



**PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS
ESTANDARIZADOS (POE) PARA
LA ESTIMACIÓN DE CAMBIOS
EN LOS RESERVORIOS DE
CARBONO POR DEGRADACIÓN
FORESTAL**



PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS ESTANDARIZADOS (POE) PARA LA ESTIMACIÓN DE CAMBIOS EN LOS RESERVORIOS DE CARBONO POR DEGRADACIÓN FORESTAL

Santa Cruz, Bolivia
2024

Proyecto desarrollado por:



Proyecto financiado por:



PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS
ESTANDARIZADOS (POE) PARA LA
ESTIMACIÓN DE CAMBIOS EN LOS
RESERVORIOS DE CARBONO POR
DEGRADACIÓN FORESTAL

Documento elaborado por la Fundación
Amigos de la Naturaleza (FAN)

Elaborado por:

Daniel Villarroel

Jörg Seifert-Granzin

Revisión y aportes:

Natalia Calderón

Armando Rodríguez

Germaine Alexander Parada

Romel Nina

Roxana Ledezma Vargas

Dorys Méndez

Fotografías:

Alexander Parara

Romel Nina

Roxana Ledezma

Adriana Viruez

Diseño y diagramación:

Diego Andrés Espinatto Castillo

Coordinación de publicación:

Karina Sauma

Fundación Amigos de la Naturaleza (FAN)

Km 7 1/2 Doble Vía a La Guardia

Tel: (591-3) 355-6800

e-mail: fan@fan-bo.org - www.fan-bo.org

octubre, 2024

Impreso en Artes Gráficas Sagitario. La Paz,
Bolivia





CONTENIDO

Contenido

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	RESERVORIOS DE CARBONO EN LOS ECOSISTEMAS	7
III.	PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS ESTANDARIZADOS	11
3.1	POE – SELECCIÓN DE SITIOS POTENCIALES PARA LA PROSPECCIÓN	13
3.1.1	Compilación de la geodatabase	13
3.1.2	Selección de sitios potenciales para la prospección	14
3.1.3	Actualización iterativa de la selección de sitios potenciales para la prospección	15
3.2	POE – VERIFICACIÓN DEL TERRENO Y SELECCIÓN DE LAS ÁREAS DE MUESTREO	17
3.3	POE – INSTALACIÓN DE LAS PARCELAS	18
3.3.1	El marco metodológico	18
3.3.2	Tamaño y forma de las PPMs	18
3.3.3	Geolocalización de la parcela	19
3.3.4	Orientación y delimitación de la PPM	19
3.4	POE – MEDICIÓN DE LA BIOMASA AÉREA VIVA DE ÁRBOLES, ARBUSTOS Y PALMERAS	20
3.4.1	Planillas para el registro de datos	20
3.4.2	Criterios para el registro de individuos	22
3.4.3	Medición de diámetros y POM	23
3.4.4	Pintado y plaqueteado	24
3.4.5	Geoposicionamiento de los individuos registrados	24
3.4.6	Estado/condición de los individuos registrados	25
3.4.7	Colecta de especímenes	25
3.5	POE – MEDICIÓN DE LA BIOMASA AÉREA VIVA DE LIANAS	26
3.5.1	Lianas en los bosques	26
3.5.2	Registro de lianas	26
3.6	POE – MEDICIÓN DE ALTURA	28
3.6.1	Estimación de alturas con hipsómetros láser	28
3.6.2	Registro de alturas	29
3.7	POE – MEDICIÓN DE LA MADERA MUERTA	30
3.7.1	Madera muerta en pie	30
3.7.2	Madera muerta sobre el suelo	31
3.8	POE – MEDICIÓN DE LA HOJARASCA	33
3.8.1	Hojarasca	33
3.8.2	Registro y colecta de la hojarasca	33
3.9	POE – GARANTÍA DE CALIDAD (GC) Y CONTROL DE CALIDAD (CC)	34
3.9.1	Importancia de la GC y CC	34
3.9.2	Garantía de calidad – GC	34
3.9.3	Control de calidad – CC	35
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
	ANEXOS	40
	Anexo 1. formato básico de la planilla de registro de datos de campo para el inventario de la biomasa de lianas en las pperms.	40
	Anexo 2. formato de la planilla utilizada para el registro de datos de altura estimada mediante hipsómetro láser.	41
	Anexo 3. formato de las planillas utilizadas para el registro de datos de la madera muerta en pie de las clases 1,2 & 3.	41
	Anexo 4. formato de las planillas utilizadas para el registro de datos de la madera muerta tendida sobre el suelo de las clases 1,2 & 3.	42
	Anexo 5. formato de las planillas utilizadas para el registro de los valores del peso húmedo y seco de la hojarasca colectada en las pperms.	42
	Anexo 6. Formato de las planillas utilizadas para el registro de los valores del peso húmedo y seco de la hojarasca colectada en las PPMs.	43

Índice de Figuras

Figura 1. Tipos de bosques y densidad de biomasa estimada para Bolivia (Nivel 2).	13
Figura 2. Distribución de densidades de biomasa aérea en el municipio Charagua según Villarroel et al. (2022). La clasificación por Natural Breaks (Jenks) permite identificar los rangos de densidades a cubrir.	14
Figura 3. Localización y disposición de las parcelas de medición permanentes (PPM) dentro del trayecto del Escaneo Láser espacial considerando áreas degradadas por incendios de copa (PPM en Área Quemada) y no degradadas (PPM en Área Testigo).	14
Figura 4. Diseño, forma y subdivisiones de las PPMs.	18
Figura 5. Geometría de la PPM con relación a las huellas de LiDAR del sistema ICESat-2.	19
Figura 6. A. Brújula estableciendo la dirección del eje Y (0° Norte). B. Direccionamiento de la apertura de los ejes del perímetro de la PPM. C. Apertura de brecha de la PPM.	19
Figura 7. PPMs y subunidades de muestreo establecidas para el inventario del carbono depositado en la biomasa leñosa aérea viva.	21
Figura 8. PPM y subunidades de muestreo anidadas para el inventario del carbono contenido en el estrato arbustivo.	22
Figura 9. A. Medición de diámetro de fuste a los 1.3 m del suelos. B. Lianas sobre el fuste que pasan por el POM. C. Árbol con raíces tabulares que sobre pasan los 1.3 m por encima del suelo.	23
Figura 10. A. Árbol con fuste regular, con POM de diámetro a los 1.3 m del suelos. B. Árbol inclinado. C. Fuste en terreno inclinado. D. Árbol con raíces tabulares. E. Árbol con ramificación sobre los 1.3 m. F. Árbol ramificado por debajo de los 1.3 m.	23
Figura 11. A. Pintado del POM a los 1.3 m del suelo. B. Clavado de placa denumeración/ identificación del árbol, 30 cm por encima del POM. C. Árbol pintado y plaqueteado.	24
Figura 12. A. Bosque con bajo nivel de perturbación/disturbio. B. Bosque quemado y bajo aprovechamiento forestal maderable. C. Registro, marcado y plaqueteo de liana.	26
Figura 13. A. Árbol emergente. B. Medición de la altura total mediante un hipsómetro láser Nikon Forestry Pro.	28
Figura 14. A. Árbol muerto en pie clase 1. B. Árbol muerto en pie clase 2. C. Árbol muerto en pie clase 3.	30
Figura 15. A. Medición de diámetro (DAPm) de un individuo muerto en pie clase 1. B. Medición de longitud del fuste de individuo muerto caído. C. Cuadrante para muestreo de hojarasca. D. Cuadrante con hojarasca colectada.	31
Figura 16. A. Cuadrante para muestreo de hojarasca. B. Cuadrante con hojarasca colectada.	33

Índice de Tablas

Tabla 1. Depósitos de carbono, sus componentes y características.	9
Tabla 2. Formato básico de la planilla de registro de datos de campo para el inventario de la biomasa leñosa aérea viva en las PPMs.	20
Tabla 3. Formato básico de la planilla de registro de datos de campo para el inventario de la biomasa de lianas en las PPMs.	26
Tabla 4. Formato de la planilla utilizada para el registro de datos de altura estimada mediante hipsómetro láser.	28
Tabla 5. Formato de las planillas utilizadas para el registro de datos de la madera muerta en pie de las clases 1,2 & 3.	31
Tabla 6. Formato de las planillas utilizadas para el registro de datos de la madera muerta tendida sobre el suelo de las clases 1,2 & 3.	32
Tabla 7. Formato de las planillas utilizadas para el registro de los valores del peso húmedo y seco de la hojarasca colectada en las PPMs.	33

De acuerdo con Houghton & Nassikas (2018) se estima que, desde 1985, el 87% de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) producidas como consecuencia del cambio de uso y de la cobertura de la tierra [sector responsable de ca. 22% del total de las emisiones directas e indirectas de GEI; Dhakal et al. (2022)] fueron generadas como resultado de la *deforestación* (77%) y *degradación forestal* (10%); dos factores de impacto antrópico que, además de contribuir significativamente con emisiones de GEI, también reducen la capacidad y posibilidad de captura del CO₂ atmosférico y, por tanto, de mitigar los efectos del cambio climático (Houghton & Nassikas, 2018).

Ante esta situación, los países que forman parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) han asumido una serie de compromisos con la finalidad de reducir y mitigar los efectos del calentamiento global. Estos compromisos, planteados voluntariamente por cada uno de los países a través de sus Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC), son cuantificados mediante los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, en el cual se incluyen las emisiones por *deforestación* y *degradación forestal*.

Sin embargo, si bien los términos *deforestación* y *degradación forestal* forman parte del vocabulario frecuentemente empleado en el ámbito de la conservación y medioambiente, su interpretación no necesariamente coincide con lo establecido en el marco de la CMNUCC, el planteamiento de objetivos/metas de las NDC y el reporte de sus resultados. Por lo cual, comprender la definición de dichos términos en el ámbito del CMNUCC es de alta relevancia.

De acuerdo con los expertos que conforman el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), la *deforestación* es definida básicamente como, la “conversión directamente inducida por el hombre de tierras forestales a tierras no forestales (Aalde et al., 2006), provocando el cambio en el uso del suelo (Olsson et al., 2019)”. En contraste, pese a que desde una perspectiva ecológica y medio ambiental se han planteado diversas definiciones para el término *degradación forestal* (Angelsen et al., 2009, Montanarella et al., 2018, Olsson et al., 2019), éstas, en conjunto, carecen de elementos que permiten incluir e inventariar explícitamente las emisiones y/o reducción de emisiones de GEI resultantes de este proceso de disturbio/perturbación, pues, la magnitud de los impactos de estos procesos, pueden contrastar local y/o regionalmente debido a la complejidad y heterogeneidad de los drivers de *degradación forestal* y las particularidades de los ecosistemas.

Considerando esta problemática, en el marco del protocolo de Kioto los expertos del IPCC plantearon una base para la definición de la *degradación forestal*, la cual incluye criterios que permite su medición y monitoreo en tiempo y espacio, siendo éste: “Una pérdida directa a largo plazo inducida por el hombre (que persiste durante X años o más) de al menos Y% de las reservas de carbono forestal [y valores forestales] desde el momento T y que no califica como deforestación o una actividad elegida según el Artículo 3.4 del Protocolo de Kioto” (Penman et al., 2003). Así también, Olsson et al. (2019), bajo el contexto del cambio climático y los compromisos de los países ante la CMNUCC, indican que, de manera inicial, la definición de *degradación forestal* debe plantearse como, un proceso de perturbación/disturbio inducido directa o indirectamente por el hombre que conlleva en el tiempo a la reducción de los depósitos de carbono (emisiones de GEI), de la productividad (capacidad de captura y retención del carbono atmosférico) y de la cobertura del dosel, pero que, con relación a la deforestación, no provoca la conversión de tierras forestales a no forestales. Con base a los criterios que conforman estas definiciones, metodológicamente, la cuantificación y monitoreo espacial y temporal de la *degradación forestal* debe plantearse mediante parámetros cuantitativamente medibles y detectables a una escala regional, la cual permita a los países Medir, Reportar y Verificar (MRV) las emisiones de GEI, así como la efectividad de la aplicación de políticas y acciones climáticas establecidas en el contexto de los compromisos internacionales para reducirlas (Angelsen et al., 2009, Walker et al., 2018).

Con el avance en el desarrollo y la apertura al acceso de las nuevas tecnologías geoespaciales y productos de diversos sensores remotos se ha generado una serie de tentativas de mapear regionalmente la *degradación forestal* [p.ej. Hansen et al. (2013); Pearson et al. (2017); Hou-

ghton & Nassikas (2018)]. Por lo general, debido a la amplitud espacial y temporal necesaria para cubrir/cumplir con lo requerido para los informes de Niveles de Referencia de Emisiones Forestales (NREF), éstos están fundamentados principalmente en los cambios de la cobertura vegetal, parámetro mediante el cual estiman la pérdida de la biomasa aérea. Sin embargo, considerando la complejidad de los driver de *degradación forestal* (p.ej. incendios forestales), para la estimación de emisiones de GEI provocados por este factor de impacto, además de la biomasa de la cobertura vegetal, también es necesario incluir a otros depósitos de carbono (Ej. hojarasca, madera muerta, carbono del suelo, etc.), pues la magnitud del cambio de dichos depósitos dependerá de su representatividad en el stock de carbono total y del factor de degradación (Argotty et al., 2018).

