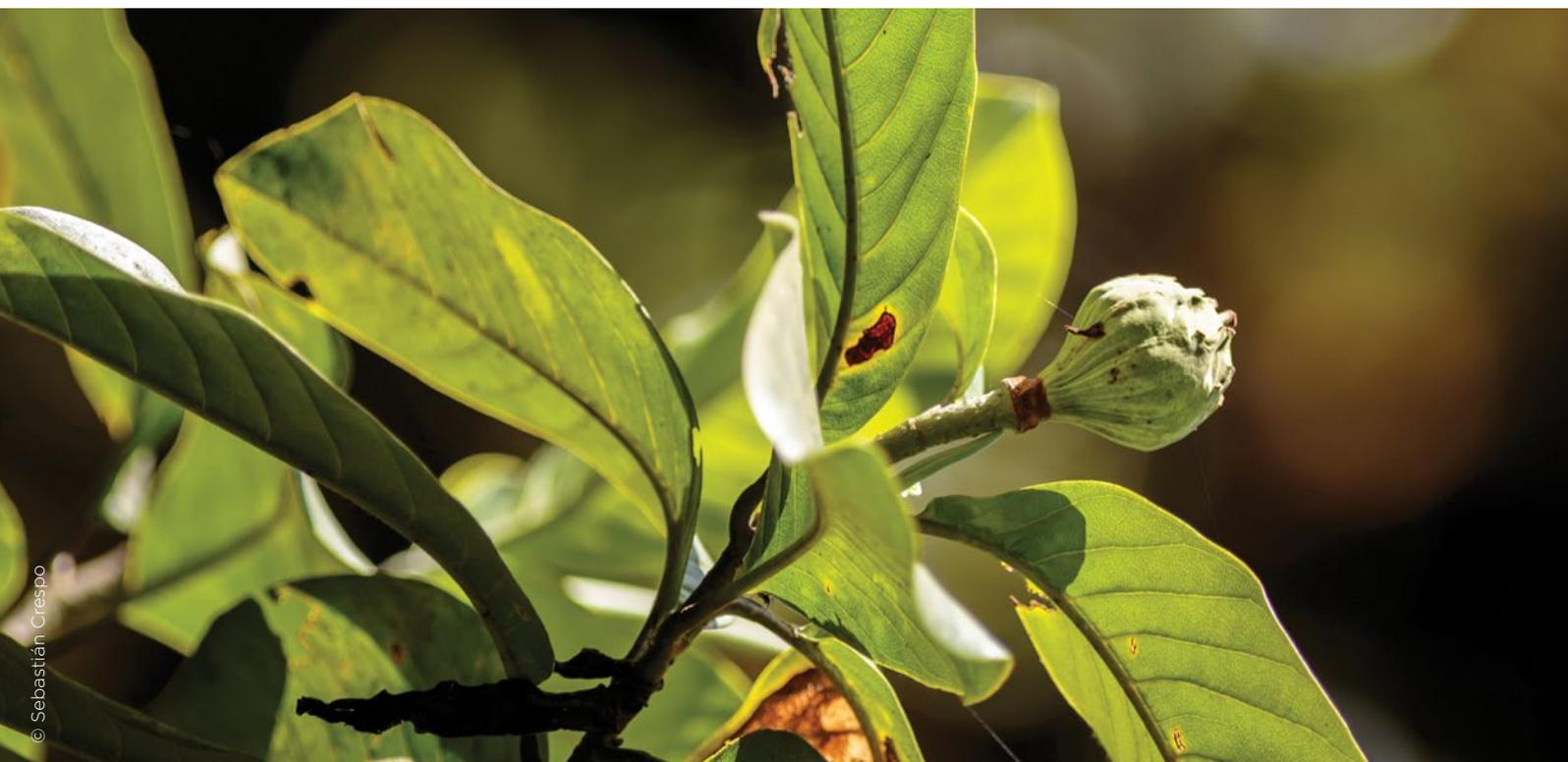
En 2015, la Fundación Imaymana y CONDESAN, firmaron un convenio de colaboración interinstitucional para la ejecución de varias actividades previstas en un plan de trabajo, entre lo que se plantea la implementación de prácticas sostenibles de uso del territorio y la promoción de la conservación de los bosques y sus recursos asociados.

