



PROYECTO NZDZ

Net Zero Deforestation Zones

LÍNEA BASE PARA LA ESTIMACIÓN DE LOS CONTENIDOS DE CARBONO EN BOSQUES Y SISTEMAS AGROFORESTALES DE LA AMAZONIA ECUATORIANA

Comunidad Kichwa de Wamaní, Provincia de Napo, Ecuador

Elaborado por:

Esteban Pinto
Francisco Cuesta
Andrés Mármol
Manuel Peralvo

CONDESAN

CONTENIDO

1	Introducción	1
2	Objetivos	3
3	Área de estudio	4
4	Métodos	7
4.1	Selección y establecimiento de las unidades de muestreo (UDM)	7
4.2	Muestreo de campo	11
4.2.1	<i>Monitoreo de biomasa aérea</i>	11
4.2.2	<i>Monitoreo de necromasa</i>	12
4.2.3	<i>Identificación taxonómica de las unidades observacionales</i>	13
4.2.4	<i>Georeferenciación de áreas intervenidas</i>	14
4.3	Trabajo de laboratorio para determinar necromasa aérea	14
4.4	Análisis de datos.....	14
5	Resultados	18
5.1	Biomasa por estrato	19
5.2	Necromasa por estrato	27
5.2.1	<i>Necromasa en pie en bosques y SAGF</i>	27
5.2.2	<i>Necromasa caída en bosques y SAGF</i>	28
5.3	Patrones de diversidad en bosques maduros y secundarios	29
6	Discusión	35
6.1	Contenidos de biomasa, necromasa y materia orgánica total en bosques y sistemas agroforestales de Wamaní	35
6.1.1	<i>Bosque maduro y bosque secundario</i>	35
6.1.2	<i>Sistemas agroforestales (SAGF)</i>	37
6.2	Contenidos de Materia Orgánica (MO) total en el paisaje de Wamaní	38
6.3	Gradiente de uso y biomasa	40
6.4	Consideraciones metodológicas	43
7	Referencias	45
8	Anexos	49

Línea base para la estimación de los contenidos de carbono en bosques y sistemas agroforestales de la Amazonia ecuatoriana, Wamaní-Napo

Esteban Pinto¹, Francisco Cuesta¹, Andrés Mármol¹, Manuel Peralvo¹

¹Consortio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN), Germán Alemán E12-28 y Juan Ramírez, Quito, Ecuador.

1 Introducción

Los bosques tropicales juegan un papel fundamental en la concentración actual de CO² en la atmósfera, debido a que las grandes fuentes de CO² se convierten en emisoras luego de la deforestación o en captadoras de CO² a través de la respiración del bosque (i.e. fotosíntesis).

Estudios científicos recientes han tratado de cuantificar este rol y sugieren que tanto los reservorios como las fuentes de emisión son considerablemente más grandes que lo estimado previamente. La conversión de bosques tropicales se estima constituye una fuente de emisión a la atmósfera de 1,3 (± 0,2) Pg C/año (1 Pg = 10¹⁵g) en los períodos 1990-1999 y 2000-2005, mientras que los bosques primarios remanentes se estiman son un reservorio neto de 1,1 (± 0,2) Pg C/año (Malhi 2010).

La deforestación actualmente contribuye con cerca del 18% del total global de las emisiones de carbono, y constituye la tercera fuente mayor de emisiones de GEI. En este contexto, la reducción de emisiones por deforestación y degradación (REDD+) es reconocida como una de las estrategias de mayor potencial e importancia ambiental para la mitigación al cambio climático (UNFCCC 2008). Por lo tanto, la comprensión y entendimiento de la dinámica del carbono en los ecosistemas o biomas de bosque es un elemento fundamental para la implementación de proyectos de mitigación como REDD+ (Gibbs, Brown et al. 2007; IPCC 2007). En particular, es determinante conocer la variación de los reservorios de carbono en función de las condiciones ambientales (e.g. temperatura y humedad) y el uso del suelo (Keith, Mackey et al. 2009).

En la Amazonia ecuatoriana, la pérdida de bosques y la degradación de los bosques remanentes está relacionada directamente con la expansión de la frontera agrícola-ganadera, y a los regímenes de aprovechamiento de los recursos forestales. La conversión de bosques en pasturas o monocultivos, genera un conjunto de externalidades negativas entre las que se

incluye la conversión de reservorios de carbono en fuentes de emisión, la pérdida de biodiversidad y la alteración de varios servicios ecosistémicos, entre esos la disponibilidad de suelo fértil para la producción agrícola de autoconsumo o la provisión de fibras y madera para construcciones locales. Los procesos de conversión ocurren en lapsos de tiempo relativamente cortos y normalmente están asociados a un portafolio de múltiples actividades implementadas por los productores, incluyendo la tala de más extensiones de bosque o en casos extremos a la migración (Messina 2000; Frizzelle, Walsh et al. 2005).

Una alternativa para reducir las tasas de conversión y la de generar alternativas económicas que propendan la restauración del bosque, es la creación y promoción de los sistemas agroforestales (SAGF). Los SAGF son un tipo de uso de los bosques secundarios que incluye un componente de manejo muy intenso, donde especies de árboles, arbustos y palmas interactúan biológica y económicamente en una misma superficie con cultivos y/o animales, asociados de forma simultánea o secuencial (Nair 2004; Casanova-Lugo, Petit-Aldana et al. 2011). De esta manera, estos sistemas contribuyen a conservar los suelos reduciendo la erosión por escorrentía superficial, incrementan la fertilidad del suelo a través de ingresos de macro y micro nutrientes, reducen la evapotranspiración, incrementan la biodiversidad, atraen a polinizadores, liberan oxígeno, y son capaces de secuestrar cantidades significativas de CO₂ a través de las especies arbóreas que fijan y retienen el carbono (principalmente en forma de celulosa y lignina) en su estructura (Andrade and Ibrahim 2003; Corral, Duchicela et al. 2005; Pinto 2011).

Dixon (1995) y Andrade, Segura et al. (2008) afirman que los SAF poseen una capacidad de almacenamiento de carbono (incluyendo el carbono del suelo) que oscila entre 12 y 228 Mg C ha⁻¹. Para las zonas del trópico húmedo se han reportado promedios de hasta 70 Mg C ha⁻¹ en la vegetación (biomasa aérea) y 25 Mg C ha⁻¹ en promedio en los primeros 20 cm de profundidad del suelo (Mutuo, Cadisch et al. 2005). En Ecuador se publicaron promedios de almacenamiento de C entre 115 y 121 Mg C ha⁻¹ para sistemas agroforestales de café y cacao respectivamente, lo que en términos de biomasa aérea equivale a la cantidad de carbono almacenado en algunos bosques secundarios del trópico (Corral, Duchicela et al. 2005). Estos reportes son evidencia clara de la necesidad en fomentar, fortalecer e incrementar el uso de estos sistemas a nivel nacional, y regional como estrategia para promover esquemas de restauración de áreas de pastizales degradados primordialmente o de mosaicos agropecuarios dominados por barbechos como parte de lineamientos ambientales para la planificación y ordenamiento del territorio. Adicionalmente, los SAGF pueden constituirse en herramientas

efectivas de manejo del paisaje, permitiendo mejorar la conectividad de los hábitats, ser refugios de vida silvestre y contribuir a la seguridad alimentaria de las poblaciones locales.

En el marco de implementación del proyecto Net Zero Deforestation Zones (NZDZ), se planteó establecer un sistema de monitoreo participativo de bosques, donde los actores locales contribuyan con el reporte, la verificación de emisiones y la eliminación de gases de efecto invernadero. Con este fin, el Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN), desarrolló una propuesta metodológica (Peralvo, Calderón et al. 2013) direccionada a la cuantificación de los contenidos de carbono, en la biomasa y necromasa, en sistemas agroforestales, silvopastoriles, forestales y agrícolas de ecosistemas tropicales en la Amazonia ecuatoriana.

En el período comprendido entre junio y octubre del 2013, este protocolo fue implementado en la comunidad Wamaní, provincia de Napo, Ecuador, para establecer una línea base que permita, en lo posterior, monitorear y estimar cambios en los stocks de carbono en áreas boscosas e intervenidas de la zona. Comuneros locales y asistentes universitarios contribuyeron con el levantamiento de información, tiempo durante el que fueron capacitados con las metodologías y técnicas propuestas en el protocolo, así como en el manejo adecuado de dispositivos electrónicos como cámaras fotográficas, GPS y de herramientas de campo como brújulas, cintas diamétricas, calímetros, entre otros.

Este documento presenta los resultados del establecimiento de la línea base realizado durante el último semestre del 2013. El documento presenta una cuantificación de los contenidos de biomasa y carbono para los estratos de bosque y sistemas agroforestales presentes en Wamaní a escala de parcela, hectárea y paisaje.

2 Objetivos

Los objetivos específicos planteados en el desarrollo de la línea base fueron:

- Generar una línea base para el monitoreo de los contenidos de carbono presentes en la biomasa aérea, necromasa aérea y biomasa subterránea (raíces) en sistemas agroforestales y en áreas que se conservan como bosque en la comunidad Wamaní-Napo.
- Validar la propuesta metodológica, desarrollada por CONDESAN, para la cuantificación de contenidos de carbono en sistemas agroforestales, silvopastoriles, forestales y agrícolas.

- Capacitar a los promotores locales, responsables de monitorear las fincas piloto, con las técnicas y metodologías propuestas en el protocolo de establecimiento de línea base, además de instruirlos en el uso de herramientas y equipo de campo como brújulas, cintas diamétricas, calímetros, etc.; así como el manejo de equipos tecnológicos como GPS, cámaras digitales.

3 Área de estudio

La comunidad kichwa Wamaní se encuentra ubicada dentro del Cantón Archidona, Provincia de Napo; entre el volcán Sumaco y el Cerro Galeras y forma parte de la Reserva de Biósfera Sumaco Napo-Galeras. Sus coordenadas geográficas son: Longitud: -77.602417° , Latitud: -0.712582° y su territorio cubre un rango altitudinal entre los 1050 - 1400 m.s.n.m. La topografía de la zona es irregular y ésta se encuentra atravesada principalmente por dos ríos (Río Guamaní y Río Pucuno), además de varias quebradas y riachuelos. Esta zona registra una precipitación media anual de entre 2000 y 4000 mm (Coloma-Santos, 2007). Su temperatura media anual es de ca. 17° C; los meses más calurosos son noviembre, diciembre y enero (ca. 18° C) y los más fríos son julio y agosto (ca. 16° C) (Figura 1). La comunidad Wamaní posee una área de 5056.88 ha, en las que se desarrollan actividades como la agricultura y la ganadería. Dentro del área de bosque, la comunidad ha destinado 1285 has como área de conservación dentro del Programa Socio Bosque (Figura 2).

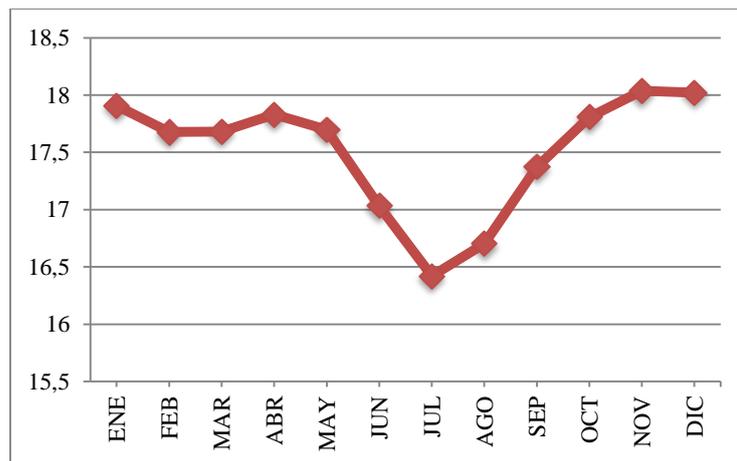


Figura 1. Temperatura promedio mensual de 7 estaciones climáticas, cercanas a la comunidad Wamaní, durante un período de 17 años (1976-1993).

La composición florística de Wamaní es parecida a la que se encuentra en las faldas del Volcán Sumaco debido a su proximidad. En la Reserva de Biósfera Sumaco existen más de

6000 especies de plantas vasculares distribuidas en diferentes pisos altitudinales (MAE 2010). La composición florística de las partes bajas y planas es similar a la del bosque ubicado sobre colinas, pero la riqueza es más baja con ca. 170-200 especies de árboles por hectárea. En las vertientes del volcán Sumaco (800-1.600 m.s.n.m.) la diversidad es aún más baja con ca. 135 especies de árboles por hectárea. El área tiene una enorme riqueza florística que ha sido utilizada tradicionalmente por las comunidades kichwa en medicina, alimentación humana y animal, construcción de viviendas, vestimenta, construcción de canoas y artesanías (MAE 2001).

La vegetación del área es característica de un bosque siempreverde piemontano del norte-centro de la cordillera oriental de los Andes de estructura densa, cuyo dosel alcanza alturas de 15 a 35 m (MAE 2012). Se tratan de bosques sobre sustratos relativamente ácidos y suelos bien drenados (Coloma-Santos 2007). La diversidad local de árboles alta donde la mayoría de las especies se encuentran representadas por un solo individuo en una hectárea, mientras que otras especies, como la palma *Iriartea deltoidea* (Arecaceae), son dominantes dentro de la zona. Las familias de árboles dominantes en este tipo de bosque son Sapindaceae, Olacaceae, Myristicaceae, Burseraceae, Lecythidaceae y Arecaceae (MAE 2012). Entre los 1.300 y 1.000 m, se hace evidente una marcada transición con los bosques montanos y se produce un cambio en la composición de especies. La altura y diámetro promedio de los árboles es menor y los troncos contienen mayores densidades de epífitas; además las lianas no son abundantes.

La vegetación representativa sobre los 1.000 m está dominada por *Billia rosea*, *Minuartia guianensis*, *Compsoeura ulei*, *Otoba glycyarpa*, *Virola spp.*, *Dacryodes olivifera*, *Hieronyma macrocarpa*, *Pseudolmedia rigida*, *Grias neuberthii*, *Wettinia anomala*. En el sotobosque dominan las familias Melastomataceae, Rubiaceae y Arecaceae (MAE 2012).

En áreas intervenidas por prácticas agrícolas, principalmente, el dosel es más bajo con árboles que no sobrepasan los ocho metros. En estas áreas el matorral es la vegetación dominante, con especies representativas como: *Ageratum conyzoides*, *Baccharis trinervis*, *Clidemia capitellata*, *Cyperus luzulae*, *Erato polymnioides*, *Myrsine coriacea*, *Paspalum paniculatum*, *Pennisetum occidentale*, *Piper umbellatum*, *Pseudelephantopus spicatus*, *Pteridium arachnoideum*, *Rubus urtisifolius*, *Tibouchina lepidota*, *Vernonanthura patens*, *Vismia baccifer* (MAE 2012).

Las principales actividades agrícolas en la zona se concentran en cultivos de especies de ciclo corto como naranjilla (*Solanum quitoense*), maíz (*Zea maíz*), café (*Coffea arábica*) y cacao (*Theobroma cacao*) (Ortiz, Sierra et al. 2009). Además, existe extracción de especies maderables que son explotadas de manera informal para la comercialización como *Cordia alliodora* (laurel), *Cedrelinga cateniformis* (seique o chuncho), *Pollalesta karstenn* (pigüe), *Erisma uncinatum* (arenillo), *Parkia spp.* (guarango), *Protium nodulosum* (copal), *Ochroma pyramidale* (balsa), *Vochysia sp.* (tamburo), *Ocotea sp.* (canelo) y *Nectandra sp.* (Romero, Velasteguí et al. 2011).

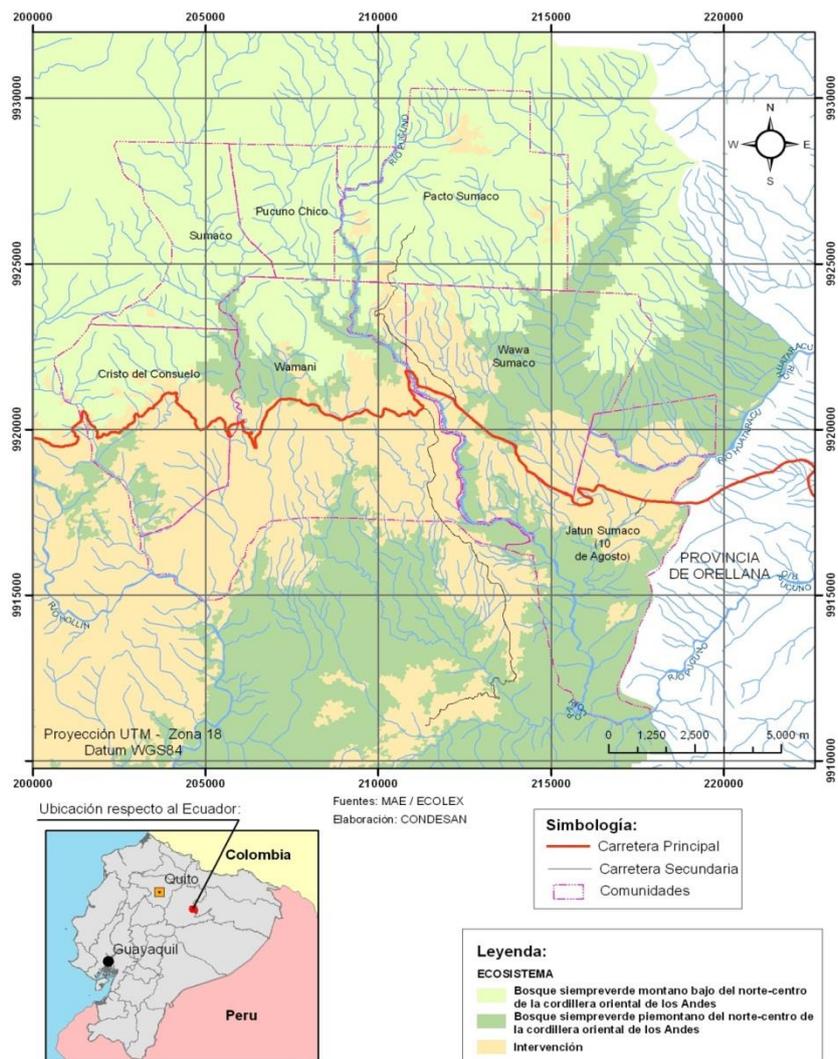


Figura 2. Mapa de ecosistemas y ubicación del área de estudio, parroquia Hatun Sumaku (Fuente: ECOLEX, elaboración CONDESAN).

Aunque una parte del área de la comunidad ha sido destinada a programas de conservación y reforestación, existen dos amenazas importantes sobre los bosques. El excesivo uso de agroquímicos dentro de los cultivos de naranjilla y el mal manejo del suelo

como la producción en base a monocultivos, pastoreo intensivo, entre otros, hacen que los habitantes de la comunidad expandan su territorio agrícola dentro de zonas de bosque primario. Además la tala selectiva no planificada degrada los bosques naturales dentro de la zona (MAE, 2007). Se ha reportado que entre 1990-2000, la tasa anual de cambio de cobertura de bosque de la Provincia de Napo, fue de -0,21% (deforestación anual promedio de 1682 ha/año), mientras que del 2000 al 2008 la tasa anual de cambio fue de -0,35% (deforestación anual promedio de 2735 ha/año) (MAE 2012).