Debido a la complejidad de medición y mapeamiento de las emisiones de GEI producto de la *degradación forestal*, frecuentemente, los países miembros de la CMNUCC no han conseguido definir este término (la definición es una responsabilidad atribuida al gobierno de cada país) e incluir/respaldar en sus Inventarios Nacionales de GEI y en sus NREF la reducción y/o el incremento de emisiones de GEI producto de la *degradación forestal*.

Para el proceso de cooperación por resultados, el Estado Plurinacional de Bolivia, con base a los criterios y recomendaciones establecidas por el IPCC (2003) definió a la *degradación forestal* como:

“Una pérdida significativa antropógena de al menos 10% de las reservas de carbono en tierras forestales que permanezcan tierras forestales que persiste por lo menos 1 año que no se califica como deforestación”

Fuente: NREF vers. 3.0, p.11 (en proceso de revisión por la Evaluación Técnica bajo la CMNUCC)

Durante los últimos 4 años, sensores de Light Detection and Ranging (LiDAR) como el Ice, Cloud, and Land Elevation Satellite 2 (ICE-Sat2¹) y Global Ecosystem Dynamics Investigation (GEDI) están adquiriendo mediciones de la altura de objetos terrestres que permiten derivar parámetros claves de la mensuración forestal, p.ej. la altura de árboles, del dosel, o de la vegetación, y, en combinación con observaciones por otros sensores activos (radar) o pasivos (multiespectrales ópticos como Landsat o Sentinel-2), la densidad de biomasa aérea por hectárea.

En la última actualización las Directrices del Grupo Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero (INGEI), el IPCC integró recomendaciones para el uso de mapas de biomasa aérea con fines de reporte (IPCC, 2019, pp. 2.17, Vol. IV, sección 12.13.11.13.B). Este refinamiento de las directrices del IPCC en su versión de 2006 (IPCC, 2006) habilita el uso de mapas de biomasa aérea con fines de monitoreo, medición, reporte, y verificación.

La estimación del depósito de biomasa aérea se ejecuta a través de cuatro componentes:

- (1) Se compilan y procesan mediciones de la altura del dosel y de la estructura de la vegetación con sistemas de LiDAR satelital y espacial.
- (2) Se instalarán parcelas permanentes terrestres para calibrar y validar las mediciones aéreas y satelitales de la altura del dosel, de la estructura de la vegetación y para la estimación de sus densidades de biomasa.
- (3) Se generarán mediciones de calibración a través de sobrevuelos con un sensor de LiDAR aéreo;
- (4) Se intercalibran las observaciones espaciales, aéreas y terrestres para mapear las densidades de biomasa aérea, y para determinar sus incertidumbres.

Este procedimiento sigue las recomendaciones de las agencias espaciales integrantes del comité de satélites para la observación terrestre (CEOS; por sus siglas en inglés) respecto a las buenas prácticas para la calibración y validación de la detección de biomasa aérea boscosa (L. Duncanson et al., 2021). Este protocolo recomienda integrar mediciones de calibraciones a través de parcelas permanentes terrestres con transectos de levantamiento de la altura de árboles y de su estructura a través de sobrevuelos de LiDAR, para calibrar y validar las mediciones a través de sensores satelitales de LiDAR y radar.

El presente documento se plantea como una propuesta de Procedimientos Operativos Estandarizados (SOP, Standard Operating Procedures, por sus siglas en inglés) para la instalación de parcelas con fines de calibración y validación de las mediciones aéreas ysatelitales de la altura del dosel, y de la estructura de la vegetación para la estimación sus densidades de biomasa.

En los ecosistemas terrestres, naturales o degradados, las plantas, mediante el proceso de fotosíntesis capturan el carbono atmosférico y lo almacenan en tres principales depósitos de biomasa (Ogle et al., 2019b, Paustian et al., 2006; Tabla 1), los cuales, según sus características morfológicas y fisicoquímicas, pueden resultar más o menos inflamables.

Tabla 1. Depósitos de carbono, sus componentes y características.

Depósito		Descripción
Biomasa	Biomasa aérea (AB)	Está conformada por toda la biomasa viva que crece por encima del suelo y que forman parte de las plantas (tallos/troncos, ramas, gajos, hojas, flores, frutos, etc.), independientemente de su forma de vida (árbol, palmera, arbusto, subarbusto, hierba, epífita, liana, etc.) o estrato vegetal en el que se desarrolla (estrato herbáceo, arbustivo, arbóreo o emergente).
	Biomasa subterránea (BB)	Está conformada por raíces vivas ≥ 2 mm de diámetro que crecen por debajo del suelo, independientemente de la forma de vida de las plantas (árbol, palmera, arbusto, subarbusto, hierba, epífita, liana, etc.) o estrato vegetal en el que se desarrolla (estrato herbáceo, arbustivo, arbóreo o emergente).
Materia orgánica muerta	Madera muerta (DW)	Está conformada por toda la biomasa leñosa muerta (generalmente ≥ 10 cm de diámetro) que se encuentra en pie o sobre el suelo (tallos/troncos, ramas, gajos), o bajo el suelo (raíces).
	Hojarasca (LI)	Está conformada por toda la biomasa muerta acumulada sobre la superficie del suelo mineral (inorgánico), independientemente de su estado de descomposición, pero, que no forma parte de la madera muerta o la biomasa de raíces (< 10 cm de diámetro). En esta categoría se incluyen, hojas, gajos, ramas, frutos, flores y detritos ≥ 2 mm que conforman el suelo orgánico.
Suelos	Materia orgánica del suelo (SO)	Está conformada por toda la materia orgánica viva o muerta < 2 mm contenida en el suelo mineral y que, generalmente se acumula hasta los 30 cm de profundidad.

Elaborado con base a las directrices del IPCC del 2006 (Paustian et al., 2006) y sus complementaciones del 2019 (Ogle et al., 2019)

La cantidad de carbono almacenado dentro de estos depósitos – carbon pools (Brown, 2002) – cambia, en mayor o menor proporción según el tipo de ecosistema o formación vegetal, siendo, en Bolivia, mayor en los bosques de la región norte (Amazonía), desde donde disminuye gradualmente hacia el sur [Chaco; Villarroel et al. (2022); Figura 1].

Sin embargo, si bien idealmente los estudios referentes a la dinámica del carbono deben incluir todos los depósitos de carbono, su cuantificación según el marco metodológico planteado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) (Domke et al., 2019, Paustian et al., 2006) para la obtención de datos con la menor incertidumbre posible (Nivel 3), por lo general depende o está limitado/priorizado en función de, la disponibilidad de recursos financieros, la factibilidad y los costos de medición, la magnitud del cambio en los depósitos según las actividades/acciones antrópicas y, el aporte del depósito al stock de carbono total, entre otros factores (Argotty et al., 2018).

Para la calibración y validación del mapeo de la densidad de biomasa a través de sensores remotos se considera solamente los depósitos de biomasa aérea y la madera muerta en pie. Sin embargo, las parcelas permanentes puedan aprovecharse también para la medición y el monitoreo de otros depósitos o parámetros relevantes.

3.1 POE – Selección de sitios potenciales para la prospección

3.1.1 Compilación de la geodatabase

Para la selección de los sitios potenciales para la prospección y medición deben compilarse las siguientes capas de información dentro de una geodatabase o una estructura de carpetas y archivos:

- (1) Los límites del área del sistema MRV (jurisdicción, ecosistema);
- (1) El uso y la cobertura de la tierra en el año más reciente disponible,
- (2) Las orbitas, segmentos, y huellas (footprints) de las mediciones por sistemas de LiDAR satelital (ICESat-2) y espacial (GEDI) seleccionadas para el área de MRV (1) y un periodo de máximo 12 meses antes de las mediciones terrestres para la calibración y validación.
- (3) Un mapa de densidad de biomasa con una resolución espacial de 1ha del último periodo o año disponible.
- (4) La trayectoria del uso, cambio del uso y de la cobertura durante un periodo determinado (p.ej. los últimos 5 años).
- (5) Información espacial completaría respecto el acceso (vías, ríos, asentamiento), unidades administrativas (áreas protegidas, municipios, comunidades, TIOCs, propiedades), tipo de vegetación, mediciones de biomasa o de otros parámetros biofísicos relevantes (p.ej. topografía).

La información espacial debe estar disponible para el análisis espacial en un SIG operando en ámbitos de escritorio, y además en formatos aptos para aplicativos de SIG en dispositivos móviles, p.ej. QField.

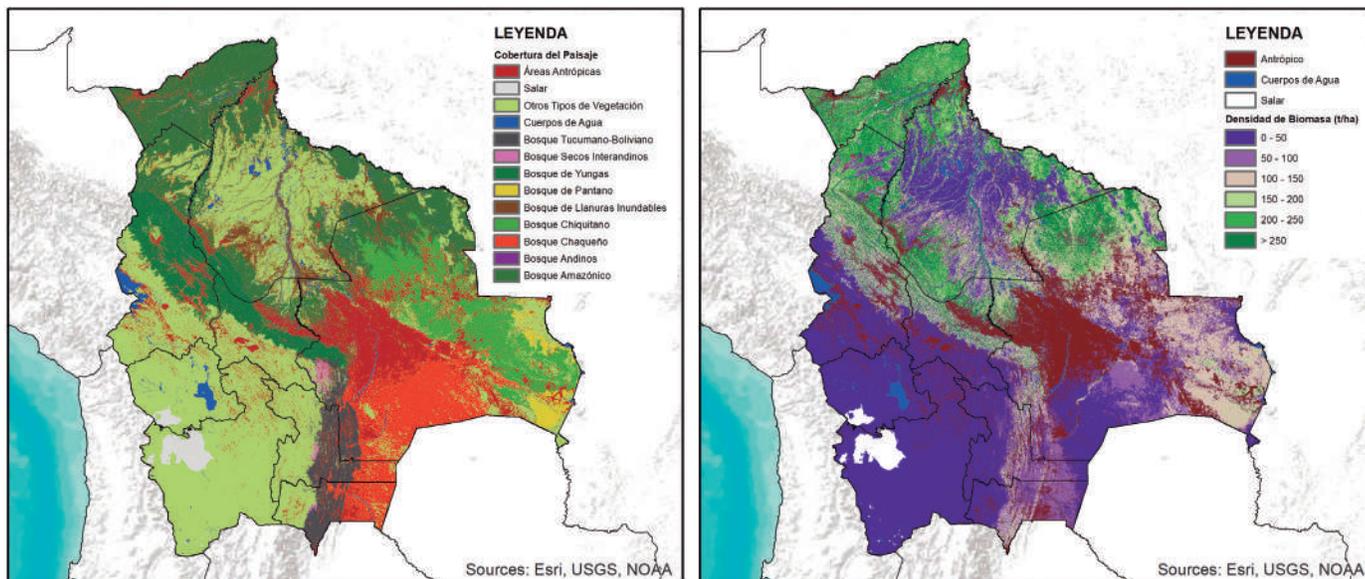


Figura 1. Tipos de bosques y densidad de biomasa estimada para Bolivia (Nivel 2).

La delimitación de los tipos de bosques está basada en la clasificación establecida por el Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA; <https://geo.gob.bo/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/1d061840-db3f-47a6-bb44-55f121edc7ba>).

La densidad de biomasa estimada fue generada a partir de Villarroel et al. (2022).

La inclusión de estos factores como base del diseño de muestreo permitirá optimizar la planificación e inversión de tiempo y recursos financieros destinados al trabajo de campo y la obtención de datos que posibiliten medir la magnitud del impacto de los factores claves de *degradación forestal* sobre los depósitos de carbono mediante la comparación de las áreas afectadas vs. áreas no afectadas (Walker et al., 2018).

3.1.2 Selección de sitios potenciales para la prospección

Para el caso del presente POE, en primera instancia, el área de estudio deberá estratificarse con base a:

- i. Los nueve tipos de bosques legalmente reconocidos por el Estado Plurinacional de Bolivia para la elaboración de reportes e instrumentos de gestión (Figura 1; MMAyA, 2017).
- ii. Clases/Intervalos de densidad de biomasa presentes en el área de estudio, las cuales podrán ser categorizados en rangos de densidades de biomasa definidos a partir de un análisis de distribución de frecuencias ajustado según las dimensiones del área de trabajo, siendo la base, los modelos espaciales generados por el proyecto Climate Change Initiative Biomass de la Agencia Espacial Europea o Villarroel et al. (2022; Figura 1 y 2).

