

Nivel de Referencia de Emisiones Forestales por la Deforestación del Estado Plurinacional de Bolivia

Versión 1.0

23 de enero 2023

Presentado por:

Ministerio de Medio Ambiente y Agua

Dirección General de Gestión y Desarrollo Forestal, Ministerio del Medio Ambiente y Agua

Autoridad Plurinacional de la Madre de Tierra, Ministerio del Medio Ambiente y Agua

ACRÓNIMOS	III
1 INTRODUCCIÓN	1
2 CIRCUNSTANCIAS NACIONALES	2
2.1 DESCRIPCIÓN DEL PAÍS	2
2.2 FACTORES CLAVE Y CAUSAS SUBYACENTES DE LA DEFORESTACIÓN	4
2.3 LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO	6
2.4 MECANISMO CONJUNTO DE MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN PARA EL MANEJÍ INTEGRAL Y SUSTENTABLE DE LOS BOSQUES	6
2.5 LAS METAS DE BOSQUES EN LA CONTRIBUCIÓN NACIONALMENTE DETERMINADA	7
2.6 COMPETENCIAS INSTITUCIONALES RESPECTO EL MONITOREO FORESTAL Y MRV	7
EL MARCO CONCEPTUAL DEL NREF	8
2.1 LÍMITES ESPACIALES	8
2.2 LÍMITES TEMORALES	8
2.3 ACTIVIDADES ELEGIBLES CONSIDERADAS Y DEFINICIONES	9
2.4 RESERVORIOS	10
2.5 GASES INCLUIDOS	11
3 DATOS DE ACTIVIDAD	11
3.1 MARCO METODOLÓGICO	11
3.2 ESTRATIFICACIÓN	11
3.3 MÉTODO DE DETECCIÓN DEL CAMBIO DE USO Y COBERTURA	11
4 FACTORES DE EMISIÓN	16
4.1 MARCO METODOLÓGICO	16
4.2 PROCESAMIENTO DE DENSIDADES DE BIOMASA AÉREA	16
5.2.1 <i>Estimación de las densidades de biomasa aérea en base de mediciones in situ</i>	16
5.2.2 <i>Evaluación directa de las densidades de biomasa aérea</i>	21
4.3 BIOMASA SUBTERRÁNEA	20
4.4 CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO	25
4.5 MADERA MUERTA Y HOJARASCA	25
5 LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR LA DEFORESTACIÓN	25
5.1 MARCO METODOLÓGICO Y SUPUESTOS	25
5.2 RESULTADOS	28
5.3 EVALUACIÓN DE INCERTIDUMBRES	32
6 MEJORAS Y NECESIDADES DE ASESORAMIENTO Y ÁAPACITACIÓN	34
7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
8 LISTA DE ANEXOS	37

Acrónimos

ABT	Autoridad de Fiscalización y Control de Bosques y Tierra
AFOLU	Agricultura, Silvicultura, y Otros Usos de la Tierra (siglas en inglés)
APMT	Autoridad Plurinacional de la Madre Tierra
Cal/Val	Calibración y validación
CEOS	Committee on Earth Observation Satellites
CMA	Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CPE	Constitución Política del Estado
DGGDF	Dirección General de Gestión y Desarrollo Forestal
DS	Decreto Supremo
EPB	Estado Plurinacional de Bolivia
GEDI	Global Ecosystem Dynamics Investigation
GEE	Google Earth Engine
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GFOI	Global Forest Observation Initiative
GNSS	Global Navigation Satellite System
IAV	Interannual variability
ICA	International Consultation and Analysis
ICE-Sat2	Ice, Cloud, and Land Elevation Satellite 2
INGEI	Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero
IPCC	Grupo Intergubernamental de Cambio Climático (siglas en inglés)
LEAF	Lowering Emissions by Accelerating Forest finance
LIDAR	Light Detection and Ranging
MRV	Medición, Reporte y Verificación
NREF	Nivel de Referencia de Emisiones Forestales