4 Métodos

La metodología utilizada en la presente investigación fue desarrollada y conceptualizada por el equipo de trabajo del proyecto NZDZ (Calderón et al. 2012) y presenta adaptaciones del diseño de la Evaluación Nacional Forestal de Ecuador (MAE 2010 y 2012), además recoge criterios de las buenas prácticas del IPCC (2003)¹.

4.1 Selección y establecimiento de las unidades de muestreo (UDM)

La definición de la ubicación de las unidades de muestreo (UDM) en Wamaní se realizó en dos pasos. En primer lugar se definieron los lugares de establecimiento de las UDM en laboratorio con información preliminar de cobertura de la tierra. Este diseño fue revisado en campo de acuerdo a las condiciones de acceso de las unidades de producción locales (fincas).

Se generó un mapa preliminar de cobertura de la tierra para el área de estudio con dos estratos: tierras forestales que permanecen como tal (i.e. bosques que permanecen como bosques) y tierras forestales que se han convertido en otras tierras (e.g. pastos, cultivos, etc.) (Penman, Gytarsky et al. 2003). Este mapa se generó mediante la interpretación visual rápida de la ortofotografía disponible para el área a escala 1:5000 tomada el año 2010. El número de parcelas fue determinado a través del procedimiento descrito por Yepes, Navarrete et al. (2011), el cual es útil cuando no se posee información de la variable a estudiar. Se tomó en cuenta un error de muestreo del $\pm 10\%$, un nivel de confianza de 95% (Fund 2008; Yepes, Navarrete et al. 2011), y el tamaño de las parcelas 20×40 m determinado por la forma de los terrenos y la singularidad de los estratos. En el diseño se ubicaron 40 UDM, 20 en el estrato de bosque y 20 en el estrato de no bosque.

¹ IPCC menciona que los inventarios acordes con buenas prácticas son los que no contienen cálculos excesivos ni demasiado bajos en la medida que puede determinarse, y en los que las incertidumbres se minimizan.

De acuerdo a este análisis se determinó que el número total de parcelas requerido es de 40, así para un área de 1000 ha la intensidad de muestreo será de ca. 0,32%. Para inventarios de carbono forestal generalmente se trabaja con intensidades de muestreo de 0.1–1% (Quevedo and Järlind 2005; Rivas 2006; Anderson, Malhi et al. 2009). El diseño estratificado al azar permite que cada estrato se muestrea con la misma intensidad, incrementa la eficiencia de las mediciones, reduce el muestreo innecesario, asegura una mejor captación de la variación de los datos y permite reportar y cuantificar el error de muestreo (Gibbs, Brown et al. 2007).

Posteriormente y en paralelo con el trabajo de levantamiento de información en campo, se generó un mapa de CUT más detallado utilizando una leyenda temática que incorporó las clases de cobertura que presentaban mayor interés desde la perspectiva de dinámicas de carbono y/o resultaron viables para interpretar visualmente en las ortofotos. La leyenda propuesta es de tipo jerárquico, con niveles progresivamente más detallados anidados en clases gruesas de CUT (Anexo 1: Ortiz y Peralvo 2013) (Figura 3).

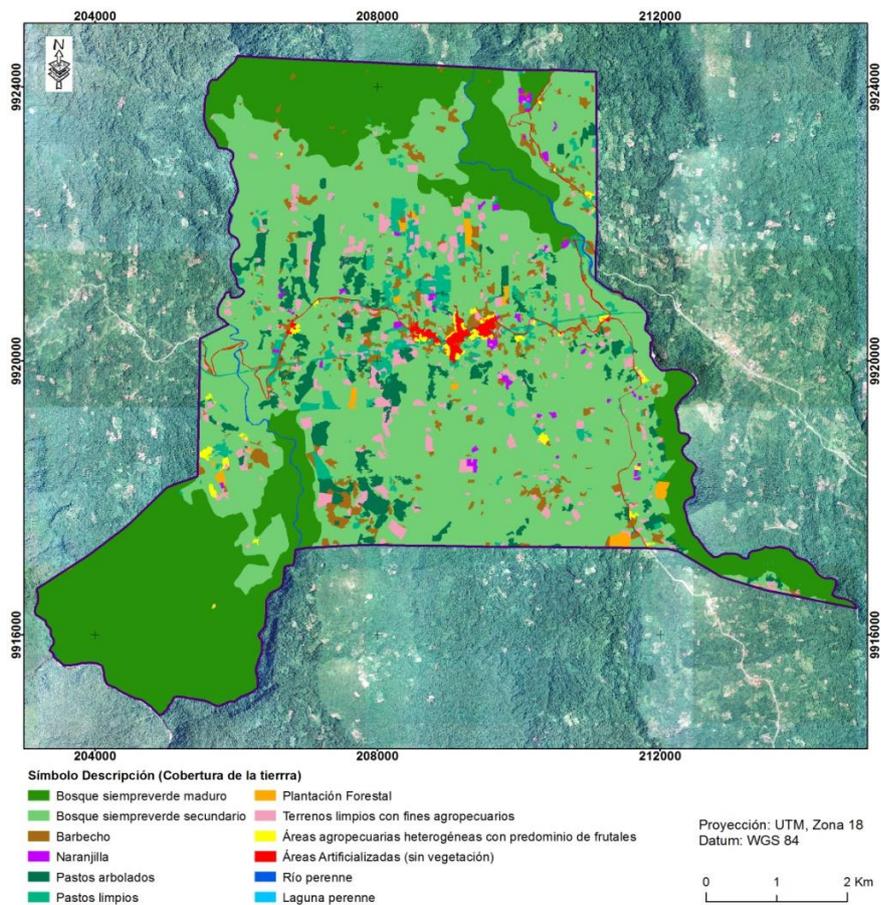


Figura 3. Mapa de estratos de la comunidad Wamaní (Fuente: Ortiz y Peralvo 2013, Anexo 1).

En laboratorio se generaron las ubicaciones potenciales de las UDMs en campo, distribuidas de manera aleatoria. Sin embargo, en la práctica la posición final para el establecimiento de parcelas dependió de la disponibilidad y de la accesibilidad de sitios, así como de los permisos otorgados por parte de los dueños de las fincas que formaron parte de esta iniciativa. Se instalaron un total de 40 UDMs, que fueron asignadas en campo a uno de cinco estratos relacionados con el mapa de CUT descrito anteriormente: 1) bosque maduro, 2) bosque secundario, 3) pastos arbolados, 4) plantación forestal y 5) cultivos. Se establecieron en total 20 UDMs en áreas que se conservan como bosques (maduro o secundario) y 20 en áreas que presentan diferentes tipos de intervención antrópica (Figura 4).

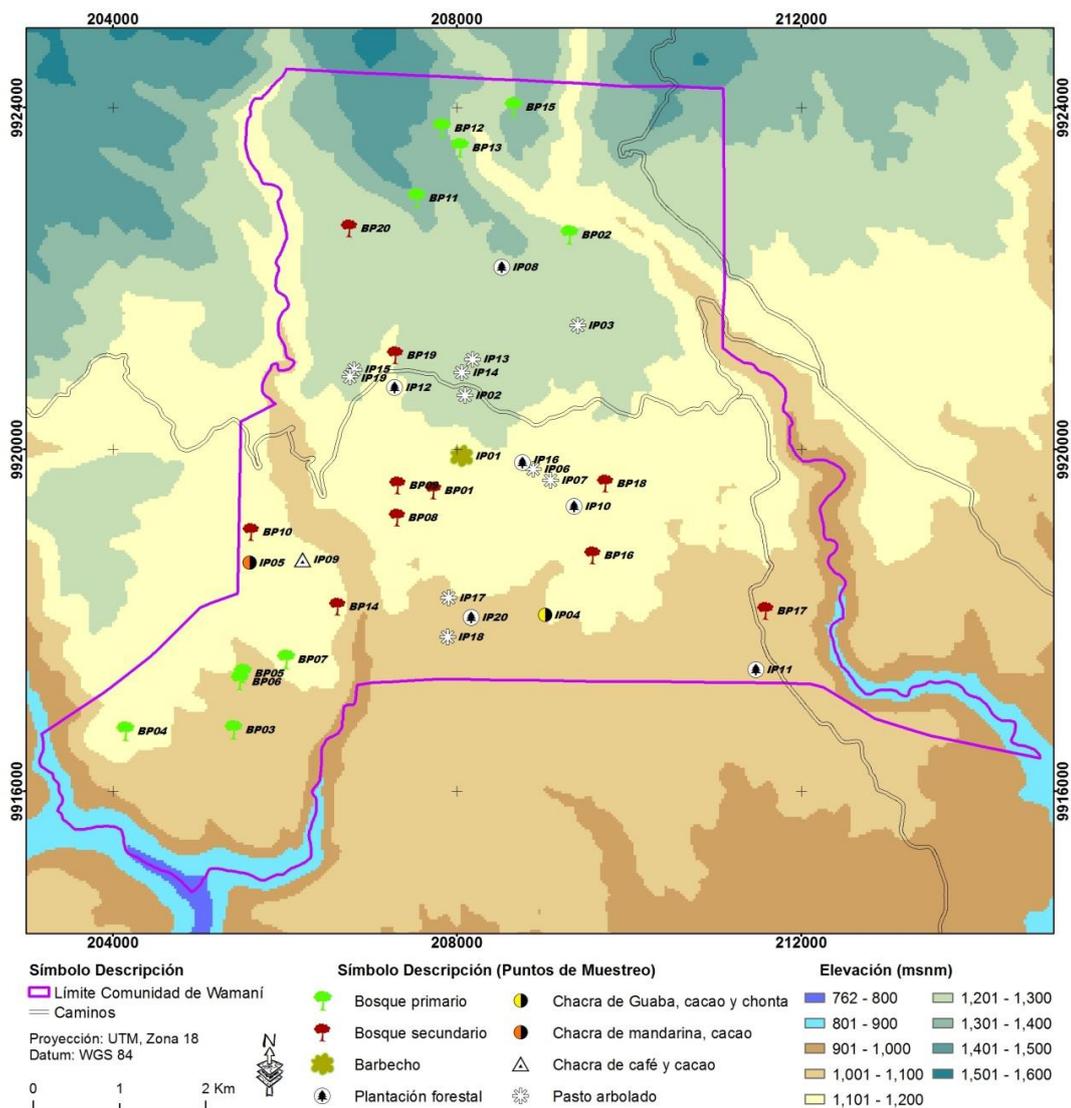


Figura 4. Mapa de distribución de parcelas en la comunidad Wamaní (Fuente: CONDESAN).

Las UDMs de bosque, de 40x20m, presentan un diseño de parcelas anidadas donde se midieron árboles, palmas, arbustos y helechos arborescentes, de distintas clases diamétricas, de acuerdo a lo especificado en la propuesta metodológica generada por el CONDESAN. En áreas intervenidas el diseño es similar, pero las unidades de muestreo fueron más pequeñas, de 20x20m. Aquí también se midieron individuos de varias clases diamétricas. Todas las UDMs fueron georeferenciadas, cada 20 metros, utilizando un GPS (Figura 5).

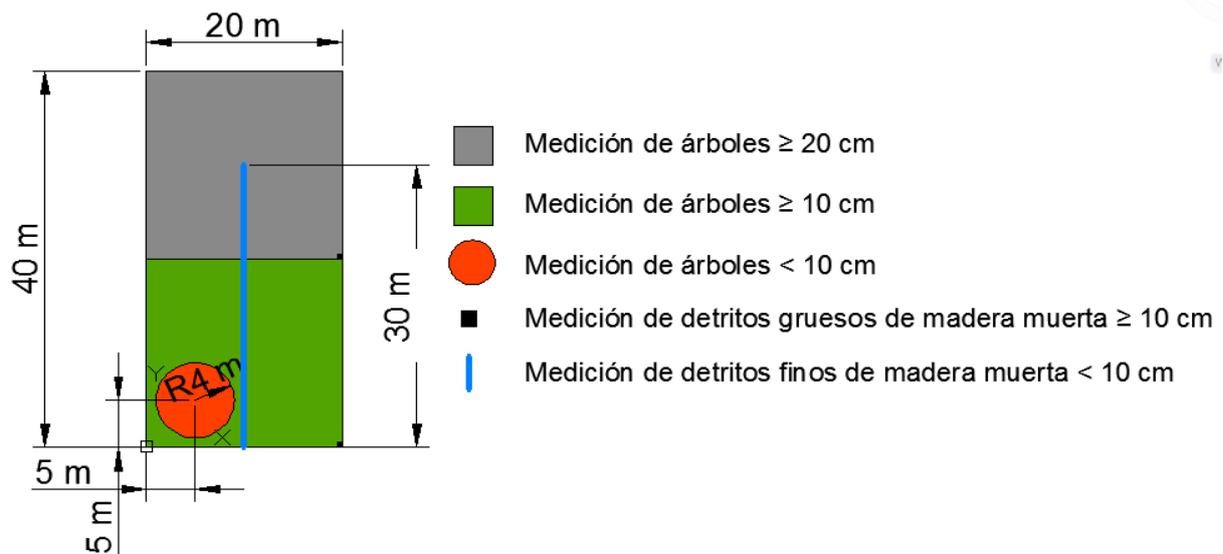


Figura 5. Diseño de parcelas anidadas para medir árboles de diferentes clases diamétricas.

Las UDMs fueron delimitadas cada 20 metros con tubos PVC, de 1.20m de longitud, pintados de color rojo en uno de los extremos para que puedan ser visibles en el campo. Cada tubo exhibe un código que indica su posición XY con respecto a un punto inicial 0-0, el tipo de estrato y el número de parcela por estrato (e.g. 20,0 PB13; donde: 20,0: posición 20m en X y 0m en Y, PB13: parcela número 13 del estrato bosque) (Figura 6).



Figura 6. Delimitación de las esquinas de todas las UDM utilizando tubos pvc marcados con un código de ubicación y pintados de rojo en un extremo para facilitar su avistamiento en el campo.

4.2 Muestreo de campo

4.2.1 Monitoreo de biomasa aérea

Para cuantificar biomasa aérea se midieron los diámetros de los fustes de todos los árboles, arbustos, helechos arborescentes y palmas a la altura normal de 1.30 m sobre el nivel del suelo. Las mediciones se realizaron haciendo uso de una cinta diamétrica, para los individuos con diámetros ≥ 10 cm (Figura 7a), y de un calímetro o calibrador para aquellos con diámetros < 10 cm (Figura 7b). Cada individuo lleva una marca de pintura roja, en el punto exacto de medición (PMD), para que siempre pueda ser medido en el mismo sitio y una placa metálica, debidamente enumerada, que nos llevar un registro de su crecimiento durante los siguientes censos. Adicionalmente se estimó la altura total, desde la base hasta la copa, de cada unidad observacional.



Figura 7. Uso de cinta diamétrica para medir de individuos con diámetros ≥ 10 cm (a) y de calímetro o calibrador para medir fustes con diámetros <10 cm (b).

4.2.2 Monitoreo de necromasa

4.2.2.1 Hojarasca y detritos finos (ramas o tallos con diámetros < 10 cm)

Los detritos finos y la hojarasca fueron colectados, manualmente, en la esquina inferior derecha de los cuadrantes de 20x20m, obteniendo así dos muestras por cada parcela de bosque y una sola muestra en las parcelas de áreas intervenidas (Figura8). Las muestras fueron colocadas en bolsas plásticas, herméticamente selladas, y marcadas con un código que especifica el estrato, el número de parcela por estrato y la ubicación XY donde fue colectada la muestra (e.g. PB17_20,0, donde PB17: parcela de bosque número 17, 20,0: esquina X=20, Y=0).



Figura 8. Recolección y empaquetamiento de hojarasca y detritos finos (<10 cm).

4.2.2.2 *Detritos gruesos (ramas o fustes con diámetros ≥ 10 cm)*

Para estimar la necromasa de detritos gruesos se realizaron mediciones en un transecto de 30 m de longitud ubicado 10 m al este de la esquina 0-0. Se midieron tocones de árboles y ramas caídas con diámetros ≥ 10 cm. Se registraron los diámetros del inicio, medio o punto de intersección con el transecto, y final del tronco utilizando una cinta diamétrica. Este monitoreo se llevó a cabo únicamente en las UDM de bosque.

4.2.3 *Identificación taxonómica de las unidades observacionales*

Complementariamente a la toma de datos dasométricos, se realizó la identificación taxonómica de las unidades observacionales censadas en las jornadas de campo, con la finalidad de conocer la composición florística de la zona, las comunidades vegetales prevalentes y su aporte en la captura, fijación y almacenamiento de carbono. Álvaro Pérez, taxónomo y docente de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, llevó a cabo la caracterización vegetal en las 40 unidades de muestreo. Adicionalmente se realizaron colecciones botánicas de material fértil, con la ayuda de una podadora aérea, para tener una representación florística del área de estudio. Las muestras fueron procesadas, prensadas, secadas e ingresadas al Herbario QCA de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE) (Anexo 3, Figura 9).

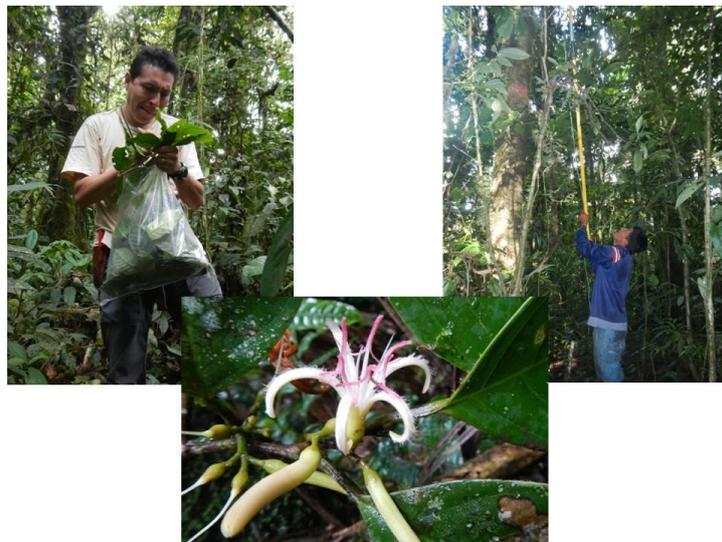


Figura 9. Colecta de muestras botánicas en Wamaní.

4.2.4 Georeferenciación de áreas intervenidas

Con la finalidad de complementar información de cobertura vegetal de la zona, se tomaron puntos GPS y fotos, a lo largo de los senderos o caminos de acceso a las UDM, de áreas que actualmente son utilizadas como cultivos, pastos para ganado o en programas de restauración forestal (Figura 10).



Figura 10. Georeferenciación de las de las unidades de muestreo utilizando GPS.

4.3 Trabajo de laboratorio para determinar necromasa aérea

Las muestras colectadas en el campo fueron transportadas a la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro (Agrocalidad), en Quito, donde se determinó su peso seco. Las muestras se secaron en estufa a una temperatura de 60 °C, durante ca. 48 horas o hasta que alcanzaron un peso seco estable, y fueron pesadas en una balanza analítica con precisión de 0,01g.

4.4 Análisis de datos

Para llevar a cabo los análisis datos se emplearon los paquetes estadísticos InfoStat (DiRienzo, Balzarini et al. 2008), Past 2.17 (Hammer and Harper 2001) y SPSS 20.0. Se realizó el análisis de normalidad de Shapiro Wilk (Sokal and Rohlf 1995) sobre las medias de cada reservorio evaluado (biomasa aérea, necromasa aérea y biomasa subterránea) para evaluar la naturaleza de los datos y definir qué tipo de análisis se deberán realizar a continuación (i.e. paramétricos vs. no paramétricos).