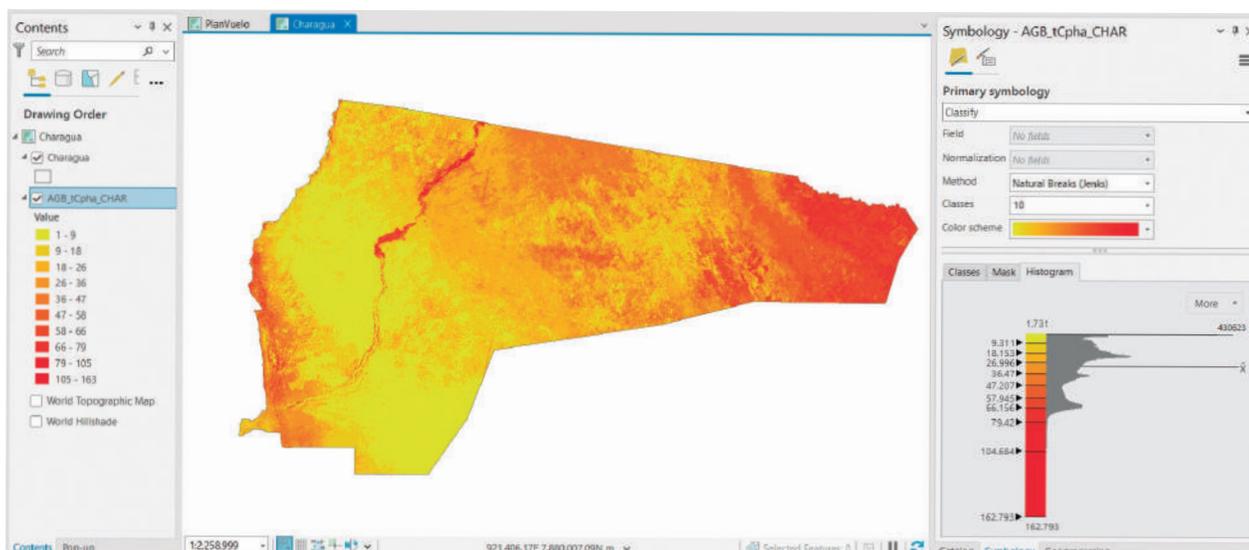


Figura 2. Distribución de densidades de biomasa aérea en el municipio Charagua según Villarroel et al. (2022). La clasificación por Natural Breaks (Jenks) permite identificar los rangos de densidades a cubrir.

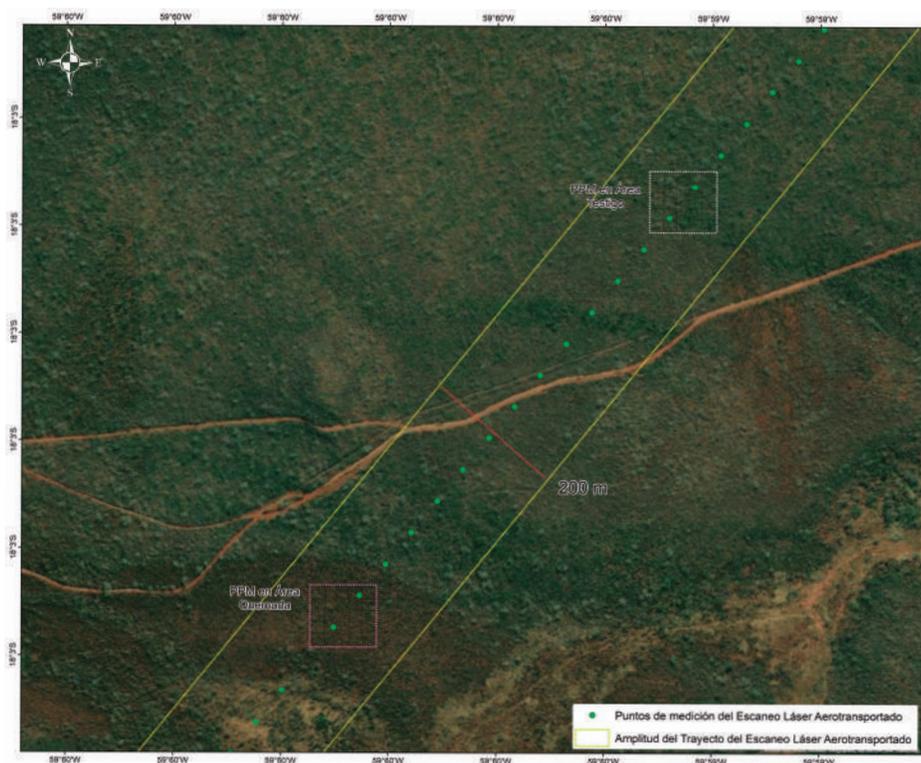


Figura 3. Localización y disposición de las parcelas de medición permanentes (PPM) dentro del trayecto del Escaneo Láser espacial considerando áreas degradadas por incendios de copa (PPM en Área Quemada) y no degradadas (PPM en Área Intacta).

Sitios potenciales de prospección deben estar localizadas sobre los trayectos previamente establecidos en base de los segmentos y huellas de mediciones por sistemas satelitales o espaciales seleccionadas y, sobre áreas degradadas y no degradadas (Figura 3) por cada tipo de estrato previamente identificado y delimitado (Figura 2). La localización de los puntos podrá realizarse con base a criterios “No Probabilísticos”, tal como lo recomienda Dubayah et al. (2020) para estudios desarrollados en superficies >100,000 ha.

Este tipo de muestreo, si bien estadísticamente tiene sus ventajas y desventajas con relación a los muestreos de tipo probabilísticos [aleatorios o sistemáticos; Dubayah et al. (2020), Duncanson et al. (2021)], permite identificar, dentro de cada estrato previamente determinado y delimitado (Figura 2), áreas tentativas de muestreo en función de:

- i. La variabilidad regional/local del terreno (p. ej. topografía, homogeneidad fisionómica de la vegetación, etc.).
- ii. La localización espacial de los pulsos laser de medición.
- iii. Una distancia mínima de separación de al menos 2 km entre uno y otro sitio de medición para evitar posibles problemas de autocorrelación espacial.
- iv. El grado de disturbio/perturbación antrópica observada y/o detectada espectralmente a lo largo del trayecto del LiDAR (p. ej. áreas quemadas y áreas no quemadas; Figura 3).
- v. Las clases/Intervalos de densidad de biomasa presentes en el área de estudio.
- vi. La autorización de los actores (p. ej. acuerdos con propietarios privados y representantes comunales en territorios indígenas) o instancias administrativas gubernamentales (p. ej. Servicio Nacional de Áreas Protegidas, Gobiernos Autónomos Municipales, etc.).

Tomando en cuenta las recomendaciones del Committee on Earth Observation Satellites (CEOS) para la validación de productos de biomasa aérea arbórea, se requiere un mínimo de aproximadamente 30 parcelas, según la complejidad del sistema, para entrenar un modelo LiDAR (ver Cuadro 1). Se recomienda seleccionar por lo menos una cantidad de tres hasta cuatro veces más de la cantidad mínima de parcelas requeridas aplicando los criterios i.-vi arriba para determinar la población de posibles sitios para la prospección in situ.

3.1.3 Actualización iterativa de la selección de sitios potenciales para la prospección

Para alcanzar a una cobertura adecuada de las clases o intervalos de densidad de biomasa presentes en el área de estudio en función de las mediciones de parcelas ya medidas, debe ajustarse la preselección de sitios para la próxima prospección. Este es un proceso iterativo que sigue los siguientes pasos:

- (1) Medición de una parcela prospeccionada;
- (2) Cálculo preliminar de la densidad de biomasa aérea viva por hectárea en base del DAP, la altura de árboles, y una media de las densidades de madera a determinar en base de Zanne et al. (2009) utilizando una ecuación alométrica pantropical que corresponde a la zona bioclimática (J. Chave et al., 2005; Jérôme Chave et al., 2014).
- (3) Análisis de la distribución de densidades de biomasa de parcelas medidas en relación con las clases de o intervalos de densidad de biomasa presentes en el área de estudio.
- (4) Actualización de la preselección de sitios para la siguiente prospección.

Este proceso debe repetirse después de cada medición de parcela concluida.

Cuadro 1:

Recomendaciones del CEOS para la validación de productos de biomasa aérea arbórea

El Working Group on Calibration and Validation Land Product Validation Subgroup del Committee on Earth Observation Satellites (CEOS) recomienda lo siguiente respecto la validación de productos de biomasa aérea arbórea (Laura Duncanson et al., 2021, p. 18):

Recomendaciones para todas las recopilaciones de datos

- Los datos deben ser de libre acceso y estar disponibles en un plazo máximo de 1 año a partir de su recopilación.
- Los datos deben adquirirse en colaboración con redes de parcelas de campo a largo plazo y socios locales siempre que sea posible.

Recomendaciones para parcelas de campo

- Parcelas cuadradas (Más fáciles de vincular con productos cuadrículados)
- Parcelas grandes (mínimo 0,25 ha en los trópicos, idealmente parcelas de 1 ha con subparcelas de 0,25 ha o 0,04 ha); minimiza los efectos de borde y las incertidumbres de geolocalización.
- Geolocalización de árboles cuando sea posible.
- Geolocalización con alta precisión e incertidumbres informadas.
- Se debe contratar a un botánico capacitado para la identificación de especies.

Distribución espacial de las parcelas de campo

- Las parcelas cubren gradientes ambientales recopilados por LiDAR aéreo que están correlacionados local o regionalmente con la biomasa (por ejemplo, gradientes topográficos).
- Cantidad suficiente de parcelas recopiladas para entrenar un modelo LiDAR (un mínimo de aproximadamente 30, según la complejidad del sistema).

3.2 POE – Verificación del terreno y selección de las áreas de muestreo

Una vez habiéndose identificado las áreas potenciales de muestreo, se deberá realizar la prospección in situ de cada una de éstas con la finalidad de corroborar las características/condiciones bióticas, abióticas y sociales mediante las cuales fueron inicialmente seleccionadas; pues, debido a que las unidades de muestreo son de tipo permanente, éstas deben ser instaladas en áreas con bajo riesgo de *deforestación y/o degradación forestal* futura.

Las actividades a ser desarrolladas durante el trabajo de prospección son:

- i. Establecer contacto con los acreedores del derecho propietario o administrativo del área donde se pretende instalar las unidades de muestreo. En el caso de Territorios Indígenas, se deberá contactar con el representante comunal (p. ej. cacique, capitán-mburuvicha, corregidor, etc.); en propiedades privadas, con el propietario (cuando el título de tenencia de la tierra es individual) o representante legal (cuando el título de tenencia de la tierra fue otorgado a más de una persona); en áreas protegidas nacionales y subnacionales, mediante los procedimientos administrativos establecidos por las instancias correspondientes (p. ej. el SERNAP para áreas protegidas nacionales).
- ii. Identificar y verificar la existencia y transitabilidad de las vías y rutas de acceso que conduzcan o permitan llegar, ya sea, en vehículo o caminando, hasta las áreas potenciales de muestreo. Esta actividad permitirá estimar el tiempo que debería ser invertido diariamente para acceder hasta el lugar de trabajo, así como también, del centro poblados más cercano.
- iii. Verificar las condiciones del terreno en términos de homogeneidad fitofisionómica, ausencia de efecto de borde (el área potencial de muestreo debe tener una superficie mayor a 1 ha), presencia/ausencia de la ocurrencia y tipo de drivers de *degradación forestal*, presencia/ ausencia de sendas de personas que la crucen, la presencia/ausencia de actividades productivas que representen una amenaza para la permanencia de la unidad de muestreo (p. ej. áreas de cultivos).
- iv. Documentar las condiciones del terreno con fotos y/o video desde el vértice central de la parcela, cubriendo un Field-of-View (FoV) de 360 grados.
- v. Identificar sitios potenciales para el establecimiento del campamento del equipo de trabajo de campo, pues, por lo general, la mayoría de las áreas potenciales de muestreo no están localizadas en cercanías de centros poblados.
- vi. Constatar la existencia de recursos humanos locales que podrían involucrarse y participar del proceso de instalación de las unidades de muestreo (p. ej. guías locales, materos, etc.).

Este conjunto de criterios permitirá analizar, valorar y comparar la viabilidad y los costos de inversión en términos de tiempo, recursos humanos y financieros necesarios para la implementación de las unidades de muestreo, viabilizando la posibilidad de medir y monitorear sus respectivos cambios en el tiempo (emisiones y captura de carbono).

Así también, la prospección de campo permitirá establecer contacto con los actores locales y, por ende, percibir su predisposición para colaborar con el desarrollo del trabajo de campo, la instalación de las unidades de muestreo y su respectiva conservación.

3.3 POE–Instalación de las parcelas

3.3.1 El marco metodológico

Los criterios y procedimientos propuestos para la implementación de las PPM están fundamentados con base al “Manual de Campo para el Establecimiento y la Remedición de Parcelas Permanentes” de la Red Amazónica de Inventarios Forestales (RAINFOR; Phillips et al., 2016); una metodología mundialmente utilizada para estudios relacionados al carbono, biodiversidad y dinámica de los bosques tropicales .