Uno de los principales objetivos del proyecto es dar soporte a la implementación de sistemas innovadores de restauración y manejo de bosques montanos. En este marco, en 2016 y con el apoyo del Programa Bosques Andinos se llevó a cabo un proceso dónde se creó en esta misma microcuenca el biocorredor “Sendero de la restauración” que busca hacer visible diferentes metodologías

y prácticas de restauración que podrían ser utilizadas por las comunidades de la zona.

Hay otros estudios que CONDESAN y otros actores están llevando a cabo en bosques de *Polylepis* y en páramos, que aportarán al conocimiento de todo el territorio del noroccidente de Pichincha. Esto facilitará una gestión basada en el conocimiento de los ecosistemas, en sus dinámicas ecológicas y sociales.

Esta información está disponible para cualquier actor/a del territorio que quiera darle un uso apropiado y aportar al desarrollo sustentable del noroccidente de Pichincha. Todavía quedan retos pendientes, entre ellos la vinculación de la información generada con la gestión del territorio y la toma de decisiones informadas, tanto a nivel local como de gobiernos parroquiales y otras instituciones, que operan a nivel provincial y nacional.



Referencias bibliográficas

- Chave, J., M. Réjou-Méchain, A. Búrquez, E. Chidumayo, M. S. Colgan, W. B. C. Delitti, A. Duque, T. Eid, P. M. Fearnside, R. C. Goodman, M. Henry, A. Martínez-Yrizar, W. A. Mugasha, H. C. Muller-Landau, M. Mencuccini, B. W. Nelson, A. Ngomanda, E. M. Nogueira, E. Ortiz-Malavassi, R. Pélissier, P. Ploton, C. M. Ryan, J. G. Saldarriaga, y G. Vieilledent. 2014. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology* 20:3177–3190.
- Colwell, R. K. 2009. Chapter III.1: Biodiversity: Concepts, Patterns, and Measurement. Pages 257–263 in S. Levin, editor. *The Princeton Guide to Ecology*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Cuesta, F., E. Pinto, A. Terán-Valdéz, M. Calderón-Loor, A. Pérez y W.D. Gosling. in prep. Tree diversity, demography and carbon dynamics in secondary forest along a 3000 meters elevation gradient in the Western versant of the equatorial Andes.
- De la Torre, L., H. Navarrete, P. Muriel, M. J. Macía y Balslev, editors. 2008. *Enciclopedia de las Plantas Útiles del Ecuador*. Herbario QCA de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador y Herbario AAU del Departamento de Ciencias Biológicas de la Universidad de Aarhus, Quito y Aarhus.
- Duarte, N., F. Cuesta, A. Terán, E. Pinto, I. Arcos, A. Solano y O. Torres. 2017. Monitoreo de Áreas de Restauración Ecológica en los Bosques Montanos de la Cordillera Occidental del Ecuador. CONDESAN, Fundación Imaymana, Quito.
- Duarte, N., O. Torres, y J. D. Ortiz. 2017. Monitoreo de áreas de restauración ecológica en el Sitio Pichincha. Reporte de resultados, CONDESAN, Fundación Imaymana, Quito, Ecuador.
- Ferreira, J., G. D. Lennox, T. A. Gardner, J. R. Thomson, E. Berenguer, A. C. Lees, R. Mac Nally, L. E. O. C. Aragão, S. F. B. Ferraz, J. Louzada, N. G. Moura, V. H. F. Oliveira, R. Pardini, R. R. C. Solar, I. C. G. Vieira y J. Barlow. 2018. Carbon-focused conservation may fail to protect the most biodiverse tropical forests. *Nature Climate Change* 8:744–749.