RAISG	Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada
REDD+	Reducción de Emisiones derivadas por Deforestación y Degradación de los Bosque más el apoyo a la conservación de las reservas existentes de carbono de los bosques, la gestión sostenible del bosque, y el aumento de las reservas de carbono de los bosques
SAR	Synthetic Aperture Radar
SIG	Sistema de Información Geográfica
SIS	Sistema de Información de Salvaguardas
SMTCC	Sistema Plurinacional de Información y Monitoreo Integral de la Madre Tierra y Cambio Climático
UMM	Unidad Mínima de Mapeo (Minimum Mapping Unit)

Índice de cuadros

Cuadro 1: El territorio del Estado Plurinacional de Bolivia.....	3
Cuadro 2: Causas proximales y factores subyacentes de la deforestación.....	4
Cuadro 3: El uso y cobertura de la tierra del año 2015.....	9
Cuadro 4: Estratificación de la vegetación.....	12
Cuadro 5: Marco metodológico de la detección del cambio de uso.....	15
Cuadro 6: Distribución espacial de mediciones in situ para la generación del modelo de biomasa aérea.....	17
Cuadro 7: La distribución espacial de la (a) densidad de la biomasa vegetal aérea (t ha ⁻¹) y (b) de la incertidumbre (%) de predicción del modelo de biomasa vegetal aérea.....	20
Cuadro 8: Ubicación y diseño de las parcelas de calibración y validación.....	22
Cuadro 9: GEDI tracks, ALS vuelo, y parcelas de calibración y validación.....	23
Cuadro 10: La deforestación 2016 hasta 2021.....	28
Cuadro 11: La distribución espacial de la deforestación 2016 hasta 2021.....	29
Cuadro 12: Las emisiones anuales por la deforestación y el Nivel de Referencia de Emisiones Forestales.....	30
Cuadra 13: Grillado y distribución de muestras seleccionadas.....	33

Índice de tablas

Tabla 1: Número de parcelas de muestreo implementadas por ecorregión y ecuaciones alométricas aplicadas.....	19
Tabla 2: Valores de la relación entre biomasa subterránea y aérea R por ecozona.....	24
Tabla 3: Resultados del análisis de la deforestación anual y de las emisiones 2016 hasta 2021.....	31
Tabla 4: Exactitud global de las transiciones anuales de cambio de uso.....	33

1 Introducción

Durante octubre de 2022 las organizaciones sociales del Estado Plurinacional de Bolivia (EPB) trabajaron una propuesta consensuada reuniendo su pensamiento y sentimiento frente a la crisis climática. Esta propuesta, llamada “Declaración de los Pueblos por la Defensa de Nuestra Madre Tierra rumbo a la COP 27 de Cambio Climático”¹ basada en la modalidad de Diálogo de los Pueblos que por tercera vez el EPB impulsa ha dado una serie de orientaciones, medidas y acciones para frenar la crisis climática y restaurar el equilibrio, armonía y complementariedad con la Madre Tierra.

En consonancia con la declaración el EPB presentó una segunda Contribución Nacionalmente Determinada (CND) donde se reafirma lo expuesto y que mantiene la ambición característica del primer documento y compromete a Bolivia a tomar acciones alineadas con una trayectoria consistente con la meta global de limitar el aumento de la temperatura promedio mundial a 1.5 °C, con justicia climática en el marco de los principios de equidad y responsabilidades comunes pero diferenciadas y capacidades respectivas, a la luz de las circunstancias nacionales. Adicionalmente, la actualización de la CND, como parte de su ambición incremental, incluye un compromiso de mayor transparencia en el seguimiento a las metas propuestas en adaptación, mitigación e implementación, considerando la presentación de los Informes Bienales de Actualización y Comunicaciones Nacionales de Adaptación antes del balance mundial previsto para el 2023.

Consideramos que las Decisiones 4/CP.15; 1/CP.16 y 11/CP.19 referidas al establecimiento de sistemas de monitoreo para actividades destinadas a reducir la emisiones debidas a deforestación y degradación forestal² no debe aplicarse únicamente al ámbito de iniciativas de pago por resultados o pago por servicios ambientales o ecosistémicos, sino que deben sentar las bases para contar con sistemas de monitoreo que establezcan punto de referencia que permitan a los países, según sus circunstancias nacionales y bajo el principio de responsabilidades compartidas pero diferenciadas evaluar su propio desempeño en términos de los esfuerzos para reducir emisiones sin que esto signifique necesariamente que Bolivia participará de enfoques mercantilistas o ligados al mercado.