3.3.2 Tamaño y forma de las PPMs

Diversos tamaños y formas de PPMs han sido propuestas y utilizadas para el inventario y monitoreo de la dinámica del carbono en los bosques (p. ej. Protocolo RAINFOR, Figura 4), así como para la calibración y validación de la evaluación directa de las densidades de biomasa aérea, las cuales, por lo general, fueron planteadas en función de los tipos de vegetación, su diversidad y complejidad estructural y de las formas de vida que la conforman, las condiciones del terreno, entre otros (Duncanson et al., 2021, Walker et al., 2018).

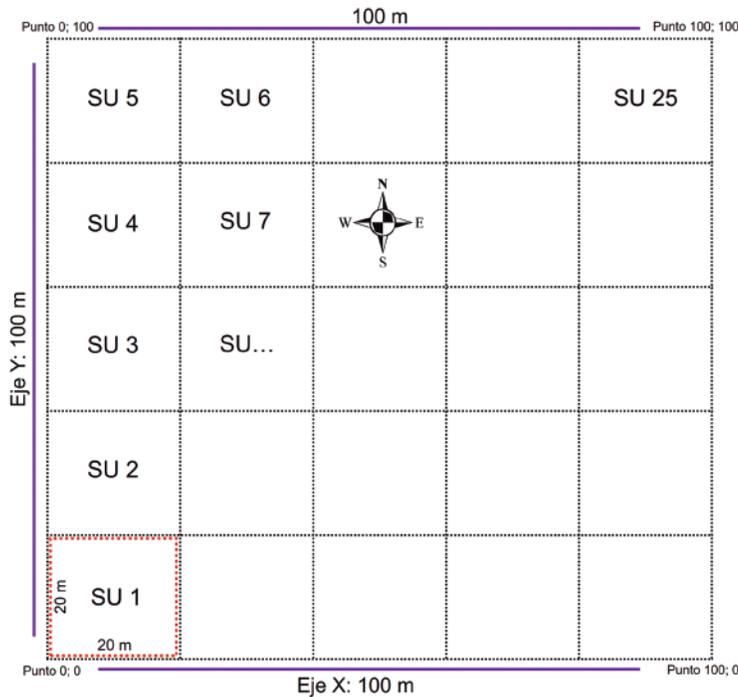


Figura 4. Diseño, forma y subdivisiones de las PPMs.

Para generar mediciones de campo espacialmente compatibles con la resolución y el área de medición de los sistemas LiDAR espacial y satelital, las PPMs a ser instaladas mediante el presente POE serán de 1 ha de superficie (distribuidas en 100 × 100 m; Figura 4). Esa extensión se considera como la más apropiada para el inventario y monitoreo de los diversos atributos que integran los bosques tropicales (Duncanson et al., 2021, Phillips et al., 2016).

La forma de las PPM debe ser cuadradas, 100 × 100 m (400 m de perímetro; Figura 4). Con relación a PPM cuyas dimensiones o formas geométricas se distribuyen en forma rectangular (Ej. 500 × 20 m, 1,040 m de perímetro) o circular, la forma cuadrada tiene la ventaja de tener un efecto de borde menor, menor riesgo de no incluir árboles localizados en los límites perimetrales y por permitir analizar y monitorear el efecto de la caída de los árboles sobre la comunidad vegetal y sus depósitos de carbono (Phillips et al., 2016).

Para sistematizar y facilitar el proceso de la toma de datos, la PPM debe ser dividida en 25 subparcelas de 20 × 20 m (Figura 4). La delimitación de los vértices de la PPM y de las subparcelas deben marcarse/estar señaladas con tubos plásticos de color rojo o pintados con dicho color. Estos tubos, idealmente de 50 cm de longitud, deberán enterrarse de forma que emerjan entre 20 y 25 cm por encima del suelo. En zonas con alta probabilidad de ocurrencia o recurrencia de

incendios, deberán introducirse estacas de fierro al interior de los tubos plásticos, por lo menos en los tubos de los cuatro vértices principales.



Figura 5. Geometría de la PPM con relación a las huellas de LiDAR del sistema ICESat-2.

3.3.3 Geolocalización de la parcela

- (1) En el SIG de escritorio, se selecciona la ubicación de la parcela de tal manera que su vértice central coincida con un vértice central de una huella LiDAR de un sistema satelital o espacial.
- (2) Se cargan los 5 vértices de una parcela al dispositivo móvil con conexión a un sistema de GNSS de alta exactitud.
- (3) Se geolocalizan y se marcan los 4 vértices que constituyen los límites de la parcela en el sitio para delimitar la parcela (Figura 5).

3.3.4 Orientación y delimitación de la PPM

Dentro del trayecto de LiDAR (Figura 5), los ejes de las PPMs y sus respectivas subunidades deben ser implementadas en dirección Norte/Sur para el eje Y (Figura 4) y Este/Oeste para el eje X (Figura 4), de manera que, incluya, en la subparcela 13 (subunidad localizada en el centro de la PPM; Figura 4), un punto de medición del sensor LiDAR (Figura 5).

El primer paso para la instalación de la PPM consiste en la delimitación del perímetro, iniciando con los 100 m del eje Y [0° en dirección Norte (Figura 6A y 6B) o 180° en dirección Sur] y luego, con los 100 m del eje X (90° en dirección Este o 270° en dirección Oeste). Tanto, en el eje X como Y, cada 20 m se deberá colocar las estacas plásticas, las cuales servirán como referencia espacial del inicio/fin de las subunidades de muestreo.



Figura 6. A. Brújula estableciendo la dirección del eje Y (0° Norte). B. Direccionamiento de la apertura de los ejes del perímetro de la PPM. C. Apertura de brecha de la PPM.

Una vez habiéndose establecido el perímetro de la PPM, se debe proceder con la delimitación de las subunidades de muestreo, las cuales pueden ser implementadas en bloques con dirección Norte/Sur o Este/Oeste (Figura 4).

Con la finalidad de reducir el daño a la regeneración de las especies arbóreas, las brechas que delimitarán el perímetro de la PPM, así como las sus subunidades de muestreo, no deberán exceder los 50 cm de ancho.

3.4 POE – Medición de la biomasa aérea viva de árboles, arbustos y palmeras

Si bien el carbono de la biomasa aérea viva está distribuido entre las distintas formas de vida que conforman la estructura horizontal y vertical de la vegetación (árbol, arbusto, palmeras, subarbustos, hierba, epífita, liana, etc.; Tabla 1), dentro de la superficie total de la PPM se debe priorizar el inventario del carbono almacenado en la biomasa leñosa [árboles, arbustos y lianas, incluyéndose también a las palmeras; Brown (2002)]; pues, este tipo de depósito, por lo general, es significativamente mayor con relación al carbono contenido en la biomasa no leñosa [en bosques maduros, el sotobosque, compuesto subarbustos y otras formas de vida herbácea, se almacena menos del 10% del stock de carbono total; Brown et al. (2015)].

3.4.1 Planillas para el registro de datos

Con base a las recomendaciones de Phillips et al. (2016), las planillas de registro de datos planeadas para la medición de la biomasa aérea vivan en el presente POE considera 12 campos, los cuales permitirán medir y registrar los atributos taxonómicos, espaciales y dasométricos de los árboles, arbustos y palmeras presentes dentro de la PPM (Tabla 2; modelo básico de planilla de registro de datos de campo). Posterior a la prospección de campo (POE – Verificación del terreno y selección de las áreas de muestreo) y previamente a la ejecución de las actividades de campo, las planillas de toma de datos podrán ser ajustadas según las características de la vegetación a ser muestreada (si es necesario); para luego, ser socializada con el equipo de trabajo.

Tabla 2. Formato básico de la planilla de registro de datos de campo para el inventario de la biomasa leñosa aérea viva en las PPMs.

Código Plot:		Fecha:				Resp. de Planilla:		Resp. de DBH:			
PPM	SubPlot	N Placa	X	Y	Especie	DBH	POM	Alt_Est	FLAG	Notas	

Los campos que mínimamente debe contener la planilla de toma de datos de campo son:

- i. Código de la PPM; carácter que debe ser designado mediante el uso de dos o tres letras que distinga el lugar o región de muestreo y dos o tres números (dependiendo del número de PPM existentes en dicho lugar o región). Ej. para la PPM 5 establecida en Ñembi Guasu el código de la PPM podría ser: ÑG-05; para la PPM 1 establecida en el Valle de Tucabaca el código de la PPM podría ser: VTC-01.
- ii. Fecha de instalación de la PPM; campo donde debe registrarse la fecha de inicio de la instalación de la PPM, indicando, primero el día, luego el mes (primeras tres letras del mes) y finalmente el año (con los cuatro dígitos). Ej. 01-mar-2024.
- iii. Responsable de planillas; aquí se debe indicar el nombre del técnico responsable de registrar en las planillas todos los datos tomados durante las mediciones de campo.
- iv. Responsable DBH, aquí se debe indicar el nombre(s) de o las personas responsables por las mediciones del diámetro de los árboles.

- v. Número de la subunidad muestral (subPlot); corresponde al número de la subparcela en el que se registra a los individuos leñosos. El número de subparcelas debe ser registrado de forma correlativa del 1 al 25 (Figura 7).
- vi. Número de placa (N Placa); es el número de identificación mediante el cual los individuos leñosos serán registrados. Este número es único (no debe repetirse en otros individuos) y permitirá medir sus cambios en el futuro (Ej. incremento o decremento en el diámetro del fuste, muerte, caída, etc.).
- vii. Geoposicionamiento del individuo registrado (coordenadas cartesianas X y Y en metros en relación al punto (0, 0) de cada subparcela); se refiere a la localización espacial de un individuo dentro de las dimensiones de las subparcelas (Figura 7).

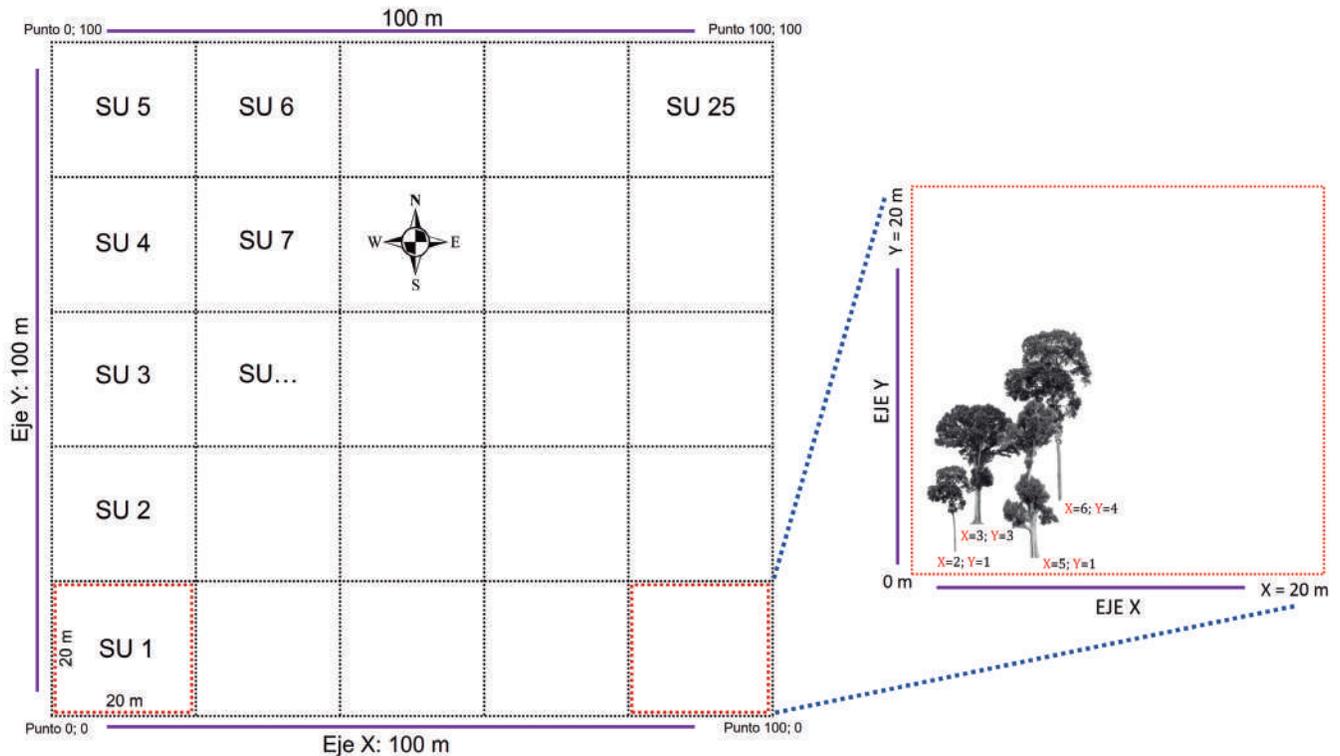


Figura 7. PPMs y subunidades de muestreo establecidas para el inventario del carbono depositado en la biomasa leñosa aérea viva.