Para calcular la biomasa contenida en cada estrato primero se calcularon los contenidos de cada UDM por separado y posteriormente se promediaron los valores de todas las parcelas por estrato evaluado; para esto se utilizaron cuatro ecuaciones y una sola para los cálculos de biomasa subterránea (Tabla 1). Para las estimaciones de los contenidos totales a nivel de parcela, estrato y paisaje se utilizó el promedio de las cuatro ecuaciones como una manera de reducir la incertidumbre asociada a utilizar ecuaciones que tienden a sobre estimar la biomasa como es el caso de Chave et al. (2005) o subestimar la biomasa como sucede con la ecuación de Brown et al. (1989).

Tabla 1. Ecuaciones alométricas empleadas para la estimación de biomasa aérea y subterránea en bosques piemontanos amazónicos y sistemas agroforestales, comunidad de Wamaní, Napo.

Reservorio	Ecuación	Tipo de bosque	R ²	Fuente
Biomasa aérea	$\ln(AGB) = -1.864 + 2.608 \ln(D) + \ln(\rho)$	Bosque húmedo tropical (maduro)	0.996	Chave, Andalo et al. (2005).
	$AGB = \rho \text{Exp} \left((-1,499 + 2,148 * \ln(DAP) + 0,207 * \ln(\text{exp}(DAP^2) - 0,0281 * \ln(DAP^3))) \right)$	Bosque húmedo tropical (secundario y maduro)	-----	Alvarez et al., 2012)
	$AGB = \text{EXP}(-2,409+0,9522*\text{LN}(D*DAP^2*Ht))$	Bosque húmedo tropical (secundario joven)		Brown et al. (1989)
	$AGB = \text{Exp} (-1,997 + 2,413 * \text{Ln}(DAP))$	Bosque húmedo tropical (secundario joven)		Nelson et al. (1999)
Biomasa subterránea	$BGB = e^{-1.0587+0.8836*\ln(AGB)}$		0.84	Cairns, Brown et al. (1997)

Donde: AGB= biomasa aérea (g), D=diámetro (cm), ρ= densidad básica de la madera (g/cm³) y BGB= biomasa subterránea (g)

Previo al uso de estas ecuaciones fue necesario calcular una serie de parámetros de variables dasométricas:

a) Área basal:

(Ec. 2) $AB = \frac{\pi * DAP^2}{4}$

Donde:

AB = Área basal; π= 3.1416; DAP = Diámetro altura del pecho (cm)

b) Volumen total:

$$(Ec\ 3.) \quad Vt = AB * Ht * ff$$

Donde: Ht = altura total; ff = factor de forma

c) Densidad de la madera:

$$(Ec\ 4.) \quad D = \frac{m}{v}$$

Donde:

m = masa (gr), v = volumen (cm^3)

Nota: Para el estudio de caso NZDZ se utilizaron los valores de densidad de madera (g/cm^3) reportados por Chave et al (2006) para 2456 especies de árboles neotropicales.

Los valores de biomasa calculados para los árboles, arbustos y palmas censadas (Kg) fueron extrapolados, a nivel de toneladas, y sumados para obtener el contenido total de biomasa por parcela (Mg/UDM); a su vez estos valores obtenidos por UDM fueron promediados, obteniendo así un valor representativo por parcela por estrato estudiado. Adicionalmente estos valores promedio, por parcela por estrato (Mg/UDM), se extrapolaron a nivel de hectárea para conocer los aportes en términos de biomasa en una hectárea de bosque maduro, bosque secundario, pasto arbolado, plantación forestal y cultivo. Finalmente haciendo uso del mapa elaborado por CONDESAN (Anexo 1: Ortiz y Peralvo 2013), donde se describe detalladamente las superficie que ocupa cada una de estos estrato en Wamaní, se realizó la extrapolación final a nivel de paisaje.

Adicionalmente se utilizaron otras ecuaciones para determinar la densidad, dominancia e índice de diversidad de especies para cada UDM evaluada:

d) Densidad relativa

$$(Ec\ 5.) \quad DnR = \frac{N^\circ \text{ individuos de la especie } i}{\Sigma N^\circ \text{ individuos del cuadrante}} * 100$$

e) Dominancia relativa

$$(Ec.\ 6) \quad DmR = \frac{\text{Área basal de la especie } i}{\Sigma \text{ área basal del cuadrante}} * 100$$

d) Diversidad de Shannon

$$(Ec.\ 7) \quad H' = -\sum_{i=1}^R p_i * \ln p_i$$

Donde:

S = # de especies; P_i = proporción total de la muestra que corresponde a la especie i ;

\ln = logaritmo natural

Con la finalidad de conocer si existen diferencias estadísticamente significativas, en cuanto a los contenidos de biomasa entre los reservorios de cada estrato estudiado se realizaron análisis de varianza (ANOVA de 1 factor) y análisis t pareados de dos colas (Sokal and Rohlf 1995).

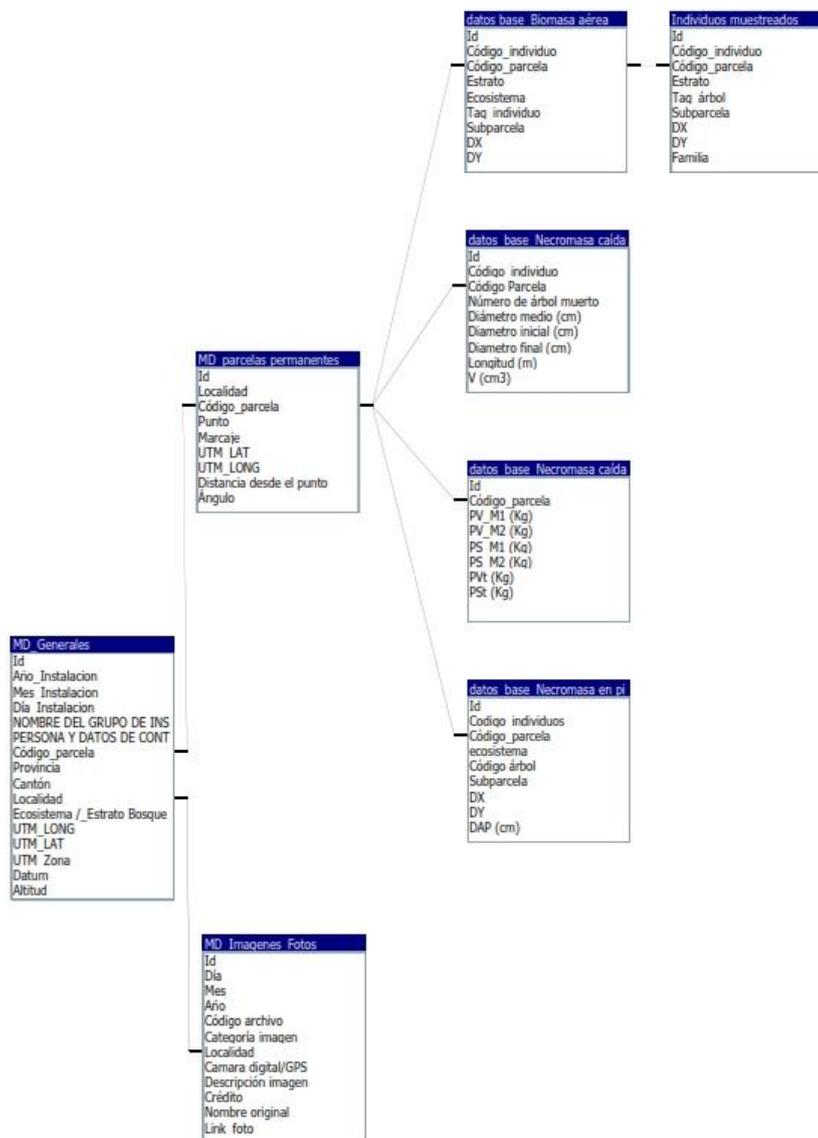


Figura 11. Estructura de bases de datos NZDZ.

Los datos colectados en campo fueron ingresados, procesados y validados en laboratorio en el programa Microsoft Office Excel 2007. La información fue estructurada en plantillas de metadatos de parcelas instaladas, plantillas del material fotográfico utilizado y plantillas con la información colectada en campo de biomasa y necromasa (Figura 11, Anexo 2).

5 Resultados

Los análisis a escala de parcela confirman la existencia de un gradiente de degradación que incluye en sus extremos el bosque maduro y los cultivos (i.e. chacras) inventariados. El bosque maduro posee en promedio por parcela casi el doble de biomasa, aérea y subterránea, ($X = 24.8 \text{ Mg} \pm 5.34$) que lo contenido en las parcelas de bosque secundario ($X = 12.8 \text{ Mg} \pm 6.19$) y casi cinco veces del promedio encontrado en pastos arbolados ($X = 4.35 \text{ Mg} \pm 3.76$). Sin embargo, el bosque secundario presenta el promedio más alto de contenidos de necromasa ($X = 4.69 \text{ Mg} \pm 3.02$) con aproximadamente una tonelada extra a lo encontrado en bosque maduro y casi 4.5 veces más que los promedios observados en sistemas agroforestales. El pasto arbolado, opuesto a lo esperado, posee promedio más altos que la plantación forestal como señal de la presencia de árboles remanentes con diámetros sobre los 30 cm en este estrato a diferencia de los árboles entre 20 y 30 cm presentes en las plantaciones forestales relativamente jóvenes (ca. 7 años) (Tabla 2).

Tabla 2. Número de parcelas (N), superficie (ha) y promedio (\pm DE) de los contenidos de biomasa (Mg/UDM) y necromasa (Mg/UDM) en cinco estratos evaluados en la comunidad Wamaní, Napo-Ecuador.

	Bosque maduro	Bosque secundario	Pastos arbolados	Plantación forestal	Cultivo
Número de parcelas	10	10	10	6	4
Superficie (ha)	1549.70	2615.50	233.53	24.30	27.68
Biomasa aérea (Mg/UDM)	24.75 \pm 5.34	12.75 \pm 6.19	4.35 \pm 3.76	2.16 \pm 1.45	1.12 \pm 1.17
Biomasa subterránea (Mg/UDM)	5.98 \pm 1.14	3.26 \pm 1.4	1.23 \pm 0.95	0.67 \pm 0.41	0.37 \pm 0.35
Necromasa aérea (Mg/UDM)	3.67 \pm 2.57	4.69 \pm 3.02	0.12 \pm 0.09	0.22 \pm 0.27	0.08 \pm 0.06

5.1 Biomasa por estrato

a. Bosques maduros y secundarios

El cálculo de biomasa realizado para los cinco estratos reporta diferencias importantes entre ellos. El bosque maduro contiene un promedio de biomasa aérea de 24.75 Mg por parcela ($Sd \pm 5.34$) mientras que los bosques secundarios albergan en promedio la mitad de la biomasa en los bosques maduros de Wamaní ($X = 12.75$ Mg; $Sd \pm 6.19$). Las diferencias encontradas entre los dos estratos son altamente significativas ($t = 14.44$; 7.08 ; $p = 0.001$) (Figura 12).

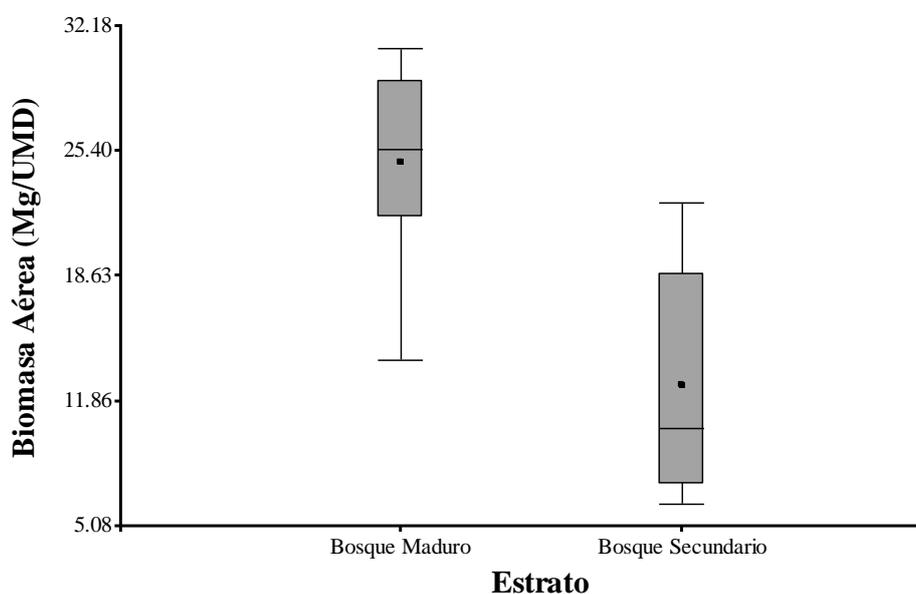


Figura 12. Biomasa aérea (Mg) contenida en parcelas de 40x20m en Bosque Maduro (n=10) y Secundario (n=10). Los valores medios de biomasa se presentan a través de las líneas negras horizontales de las cajas que representan el rango inter-cuartil de los datos, mientras que las patillas simbolizan los percentiles 5% y 95%.

Las variaciones en la biomasa encontrada entre estos dos estratos se explican por la estructura de estos dos tipos de bosques. Los bosques maduros reflejan una mayor proporcionalidad entre las clases diamétricas definidas. Los árboles jóvenes (rango 20-30 cm) representan el 48% de los árboles registrados en estas parcelas, los árboles entre 31 a 50 cm alcanzan el 35% (N= 69 individuos) del total de la población y los árboles adultos sobre los 50 cm cuentan con 33 individuos, equivalentes al 17% del total de la población (Figura 13). En el caso de los bosques secundarios existe una reducción de la proporcionalidad de las clases superiores, en particular de la clase mayor (> 50 cm) en donde equivalen a solo el 5% (n = 10) del total de árboles registrados en este estrato. Por el contrario, los árboles jóvenes equivalen al 69% de la población y alcanzan un total de 132 individuos muchos de los cuales

se encuentran entre 20 y 25 cm de grosor (Figura 13). Por otro lado, el número total de árboles por cada estrato es muy similar; el promedio de individuos para los bosques secundarios es de 18,8 (SD \pm 4,58) y para bosques maduros es de 20,22 (SD \pm 4,55).

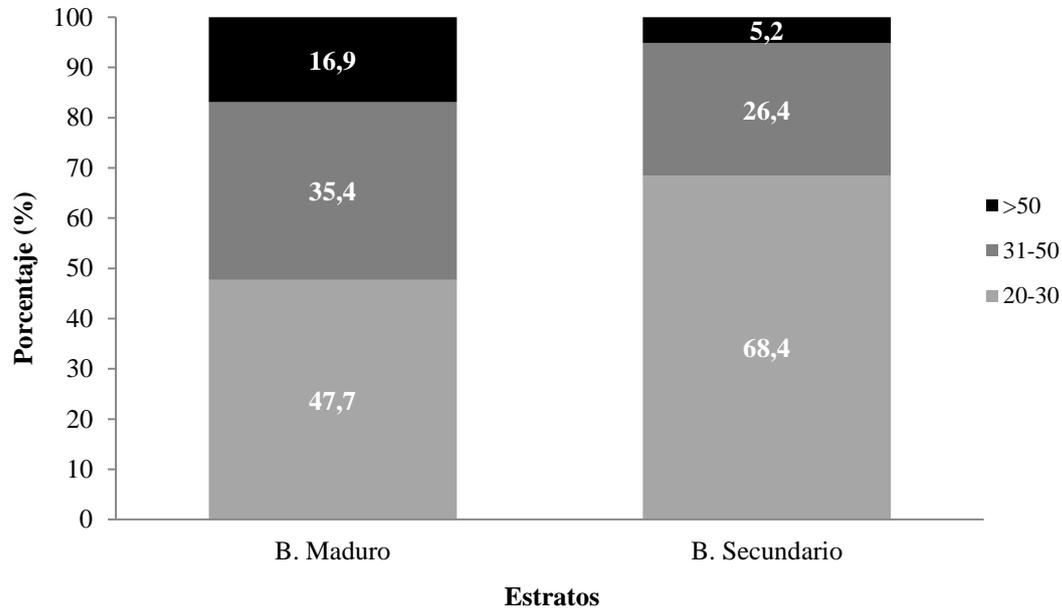


Figura 13. Rangos diamétricos (cm) para bosques maduros (n = 10) y secundarios (n = 10) en la comunidad de Wamaní, provincia de Napo. Los valores en las barras de cada estrato reporta el porcentaje de individuos para cada rango de DAP respecto del total de árboles registrados en cada estrato.

Pese a ser el rango de edad o diamétrico (> 50 cm), que menos árboles tiene por parcela en los dos estratos es el que más contribuye a la biomasa total reportada en cada uno de ellos. En los bosques maduros los árboles del rango superior contienen dos tercios del total de la biomasa reportada por parcela, llegan en algunos casos a contener incluso 5 veces más biomasa que el resto de rangos de edades (Figura 14). Un patrón similar se observa en los bosques secundarios con la diferencia de que la contribución de los árboles > 50 cm al total de la biomasa por parcela es menor (Figura 14). Esto se explica por la menor proporción de individuos de esta clase diamétrica respecto de los bosques maduros (Tabla 3). En la mayoría de las parcelas de bosques maduros el valor relativo de la clase diamétrica >50 cm es superior al 50% del total reportado para la parcela a excepción de la parcela NW_BP13 que pese a estar en un bosque primario el aporte de esta clase es nulo debido a la ausencia de árboles grandes. Esto podría deberse a ser un bosque en un proceso de regeneración producto de un disturbio natural como un derrumbe o la caída de árboles por efectos del viento. Esta hipótesis se confirma con los altos valores de necromasa registrados en esta parcela y por la matriz del bosque en donde se encuentra localizada (ver más adelante).

Al contrario, en los bosques secundarios el aporte de la clase diamétrica de árboles adultos (>50 cm) es muy variable (*Promedio* = 20%; *Sd* ±22,1%). En 6 de las 10 parcelas el aporte es nulo y en un único caso es superior al 51 % (Tabla 3). Esta alta variabilidad de las parcelas de bosques secundarios confirma un gradiente de disturbio en el que la mayoría de las parcelas se encuentran en estadios serales iniciales con la mayoría de los árboles ubicados en las clases diamétricas menores y, por el contrario, dos parcelas sugieren un importante proceso de regeneración con una proporcionalidad importante presencia de árboles correspondientes a la clase diamétrica superior (i.e. NW_14 y NW_18).