- Freile, J., A. Solano-Ugalde y A. V. Nieto. 2017. Evaluación de la comunidad de aves en sistemas productivos convencionales y agroforestales de café y cacao en el noroccidente de Pichincha. Reporte de resultados, CONDESAN, Quito, Ecuador.
- IEE. 2013. Cartografía temática de sistemas productivos. Instituto Espacial Ecuatoriano, Quito.
- MAE. 2013. Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental. Subsecretaría de Patrimonio Natural, Quito.
- Marklund, L. G. y D. Schoene. 2006. Global Assessment of Growing Stock, Biomass and Carbon Stock. Working paper 106E. Forest Resources Assessment Programme, Roma.
- Ortiz, E. 2018. Diagnóstico de la deforestación en la Mancomunidad del Chocó Andino. Proyecto EcoAndes-PBA, CONDESAN.
- Osinaga-Acosta, O., S. Báez, F. Cuesta, J. Carilla, A. Malizia, L. R. Malizia, R. Grau, A. Brown y Lomascolo. 2014. Módulo 1. Monitoreo de especies arbóreas. Pages 20–60 Monitoreo de Diversidad Vegetal y Carbono en Bosques Andinos. Protocolo Extendido. Versión 1. CONDESAN/ IER-UNT/ COSUDE, Quito, Ecuador.
- Peralvo, M., C. Suárez, E. Ortiz y A. Ganzenmuller. 2018. Diagnóstico general de tenencia de la tierra y remanencia de bosques en el Noroccidente de Quito. Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN), Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.
- Pinto, E. y F. Cuesta. 2019. Monitoreo de biodiversidad, carbono, productividad y rasgos funcionales en bosques montanos. CONDESAN, Quito-Ecuador.
- Pinto, E. y León. 2018. Cuantificación de los contenidos de carbono en sistemas tradicionales y agroforestales de cacao y café en el noroccidente de Pichincha. Reporte de resultados, CONDESAN, Quito, Ecuador.
- Pinto E., A.J. Pérez, C. Ulloa-Ulloa y F. Cuesta. 2018. Árboles representativos de los bosques montanos del noroccidente de Pichincha, Ecuador. CONDESAN, Quito, Ecuador.
- Proaño, R.; Duarte, N.; Cuesta, F.; Maldonado, G. (Eds.). 2018. Guía para la restauración de bosques montanos tropicales. CONDESAN. Quito-Ecuador.

Schlegel, B., J. Gayoso y J. Guerra. 2001. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Manual de procedimientos muestreos de biomasa forestal. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

Villamarín-Cortez, S., B. Obando-Tello y J. Yáñez-Coronel. 2017. Evaluación ecológica de escarabajos peloteros en parcelas de cacao, café y bosque en la mancomunidad del Chocó Andino, Pichincha, Ecuador. Page 16. Reporte de resultados, CONDESAN, Quito, Ecuador.

Agradecimientos

Propietarios /custodios de las Reservas (en orden alfabético):

Agustina Arcos y Alejandro Solano* - Reserva Mashpi Shungo

Jaime Enrique Maldonado - Reserva Verdecocha

Familia Arcos Torres - Reserva Intillacta

Fundación Jocotoco - Reserva Yanacocha

Germán Toasa - El Cedral Ecolodge

Juan Diego Ortiz y Sol Acosta - Sacha Urcu

Sonia Saltos - Río Bravo

Oliver y Ronald Torres - Reserva Pambiliño

Richard Parsons - Bellavista Cloud Forest

*Colaboración en la revisión del documento.

Socios estratégicos:

Fundación Imaymana

Mancomunidad del Choco Andino (MCA)

Colaboradores para levantamiento de información en campo (en orden alfabético):

Álvaro Pérez

José Jumbo

Luis Saltos

Andrés Díaz

Pablo Sandoval

Jonathan Hipo

Bryan Yunda

Ricardo Jaramillo

Yaku Romoleroux

Denisse Galarza

Sisimac Duchicela

Nicolas Zapata

Fernanda Cevallos

Tatiana Rivas

Edison Rea

Germán Toasa

Michelle Vela

Washington Santillan

Consortio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina - CONDESAN

Oficina en Lima-Perú:

Las Codornices 253
Surquillo
Tel. +51 1 618 9400

Oficina en Quito-Ecuador:

Germán Alemán E12-123 y
Carlos Arroyo del Río
Tel. +593 2 2248491

condesan@condesan.org • www.condesan.org



ECOANDES



Con el apoyo de:

MINISTERIO DEL AMBIENTE



PERÚ Ministerio del Ambiente