- viii. Nombre común e identidad taxonómica (familia, género y especie); el primero es designado con base al conocimiento de los actores locales (no se debe incorporar nombres comunes de otras regiones; Ej. Anadenahtera colubrina es conocida como cebil en Tarija y como curupaú en la Chiquitania) y el segundo (puede ser establecido en gabinete) con base a la nomenclatura propuesta en el catálogo de la flora de Bolivia (Jørgensen et al., 2015 en adelante).
- ix. Diámetro en cm diamétricos (DBH); medición realizada con cintas diamétricas, por lo general, para individuos leñosos, a 1.3 m por encima del suelo.
- x. Punto de medición del diámetro (Punto Óptimo de Medición, POM); altura en la cual se realiza la medición del diámetro, por lo general, en individuos leñosos a 1.3 m por encima del suelo.
- xi. Estado del individuo (FLAG); describe el estado en el que se encuentran los individuos leñosos. Este atributo es designado con base a códigos estandarizados por Phillips et al. (2016).
- xii. Notas; espacio en el cual se puede registrar el número de colecta de botánica o destacar alguna característica relevante del individuo leñoso o de su estado fitosanitario.

3.4.2 Criterios para el registro de individuos

Dentro de las 25 subparcelas de muestreo que conforman la PPM se debe registrar a todos aquellos árboles, arbustos y palmeras vivas ≥ 10 cm de diámetro, cuya base o raíces se encuentre en más del 50% al interior de los límites perimetrales de la PPM (Figura 7).

Adicionalmente, con la finalidad de estimar el carbono contenido en el estrato arbustivo, en cinco de las 25 subparcelas de la PPM (subparcelas 1, 5, 13, 21 y 25) se deben registrar a todos los individuos ≥ 5 pero < 10 cm de diámetro (Figura 8).

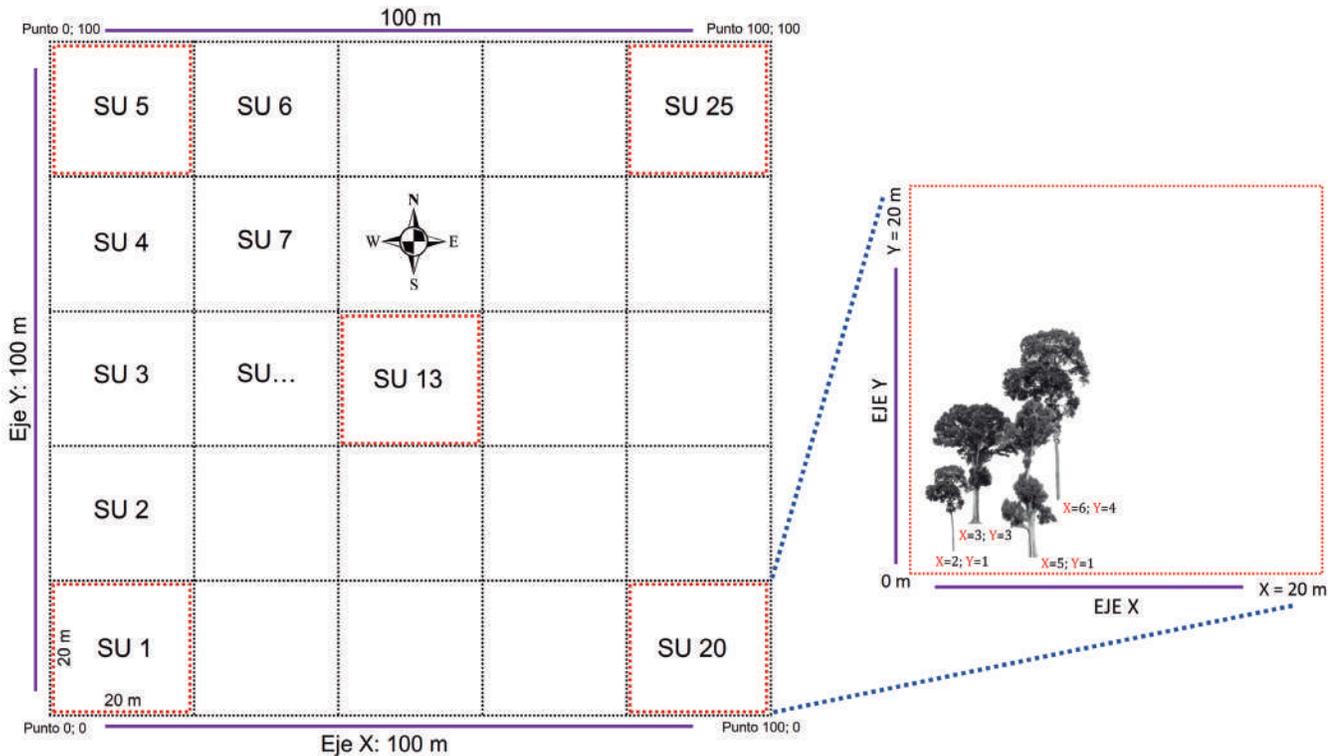


Figura 8. PPM y subunidades de muestreo anidadas para el inventario del carbono contenido en el estrato arbustivo.

3.4.3 Medición de diámetros y POM

Para obtener una mejor precisión, la medición de los fustes de los árboles, arbustos o palmeras (≥ 5 pero < 10 cm de diámetro; o ≥ 10 cm de diámetro) debe ser realizada empleando cintas diamétricas (Figura 9A).

Si el fuste de los árboles tiene una forma regular [no presenta deformaciones, ramificaciones, raíces tabulares (Figura 9C), etc.], el punto de medición del diámetro debe ser realizado a los 1.3 m del suelo (POM, punto óptimo de medición; Figura 9A; Figura 10A). Antes de realizar la medición, es importante verificar que el fuste esté libre de lianas u otras plantas que podrían incrementar el valor del diámetro (Figura 10B).



Figura 9. A. Medición de diámetro de fuste a los 1.3 m del suelo. B. Lianas sobre el fuste que pasan por el POM. C. Árbol con raíces tabulares que sobre pasan los 1.3 m por encima del suelo.

Cuando el fuste se encuentre inclinado, el POM debe estar localizado los 1.3 m siguiendo la dirección de su inclinación (Figura 10B). En áreas con topografía accidentada, la medición del diámetro del fuste debe realizarse cuesta arriba a los 1.3 m del suelo (Figura 10C).

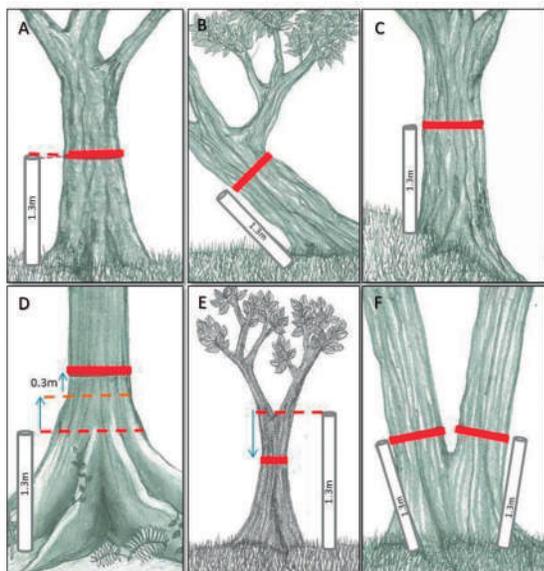


Figura 10. A. Árbol con fuste regular, con POM de diámetro a los 1.3 m del suelo. B. Árbol inclinado. C. Fuste en terreno inclinado. D. Árbol con raíces tabulares. E. Árbol con ramificación sobre los 1.3 m. F. Árbol ramificado por debajo de los 1.3 m.

Ilustraciones extraídas de Walker et al. (2018).

Cuando los fustes presenten raíces tabulares/aletones (Figura 9C; Figura 10D), el POM de medición del diámetro debe ser localizado 30 o 50 cm por encima del final de dicha estructura (Figura 10D). Para individuos con tallos múltiples/ramificados a los 1.3 m del suelo, el POM debe ser establecido 5 o 10 cm por debajo (Figura 10E); y, para los que ramifican por debajo de los 1.3 m y/o desde la base, los fustes deben ser medidos y registrados individualmente, siendo su POM los 1.3 m por encima del suelo (Figura 10F).

3.4.4 Pintado y plaqueteado

El POM de los diámetros de todos los individuos $5\text{ cm} < 10\text{ cm}$ y 10 cm de diámetro deben ser marcados con pintura de emulsión roja, dejando una franja horizontal que se extienda sobre parte de la trayectoria de medición (Figura 11A). Así también, todos los fustes $\geq 5\text{ cm} < 10\text{ cm}$ y $\geq 10\text{ cm}$ de diámetro deben ser numerados secuencialmente con placas de aluminio, las cuales serán fijadas con clavos de hierro o aluminio 20 o 30 cm por encima del POM (Figura 11B; Figura 11C).



Figura 11. A. Pintado del POM a los 1.3 m del suelo. B. Clavado de placa de numeración/identificación del árbol, 30 cm por encima del POM. C. Árbol pintado y plaqueteado.

3.4.5 Geoposicionamiento de los individuos registrados

Todos los individuos registrados dentro de la PPM deben ser referenciados espacialmente al interior de cada subparcela. El geoposicionamiento espacial de los individuos deberá ser estimado utilizando como base referencial los ejes Y (Norte/Sur) y X (Este/Oeste) de cada subunidad de muestreo (Figura 7). Para obtener estos valores, sobre cada uno de los ejes de las subparcelas se deberá extender una cinta métrica de al menos 20 m, con las cuales se procederá a determinar la referencia de la distancia del individuo con relación al vértice de inicio, tanto, para el eje X (de 0 a 20 m) como para el eje Y (de 0 a 20 m).

3.4.6 Estado/condición de los individuos registrados

Con base al protocolo establecido por Phillips et al. (2016), la condición o estado de todos los individuos registrados debe ser caracterizado utilizando la siguiente codificación:

- a = vivo normal.
- b = vivo, tallo partido y con rebrotes, o por lo menos hay floema/xilema vivo. En este caso, se anotó en la columna de comentarios a qué altura el tronco está partido.
- c = vivo, inclinado $\geq 10\%$. Este código no se utilizó para individuos caídos (código d).
- d = vivo, caído, es decir, individuos que están sobre el suelo.
- e = vivo, pero con tallo “acanalado” y/o “fenestrado”.
- f = vivo, pero con tallo hueco.
- g = vivo, pero con tallo podrido.
- h = individuo con tallos múltiples (\geq a 5 o 10 cm de diámetro, dependiendo de la subunidad muestral. Ver el punto Criterios para el registro de individuos).
- i = vivo, pero sin o con pocas hojas.
- j = vivo, pero con tallo quemado.
- l = vivo, pero con liana ≥ 10 cm de diámetro en el tronco o en la copa.
- m = cubierto por lianas. Este código fue utilizado cuando al menos el 50% de la copa del individuo registrado estuvo cubierta por lianas, independientemente de su diámetro.
- o = vivo, pero dañado por un rayo.
- p = vivo, pero cortado.
- q = vivo, pero con corteza pelada/suelta, o con placas leñosas que se desprenden.
- s = vivo, pero tiene o está cubierta por plantas estranguladoras (Ej. Ficus).
- z = vivo, pero con baja productividad (casi muerto).

3.4.7 Colecta de especímenes

En cada PPM, se deberá coleccionar al menos dos especímenes por cada especie o morfo-especie registrada, esto con la finalidad de corroborar las identificaciones taxonómicas realizadas durante el trabajo de campo y/o identificar aquellas morfo-especies no determinadas. Así también, los especímenes coleccionados se constituyen en material testigo que respaldará la veracidad de las entidades taxonómicas que integran las PPMs.

3.5 POE – Medición de la biomasa aérea viva de lianas

3.5.1 Lianas en los bosques

Las lianas son una forma de vida que, con relación a las otras que conforman los depósitos de la biomasa aérea viva, por lo general, pueden representar una mínima proporción (Figura 12A). Sin embargo, en bosques degradados, la apertura del dosel arbóreo permite el surgimiento y proliferación de lianas (Figura 12B), incrementado así, su contribución a los depósitos de carbono.



Figura 12. A. Bosque con bajo nivel de perturbación/disturbio. B. Bosque quemado y bajo aprovechamiento forestal maderable. C. Registro, marcado y plaqueto de liana.

3.5.2 Registro de lianas

Para realizar el inventario de lianas dentro de las PPM y, posteriormente estimar su contribución a los depósitos de carbono (Phillips et al. 2016), se debe considerar al menos 16 campos de registro (Tabla 3; modelo básico de planilla de registro de datos de campo).

Tabla 3. Formato básico de la planilla de registro de datos de campo para el inventario de la biomasa de lianas en las PPMs.