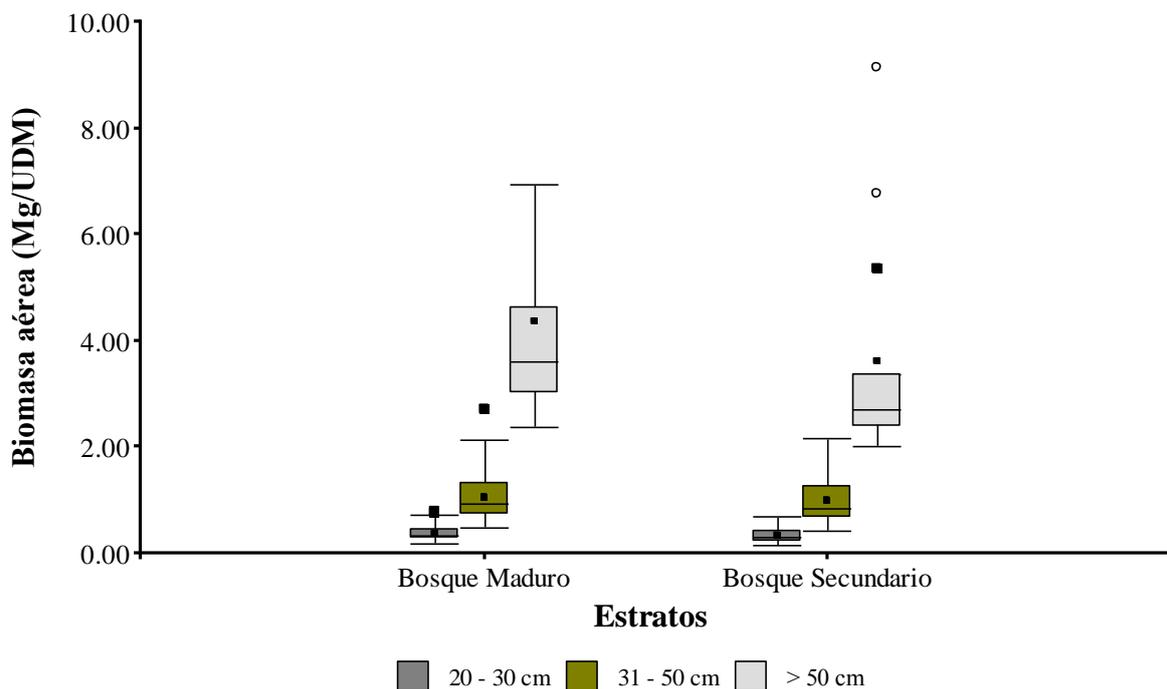


Figura 14. Biomasa aérea (Mg) de árboles en parcelas de 40x20m en Bosque Maduro (n=10) y Secundario (n=10) por cada clase diamétrica (cm). Los valores medios de biomasa se presentan a través de las líneas negras horizontales de las cajas que representan el rango intercuartil de los datos, mientras que las patillas simbolizan los percentiles 5% y 95%.

Tabla 3. Contribución absoluta y relativa de las clases diamétricas de cada parcela al total de biomasa acumulada.

ID Parcela	Uso de Suelo	Clase Diamétrica									Total
		20 - 30 (cm)			31 - 50 (cm)			> 50 (cm)			
		n de árboles	Biomasa (Mg)	%	N	Biomasa (Mg)	%	n	Biomasa (Mg)	%	
NW_BP01	BS	14	4.4	46.0	8	5.2	54.0	0	0.0	0.0	9.6
NW_BP02	BM	11	4.0	15.3	8	7.1	26.7	4	15.4	58.0	26.5
NW_BP03	BM	5	2.0	10.4	5	6.1	31.6	3	11.1	58.0	19.2
NW_BP04	BM	9	3.4	11.0	8	11.7	37.8	3	15.9	51.2	30.9
NW_BP05	BM	8	3.5	16.2	4	4.4	20.1	3	13.9	63.7	21.8
NW_BP06	BM	7	2.6	9.3	7	7.2	25.6	5	18.4	65.1	28.2
NW_BP07	BM	4	1.5	5.0	7	5.4	18.4	3	22.4	76.6	29.2
NW_BP08	BS	17	4.9	76.7	2	1.5	23.3	0	0.0	0.0	6.3
NW_BP09	BS	16	5.5	49.1	6	5.7	50.9	0	0.0	0.0	11.3
NW_BP10	BS	18	4.7	69.9	3	2.0	30.1	0	0.0	0.0	6.7
NW_BP11	BM	8	3.0	10.1	8	7.7	25.8	5	19.2	64.1	30.0
NW_BP12	BM	8	2.8	11.2	5	4.0	16.1	5	17.8	72.6	24.6
NW_BP13	BM	15	4.9	34.4	8	9.2	65.6	0	0.0	0.0	14.1
NW_BP14	BS	10	3.5	15.5	6	7.7	33.8	2	11.5	50.7	22.6
NW_BP15	BM	17	5.7	24.6	10	9.7	41.9	2	7.7	33.5	23.1
NW_BP16	BS	7	2.3	12.2	10	10.7	56.9	2	5.8	30.9	18.8
NW_BP17	BS	9	3.3	21.3	6	7.0	45.6	2	5.1	33.1	15.4
NW_BP18	BS	14	6.4	30.7	6	4.4	21.1	3	10.1	48.2	20.9
NW_BP19	BS	20	6.0	82.0	2	1.3	18.0	0	0.0	0.0	7.4
NW_BP20	BS	7	2.6	29.9	2	2.6	30.5	1	3.4	39.5	8.6

En los bosques maduros se registró un total de 86 taxones (192 individuos) que en su conjunto equivalen a 24,6 m² de área basal y contienen un total de 246,7 Mg de biomasa aérea. Las especies que más contribuyen a la cantidad de biomasa contenida por su frecuencia y área basal relativa son *Protium nodulosum*, *Otoba parvifolia*, *Alchornea aff. glandulosa*, *Licania* sp. 1, *Nectandra* sp. 4 y *Nectandra* sp. 1. Estas seis especies alcanzan 63 individuos los cuales contienen el 54% (13,2 m²) del área basal registrada en estos bosques y el 56% (138 Mg) de toda la biomasa aérea estimada en las parcelas evaluadas (Figura 15). La especie que registra la mayor densidad de su madera es *Licania* sp1. ($d = 0,83 \text{ g/cm}^3$) la cual pese a tener solo 5 individuos y un área basal pequeña es la tercera especie que más aporta con la biomasa total de este estrato (20,1 Mg). Esta especie debe ser considerada una prioridad de conservación en estos bosques

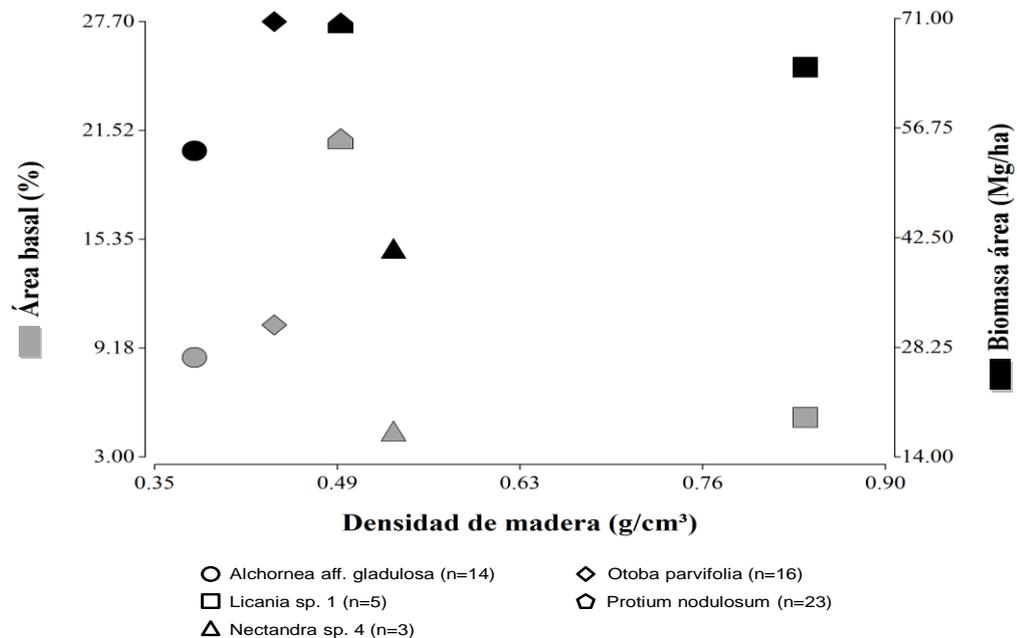


Figura 15. Especies más importantes de los bosques maduros en Wamaní por su biomasa aérea, área basal y densidad de madera.

Los bosques secundarios contienen un total de 190 individuos equivalentes a 15,6 m² de área basal y un total de 127 Mg de biomasa aérea. Las especies más importantes por su área basal y que más contribuyen a la biomasa contenida en este estrato son *Alchornea aff. glandulosa*, *Protium nodulosum*, *Cordia alliodora*, *Ficus cuatrecasana*, *Virola sebifera*, *Sapium cf. marmieri*, *Billia rosea* y *Aniba coto* (Figura 16). Estas 8 especies representan el 53% del área basal de estos bosques y acumulan un total de 61,4 Mg de biomasa aérea equivalente al 48% del total registrado para este estrato. Una diferencia importante de estos bosques es que los valores de biomasa registrados son considerablemente inferiores a los aportados por las especies más importantes en los bosques maduros. En este estrato ninguna especie supera los 23 Mg de biomasa aunque en varios casos las especies tienen una frecuencia similar a la reportada para los bosques maduros (Figura 15). En este estrato a excepción de *Alchornea aff. glandulosa* las especies más importantes fluctúan entre 10 y 14 Mg de biomasa. Estos valores refuerzan el hecho de que se trata de bosques en proceso de regeneración con árboles medianos de crecimiento rápido (i.e. poco densos).

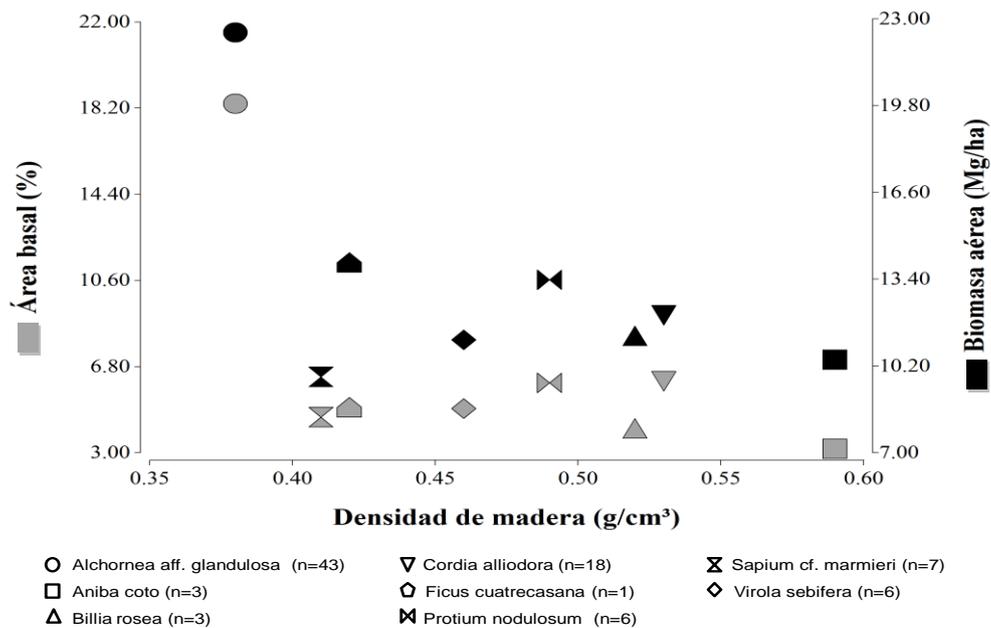


Figura 16. Especies más importantes de los bosques secundarios en Wamaní por su biomasa aérea, área basal y densidad de madera.

b. Plantaciones, cultivos y pastos arbolados

Estos tres estratos corresponden a los principales usos de la tierra que generan conversión y modificación de los bosques en Wamaní. En consecuencia, estos estratos reportan valores muy inferiores en su biomasa aérea respecto de los estratos de bosques. Las principales variaciones son producto de la pérdida de los rangos superiores del estrato arbóreo y una disminución considerable de la cantidad de individuos por unidad de área.

Las diferencias en biomasa aérea entre estos tres tipos de estratos no son estadísticamente diferentes ($f = 2,19$; $p = 0,14$) no obstante los valores medios reportados para las coberturas sugieren una mayor cantidad de biomasa contenida en los pastos arbolados ($X = 4,35$; $Sd \pm 3,76$) que en las plantaciones forestales ($X = 2,15$; $Sd \pm 1,45$) y en los cultivos ($X = 1,12$; $Sd \pm 1,17$). Es importante resaltar que los tres estratos reportan un alto grado de variabilidad interna, evidenciando que los contenidos de biomasa de cada parcela varían mucho entre sí ya que están controlados por los regímenes del uso del suelo (Figura 17).

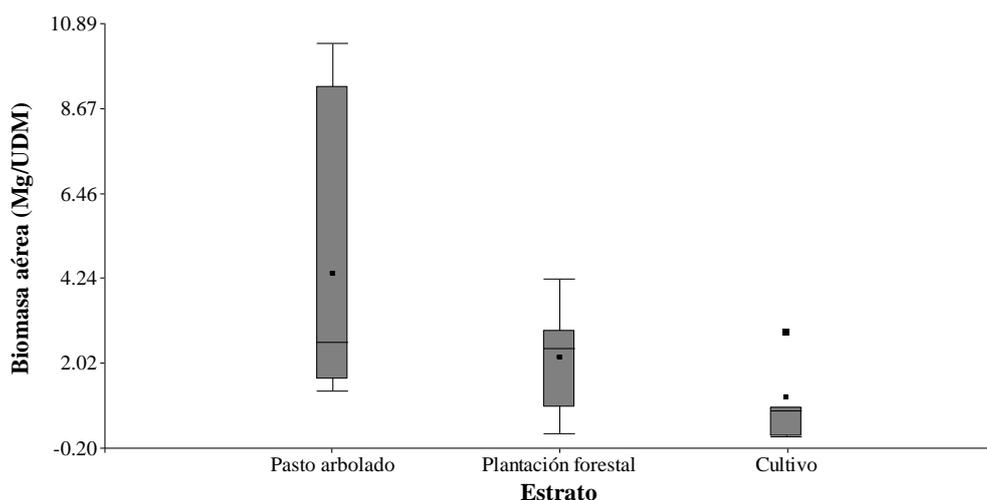


Figura 17. Biomasa aérea (Mg/UDM) contenida en parcelas de 20x20m en Cultivo (n=4), Plantaciones Forestales (n=6) y Pastos Arbolados (n=10). Los valores medios de biomasa se presentan a través de las líneas negras horizontales de las cajas que representan el rango intercuartil de los datos, mientras que las patillas simbolizan los percentiles 5% y 95%.

Las variaciones en los contenidos de carbono están explicadas por el número de individuos contenidos en cada estrato y por la proporción de éstos en cada rango diamétrico. Los pastos arbolados tienen una mayor cantidad de biomasa debido a la prevalencia de árboles superiores a 50 cm de DAP. Por el contrario, en los cultivos y plantaciones forestales no existen árboles grandes que hayan sido preservados en el caso de los cultivos y en el caso de las plantaciones forestales se trata de plantaciones jóvenes con árboles menores a 30 cm de DAP (Figura 18).

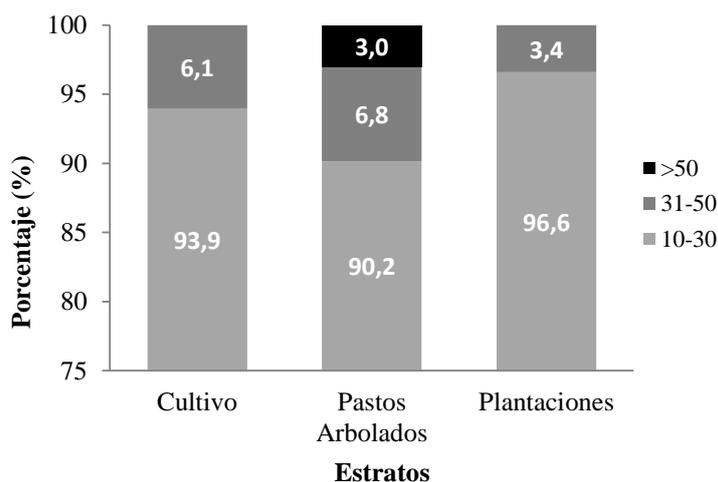


Figura 18. Rangos diamétricos (cm) para cultivos (n = 4), pastos arbolados (n = 10) y plantaciones forestales (n = 6) en la provincia de Napo. Los valores en las barras de cada estrato reporta el valor relativo para cada rango de DAP respecto del total de árboles registrados en cada estrato.

La presencia de los árboles adultos de diámetro superior a los 50 cm es lo que contribuye principalmente a las diferencias en los contenidos de biomasa en cada estrato. En el caso de los pastos arbolados, pese a tener solo 4 individuos contribuye con cerca del 55% del total de la biomasa contenida en este estrato (Figura 19).

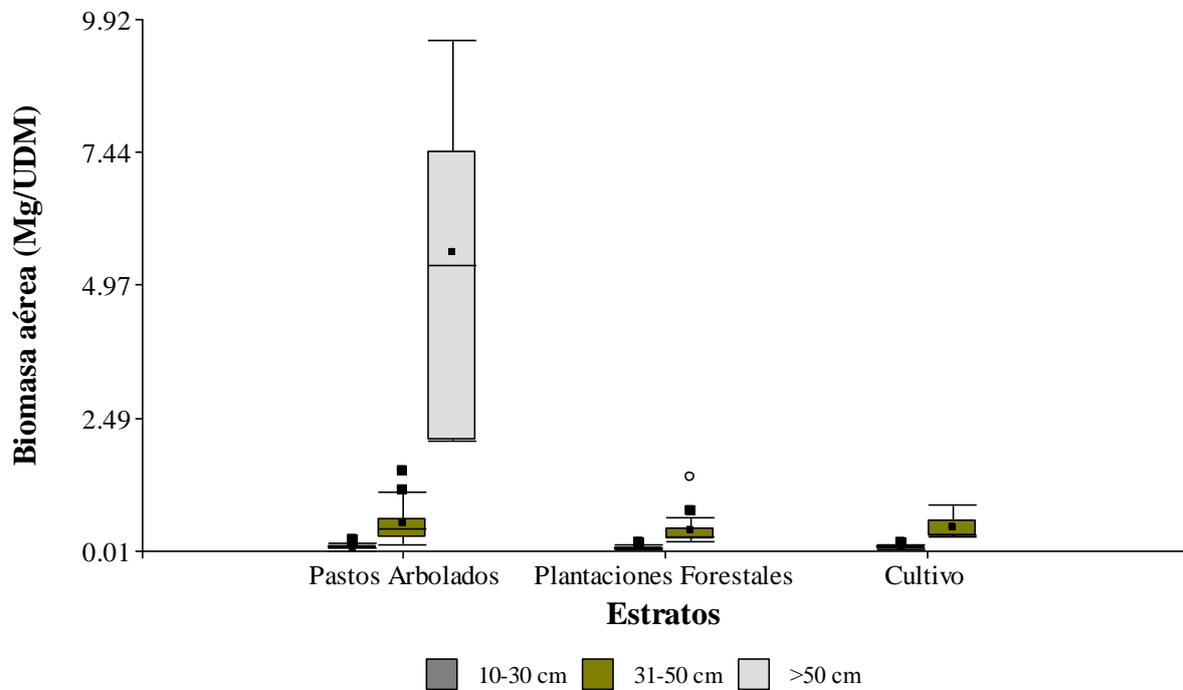


Figura 19. Biomasa aérea (Mg) contenida en parcelas de 40x20m en Pasto arbolados (n=10), plantaciones forestales (n = 6) y cultivos (n=4) por cada clase diamétrica (cm). Los valores medios de biomasa se presentan a través de las líneas negras horizontales de las cajas que representan el rango inter-cuartil de los datos, mientras que las patillas simbolizan los percentiles 5% y 95%.