Código Plot:		Fecha:			Coordenada:		Resp. de Planilla:				Resp. de DBH:		
PPM	SubPlot	N Placa	X	Y	Nombre Común	Especie	D.Lar	D.Alt	D.Max	POM D.Max	FLAG	A.Hos	Notas

Los datos a ser registrados en las planillas de campo son:

- i. Código de la PPM; carácter que corresponde al código designado en la planilla de inventario de la biomasa leñosa aérea.
- ii. Fecha del inicio de la medición; campo donde debe registrarse la fecha de inicio del inventario de lianas, indicando, primero el día, luego el mes (primeras tres letras del mes) y finalmente el año (con los cuatro dígitos). Ej. 01-mar-2024.
- iii. Responsable de planillas; aquí se debe indicar el nombre del técnico responsable de registrar en las planillas todos los datos tomados durante las mediciones de campo.
- iv. Responsable DBH, aquí se debe indicar el nombre(s) de o las personas responsables por las mediciones del diámetro.
- v. Número de la subunidad muestral (subPlot); corresponde al número de la subparcela en el que se registra a las lianas. El número de subparcelas debe ser registrado de forma correlativa del 1 al 25 (Figura 7).
- vi. Número de placa (N Placa); es el número de identificación mediante el cual las lianas serán registrados. Este número es único y debe ir en correlación con el número de placa designado para los árboles (no debe repetirse en otros individuos).
- vii. Geoposicionamiento del individuo registrado (coordenadas X y Y); se refiere a la localización espacial de un individuo dentro de las dimensiones de las subparcelas. Para obtener estos valores, sobre cada uno de los ejes se deberá extender una cinta métrica de al menos 20 m, con las cuales se procederá a determinar la referencia de la distancia del individuo con relación al vértice de inicio (Figura 7).
- viii. Nombre común e identidad taxonómica (familia, género y especie); el primero es designado con base al conocimiento de los actores locales (no se debe incorporar nombres comunes de otras regiones) y el segundo (puede ser establecido en gabinete) con base a la nomenclatura propuesta en el catálogo de la flora de Bolivia (Jørgensen et al., 2015 en adelante).
- ix. D.Largo; diámetro a los 1.3 m a lo largo del tallo, desde el punto donde emerge del suelo;
- x. D.Altura; diámetro a los 1.3 m sobre el suelo;
- xi. D.Max; diámetro del punto más ancho o grueso del tallo (incluyendo cualquier deformidad) localizado entre, el punto donde emerge o se levanta desde el suelo y los 2.5 m siguiendo la longitud del tallo.
- xii. Punto de medición del diámetro (POM D.Max); altura en la cual se realiza la medición del diámetro máximo.
- xiii. Estado del individuo (FLAG); describe el estado en el que se encuentra la liana. Este atributo es designado con base a códigos estandarizados por Phillips et al. (2016).
- xiv. Altura del hospedero (A.Hos); altura estimada del árbol o individuo donde la liana está trepando. La estimación de este valor debe ser realizada mediante la utilización de una escala de referencia (Ej. una persona parada al lado del árbol).
- xvi. Notas; espacio en el cual se puede registrar el número de colecta de botánica o destacar alguna característica relevante del individuo leñoso o de su estado fitosanitario.

Para que una liana sea registrada como parte del inventario permanente (Tabla 3), es condicionante que, de las tres medidas, mínimamente la tercera sea ≥ 10 cm de diámetro (D.Max). Si esta condición se cumple, se deberá proceder al marcado de los tres puntos de medición (pintado; Figura 11C), así como también, al plaqueteado, 20 o 30 cm por encima del punto de medición del diámetro más ancho o grueso (D.Max).

Así también, se deberá realizar la colecta de al menos dos especímenes por especie o morfoespecie distinguida durante el trabajo de campo, pues, los especímenes colectados se constituyen en material testigo que respaldará la veracidad de las entidades taxonómicas que integran las PPMs.

3.6 POE – Medición de altura

3.6.1 Estimación de alturas con hipsómetros láser

La altura total de los individuos que conforman la biomasa aérea viva (árboles, arbustos y palmeras) es un valor altamente relevante en estudios de inventarios de carbono, pues, es uno de los tres parámetros necesarios para estimar la cantidad de carbono almacenado en cada uno de éstos (Chave et al., 2005, Chave et al., 2014, Phillips et al., 2016).

Para el presente POE, la altura total de todos los individuos inventariados dentro de las PPMs deberá ser realizada utilizando un hipsómetro láser (p. ej. Nikon Forestry Pro; Figura 12A; Figura 12B). Las alturas estimadas mediante hipsómetros láser serán registradas en planillas diseñadas específicamente para este fin (Tabla 4; modelo básico de planilla de registro de datos de campo).

Tabla 4. Formato de la planilla utilizada para el registro de datos de altura estimada mediante hipsómetro láser

Cod. Plot:		Fecha:	Resp:
SubPlot	Placa	Alt 01	Alt 02

Si bien la medición de la altura total de un individuo mediante el hipsómetro láser puede estar limitado por la densidad de la cobertura del dosel arbóreo y del sotobosque, cuando este método es correctamente aplicado, los valores obtenidos resultan altamente confiables, siendo, mayor al calculado mediante la estimación visual.



Figura 13. A. Árbol emergente. B. Medición de la altura total mediante un hipsómetro láser Nikon Forestry Pro.

Por tanto, para la medición de alturas mediante el hipsómetro láser se deben considerar las siguientes recomendaciones:

- i. Mantener una distancia de separación mayor a 8 m entre, el individuo a ser medido y la persona responsable de la medición.
- ii. Despejar la base del individuo a ser medido para que así, su visibilidad sea nítida.
- iii. Tomar al menos dos mediciones de la altura del individuo. Dichas mediciones deben ser tomadas desde diferentes direcciones (Alt 01 y Alt 02; Tabla 4), esto, con la finalidad de detectar posibles variaciones que podrían ocurrir por la visibilidad del ápice de los individuos, sobre todo en bosques donde el dosel es muy denso.
- iv. Mantener una altura y posición constante durante la lectura láser de los ángulos de medición (no moverse de un lugar a otro después de haber registrado uno de los ángulos de medición o no cambiar la altura de registro del primer ángulo de medición).

3.6.2 Registro de alturas

Para el registro de la estimación de la altura de la biomasa leñosa aérea (árboles, arbustos y palmeras), se debe realizar considerar los siguientes datos:

- i. Código de la PPM; carácter que corresponde al código designado en la planilla de inventario de la biomasa leñosa aérea.
- ii. Fecha del inicio de la medición; campo donde debe registrarse la fecha de inicio de la medición de las alturas, indicando, primero el día, luego el mes (primeras tres letras del mes) y finalmente el año (con los cuatro dígitos). Ej. 01-mar-2024.
- iii. Responsable; aquí se debe indicar el nombre de los técnicos responsables de la toma de datos.
- iv. Número de la subunidad muestral (subPlot); corresponde al número de la subparcela en el que se registra a las lianas. El número de subparcelas debe ser registrado de forma correlativa del 1 al 25 (Figura 8).
- v. Número de placa (N Placa); es el número de identificación mediante el cual fueron registrados los árboles.
- vi. Altura 1 (Alt 01); corresponde a la altura total estimada (expresada en metros) del individuo que está siendo medido, en lo posible, en dirección norte a sur.
- vii. Altura 2 (Alt 02); corresponde a la altura total estimada (expresada en metros) del individuo que está siendo medido, en lo posible, en dirección sur a norte.

3.7 POE – Medición de la madera muerta

Los depósitos de carbono acumulados en la madera muerta dentro de la PPM deberán ser registradas, considerando, independientemente de su estado a, la madera muerta en pie y la madera muerta sobre el suelo.

3.7.1 Madera muerta en pie

Este tipo de depósito de carbono está conformado por todos aquellos árboles, arbustos o palmeras ≥ 10 cm de diámetro cuyas estructuras aéreas se encuentren completamente muertas y, que aún continúan en posición vertical u oblicua. Estos individuos deberán ser inventariados dentro de las 25 subparcelas de la PPM; distinguiendo, según Walker et al. (2018), tres clases, las cuales son:

- clase 1. Árbol muerto que conserva sus ramas principales (Figura 14A);
- clase 2. Árbol muerto que mantiene una escasa proporción de sus ramas principales (Figura 14B);
- clase 3. Árbol muerto sin ramas (Figura 14C).

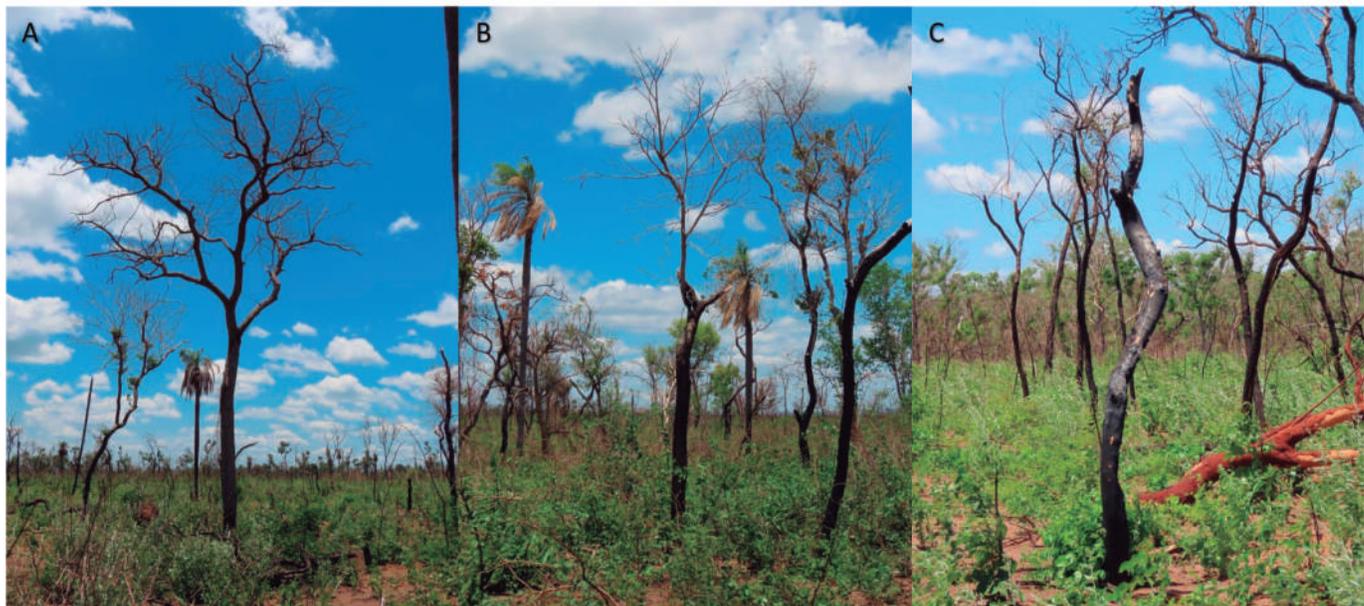


Figura 14. A. Árbol muerto en pie clase 1. B. Árbol muerto en pie clase 2. C. Árbol muerto en pie clase 3.

El diámetro y altura de los árboles muertos de la clase 1 deberán ser medidos y registrados de forma similar a los árboles vivos, marcando el POM, pero, no realizando su plaqueteado. Para los individuos muertos de la clase 2 y 3, el diámetro del o los fustes debe medirse y marcarse a los 1.3 m por encima del suelo (DAPm; Figura 15A) y, además, también el diámetro de la base (DAPb) y del punto donde éste termina y/o comienza a ramificar (DAPa).

Para la clase 1 y 2 también se deberá medir la altura total (AltTot) y la altura del fuste (AltFus), considerando, la base como el punto de partida y, el punto donde éste termina y/o comienza a ramificar como el final. La medición de la altura debe ser realizada mediante el hipsómetro láser. Todos los individuos registrados, independientemente de la clase a la que correspondan, también deben ser georreferenciados considerando los ejes X y Y de las subparcelas (Figura 8). Los valores de altura y diámetro deberán ser registrada por en planillas diseñadas específicamente para este fin (Tabla 5; modelo básico de planilla de registro de datos de campo).

Tabla 6. Formato de las planillas utilizadas para el registro de datos de la madera muerta tendida sobre el suelo de las clases 1,2 & 3.

Árboles Muertos Caídos ≥ 10 cm DAP - Clase 1, 2 & 3													
Código parcela:			Coordenadas:				Fecha:			Equipo:			
SPlot	Clase	DAPb	DAPm	DAPa	LongTot	LongFus	SPlot	Clase	DAPb	DAPm	DAPa	LongTot	LongFus

DAPb= diámetro basal; DAPm= diámetro a 1.3 m del suelo; DAPa= diámetro superior; LongTot= longitud total del individuo; LongFus= longitud del fuste hasta el punto de ramificación

3.8 POE – Medición de la hojarasca

3.8.1 Hojarasca

La medición de este depósito de biomasa es opcional. Si bien su medición no es relevante para la intercalibración y generación de modelos espaciales de la distribución de la biomasa basados en mediciones de LiDAR, si contribuyen significativamente con datos de Nivel 2 que permitirá estimar las emisiones de GEI como resultado de los factores de *degradación forestal* (p. ej. incendios).

3.8.2 Registro y colecta de la hojarasca

Los depósitos de carbono almacenado en la hojarasca deberán ser inventariados a partir de la colecta de toda la materia orgánica muerta depositada por encima del suelo mineral. Para este fin, inmediatamente después de haber concluido con la delimitación total de la PPM, se debe implementar cinco cuadrantes, cada uno de 1 m² (1 × 1), al centro de las subparcelas 1, 5, 13, 21 y 25. los cuales estuvieron distribuidos y localizados en el centro de las subparcelas 1, 5, 13, 21 y 25 de la PPM (Figura 8).

Dentro de los cuadrantes (Figura 16A) se deberá extraer toda la materia orgánica que esté en condiciones de ser reconocible (hojas, gajos/ramas <5 cm de diámetro, frutos, flores, etc.) o no (detritos ≥2 mm que conforman el suelo orgánico); siempre, evitando al máximo no incluir partículas del suelo mineral en la colecta de la materia orgánica (Figura 16B).



Figura 16. A. Cuadrante para muestreo de hojarasca. B. Cuadrante con hojarasca colectada.

Una vez colectada la materia orgánica, ésta deberá ser pesada en balanzas de precisión (idealmente con tres decimales). Dicho peso debe registrarse como peso húmedo (Tabla 7). La materia orgánica debe ser depositada en sacos de tela cuya composición sea principalmente el algodón. Luego, deben ser secadas exponiéndolas diariamente al sol o en estufas hasta que, cada vez que las muestras sean pesadas, su peso se mantenga constante (peso seco; Tabla 7).

Los valores del peso húmedo y peso seco de las muestras de hojarasca deberán ser registradas en planillas diseñadas específicamente para este fin (Tabla 7; modelo básico de planilla de registro de datos de campo).

Tabla 7. Formato de las planillas utilizadas para el registro de los valores del peso húmedo y seco de la hojarasca colectada en las PPMs.

Hojarasca		
Código parcela:		
Coordenadas:		
Fecha del peso húmedo:		
Fecha del peso seco:		
Equipo:		
SPlot	Peso Húmedo	Peso Seco
1		
5		
13		
21		
25		

3.9 POE – Garantía de calidad (GC) y control de calidad (CC)

3.9.1 Importancia de la GC y CC

Todos los POE's previamente presentados establecen las instrucciones para realizar la planificación, selección del área de muestreo, la implementación de las unidades de muestreo y la medición de la biomasa aérea viva y muerta. La aplicación inadecuada de los mismos, así como su modificación y/o aplicación parcial, conllevará a que las mediciones no sean precisas, confiables y/o comparables con los resultados obtenidos en otros estudios que hubiesen aplicado estos POE's.

Así también, mismo aplicando estrictamente los POE's, la precisión de los datos tomados en campo pueden verse afectada producto de, el mal estado de los instrumentos de medición (p. ej. cintas diamétricas con números y escala borrosa), errores de registro de datos (p. ej. registro erróneo de las mediciones en las planillas de campo) y/o errores de transcripción de datos (p. ej. errores de transcripción de planillas de campo por la omisión del símbolo de decimal).

Por tanto, en el presente POE se plantea una serie de actividades que deberán ser aplicadas con la finalidad de determinar la calidad y confiabilidad de las mediciones y registro de datos, así como también, estimar el error de precisión de las mediciones.

3.9.2 Garantía de calidad – GC

La garantía de la calidad de los datos a ser registrados es una actividad que debe ser monitoreada y evaluada constantemente por el líder del equipo de trabajo durante todo el proceso de instalación de la unidad de muestreo y, la medición y registro de las variables dasométricas que, posteriormente, permitirán estimar los contenidos y densidad de la biomasa.

Las actividades de monitoreo y evaluación que el líder de equipo debe realizar son:

- i. Registro y verificación de las mediciones; a solicitud del líder de equipo (responsable por el registro de las mediciones en las planillas de campo), las personas designadas de realizar las mediciones de las variables dasométricas deberán repetir, cuantas veces sea necesario, el valor resultante de cada una de dichas mediciones, esto con el fin de garantizar un registro adecuado y completo de todas las variables requeridas en las planillas de campo. Así también, de forma aleatoria, el líder de equipo pedirá a las personas designadas para realizar las mediciones dasométrica, volver a medir dichos atributos, esto con la finalidad verificar la constancia y precisión de las mediciones del personal de campo.
- ii. Revisión de las planillas de campo; a la conclusión de la jornada de trabajo y, antes de retornar al campamento base, el líder de equipo deberá verificar que todos los individuos registrados en las planillas de campo cuentan con las mediciones y datos requeridos según los POE's. Al mismo tiempo, también deberá revisar la coherencia de los valores registrados (p. ej. un árbol con 115 m de altura; un árbol con diámetro de 50 cm y con una altura de 2 m). En caso de identificar datos faltantes y/o valores extraños/incoherentes, se deberá, inmediatamente, repetir las mediciones.
- iii. Revisión del registro de individuos; así también, a la conclusión de la jornada de trabajo y, antes de retornar al campamento base, el líder de equipo deberá recorrer el área muestreada en dicha jornada para verificar, rápidamente que todos los individuos medidos fueron o estén correctamente plaqueteados y marcados. Esta actividad permitirá constatar que las mediciones de diámetro fueron realizadas de forma adecuada según los POE's (p. ej. no se midió sobre aletones o sobre deformaciones). En caso de identificar estas deficiencias, se deberá proceder a corregirlas.
- iv. Monitoreo de las mediciones; constantemente, el líder de equipo deberá observar y evaluar la forma en que los responsables de las mediciones dasométricas están utilizando los equipos de medición y cómo están realizando la medición. En caso de detectar un uso inadecuado de los mismos (p. ej. cambiar de posición o inclinarse durante la medición de la altura de un árbol) o la realización de mediciones incorrectas (p. ej. medición de

diámetro sobre deformidades del fuste), el líder de equipo deberá corregir, sobre el acto, dicha situación. Si el responsable de la medición continúa utilizando inadecuadamente los equipos de medición y/o no aplica correctamente los procedimientos de medición, éste deberá ser sustituido y reasignado a otra función.

3.9.3 Control de calidad – CC

El control de calidad de la toma de datos es una actividad que permitirá evaluar la aplicación de los POE's, la precisión de las mediciones y, la exactitud de la transcripción de los datos y mediciones. Idealmente, esta actividad debe ser realizada en un lapso no mayor a 30 días después de la conclusión de la instalación de la PPM y la medición de sus depósitos de biomasa.

Las actividades de control de calidad que deben ser realizadas son:

- i. Evaluación de la aplicación de los POE's de instalación y medición de biomasa; esta actividad debe ser realizada por un equipo conformado por personas que no participaron de la instalación de la unidad de muestreo y/o la medición de la biomasa, pero, que conozcan y comprendan detalladamente la aplicación de los POE's. La evaluación consiste en verificar la correcta aplicación del POE – Verificación del terreno y selección de las áreas de muestreo (p. ej. la PPM fue instalada en un área donde el 60% corresponde a vegetación secundaria), POE-Instalación de las unidades de muestreo (p. ej. los ejes principales de la PPM tienen un rumbo distinto a 0° en dirección N y 90° en dirección Este), POE – Medición de la biomasa aérea viva – Árboles, arbustos y palmeras (p. ej. se encontraron árboles marcados-pintados pero sin placas de numeración), POE – Medición de la biomasa aérea viva – Lianas (p. ej. los puntos de medición de las lianas no fueron correctamente ubicados), POE – Medición de la madera muerta (p. ej. fustes con diámetro 10 cm no fueron medidos) y el POE – Medición de la hojarasca (p. ej. las muestras fueron tomadas considerando elementos que no corresponden a la hojarasca).
- ii. Error de medición; el grupo responsable de la evaluación de la aplicación de los POE's de instalación y medición de biomasa, también deberá realizar la medición de las variables dasométricas y la verificación de la identidad taxonómica de un determinado número de los individuos registrados dentro de la PPM. El número de individuos a ser muestreados por cada PPM será determinado probabilísticamente con base a número total de individuos que éstas contienen y, considerando un nivel de confianza del 90% y un 10% de margen de error. Los individuos a ser muestreados deberán ser seleccionados de forma aleatoria, proceso que puede ser realizado en las hojas de cálculo de Microsoft Excel mediante la función =ALEATORIO.ENTRE(primer número de individuos registrados en la PPM, último número del individuos registrado en la PPM). Una vez realizada la medición de las variables dasométricas de los individuos seleccionados, éstos deberán ser contrastados con los registrados en la primera medición, para así, finalmente, estimar el error de precisión de las mediciones e identificaciones taxonómicas.
- iii. Verificación de las bases de datos; un vez se haya concluido con la transcripción de las planillas de campo a hojas electrónicas de Microsoft Excel, se deberá realizar la verificación de la exactitud de la transcripción de un determinado número de individuos (determinado probabilísticamente con base a número total de individuos registrados en la PPM y, considerando un nivel de confianza del 90% y un 10% de margen de error) seleccionados de forma aleatoria [proceso que puede ser realizado en las hojas de cálculo de Microsoft Excel mediante la función =ALEATORIO.ENTRE(primer número del individuos registrado en la PPM, último número del individuos registrado en la PPM)], comparando, los datos y mediciones de las hojas electrónicas vs. los de las planillas de campo. Este muestreo permitirá estimar las variaciones que podrían existir en las bases de datos producto del error de transcripción, así como también, la probabilidad/frecuencia con que éstos podrían repetirse. La verificación de las bases de datos debe ser realizado por una persona que no hubiese formado parte del equipo de transcripción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aalde H., P. González, M. Gytarsky, T. Krug, W. A. Kurz, S. Ogle, J. Raison, D. Schoene, N. H. Ravindranath, N. G. Elhassan, L. S. Heath, N. Higuchi, S. Kainja, M. Matsumoto, M. J. S. Sánchez & Z. Somogyi. 2006. Capítulo 4: Tierras forestales. pp 4.1-4.93. In: Eggleston, S., L. Buendia, K. Maiwa, T. Ngara & K. Tanabe (eds.). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra*. Hayama, Institute for Global Environmental Strategies (IGES) – Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- Angelsen A., S. Brown, C. Loisel, L. Peskett, C. Streck & D. Zarin. 2009. Reducing emissions from deforestation and forest degradation (REDD): an options assessment report, The Government of Norway.
- Argotty F., J. C. Z. Pereira, C. B. Pérez, P. Schlesinger, M. C. Jara, P. Imbach & M. Chacón. 2018. Manual metodológico para la construcción de niveles de referencia para REDD+. Turrialba, CATIE. Programa de Bosques, Biodiversidad y Cambio Climático.
- Beck S. G. 2015. Las regiones y zonas de vegetación. pp 3-20. In: Jørgensen, P. M., M. H. Nee & S. G. Beck (eds.). *Catálogo de las plantas vasculares de Bolivia*. St. Louis, Missouri, Missouri Botanical Garden Press.
- Brown S. 2002. Measuring, monitoring, and verification of carbon benefits for forest –based projects. *Philosophical Transactions of the Royal Society London A* 360: 1669 – 1683.
- Brown S., L. Murray & F. Casarim. 2015. Módulo 2.3: Estimación de los factores de emisión del cambio de la cubierta forestal: Deforestación y degradación de los bosques. Disponible en: https://www.forestcarbonpartnership.org/system/files/documents/Module%202.3%20Lecture-SP-08_05_15_final.pdf, Forest Carbon Partnership.
- Chave J., C. Andalo, S. Brown, M. A. Cairns, J. Q. Chambers, D. Eamus, H. Fölster, F. Fromard, N. Higuchi, T. Kira, J. P. Lescure, B. W. Nelson, H. Ogawa, H. Puig, B. Riéra & T. Yamakura. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145(1): 87-99. DOI: 10.1007/s00442-005-0100-x
- Chave J., M. Réjou-Méchain, A. Búrquez, E. Chidumayo, M. S. Colgan, W. B. C. Delitti, A. Duque, T. Eid, P. M. Fearnside, R. C. Goodman, M. Henry, A. Martínez-Yrizar, W. A. Mugasha, H. C. Muller-Landau, M. Mencuccini, B. W. Nelson, A. Ngomanda, E. M. Nogueira, E. Ortiz-Malavassi, R. Péliissier, P. Ploton, C. M. Ryan, J. G. Saldarriaga & G. Vieilledent. 2014. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology* 20(10): 3177-3190. DOI: 10.1111/gcb.12629
- Cochrane M. A. & K. C. Ryan. 2009. Fire and fire ecology: Concepts and principles. pp 25-62. In: Cochrane, M. A. (eds.). *Tropical Fire Ecology: Climate Change, Land Use, and Ecosystem Dynamics*. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg.
- Dhakai S., J. C. Minx, F. L. Toth, A. Abdel-Aziz, M. J. Figueroa-Meza, K. Hubacek, I. G. C. Jonckheere, Yong-Gun-Kim, G. F. Nemet, S. Pachauri, X. C. Tan & T. Wiedmann. 2022. Emissions Trends and Drivers. pp 215-294. In: Shukla, P. R., J. Skea, R. Slade, A. Al-Khourdajie, R. van_Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz & J. Malley (eds.). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Working Group III Contribution to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK & New York, NY, US, Cambridge University Press.
- Domke G., A. Brandon, R. Diaz-Lasco, S. Federici, E. Garcia-Apaza, G. Grassi, T. Gschwantner, M. Herold, Y. Hirata, Å. Kasimir, M. J. Kinyanjui, H. Krisnawati, A. Lehtonen, R. E. Malimbwi, S. Niinistö, S. M. Ogle, T. Paul, N. H. Ravindranath, J. Rock, C. R. Sanquetta, M. J. S. Sanchez, M. Vitullo, S. J. Wakelin & J. Zhu. 2019. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 4: Forest land. pp 1-71. In: Buendia, E. C., K. Tanabe, A. Kranjc, B. Jamsranjav, M. Fukuda, S. Ngarize, A. Osako, Y. Pyrozhenko, P.