En el caso de las plantaciones forestales el 76% de los árboles (n = 67) corresponden a árboles jóvenes de un rango de 10 a 20 cm que aportan con 4,6 Mg de biomasa aérea, equivalente al 36% del total de la biomasa de este estrato. Por otro lado, los árboles de 20 a 30 cm pese a tener solo 18 individuos contienen el 43% de la biomasa total de este estrato. Los tres árboles medianos de la clase 31 a 50 llegan a contener la mitad de biomasa contenida en los 18 de la clase 20 a 30 cm (Tabla 4). Esto evidencia el gran potencial de almacenar carbono en estas plantaciones, especialmente si se considera que en un período relativamente corto (~ 5 años) la mayoría de los árboles juveniles pasen a formar parte de la clase diamétrica intermedia. Esto es particularmente importante para especies como *Cedrelinga cateniformis*, *Piptocoma discolor* y *Cordia alliodora*, que son las tres especies de mayor importancia comercial y que mayor contribución tienen al total de biomasa área y área basal cubierta en este estrato (Figura 20).

Tabla 4. Biomasa aérea contenida en cada clase diamétrica y su contribución relativa en las parcelas de plantaciones forestales (n =6) en la provincia de Napo, Wamaní.

Clase diamétrica (cm)	Individuos (N)	Individuos (%)	AGB (Mg)	AGB (%)
10 a 20	67	76.1	4.6	35.7
20 a 30	18	20.5	5.5	42.9
31 a 50	3	3.4	2.8	21.4
Total	88	100.0	12.9	100.0

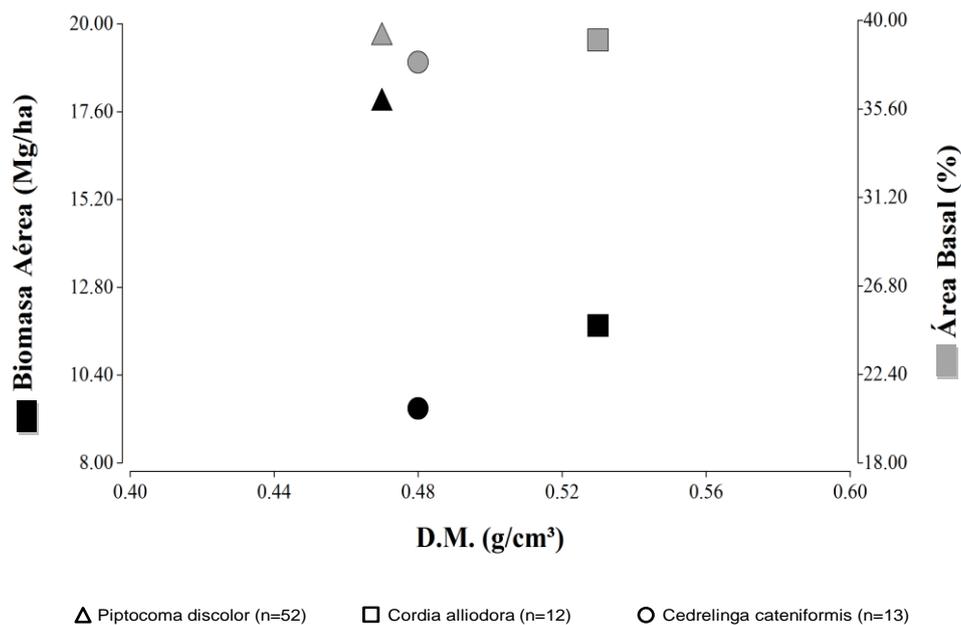


Figura 20. Especies más importantes de las plantaciones forestales en Wamaní por su biomasa aérea, área basal y densidad de madera.

5.2 Necromasa por estrato

5.2.1 Necromasa en pie en bosques y SAGF

Existen diferencias significativas ($T= 2.30$; $p = 0.032$) en los contenidos de necromasa presentes en bosque versus los encontrados en sistemas agroforestales, con un aporte ca. 92% de la necromasa total en pie en bosque. Únicamente los bosques maduros aportan con ca. 54% como señal de un alto dinamismo (Tabla 5). Entre los SAGF las plantaciones forestales son las que presentan un mayor aporte de necromasa (2.345 Mg ha^{-1}) en contraste con los pastos arbolados que presentan los valores más bajos (0.22 Mg ha^{-1}).

Tabla 5. Necromasa (Mg/ha) presente en los árboles muertos en pie, en parcelas de bosque y sistemas agroforestales. Bosque maduro (n=10), bosque secundario (n=10), pasto arbolado (n=10), plantación forestal (n=6) y cultivo (n=4).

Estrato	Hojasca y Detritos finos (<10cm)	Detritos gruesos (≥10cm)	Necromasa por estrato	%
Bosque maduro	0.035	22.620	22.655	54.01
Bosque secundario	0.053	16.025	16.078	38.33
Cultivo	0.025	0.625	0.650	1.55
Pasto arbolado	0.125	0.095	0.220	0.52
Plantación forestal	0.050	2.295	2.345	5.59
Total general	0.288	41.660	41.948	100

5.2.2 *Necromasa caída en bosques y SAGF*

Pese a que no se observaron diferencias estadísticamente diferentes ($T=0.81$; $p=0.44$), en general se observa una mayor concentración de necromasa almacenada en bosque secundario, tanto en detritos finos como en los gruesos, que en los bosques maduros.

5.2.2.1 *Detritos gruesos (árboles, ramas o tocones con diámetros ≥ 10 cm)*

En los detritos gruesos es donde se observa una diferencia más pronunciada entre los dos estratos, con un aporte en los bosques secundarios de ca.57% de la necromasa almacenada por detritos gruesos y una media de 49.01 Mg ha^{-1} ($SD\pm 38.51$) vs. 37.20 Mg ha^{-1} ($SD\pm 33.36$) observada en bosque maduro (Figura 21). Estas diferencias podrían ser explicadas por una mayor cantidad de árboles caídos y tocones dejados por la extracción de madera y otros usos en el bosque secundario. Adicionalmente, esto podría explicarse porque los bosques secundarios tienen una dinámica de recambio mayor que los bosques maduros, lo cual podría generar una mayor mortalidad de individuos de especies pioneras mientras avanza el proceso de regeneración del bosque.

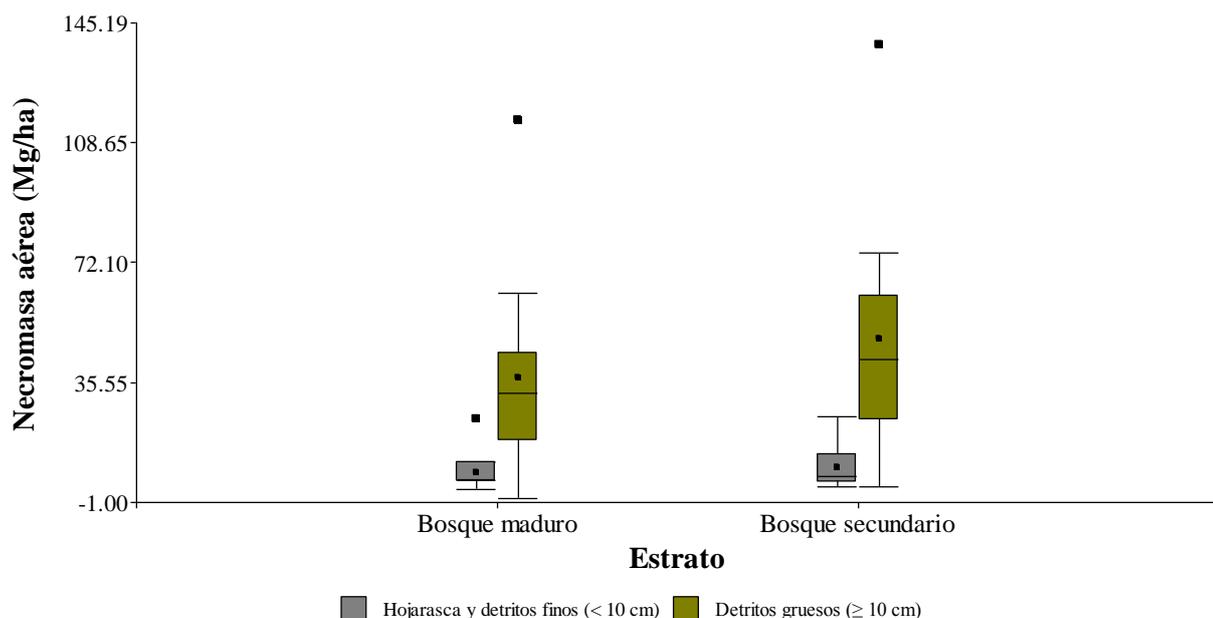


Figura 21. Necromasa aérea (Mg) aportada por detritos finos (<10cm) y detritos gruesos (≥10cm) en parcelas de 40x20m en bosque maduro (n=10) y bosque secundario (n=10). Los valores medios de necromasa se presentan a través de las líneas negras horizontales de las cajas que representan el rango inter-cuartil de los datos, mientras que las patillas simbolizan los percentiles 5% y 95%.

5.2.2.2 Detritos finos y hojarasca (ramas o fustes con diámetro <10 cm)

El bosque secundario aporta con la mayor cantidad de materia orgánica en descomposición, almacenada en los detrito finos y hojarasca, que cualquier otro estrato ($X=0.77 \pm 0.56$), lo que representa el 53% del total de necromasa en detritos finos (Tabla 6).

Tabla 6. Media (Mg) de necromasa y su desviación estándar (\pm SD) presente en la hojarasca y detritos finos en parcelas de bosque y sistemas agroforestales. Bosque maduro (n=10), bosque secundario(n=10), pasto arbolado(n=10), plantación forestal (n=6) y cultivo (n=4).

Estrato	N	Media (\pm SD)	Total
Bosque maduro	10	0.66 \pm 0.5	6.61
Bosque secundario	10	0.77 \pm 0.56	7.72
Pasto arbolado	10	0.004 \pm 0.01	0.04
Plantación forestal	6	0.09 \pm 0.19	0.55

5.3 Patrones de diversidad en bosques maduros y secundarios

En los bosques de Wamaní se registraron un total de 150 especies de las que 86 fueron censadas en los bosques maduros y 80 en los bosques secundarios. Estas especies equivalen a un total de 388 individuos arbóreos > 20 cm de DAP. La gran mayoría de las especies, 117 de las 150 registradas, ocurre en densidades muy bajas, generalmente 1 o 2 individuos. Por el contrario 13 especies representan el 46% (175) de todos los individuos censados y de éstas

apenas 4 superan los 10 individuos (Figura 22). Las especies más frecuentes en Wamaní son *Alchornea aff. glandulosa* (n = 56), *Protium nodulosum* (n = 29), *Cordia alliodora* (n = 18) y *Otoba parvifolia* (n = 18).

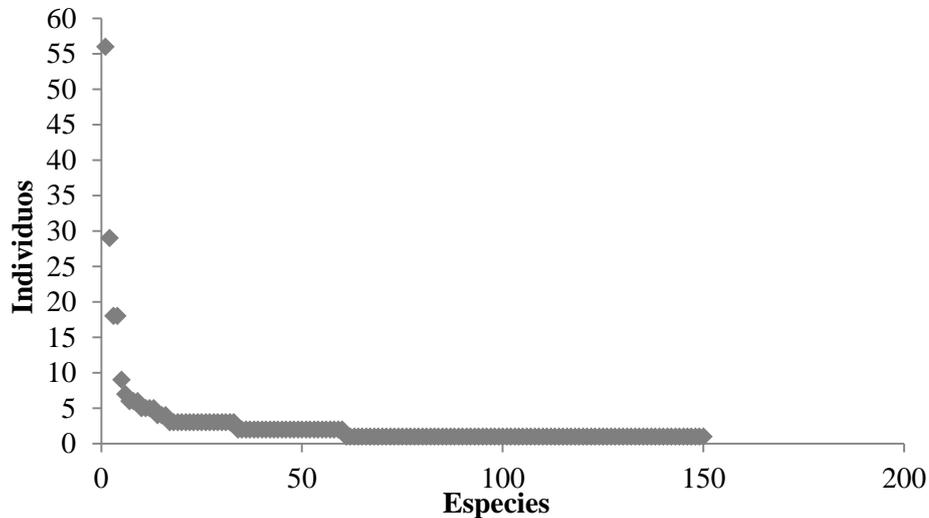


Figura 22. Número de individuos registrados por especie en las 20 parcelas de 40 x 20 m establecidas en la comunidad de Wamaní.

Existe un total de 185 especies pertenecientes a 92 géneros agrupados en 46 familias (incluida una indeterminada). Las familias con la mayor diversidad de géneros son Rubiaceae (n =8), Lauraceae (n = 6; uno indeterminado), Fabaceae (n = 6; uno indeterminado), Annonaceae (n = 5) y Moraceae (n = 5). Los géneros más diversos son Cecropia (n = 7), Inga (n = 7), Nectandra (n = 7), Indeterminada (n = 6), Miconia (n = 5), Cordia (n = 4), Pouteria (n = 4) y Virola (n = 4).

La similitud en la composición de la flora entre los dos tipos de bosque es baja. De las 86 especies registradas en los bosques maduros, el 81 por ciento (n = 70) fueron registradas solo en los bosques primarios y 64 especies exclusivamente en los bosques secundarios, compartiendo apenas un total de 16 especies. No obstante esta poca similitud entre los dos estratos es producto también de la gran variación que existe entre las parcelas de los mismos estratos.

El análisis de similitud de Bray-Curtis genera un agrupamiento de tres nodos principales donde se separan claramente las parcelas de bosque maduro de las de bosque secundario. El primer nodo se encuentra en el centro del gráfico y agrupa a las parcelas de bosque maduro con una similitud entre 0,38 y 0,20 (Figura 23). El segundo nodo, ubicado a la derecha del dendrograma, contiene a las parcelas de bosque secundario en un estadio de degradación

mayor (p.ej. NW_BP01, NW_BP19) donde el índice de agrupamiento oscila entre 0,81 a 0,31 y la composición es la más similar entre las parcelas. El tercer nodo se encuentra a la izquierda del dendrograma y agrupa a parcelas de bosque maduro (i.e. NW_BP11) con parcelas de bosque secundario (i.e. NW_BP18) en estadios serales mayores, lo cual se evidencia por su composición y sus índices de diversidad. Este nodo reporta los valores más bajos de similitud (entre 0,11 y 0,22) entre las parcelas sugiriendo la gran variación en la composición y estructura de la comunidad arbórea (Figura 22, Anexo 1: Matriz similitud Bray-Curtis). Las parcelas NW_BP14, NW_BP16, NW_BP17 y NW_BP20 no forman parte de un nodo como tal debido a la gran heterogeneidad que existe en los bosques secundarios de Wamaní.

Los valores bajos del índice de similitud reflejan una alta variación en la composición de las parcelas establecidas. Esto se debe al tamaño pequeño de las parcelas, las cuales no alcanzan a representar la alta diversidad Alpha de los bosques de tierras bajas del piedemonte amazónico. Los análisis de la curva especie-área evidencian que la curva nunca llega a estabilizarse en los dos estratos de bosque caracterizados (Figura 24). Adicionalmente, dado el alto grado de diversidad Beta propio de estos bosques es posible que el recambio de especies sea muy alto en un gradiente de 600 metros (900 a 1500 metros de elevación) haciendo incluso más sensible la variación entre las parcelas muestreadas. Esto también se evidencia en los valores bajos de dominancia de las parcelas, incluso para las de bosque secundario (ver más adelante).

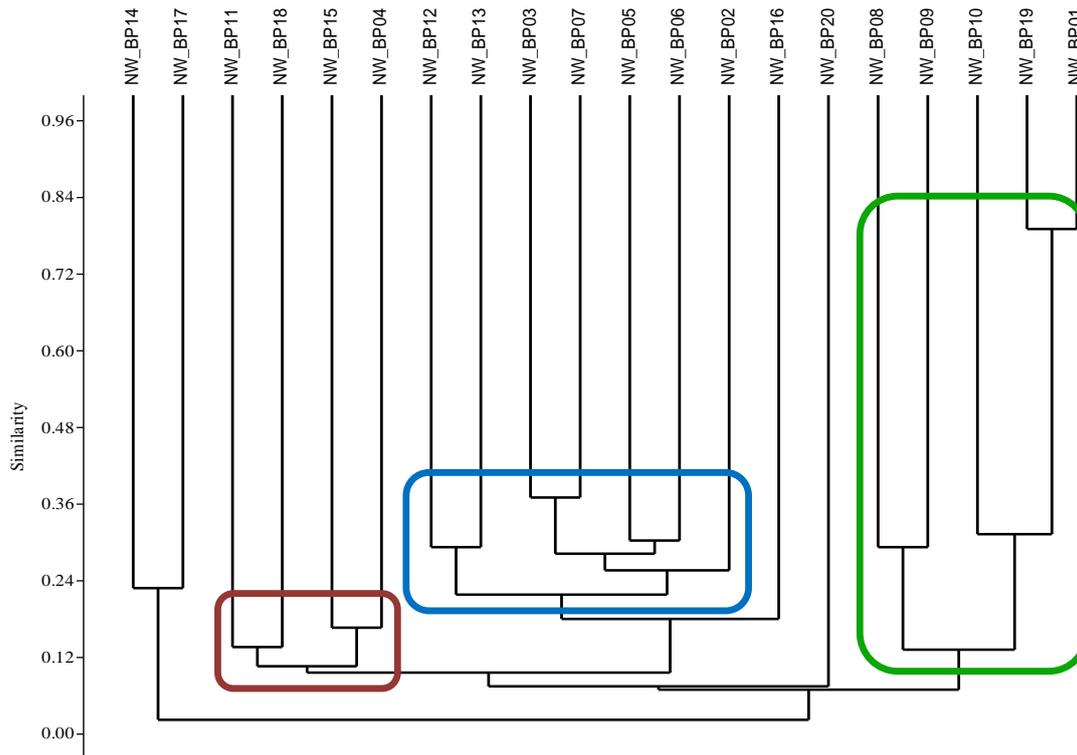


Figura 23. Análisis de agrupamiento pareado entre grupos de las parcelas de bosque maduro ($n = 10$) y las parcelas de bosque secundario ($n = 10$) en Wamaní. La distancia de similitud utilizada es Bray-Curtis la cual utiliza las abundancia de las especies como criterio de agrupamiento principal.