Shermanau & S. Federici (eds.). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Switzerland, Intergovernmental Panel on Climate Change.

- Duncanson L., J. Armston, M. Disney, V. Avitabile, N. Barbier, K. Calders, S. Carter, J. Chave, M. Herold, N. MacBean, R. McRoberts, D. Minor, K. Paul, M. Réjou-Méchain, S. Roxburgh, M. Williams, C. Albinet, T. Baker, H. Bartholomeus, J. F. Bastin, D. Coomes, T. Crowther, S. Davies, S. de_Bruin, M. De_Kauwe, G. Domke, R. Dubayah, M. Falkowski, L. Fatoyinbo, S. Goetz, P. Jantz, I. Jonckheere, T. Jucker, H. Kay, J. Kellner, N. Labriere, R. Lucas, E. Mitchard, F. Morsdorf, E. Naeset, T. Park, O. L. Phillips, P. Ploton, S. Puliti, S. Quegan, S. Saatchi, C. Schaaf, D. Schepaschenko, K. Scipal, A. Stovall, C. Thiel, M. A. Wulder, F. Camacho, J. Nickeson, M. Román & H. Margolis. 2021. Aboveground woody biomass product validation good practices protocol Version 1.0 pp 1–236. In: Duncanson, L., M. Disney, J. Armston, J. Nickeson, D. Minor & F. Camacho (eds.). Good practices for satellite derived land product validation. Land Product Validation Subgroup (WGCV/CEOS).
- FAO. 2012. Global ecological zones for fao forest reporting: 2010 Update. Roma, Forest Resources Assessment Working Paper 179. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. 2016. Consideraciones técnicas para la elaboración de Niveles de referencia de emisiones forestales/Niveles de referencia forestales en el marco de la CMNUCC. Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Gonzales M., W. Himmelsbach, J. Jimenez & B. Muller. 2005. Reconstruction of fire history in pine-oak forests in the Sierra Madre Oriental, Mexico. *Forestarchiv* 76: 138–143.
- Hansen M. C., P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S. V. Stehman, S. J. Goetz, T. R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C. O. Justice & J. R. G. Townshend. 2013. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change.
- Heward H. 2019. Surface Fire. pp 1–5. In: Manzello, S. L. (eds.). *Encyclopedia of Wildfires and Wildland-Urban Interface (WUI) Fires*. Cham, Springer International Publishing.
- Houghton R. A. & A. A. Nassikas. 2018. Negative emissions from stopping deforestation and forest degradation, globally. *Global Change Biology* 24(1): 350–359. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.13876>
- Ibisch P. L., S. G. Beck, B. Gerkmann & A. Carretero. 2003. Ecoregiones y ecosistemas. pp 47–88. In: Ibisch, P. L. & G. Mérida (eds.). *Biodiversidad: La Riqueza de Bolivia, Estado de Conocimiento y Conservación*. Santa Cruz, Fundación Amigos de la Naturaleza.
- Jørgensen P. M., M. H. Nee, S. G. Beck & A. F. Fuentes-Claros. 2015 en adelante. *Catálogo de las plantas vasculares de Bolivia (adiciones)*. Missouri Botanical Garden.
- IPCC 2006. *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (H. S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, & K. Tanabe Eds.): IGES, Japan.
- IPCC 2019. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Switzerland: IPCC.
- Montanarella L., R. Scholes & A. Brainich. 2018. *The IPBES Assessment Report on Land Degradation and Restoration*. Bonn, Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.
- Myers R. L. 2006. *Convivir con el fuego—Manteniendo los ecosistemas y los medios de subsistencia mediante el Manejo Integral del Fuego*. Tallahassee, The Nature Conservancy.

- Ogle S. M., W. A. Kurz, C. Green, A. Brandon, J. Baldock, G. Domke, M. Herold, M. Bernoux, N. Chirinda, R. d. Ligt, S. Federici, E. Garcia-Apaza, G. Grassi, T. Gschwantner, Y. Hirata, R. Houghton, J. I. House, S. Ishizuka, I. Jonckheere, H. Krisnawati, A. Lehtonen, M. J. Kinyanjui, B. McConkey, E. Næsset, S. M. Niinistö, J. P. Ometto, L. Panichelli, T. Paul, H. Petersson, S. Reddy, K. Regina, M. T. Rocha, J. Rock, M. J. S. Sanchez, C. Sanquetta, A. Sato, Z. Somogyi, A. Trunov, G. Vazquez-Amabile, M. Vitullo, C. Wang & R. M. Waterworth. 2019a. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 2: Generic methodologies applicable to multiple landuse categories. pp 1-96. In: Buendia, E. C., K. Tanabe, A. Kranjc, B. Jamsranjav, M. Fukuda, S. Ngarize, A. Osako, Y. Pyrozhenko, P. Shermanau & S. Federici (eds.). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Switzerland, Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Ogle S. M., M. J. S. Sanchez, M. T. Rocha, J. D. MacDonald & H. Dong. 2019b. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 1: Introducción. pp 1-18. In: Buendia, E. C., K. Tanabe, A. Kranjc, B. Jamsranjav, M. Fukuda, S. Ngarize, A. Osako, Y. Pyrozhenko, P. Shermanau & S. Federici (eds.). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Switzerland, Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Olsson L., H. Barbosa, S. Bhadwal, A. Cowie, K. Delusca, D. Flores-Renteria, K. Hermans, E. Jobbagy, W. Kurz, D. Li, D. J. Sonwa & L. Stringer. 2019. Chapter 4. Land Degradation. pp 345-436. In: Shukla, P. R., J. Skea, E. Calvo-Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal-Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi & J. Malley (eds.). Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Cambridge, Cambridge University Press.
- Paustian K., N. H. Ravindranath, A. v. Amstel, M. Gytarsky, W. A. Kurz, S. Ogle, G. Richards & Z. Somogyi. 2006. Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Capítulo 1: Introducción. pp 4.1-4.93. In: Eggleston, S., L. Buendia, K. Maiwa, T. Ngara & K. Tanabe (eds.). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Hayama, Institute for Global Environmental Strategies (IGES) - Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- Pearson T. R. H., S. Brown, L. Murray & G. Sidman. 2017. Greenhouse gas emissions from tropical forest degradation: an underestimated source. Carbon Balance and Management 12(1): 3. DOI: 10.1186/s13021-017-0072-2
- Penman J., M. Gytarsky, T. Hiraishi, T. Krug, D. Kruger, R. Pipatti, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe & F. Wagner, (eds). 2003. Definitions and methodological options to inventory emissions from direct human-induced degradation of forests and devegetation of other vegetation types. Japan, Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC.
- Phillips O., T. R. Baker, T. Feldpausch & R. Brien. 2016. Manual de campo para el establecimiento y la remediación de parcelas. Disponible en: http://www.rainfor.org/upload/ManualsSpanish/Manual/RAINFOR_field_manual_version2016_ES.pdf, Red Amazónica de Inventarios Forestales.
- Quiroga L. G. 2015. Implementación de un Índice de Posibilidad de Incendio para las Sierras de Córdoba. Córdoba, Universidad Nacional de Córdoba.
- The_Nature_Conservancy. 2004. El Fuego, los ecosistemas y la gente: una evaluación preliminar del fuego como un tema global de conservación, Iniciativa_Mundial_sobre_el_Fuego. IUCN, WWF y TNC.

- Villaruel D., A. Rodríguez-Montellano, A. Araujo-Murakami, R. Camargo, M. T. Martínez-Ugarteche, R. Ledezma, P. M. Jørgensen, B. B. Klitgaard, W. Miliken, G. Pardo, V. A. Vos, G. A. Parada, B. Crezee, T. R. Feldpausch, G. Gutierrez-Sibauty, L. J. Viscarra, T. J. Killeen, C. Alvarez-Severiche, R. C. Paca, C. Mendoza, L. Arroyo, F. S. Zenteno-Ruiz, E. Chávez, R. Seidel, J. Villalobos, B. Mostacedo, C. B. R. Munhoz & C. E. B. Proença. 2022. Estimación y modelamiento de la distribución espacial de la biomasa vegetal aérea para Bolivia. *Ecología en Bolivia* 57(1): 5-18.
- Walker S. M., T. R. H. Pearson, F. M. Casarim, N. Harris, S. Petrova, A. M. Grais, E. Swails, M. Netzer, K. M. Goslee, S. Brown & G. Sidman. 2018. Standard Operating Procedures for terrestrial carbon measurement: version 2018, Winrock International.
- Xanthopoulos G. & M. Athanasiou. 2019. Crown Fire. pp 1-15. In: Manzello, S. L. (eds.). *Encyclopedia of Wildfires and Wildland-Urban Interface (WUI) Fires*. Cham, Springer International Publishing.
- Zanne, A. E., Lopez-Gonzalez, G., Coomes, D. A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S. L., . . . Chave, J. 2009. Data from: Towards a worldwide wood economics spectrum. Retrieved from <https://datadryad.org/stash/dataset/doi:10.5061/dryad.234>

Anexo 2. Formato básico de la planilla de registro de datos de campo para el inventario de la biomasa de lianas en las PPMs.

Código Plot:		Fecha:			Coordenada:		Resp. de Planilla:				Resp. de DBH:		
PPM	Sub Plot	N Placa	X	Y	Nombre Común	Especie	D.Lar	D.Alt	D.Max	POM D.Max	FLAG	A.Hos	Notas

Anexo 3. Formato de la planilla utilizada para el registro de datos de altura estimada mediante hipsómetro láser.

Código Plot:	Fecha:	Resp:	
SubPlot	Placa	Alt 01	Alt 02

Anexo 4. Formato de las planillas utilizadas para el registro de datos de la madera muerta en pie de las clases 1,2 & 3.

Árboles Muertos en Pie 10 cm DAP - Clase 1																	
Código parcela:				Coordenadas:					Fecha:				Equipo:				
SPlot	X	Y	DAP	AltTot	AltFus	SPlot	X	Y	DAP	AltTot	AltFus	SPlot	X	Y	DAP	AltTot	AltFus

Árboles Muertos en Pie 10 cm DAP - Clase 2 & 3																	
Código parcela:				Coordenadas:					Fecha:				Equipo:				
Clase	SPlot	X	Y	DAPb	DAPm	DAPa	AltTot	AltFus	Clase	SPlot	X	Y	DAPb	DAPm	DAPa	AltTot	AltFus

DAPb= diámetro basal; DAPm= diámetro a 1.3 m del suelo; DAPa= diámetro superior; Alt01= altura hasta el punto de ramificación; Alt02= altura total

Anexo 5. Formato de las planillas utilizadas para el registro de datos de la madera muerta tendida sobre el suelo de las clases 1,2 & 3

Árboles Muertos Caídos 10 cm DAP - Clase 1, 2 & 3													
Código parcela:			Coordenadas:				Fecha:				Equipo:		
SPlot	Clase	DAPb	DAPm	DAPa	LongTot	LongFus	SPlot	Clase	DAPb	DAPm	DAPa	LongTot	LongFus

DAPb= diámetro basal; DAPm= diámetro a 1.3 m del suelo; DAPa= diámetro superior; LongTot= longitud total del individuo; LongFus= longitud del fuste hasta el punto de ramificación

Anexo 6. Formato de las planillas utilizadas para el registro de los valores del peso húmedo y seco de la hojarasca colectada en las PPMs.

Hojarasca		
Código parcela:		
Coordenadas:		
Fecha del peso húmedo:		
Fecha del peso seco:		
Equipo:		
SPlot	Peso Húmedo	Peso Seco
1		
5		
13		
21		
25		