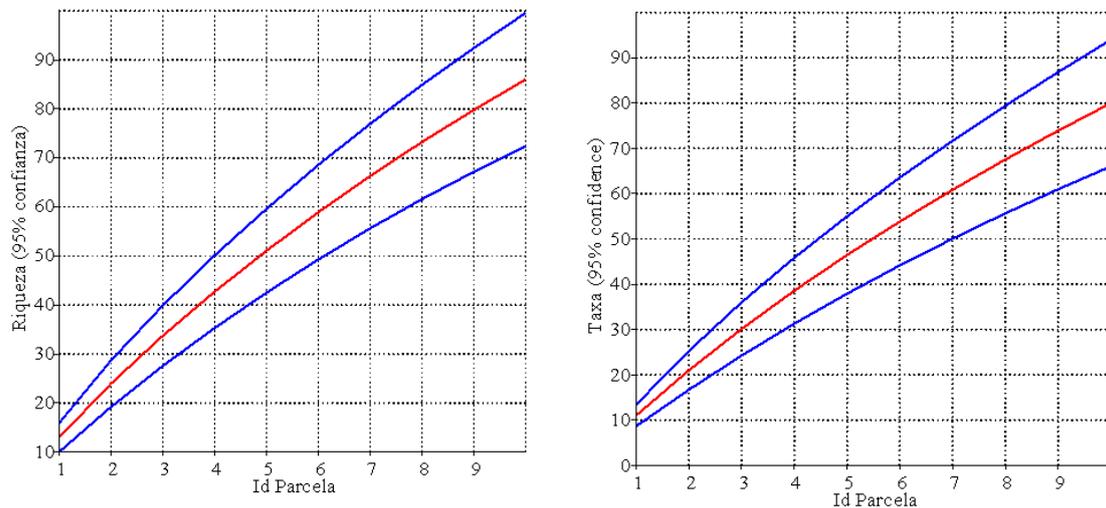


Figura 24. Curva de acumulación de especies en 10 parcelas de bosques maduros (izquierda) y 10 parcelas de bosques secundarios (derecha) de 800 m^2 establecidas en la comunidad de Wamaní. La línea roja representa la curva acumulativa de especies y las azules el intervalo de confianza del 95%.

Los índices de diversidad estimados para las parcelas confirman que en general los bosques maduros son más diversos que los bosques secundarios y que su estructura representa la de una comunidad diversa con valores bajo de equidad y dominancia (Figura 25, Tabla 7).

Tabla 7. Índices de diversidad estimados para las parcelas de bosque maduro (BM, n =10) y bosque secundario (BS, n =10) establecidas en la comunidad de Wamaní.

Parcela	Uso Suelo	Altitud	Riqueza	Individuos	Dominancia (D)	Shannon (H)	Equidad ($e^{H/S}$)
NW_BP01	BS	1144	5	21	0.6	0.87	0.56
NW_BP02	BM	1249	20	24	0.06	2.93	0.98
NW_BP03	BM	1123	11	13	0.1	2.35	0.98
NW_BP04	BM	1057	11	21	0.14	2.17	0.90
NW_BP05	BM	1054	9	14	0.16	2.01	0.92
NW_BP06	BM	1071	13	19	0.1	2.43	0.95
NW_BP07	BM	1089	9	14	0.15	2.05	0.93
NW_BP08	BS	1135	6	19	0.43	1.23	0.69
NW_BP09	BS	1158	12	22	0.13	2.26	0.91
NW_BP10	BS	1149	14	21	0.15	2.33	0.88
NW_BP11	BM	1400	13	21	0.13	2.31	0.90
NW_BP12	BM	1314	9	18	0.14	2.06	0.94
NW_BP13	BM	1301	15	23	0.1	2.55	0.94
NW_BP14	BS	1127	15	18	0.08	2.63	0.97
NW_BP15	BM	1316	21	29	0.06	2.91	0.96
NW_BP16	BS	1130	14	19	0.09	2.55	0.97
NW_BP17	BS	1074	12	17	0.11	2.34	0.94
NW_BP18	BS	1166	17	23	0.08	2.69	0.95
NW_BP19	BS	1200	6	21	0.59	0.93	0.55
NW_BP20	BS	1232	8	11	0.16	1.97	0.94

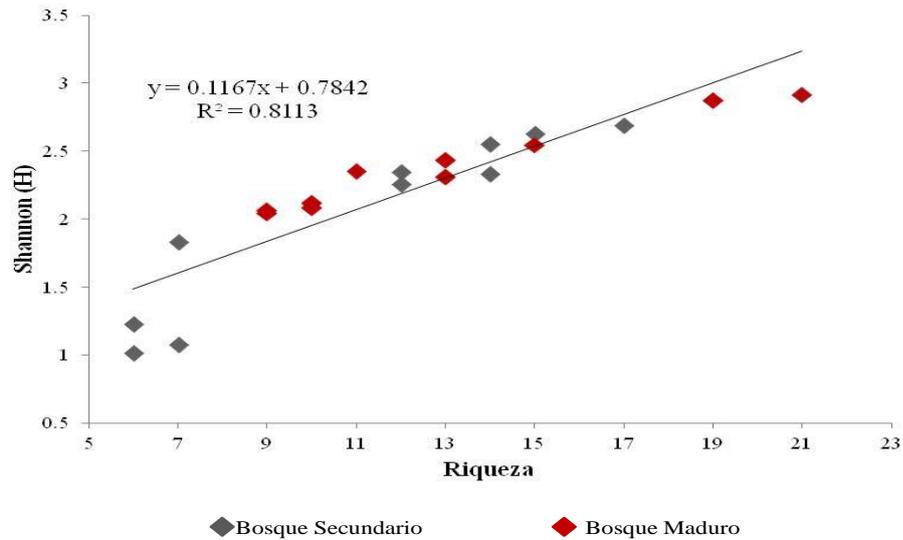


Figura 25. Variación de la riqueza de especies arbóreas (> 20 cm DAP) respecto de la diversidad alpha (Shannon-H) en las 20 parcelas (40 x 20 m) establecidas como parte de la caracterización de los bosques de la comunidad de Wamaní, Napo. Los diamantes rojos representan las parcelas de bosques maduros y los grises las parcelas de los bosques secundarios.

La distribución de las parcelas de bosques secundarios confirma la existencia de un gradiente de disturbio el cual afecta los patrones de diversidad del bosque generando un mosaico de un bosque en diferentes estadios serales. Otro aspecto importante es la influencia del tamaño de la parcela, la cual podría influir considerablemente en los patrones de diversidad del bosque, en particular en la abundancia de las especies y sus patrones de dominancia (Figura 26).

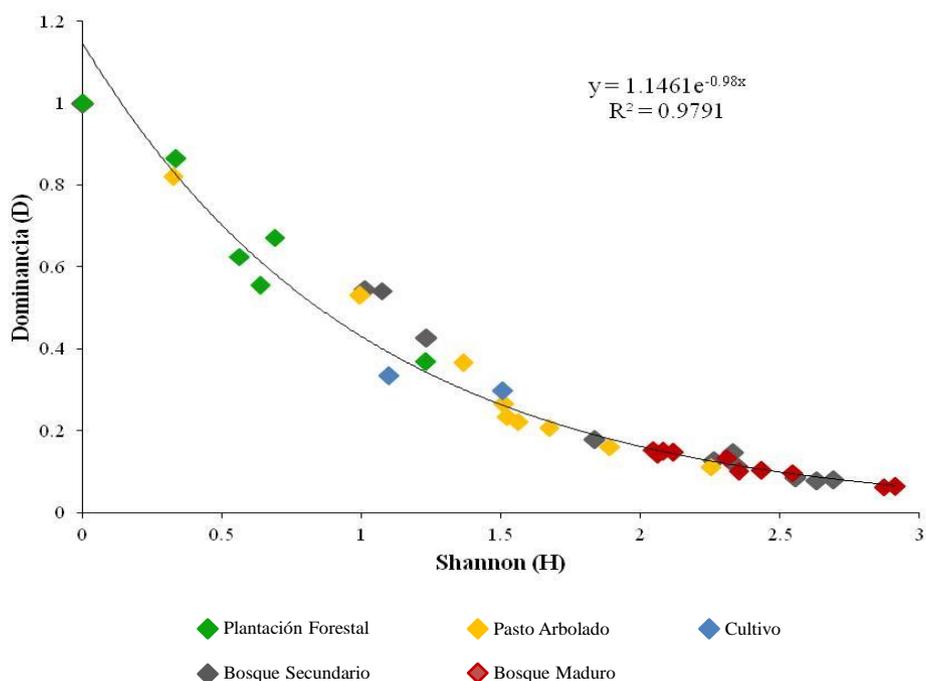


Figura 26. Variación de la diversidad (Shannon-H) de especies arbóreas (> 20 cm DAP) respecto de la dominancia (D) en las 20 parcelas (40 x 20 m) establecidas como parte del IF de la comunidad de Wamaní, Napo. Los diamantes rojos representan las parcelas de bosques maduros y los grises las parcelas de los bosques secundarios.

6 Discusión

6.1 Contenidos de biomasa, necromasa y materia orgánica total en bosques y sistemas agroforestales de Wamaní

6.1.1 Bosque maduro y bosque secundario

En términos generales los resultados confirman que los bosques maduros son el estrato con mayor aporte a los contenidos totales de biomasa aérea (BA) y subterránea (BS) en Wamaní con promedios por ha $309.4 \pm 66.8 \text{ Mg ha}^{-1}$ y $73.7 \pm 14.3 \text{ Mg ha}^{-1}$ respectivamente (Tabla 8); valores que se encuentran en los rangos reportados por varios autores, entre 120 y 400 Mg ha^{-1} de BA para bosques tropicales similares al de Wamaní (Hughes, Kauffman et al. 1999; Baker, Phillips et al. 2004; IPCC 2006; Stegen, Swenson et al. 2009). La mayor contribución en la biomasa de este estrato está relacionada con el estado de conservación de estos bosques, evidenciado por una mayor densidad y diversidad de especies arbóreas con diámetros del fuste sobre los 50 cm y con densidades de madera altas. Sin embargo las contribuciones del bosque secundario son importantes con un promedio de 159.4 ± 77.4 y $40.7 \pm 17.5 \text{ Mg ha}^{-1}$ para BA y BS respectivamente (Tabla 8).

La biomasa almacenada en la raíces o biomasa subterránea es relativa a las concentraciones de biomasa aérea o al crecimiento de árboles sobre el suelo para los dos estratos, ya que un incremento en el crecimiento y en las funciones reproductivas de una planta implica un incremento en la producción de raíces y su capacidad de captación de nutrientes y fijación de nitrógeno (Cuevas and Medina 1988; Pries, Then et al. 1999; Aragão, Malhi et al. 2009). En este sentido se puede apreciar que el bosque maduro y el secundario aportan con el ca. 57 Mg ha⁻¹ de la biomasa subterránea total contenida en Wamaní, en vista que son los estratos donde existe mayor densidad de árboles, arbustos, palmas y helechos arborescentes. Para los bosques Amazónicos se estima que el 91% de la capa orgánica del suelo está conformada por raíces finas (< 2mm) y que en los primeros 30 centímetros de profundidad se encuentran entre el 69 y el 73% del total de raíces (Girardin, Aragão et al. 2013); (Quesada, Lloyd et al. 2011).

Tabla 8. Contenidos totales (Mg ha⁻¹) de biomasa aérea (BA), biomasa subterránea (BS) y necromasa aérea (NA) presentes en cada estrato evaluado en la comunidad Wamaní, provincia de Napo.

Reservorio	Bosque maduro (Mg ha ⁻¹)	Bosque secundario (Mg ha ⁻¹)	Pasto arbolado (Mg ha ⁻¹)	Plantación forestal (Mg ha ⁻¹)	Cultivo (Mg ha ⁻¹)
	Total ± SD*	Total ± SD*	Total ± SD*	Total ± SD*	Total ± SD*
BA	309.4±66.8	159.4±77.4	108.7±94	53.9±36.3	28.1±29.3
BS	73.7±14.3	40.7±17.5	30.8±23.8	16.7±10.3	9.2±8.8
NA	45.9±32.1	58.7±37.8	3.1±2.3	5.4±6.8	2.1±1.5
MO Total**	429.0±113.1	258.7±132.6	142.5±120	75.9±53.4	39.31±39.5

* Valores obtenidos de la suma de promedios de cada parcela por estrato y luego extrapolados a nivel de hectárea.

** Valor obtenido de la suma de los tres reservorios BA, BS y NA.

En términos de necromasa el bosque secundario aporta con las concentraciones más alta de materia orgánica en descomposición o necromasa (58.7±37.8 Mg ha⁻¹) en relación los 45.9±32.1 Mg ha⁻¹ reportados para bosque maduro, producto de la gran dinámica de las comunidades vegetales en estos estratos (Tabla 8). En general los bosques secundarios poseen una gran capacidad de producción y almacenamiento de materia orgánica sobre el suelo, principalmente en los primeros estadios de sucesión (Lugo and Brown 1992), cuando los índices de mortalidad y reclutamiento son relativamente altos (Hughes, Kauffman et al. 1999). Adicionalmente, sus altos contenidos de necromasa sugieren un proceso importante de recuperación del bosque y un potencial incremento de sus reservorios totales en un espacio temporal no muy lejano (ca. 5 años).

6.1.2 Sistemas agroforestales (SAGF)

Los SAGF poseen una capacidad de captura y almacenamiento de BA, entre 12 a 228 Mg ha⁻¹, igualando en ciertas ocasiones a la capacidad de un bosque en sucesión o secundario (López, Koning et al. 2002; Cofecac 2005; Ortiz, Riascos et al. 2008). Para este estudio de caso (NZDZ) se observaron valores máximos de BA (108.7±94 Mg ha⁻¹) para pastos arbolados (Tabla 8), aporte que se debe al gran número de árboles remanentes presentes en las UDMs con diámetros ≥ 10 cm, los mismos que fueron conservados para proporcionar sombra al ganado (*Billia rosea*, *Alchornea glandulosa*), para la futura comercialización de su madera (*Cordia alliodora*), como fuente de alimento por la producción de frutos (*Inga spectabilis*, *I. acreana*, *I. ilta*) o para la extracción de medicamentos (*Croton lechleri*).

En las plantaciones forestales, en cambio, se observaron promedios de 54 Mg ha⁻¹, valor que se encuentran muy por debajo del rango reportado en otros estudios, entre 108 y 229 Mg ha⁻¹ (López, Koning et al. 2002). Esto se puede explicar en vista de que son plantaciones recientes de no más de 3 o 7 años de edad aproximadamente; además de que se tratan de plantaciones donde se produce mayormente una sola especie, lo que representa un menor aporte a los contenidos de BA. En este sentido es necesario mejorar estas prácticas incorporando plantaciones tropicales mixtas con varias especies arbóreas de uso múltiple como forrajeras de sombra, frutales, fijadoras de nitrógeno, maderables, entre otras, para optimizar el almacenamiento de biomasa en estos estratos. Varios estudios han reportado que la plantaciones tropicales mixtas producen mayores cantidades de biomasa que los monocultivos (Erskine, Lamb et al. 2006; Healy, Gotelli et al. 2008). Además también es importante mencionar que los contenidos de biomasa en estos estratos incrementarán con la edad de la plantación. Andrade, Segura et al. (2008) reportaron contribuciones de hasta 115.5 ± 45.2 Mg ha⁻¹ en SAGF de Cacao 20 años después de su siembra. Por último los cultivos son los que menos aportan en términos de biomasa aérea (28.1±29.3 Mg ha⁻¹) como consecuencia, principalmente, de las malas prácticas agrícolas que se llevan a cabo en la comunidad como el uso de agroquímicos en cultivos de naranjilla, implementación de monocultivos, pastoreo intensivo, entre otras, que degradan y debilitan los suelos 5 o 10 años después de uso continuo (Nepstad, Moutinho et al. 1996; Quintana-Ascencio, Ramírez-Marcial et al. 1996; Günter, Weber et al. 2007).

Por otro lado, en los SAGF los contenidos promedio de BS son los más bajos, 30.8±23.8 PA, 16.7±10.3 PF y 9.2±8.8 C (Mg ha⁻¹) (Tabla 8), en vista que son los estratos con menor

densidad de individuos y posiblemente también al hecho de que en estas áreas existe una gran presión, sobre el suelo y las raíces, por parte del pastoreo y la herbivoría. Algunos estudios afirman que un incremento en la herbivoría produce cambios en la anatomía y estructura de las raíces (Huber, Philippe et al. 2005), sin embargo este aspecto no ha sido ampliamente estudiado (Hunter 2008). Finalmente, en términos de necromasa los SAGF de Wamaní aportan en promedio con 3.53 Mg ha^{-1} de la necromasa (Tabla 8); ya que al existir una baja densidad de árboles la mortalidad y la producción de hojarasca en estos estratos también es muy baja. Adicionalmente los comuneros de la localidad brindan constante cuidado de estas zonas de producción favoreciendo la supervivencia de los árboles ahí presentes, lo que produce bajos promedios de producción en necromasa. Cabe mencionar estos valores bajos de necromasa pueden ser producto también del hecho que no se realizó un monitoreo de detritos gruesos caídos en estos estratos, ya que las dimensiones de las parcelas en SAGF eran muy pequeñas ($20 \times 20 \text{ m}$) y no se pudo aplicar el protocolo para monitorear troncos, ramas o tocones gruesos caídos ($\geq 10 \text{ cm}$) en un transecto de 30 m .

6.2 Contenidos de Materia Orgánica (MO) total en el paisaje de Wamaní

A nivel de paisaje los contenidos de MO (Mg/ha), en los estratos caracterizados de Wamaní, son más abundantes en áreas forestales que en zonas con diferente uso de suelo, ya que los bosques abarcan superficies más extensas, hasta 22 veces más grandes, que las que cubren los SAGF. El bosque maduro presenta aportes de MO de $429.0 \pm 113.1 \text{ Mg ha}^{-1}$ lo que determina un buen estado de conservación de los fragmentos de bosques remanentes del territorio comunitario de Wamaní, sin embargo este estrato aporta en promedio con un 48% (ca. 665 mil Mg) de los contenidos de MO total estimados para el paisaje de la comunidad, en vista principalmente de que posee una superficie considerablemente menor al área cubierta por los bosques secundarios (Tabla 9). La mayor parte del territorio de la comunidad se encuentra bajo una gran presión debido a la expansión de los usos agrícolas y pecuarios en detrimento de las áreas de bosque; las prácticas agrícolas de productos como la naranjilla (*Solanum quitoense*) han transformando a Wamaní en un paisaje compuesto por un mosaico de distintos usos de suelo, en el que el bosque secundario constituye la matriz del paisaje con ca. 2600 ha (cerca del 52% del área total de Wamaní). Este estrato contribuye con el almacenamiento de ca. 677 000 Mg de materia orgánica, lo que representa un 49% de MO total de la comunidad (Tabla 9).

Estos valores evidencian la importancia de los bosques secundarios en términos de captación de materia orgánica y carbono, la cual podrá incrementarse durante el proceso de sucesión hasta un bosque maduro considerando un esquema de manejo que permita su regeneración en los próximos 10 años. En este contexto es importante redoblar los esfuerzos de investigación de los bosques secundarios para analizar su productividad anual y analizar su capacidad de captura de carbono en procesos de regeneración a partir de diferentes estadios de degradación. Adicionalmente, los bosques secundarios son una prioridad para delinear mecanismos de conservación producto de la importante cantidad de carbono que podrían emitir si el proceso de expansión de los pastos continúa. Pequeños cambios en su estructura y su funcionamiento pueden tener consecuencias importantes en alterar el ciclo del carbono, e inducir importantes pérdidas locales de especies (Malhi, Phillips et al. 2002).

Los sistemas agroforestales en vista de que presentan extensiones de terreno muy pequeñas, en relación a las que poseen el bosque primario y el secundario, también aportan con los contenidos de MO más bajos (Tabla 9). Los pastos arbolados contienen ca. 33 000 Mg de la MO total de Wamaní, aportando en promedio 19 veces más MO que los otros dos SAGF, plantación forestal y cultivo. Las plantaciones forestales se han concentrado en la producción de especies de rápido crecimiento como *Cordia alliodora* (laurel), *Piptocoma discolor* (Pigüe) o *Cedrelinga cateniformis* (chuncho) quienes prestarán aportes importantes de MO en los próximos años cuando la plantación alcance su madures. Los cultivos, por su parte, producen especies para consumo interno, como *Theobroma cacao* (cacao), *Bactris gasipaes* (chonta) o varias especies de guaba (*Inga* sp.), y no especies para su comercialización en masa, por lo que la densidad de árboles por especie está limitada a unos pocos individuos. En este sentido, promover y potenciar las prácticas agroforestales responsables, como un uso eficaz de los recursos naturales (espacio, suelo, agua, luz), así como promover el enriquecimiento de estos sistemas utilizando especies forestales nativas permitirá mejorar la capacidad de almacenamiento de carbono y MO en estos estratos. Por ejemplo mejorar la capacidad de carga de los pastos aprovechando la totalidad del área destinada al pastoreo incrementará la captura de MO en los pastos arbolados.

Tabla 9. Materia orgánica total (MOt) (Mg) y contribución relativa (CR %) por estrato en el paisaje de Wamaní.

Estrato	Bosque maduro	Bosque secundario	Pasto arbolado	Plantación forestal	Cultivo
Superficie* (ha)	1549.70	2615.50	233.53	24.30	27.68
Superficie* (%)	30.65	51.72	4.62	0.48	0.55
MO ** (Mg ha ⁻¹)	429.0±113.1	258.7±132.6	142.5±120	75.9±53.4	39.31±39.5
MOt** (Mg)	66.49x10 ⁴ ±15,53x10 ⁴	67.67x 10 ⁴ ±34,69x10 ⁴	3.33x10 ⁴ ±2.80x10 ⁴	0.18x10 ⁴ ±1.29x10 ⁴	0.11x10 ⁴ ±0.10x10 ⁴
CR%	48.26	49.12	2.42	0.13	0.08

*Fuente: (Ortiz y Peralvo 2013, Anexo 1).

** Valores obtenidos de la extrapolación de los valores de MO totales por estrato a nivel de paisaje.

6.3 Gradiente de uso y biomasa

El gradiente de uso de suelo en la comunidad Wamaní demarca importantes diferencias en la estructura de edades, estimada a través del almacenamiento de biomasa aérea asociada a una clase diamétrica, entre las parcelas de bosque maduro versus las de bosque secundario y sistemas agroforestales. El análisis de la estructura de edades es importante ya que a través de esta información podemos comprender mejor el ciclo y almacenamiento de carbono en estos estratos, y nos permite explicar hasta el 58% de la variación en biomasa dentro del bosque (López, Koning et al. 2002)

El bosque maduro, por ejemplo, se encuentra bien representado por todas las clases de diamétricas como producto de su estado de conservación (Figura 12). La clase diamétrica sobre los 50 cm, pese a tener el menor número de individuos, es el principal aporte en términos de biomasa aérea (> 60%), similar a lo reportado en otros bosques tropicales donde el 40% de la biomasa aérea total se encuentra almacenada en los árboles con diámetros del fuste ≥ 70 cm, aún cuando el número de esos individuos corresponde a menos del 5% del total de árboles (Brown and Lugo 1992). Un caso muy particular para este estudio es *Licania* sp.1 que con apenas 5 individuos y un AB relativamente baja, es la tercera especie que más contribuye con biomasa aérea ca. 64 Mg ha⁻¹, debido seguramente a que posee una densidad de madera alta ($d=0.84$ g cm⁻³), una variable de mucha importancia en los contenidos de biomasa (Honorio and Baker 2010), y a que 4 de los 5 individuos presentan un DAP sobre los 50 cm. En contraste, especies como *Otoba parvifolia* y *Protium nodulosum* compensan sus

valores de DM relativamente bajos (0.44 y 0.49 g cm⁻³ respectivamente) con valores AB altos (10.5 y 21.1% respectivamente), aportando con los contenidos de biomasa aérea más altos ca. 71 Mg ha⁻¹ (Figura 14).

Los árboles de las clases diamétricas superiores influyen en la estructura, composición, dinámica de claros, hidrología, almacenamiento de carbón en el bosque (Laurence, Delamonica et al. 2000) y representan una fuente de alimento y refugio constante para las especies que los habitan (Richards 1996). En los bosques tropicales los stocks de carbono dependen de la composición de especies, de las especies que se van perdiendo (Bunker, Declerck et al. 2005) y de aquellas que se mantienen y contribuyen desproporcionadamente al almacenamiento de carbono (Balvanera, Kremen et al. 2005). El bosque maduro es el estrato que presenta mayor diversidad (Figura 24), con 86 especies, riqueza promedio de 13.1 y un índice de Shannon² entre 2.01 y 2.16; además aporta con los mayores contenidos de BA y BS, ca.384 Mg ha⁻¹. Ruiz-Jaen y Potvin (2010) reportaron que los bosques que poseen una riqueza de especies alta poseen también altas concentraciones de biomasa y por consiguiente de carbono almacenado en su vegetación. Este estrato también presenta la menor dominancia de especies con una dominancia promedio $D=0.11$ (Figura 24). Los bosques tropicales maduros son muy dinámicos y ricos en especies (Lewis 2009), varios estudios reportan que en una hectárea de estos bosques se pueden observar entre 40 y 300 especies de árboles, con diámetros de al menos 10 cm de fuste (Valencia, Balslev et al. 1994); (Richards 1996) y no existe dominancia de especies, por lo que es raro observar poblaciones oligárquicas para una sola especie (Vázquez-Yanes and Orozco-Segovia 1993; Richards 1996).

En el bosque secundario la clase diamétrica ≥ 51 cm se encuentra menos representada, como consecuencia de las actividades antrópicas a las que fueron sometidos, y aporta únicamente con el 20% de la biomasa; este bosque está mayormente representados por la clase diamétrica entre 20 y 30 cm con un 68% del total de individuos presente en esta clase (Figura 12), lo que apoya la teoría de se trata de un bosque en proceso de regeneración con árboles relativamente jóvenes de rápido crecimiento. Los bosques secundarios usualmente están compuestos por tallos relativamente pequeños que carecen de las características fisiológicas de las especies que crecen en un bosque maduro, como densidades de madera

²El índice de Shannon mide el grado de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de un grupo de especies. Los valores de Shannon oscilan entre 1.5 y 3.5 (raramente 4). Los valores más bajos corresponden a sitios (ecosistemas, estratos, etc.) menos diversos y los valores más altos a lugares que presentan mayor diversidad (Magurran, 2004).

más altas y con gran capacidad de almacenar mayores concentraciones de biomasa (Lindenmayer, Laurance et al. 2013). Un claro ejemplo de lo anteriormente mencionado es *Alchornea aff. glandulosa* la especie con densidad de madera más baja pero con los valores de BA (ca. 23 Mg ha⁻¹) y AB (ca. 18%) más altos, debido a que posee la mayor dominancia de individuos (n=43) en relación al resto de especies donde su inmediato seguidor fue *Cordia alliodora* con apenas 18 árboles. Pese a la dominancia de unas pocas especies el bosque secundario obtuvo un número de especies similar al observado en bosque maduro con 80 spp, lo que representa una riqueza promedio de ca. 11 y una dominancia promedio alta de 0.34 (H=1.98) (Tabla 7). Martin, Newton et al. (2013) mencionan que para que un bosque secundario posea una diversidad de especies equivalente a la de un bosque maduro debe transcurrir al menos 50 años y deben pasar al menos 80 para que igualen o posean reservorios de biomasa y carbono similares a de un área no disturbada.

En los sistemas agroforestales la clase diamétrica entre 10 y 20 cm es la más representativa, para los tres estratos, con al menos un 76% del total de individuos presentes en este rango diamétrico; no obstante no es el rango de edad que más aporta en biomasa aérea (4.6 Mg), es la clase intermedia, entre 20 y 30 cm, la que representa el 43% de la biomasa total en estos estratos (Tabla 4). Al igual que en bosque secundario, el rango diamétrico más grande (entre 31 y 50 cm) está escasamente representado y está presente únicamente en los pastos arbolados con un 3% de sus individuos en este rango (n=3), pero con un porte importante del 21% de la biomasa total. En este sentido es importante mejorar las practicas agroforestales favoreciendo el crecimiento de los árboles para que alcancen los rangos diamétricos más altos e incrementando el número de individuos por plantación; puesto que es conocido que la capacidad de los sistemas agroforestales para almacenar carbono en forma de BA, varía en función de la edad, diámetro, altura de los componentes arbóreos, así como de la densidad de población por sistema y de las comunidades vegetales (Alegre, Arevalo et al. 2000). *Piptocoma discolor*, por ejemplo, presenta una DM relativamente baja (0.47 g cm⁻³) pero aporta con la BA y el AB más altas (ca. 18 Mg ha⁻¹ y ca. 40% respectivamente) producto de gran densidad de individuos, de esta especie, presentes en todas las plantaciones (Figura 19). La gran densidad de algunas especies está directamente relacionada con los bajos índices de diversidad, en estos estratos, ya que se han enfocado en la producción de pocas especies como café, cacao, guabas o sangre de drago en el caso de cultivos, y de laurel, chuncho o pigüe como principales especies con fines comerciales en el caso de las plantaciones forestales.

En este sentido, el manejo desordenado de los cultivos y el mal aprovechamiento del terreno mediante la implementación de monocultivos en plantaciones forestales son los principales responsables de los bajos aportes en captación de materia orgánica por parte de los SAGF. Investigaciones realizadas en este campo con *C. alliodora* (laurel) sugieren un incremento en la densidad del rodal, así como la siembra conjunta con otras especies puede incrementar la capacidad de almacenamiento de biomasa en alrededor de 220 Mg ha⁻¹ en 15 años y de 250 Mg ha⁻¹ en 20 años. De esta manera se favorece a un incremento en la diversidad de especies, contribuyendo a la vez a la recuperación del bosque, al retorno de la fauna y a la mitigación del cambio climático a través de la disminución de GEI del ambiente.

Finalmente, los datos presentados confirman la necesidad de implementar estrategias de manejo del paisaje que permitan disminuir las tasas de conversión y degradación de bosques Maduros. Peralvo, Bastidas et al. (2013) estimaron una tasa histórica de conversión de bosques de 25 ha año⁻¹ para el período 1988-2002 en Wamaní. Dado el contexto de los sistemas productivos en la zona, existe la oportunidad de establecer un contexto más sustentable de producción que minimice la conversión de bosques maduros y promueva la regeneración de bosques secundarios, con beneficios potenciales importantes para la captura de Carbono y la biodiversidad en el área.

6.4 Consideraciones metodológicas

La metodología desarrollada por CONDESAN (Peralvo, Calderón et al. 2013) para estimar contenidos y flujos de carbono en varios reservorios del bosque de piedemonte andino-amazónico y diferentes tipos de uso del suelo (i.e. pastos arbolados, cultivos y plantaciones forestales) permitió construir una línea base robusta y estadísticamente representativa de los contenidos de carbono, y su variación, a nivel de parcela, hectárea y paisaje para cada estrato de la comunidad de Wamaní.

La propuesta también incluyó la identificación taxonómica de los individuos muestreados durante el establecimiento de línea base, proceso que aseguró que las estimaciones de los contenidos de carbono sean más precisas (Baker, Phillips et al. 2004) para esta zona del país y se evite la sobreestimación de los valores de la biomasa almacenada en cada reservorio analizado. Para garantizar la fidelidad taxonómica de este proceso se realizaron colecciones de muestras botánicas (i.e. vouchers) que han permitido construir una colección de referencia

para las parcelas permanentes depositada en el Herbario de la Universidad Católica del Ecuador (QCA). Adicionalmente esta caracterización de especies permitió incorporar análisis de diversidad a este estudio como un indicador más del estado de conservación de los bosques en cuanto a la composición de especies y estructura de las comunidades arbóreas en Wamaní.

Por otro lado, en el presente estudio, se observaron errores de variación relativamente altos para los valores dasométricos reportados para los todos los reservorios en bosque maduro y secundario. Se sugiere que las dimensiones de las unidades de muestreo aquí utilizadas (40x20m) son la causa más probable de dicha variación. Clark and Clark (2000) afirman que el coeficiente de variación del área basal aumenta cuando el tamaño de la muestra de la parcela decrece por debajo de 0.4 ha; en este sentido una unidad de muestreo de 1ha es el tamaño estándar recomendado para la estimación de reservorios de carbono y patrones de diversidad en bosques tropicales de tierras bajas, y 20x20m es el tamaño ideal para sub-parcelas (Phillips, Baker et al. 2009). Otros autores sugieren que el tamaño de la parcela debe considerar la variación en la estructura del bosque como la presencia de árboles pequeños, árboles grandes y claros naturales, por lo que para estudios de reservorios de carbono se recomienda unidades mínimas de muestreo de 0.5 ha (Chave, Condit et al. 2003). Adicionalmente, (Lindenmayer, Margules et al. 2000) sugieren y, como se demuestra en este estudio, que los árboles raros contribuyen sustancialmente al total de la biomasa de un bosque, los cuales no tienen una distribución normal y por lo tanto unidades de muestreo pequeñas tienden a sub-muestrear este tipo de especies. En sistemas agroforestales es recomendable tener un mayor número de réplicas para reducir la variación inducida principalmente por las diferentes formas de uso del suelo más que por una variación natural o ambiental.

7 Referencias

- Alegre, J., L. Arevalo, et al. (2000). "Reservas de Carbono según el uso de la tierra en dos sitios de la Amazonia Peruana." Deposito de documentos de la FAO.
- Anderson, L., Y. Malhi, et al. (2009). "Influence of landscape heterogeneity on spatial patterns of wood productivity, wood specific density and above ground biomass in Amazonia." Biogeosciences **6**(9): 1883-1902.
- Andrade, H. and M. Ibrahim (2003). "¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles?" Agroforestería en las Américas **10**(39-40): 8.
- Andrade, H., M. Segura, et al. (2008). "Valoración biofísica y financiera de la fijación de carbono por uso de suelo en fincas cacaoteras indígenas de Talamanca, Costa Rica." Agroforestería en las Américas **46**: 6.
- Andrade, H. J., M. Segura, et al. (2008). "Valoración biofísica y financiera de la fijación de carbono por uso del suelo en fincas cacaoteras indígenas de Talamanca, Costa Rica." Agroforestería en las Américas **46**: 45-50.
- Aragão, L. E. O. C., Y. Malhi, et al. (2009). "Above- and below-ground net primary productivity across ten Amazonian forests on contrasting soils." Biogeosciences **6**: 2441-2488.
- Baker, T. R., O. L. Phillips, et al. (2004). "Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass." Global Change Biology **10**: 545-562.
- Baker, T. R., O. L. Phillips, et al. (2004). "Increasing biomass in Amazonian forest plots." Philosophical Transactions of the Royal Society of London **359**: 353-365.
- Balvanera, P., C. Kremen, et al. (2005). "Applying community structure analysis to ecosystem function: Examples from pollination and carbon storage." Ecological Applications **15**: 360-375.
- Brown, S. and A. E. Lugo (1992). "Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon." Interciencia **17**(1): 8-18.
- Bunker, D. E., F. Declerck, et al. (2005). "Species loss and aboveground carbon storage in a tropical forest." Science **310**: 1029-1031.
- Cairns, M. A., S. Brown, et al. (1997). "Root biomass allocation in the world's upland forests." Oecologia **111**(1): 1-11.
- Casanova-Lugo, F., J. Petit-Aldana, et al. (2011). "Agroforestry systems as an alternative for carbon sequestration in the Mexican tropics." Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente **17**(1): 5-118.
- Clark, D. B. and D. A. Clark (2000). "Landscape-scale variation in forest structure and biomass in a tropical rain forest." Forest Ecology and Management **137**: 185-198.
- Cofecac (2005). "Informe Técnico." 16-17.
- Coloma-Santos, A. (2007). "Guía del Patrimonio de Áreas Naturales Protegidas del Ecuador." ECOLAP y MAE.
- Corral, R., L. Duchicela, et al. (2005). "Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con café arábigo y cacao, en dos zonas agro ecológicas el litoral ecuatoriano." Informe Técnico 2005.
- Corral, R., L. Duchicela, et al. (2005). "Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con café arábigo y cacao, en dos zonas agro ecológicas el litoral ecuatoriano." Informe Técnico 2005.
- Cuevas, E. and E. Medina (1988). "Nutrient dynamics within Amazonian forests 2. Fine root-growth, nutrient availability and leaf litter decomposition." Oecologia **76**: 222-235.
- Chave, J., C. Andalo, et al. (2005). "Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests." Oecologia **145**(1): 87-99.
- Chave, J., R. Condit, et al. (2003). "Spatial and temporal variation of biomass in a tropical forest: results from a large census plot in Panama." Journal of Ecology **91**: 240-252.
- DiRienzo, J. A., M. G. Balzarini, et al. (2008). "InfoStat Software Estadístico."

- Dixon, R. (1995). "Agroforestry systems: sources or sinks of greenhouse gases?" Agroforestry Systems **31**: 99-116.
- Erskine, P. D., D. Lamb, et al. (2006). "Tree species diversity and ecosystem function: Can tropical multi-species plantations generate greater productivity?" Forest Ecology and Management **233**: 205-210.
- Frizzelle, B., S. Walsh, et al. (2005). Land use change patterns of colonists and indigenous groups in the Northern Ecuadorian Amazon: a comparison of Landsat TM spectral and spatial analyses. Presentation to the Annual Meeting of the American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Baltimore, Maryland.
- Fund, B. (2008). Methodology for estimating reductions of GHG emission from mosaic deforestation, BioCarbon Fund. **RED-NM-001 / Version 01**.
- Gibbs, H., S. Brown, et al. (2007). "Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality." Environmental Research Letters: 1-13.
- Gibbs, H. K., S. Brown, et al. (2007). "Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality." Environmental Research Letters **2**(4): 045023.
- Girardin, C. A. J., L. E. O. C. Aragão, et al. (2013). "Fine root dynamics along an elevational gradient in tropical Amazonian and Andean forests. ." Global Biogeochemical Cycles **27**(1): 252-264.
- Günter, S., M. Weber, et al. (2007). "Influence of distance to forest edges on natural regeneration of abandoned pastures: a case study in the tropical mountain rain forest of Southern Ecuador." European Journal of Forest Research **126**: 67-75.
- Hammer, Ø. and D. A. T. Harper (2001). Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. [http://doc.rero.ch/lm.php?url=361, 39,20091210003431-ZZ/PAL_E2660.pdf](http://doc.rero.ch/lm.php?url=361,39,20091210003431-ZZ/PAL_E2660.pdf).
- Healy, C., N. J. Gotelli, et al. (2008). "Partitioning the effects of biodiversity and environmental heterogeneity for productivity and mortality in a tropical tree plantation." Journal of Ecology **96**: 903-913.
- Honorio, E. N. and T. R. Baker (2010). "Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos." Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana/ Universidad de Leeds. : 54 p.
- Huber, D. P. W., R. N. Philippe, et al. (2005). "Changes in anatomy and terpene chemistry in roots of Douglas-fir seedlings following treatment with methyl jasmonate." Tree Physiology **25**: 1075-1083.
- Hughes, R. F., J. B. Kauffman, et al. (1999). "Biomass, carbon, and nutrient dynamics of secondary forest in a humid tropical region of México." Ecology **80**: 1892-1907.
- Hunter, M. D. (2008). "Root herbivory in forest ecosystems." Root feeders: an ecosystem perspective: 68-95.
- IPCC (2003). Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura. OMM, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático: 628.
- IPCC (2006). "Directrices para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero." **4**(Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra): 4.1-4.93.
- IPCC (2006). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, IPCC.
- IPCC (2007). Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK, Cambridge University Press.
- Keith, H., B. G. Mackey, et al. (2009). "Re-evaluation of forest biomass carbon stocks and lessons from the world's most carbon-dense forests." Proceedings of the National Academy of Sciences **106**(28): 11635-11640.
- Laurence, W. F., P. Delamonica, et al. (2000). "Rainforest fragmentation kills big trees." Nature **404**: 836.
- Lewis, O. T. (2009). "Biodiversity change and ecosystem function in tropical forests." Basic and Applied Ecology **10**: 97-102.
- Lindenmayer, D. B., W. F. Laurance, et al. (2013). "New policies for old trees: averting a global crisis in a keystone ecological structure." Conservation Letters.

- Lindenmayer, D. B., C. R. Margules, et al. (2000). "Indicators of Biodiversity for Ecologically Sustainable Forest Management
Indicadores de Biodiversidad para el Manejo Ecológicamente Sostenible de Bosques." Conservation Biology **14**(4): 941-950.
- López, M., F. d. Koning, et al. (2002). "Estimación de carbono en biomasa de bosques secundarios y plantaciones forestales en el Noroccidente de Ecuador."
- Lugo, A. E. and S. Brown (1992). "Tropical forest as sinks of atmospheric carbon." Forest Ecology and Management **54**: 239-255.
- MAE (2001). Plan de Manejo de la Reserva de Biosfera Sumaco, Fundación Bio-Parques.
- MAE (2010). Metodología para desarrollar el estudio piloto de la ENF en conformidad con el mecanismo REDD+. Quito, MAE: 59.
- MAE (2010). Reservas de Biosfera del Ecuador: Lugares Excepcionales. Quito, Deutsche Gesellschaft für International Zusammenarbeit.
- MAE (2012). Línea Base de Deforestación del Ecuador Continental. Quito-Ecuador.
- MAE (2012). Metodología para desarrollar el estudio piloto de la ENF en conformidad con el mecanismo REDD+. Quito, MAE: 59.
- MAE (2012). "Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental. ." Subsecretaría de Patrimonio Natural, Quito.
- Magurran, E. 2004. Measuring Biological Diversity. Malden, MA, USA: Blackwell Publishing. 264 p.
- Malhi, Y. (2010). "The carbon balance of tropical forest regions, 1990–2005." Current Opinion in Environmental Sustainability **2**(4): 237-244.
- Malhi, Y., O. L. Phillips, et al. (2002). "An international network to monitor the structure, composition and dynamics of Amazonian forests (RAINFOR)." Journal of Vegetation Science **13**: 439-450.
- Martin, P. A., A. C. Newton, et al. (2013). "Carbon pools recover more quickly than plant biodiversity in tropical secondary forests." Proceedings of the Royal Society B **280**(1773): 1-9.
- Messina, J. (2000). "A cellular modeling approach to dynamic systems characterization: Deforestation and Agricultural Extensification in the Ecuadorian Amazon." 12.
- Mutuo, P., G. Cadisch, et al. (2005). "Potential of agroforestry for carbon sequestration and mitigation of greenhouse gas emissions from soils in the tropic." Nutrient Cycling in Agroecosystems **71**: 45-54.
- Nair, P. K. (2004). "Agroforestry: Trees in support of sustainable agriculture." Encyclopedia of Soils in the Environment: 35-44.
- Nepstad, D. C., P. R. Moutinho, et al. (1996). "The ecological importance of forest remnants in an eastern Amazonian frontier landscape. x pp. 133-150. Washington, D.C., USA. ." In: Forest patches in tropical landscapes (Schelhas, J. & Greenberg, R. eds). Washington, D.C., USA. : 133-150.
- Ortiz, A., L. Riascos, et al. (2008). "Almacenamiento y tasas de fijación de biomasa y carbono en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora*)." Agroforestería de las Américas **46**: 26-29.
- Ortiz, E. and M. Peralvo (2013). "Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra, Comunidad Kichwa de Wamaní." Quito: Proyecto NZDZ: CONDESAN, Rainforest Alliance, USAID. : 11 p.
- Ortiz, E., R. Sierra, et al. (2009). Pueblo Kichwa de Rukullakta. Plan de Manejo 2008. Quito, Ecofund.
- Penman, J., M. Gytarsky, et al. (2003). "Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry." IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme.
- Peralvo, M., L. Bastidas, et al. (2013). "Piloto de Monitoreo de Cambio de Cobertura y Uso de la Tierra en la Provincia de Napo." Quito: Proyecto "Fortalecimiento de la gobernanza ambiental en la planificación territorial en Napo", CONDESAN/Programa BioCAN.: 48 p.
- Peralvo, M., M. Calderón, et al. (2013). "Propuesta Metodológica para el Monitoreo y Reporte de Actividades y Contenido de Carbono en Biomasa en Bosques y Sistemas

- Agroforestales (SAF) de la Amazonía Ecuatoriana." Quito: Proyecto NZDZ: CONDESAN, Rainforest Alliance, USAID: 63 p.
- Phillips, O., T. Baker, et al. (2009). "RAINFOR manual de campo para la remediación y establecimiento de parcelas." 1-24.
- Pinto, M. (2011). Agroforestería. Eficaz medio para controlar el cambio climático. INAMHI 50 años. Nuestra Historia. Meteorología e Hidrología: Pasado, Presente y Futuro en el Ecuador. Quito: 2.
- Pries, J., C. Then, et al. (1999). "Litter and fine-root production in three types of tropical premontane rain forest in SE Venezuela." Plant Ecology **143**: 171-187.
- Quesada, C. A., J. Lloyd, et al. (2011). "Soils of Amazonia with particular reference to the RAINFOR sites." Biogeosciences **8**: 1415-1440.
- Quevedo, A. and H. Järlind (2005). Inventario forestal ecosistémico participativo en el sector de San Miguel-Dos de Mayo. Río Amazonas - Perú. Perú, BIODAMAZ.
- Quintana-Ascencio, P. F., M. G. G.-E. N. Ramírez-Marcial, et al. (1996). "Soil seed banks and regeneration of tropical rain forest from milpa fields at the selva Lacondona, Chiapas, Mexico." BIOTROPICA **28**: 192-209.
- Richards, P. W. (1996). "The Tropical Rain Forest." Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- Rivas, D. (2006). Sistemas de producción forestal. México, Universidad Autónoma de Chapingo: 26.
- Romero, M., D. Velasteguí, et al. (2011). "Descripción de las Cadenas Productivas de Madera en el Ecuador." **1**: 1-53.
- Ruiz-Jaen, M. C. and C. Potvin (2010). "Tree Diversity Explains Variation in Ecosystem Function in a Neotropical Forest in Panama." BIOTROPICA **42**(6): 1-9.
- Sokal, R. and F. Rohlf (1995). "Biometry (3rd edn)." WH Freeman and company: New York.
- Stegen, J. C., N. G. Swenson, et al. (2009). "Above-ground forest biomass is not consistently related to wood density in tropical forest." Global Ecology and Biogeography: 1-9.
- Valencia, R., H. Balslev, et al. (1994). "High tree alpha-diversity in Amazonian Ecuador." Biodiversity and Conservation **3**: 21-28.
- Vázquez-Yanes, C. and A. Orozco-Segovia (1993). "Patterns of seed longevity and germination in the tropical rainforest." Annual Review of Ecology and Systematics **24**: 69-87.
- Yepes, A., D. Navarrete, et al. (2011). Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa - carbono en Colombia. Bogotá, Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales - IDEAM: 162.

8 Anexos

Lista de Anexos

Anexo	Título	Ubicación
Anexo 1	Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra, Comunidad Kichwa de Wamaní (Ortiz y Peralvo 2013)	Archivo digital adjunto
Anexo 2	Base de datos relacional con información levantadas en las UDM	Archivo digital adjunto
Anexo 3	Identificación taxonómica de plantas vasculares en 40 parcelas establecidas en el territorio de la Comunidad Kichwa Wamaní, Napo	Archivo digital adjunto
Anexo 4	Matriz de similitud de Bray-Curtis para 20 parcelas de bosque en Wamaní	Incluido en este documento
Anexo 5	Aportes de biomasa aérea, biomasa subterránea y necromasa aérea (Mg/UDM) para bosques y sistemas agroforestales en Wamaní	Incluido en el documento

Anexo 4. Matriz de similitud de Bray-Curtis para 20 parcelas de bosque tropical lluvioso (10 bosque maduro y 10 bosque secundario) en Wamaní.

	NW_ BP01	NW_ BP02	NW_ BP03	NW_ BP04	NW_ BP05	NW_ BP06	NW_ BP07	NW_ BP08	NW_ BP09	NW_ BP10
NW_ BP01	1.00	0.13	0.11	0	0.05	0.20	0.11	0	0.23	0.37
NW_ BP02	0.13	1.00	0.28	0.05	0.16	0.29	0.27	0	0.13	0.14
NW_ BP03	0.11	0.28	1.00	0.06	0.21	0.25	0.37	0	0.17	0.12
NW_ BP04	0	0.05	0.06	1.00	0	0	0.06	0	0	0.10
NW_ BP05	0.05	0.16	0.21	0	1.00	0.35	0.34	0	0.11	0.06
NW_ BP06	0.20	0.29	0.25	0	0.35	1.00	0.30	0	0.24	0.20
NW_ BP07	0.11	0.27	0.37	0.06	0.34	0.30	1.00	0	0.11	0.11
NW_ BP08	0	0	0	0	0	0	0	1.00	0.29	0
NW_ BP09	0.23	0.13	0.17	0	0.11	0.24	0.11	0.29	1.00	0.19
NW_ BP10	0.37	0.14	0.12	0.10	0.06	0.20	0.11	0	0.19	1.00
NW_ BP11	0	0.18	0.12	0.10	0	0	0.06	0	0	0.05
NW_ BP12	0.15	0.15	0.26	0.05	0.30	0.27	0.31	0	0.20	0.21
NW_ BP13	0	0.09	0.17	0.14	0.21	0.14	0.27	0	0.04	0.05
NW_ BP14	0.10	0	0	0	0	0	0	0	0.05	0
NW_ BP15	0.08	0.08	0.14	0.16	0.14	0.08	0.23	0.04	0.04	0.04
NW_ BP16	0.05	0.10	0.25	0.05	0.18	0.11	0.24	0	0.15	0.05
NW_ BP17	0.05	0	0	0	0	0	0	0	0.05	0
NW_ BP18	0	0.17	0.17	0.05	0.05	0.05	0.16	0	0.04	0.05
NW_ BP19	0.77	0.18	0.11	0	0.05	0.24	0.06	0.05	0.32	0.33
NW_ BP20	0.13	0	0.09	0	0.08	0.07	0.17	0	0.06	0.06

	NW_ BP11	NW_ BP12	NW_ BP13	NW_ BP14	NW_ BP15	NW_ BP16	NW_ BP17	NW_ BP18	NW_ BP19	NW_ BP20
NW_ BP01	0	0.15	0	0.10	0.08	0.05	0.05	0	0.77	0.13
NW_ BP02	0.18	0.15	0.09	0	0.08	0.10	0	0.17	0.18	0
NW_ BP03	0.12	0.26	0.17	0	0.14	0.25	0	0.17	0.11	0.09
NW_ BP04	0.10	0.05	0.14	0	0.16	0.05	0	0.05	0	0
NW_ BP05	0	0.30	0.21	0	0.14	0.18	0	0.05	0.05	0.08
NW_ BP06	0	0.27	0.14	0	0.08	0.11	0	0.05	0.24	0.07
NW_ BP07	0.06	0.31	0.27	0	0.23	0.24	0	0.16	0.06	0.17
NW_ BP08	0	0	0	0	0.04	0	0	0	0.05	0
NW_ BP09	0	0.20	0.04	0.05	0.04	0.15	0.05	0.04	0.32	0.06
NW_ BP10	0.05	0.21	0.05	0	0.04	0.05	0	0.05	0.33	0.06
NW_ BP11	1.00	0	0.14	0	0.16	0.05	0	0.14	0	0
NW_ BP12	0	1.00	0.29	0	0.13	0.16	0.06	0.05	0.15	0.14
NW_ BP13	0.14	0.29	1.00	0	0.23	0.19	0.05	0.09	0	0.06
NW_ BP14	0	0	0	1.00	0	0.16	0.23	0.05	0.05	0
NW_ BP15	0.16	0.13	0.23	0	1.00	0.17	0	0.12	0	0.15
NW_ BP16	0.05	0.16	0.19	0.16	0.17	1.00	0.06	0.14	0.05	0.07
NW_ BP17	0	0.06	0.05	0.23	0	0.06	1.00	0.05	0	0.07
NW_ BP18	0.14	0.05	0.09	0.05	0.12	0.14	0.05	1.00	0	0.06
NW_ BP19	0	0.15	0	0.05	0	0.05	0	0.00	1.00	0
NW_ BP20	0	0.14	0.06	0	0.15	0.07	0.07	0.06	0	1.00

Anexo 5. Gráficos de cajas de los aportes de biomasa aérea, biomasa subterránea y necromasa aérea (Mg/UDM) para bosques y sistemas agroforestales en Wamaní.

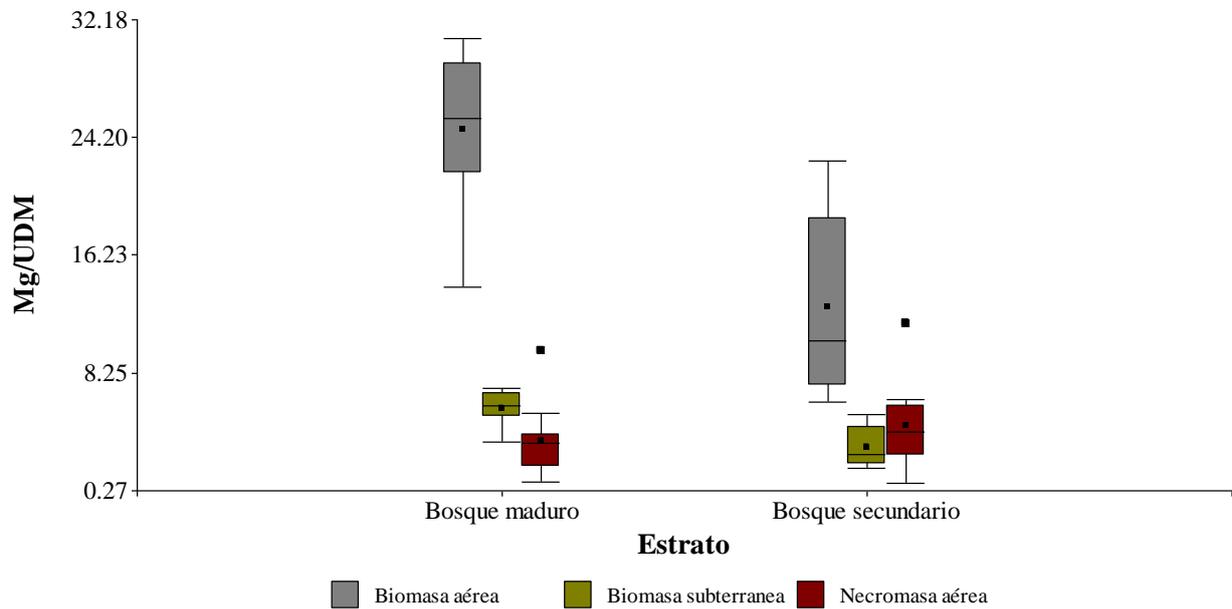


Figura A5.1. Biomasa aérea (Mg), biomasa subterránea (Mg) y necromasa aérea (Mg) contenida en parcelas de 40x20m en bosque maduro (n=10) y bosque secundario (n=10). Los valores medios de biomasa y necromasa se presentan a través de las líneas negras horizontales de las cajas que representan el rango inter-cuartil de los datos, mientras que las patillas simbolizan los percentiles 5% y 95%.

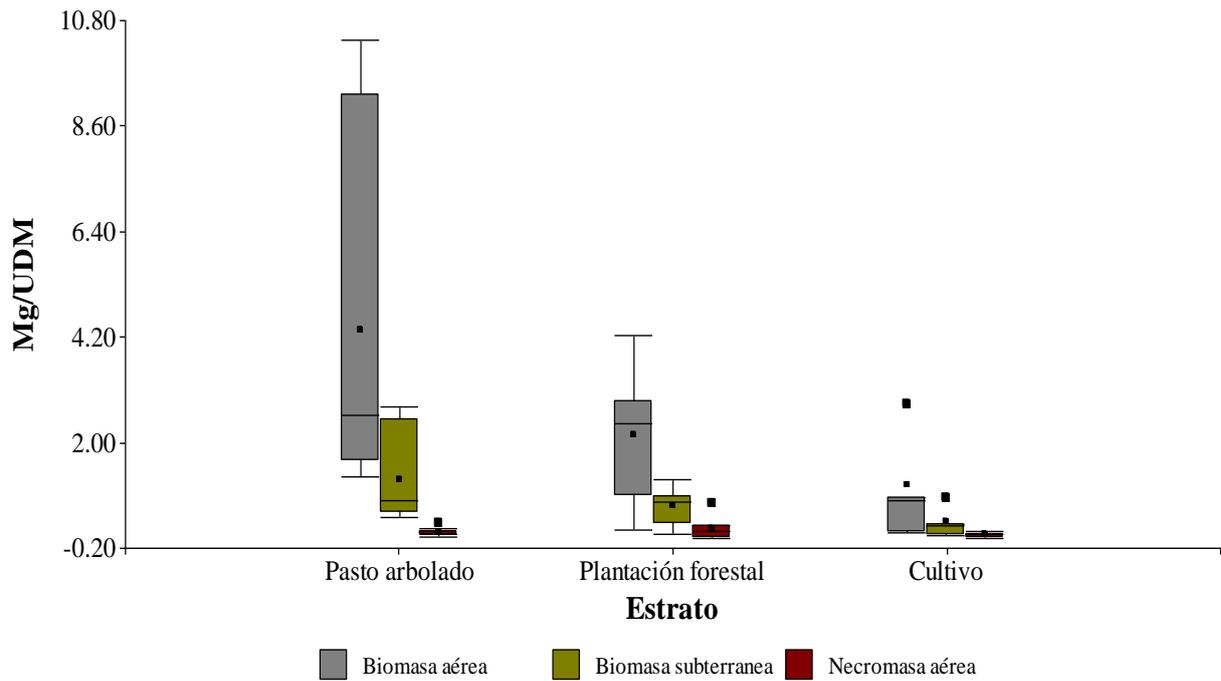


Figura A5.2. Biomasa aérea (Mg), biomasa subterránea (Mg) y necromasa aérea (Mg) contenida en parcelas de 40x20m en Cultivo (n=4), Plantaciones Forestales (n=6) y Pastos Arbolados (n=10). Los valores medios de biomasa y necromasa se presentan a través de las líneas negras horizontales de las cajas que representan el rango inter-cuartil de los datos, mientras que las patillas simbolizan los percentiles 5% y 95%.