En este contexto, el EPB presenta su primer Nivel de Referencia de Emisiones Forestales por Deforestación (NREF), para una evaluación técnica según las Decisiones 12/CP.17 y 13/CP.19, en virtud de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC), así como los insumos y la metodología empleada por la Dirección General de Gestión y Desarrollo Forestal del Ministerio de Medio Ambiente y Agua.

2 Circunstancias nacionales

Las circunstancias nacionales sobre las cuales se circunscribe la presente NREF han sido descritas ampliamente en la 3ra. Comunicación Nacional del Estado Plurinacional de Bolivia

¹ <https://dialogosrumbocop27.mmaya.gob.bo/#declaraciones>

² <https://unfccc.int/resource/docs/2009/cop15/spa/11a01s.pdf#page=12>;

<https://unfccc.int/documents/6527>; <https://unfccc.int/resource/docs/2013/cop19/spa/10a01s.pdf>

ante la CMNUCC³ y en la 2da. Contribución Determinada a Nivel Nacional⁴.

2.1 Descripción del país

Bolivia se sitúa en el centro de América del Sur, entre los 57°26' y 69°38' de longitud occidental del meridiano de Greenwich y los paralelos 9°38' y 22°53' de latitud sur, abarca más de 13 grados geográficos. Su extensión territorial es de 1.098.581 km². Se consideran en el territorio boliviano tres zonas geográficas predominantes: 1) Andina: Abarca 28% del territorio nacional, esta zona se halla a más de 3.000 m.s.n.m. y está ubicada entre las cordilleras Occidental y Oriental o Real; 2) Subandina: Región intermedia entre el altiplano y los llanos orientales, abarca 13% del territorio, comprende los valles y los yungas (valle subtropical), con una altura promedio de 2.500 m.s.n.m; 3) Llanos: Abarca 59% del territorio, se ubica al norte de la Cordillera Oriental o Real y comprende las llanuras y extensas selvas, ricas en flora y fauna⁵.

Bolivia se constituye en un Estado Unitario Social de Derecho Plurinacional Comunitario, libre, independiente, soberano, democrático, intercultural, descentralizado y con autonomías. Bolivia se funda en la pluralidad y el pluralismo político, económico, jurídico, cultural y lingüístico, dentro del proceso integrador del país. (Art. 1, Constitución Política del Estado, CPE).

El país está estructurado política y administrativamente en nueve departamentos, 112 provincias, 342 municipios y 5 Gobiernos Autónomos Indígenas Originario Campesinos (Uru-Chipayas, Charagua, Raqaypampa, Salinas y Kereimba Iyaambae).

El 45% del país tiene cobertura forestal. Al año 2020 la cobertura forestal de Bolivia fue de 49.640.567 ha (ca. 496.400 km²) entre nueve diferentes tipos de bosque (bosque Amazónico, Chiquitano, Seco Interandino, Seco Tucumano Boliviano, Chaqueño, de Llanuras Inundables, de Pantanal de Yungas y Andino).

Aunque todo el territorio boliviano se sitúa en el Trópico de Capricornio, Bolivia posee variedad de climas. La temperatura ambiente no sólo se regula por la latitud sino también por la altitud sobre el nivel del mar: a mayor altura menor temperatura y a menor altitud mayor temperatura. A partir del nivel del mar y a medida que se asciende, la temperatura del aire baja 0,55°C por cada 100 metros adicionales de altitud. En la región influenciada por la cordillera Real u Oriental y la Occidental o Volcánica, hacia el occidente de Bolivia, el clima se regula por la altura. Ello explica que existan cumbres con nieves eternas y fríos polares y que sobre la misma latitud se extiendan llanuras con clima cálido-tropical.

Cuadro 1: El territorio del Estado Plurinacional de Bolivia

³ <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Executive%20Summary%20TNC%20Bolivia.pdf>

⁴ <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/CND%20Bolivia%202021-2030.pdf>

⁵ Instituto Nacional de Estadística (2022). Aspectos geográficos.

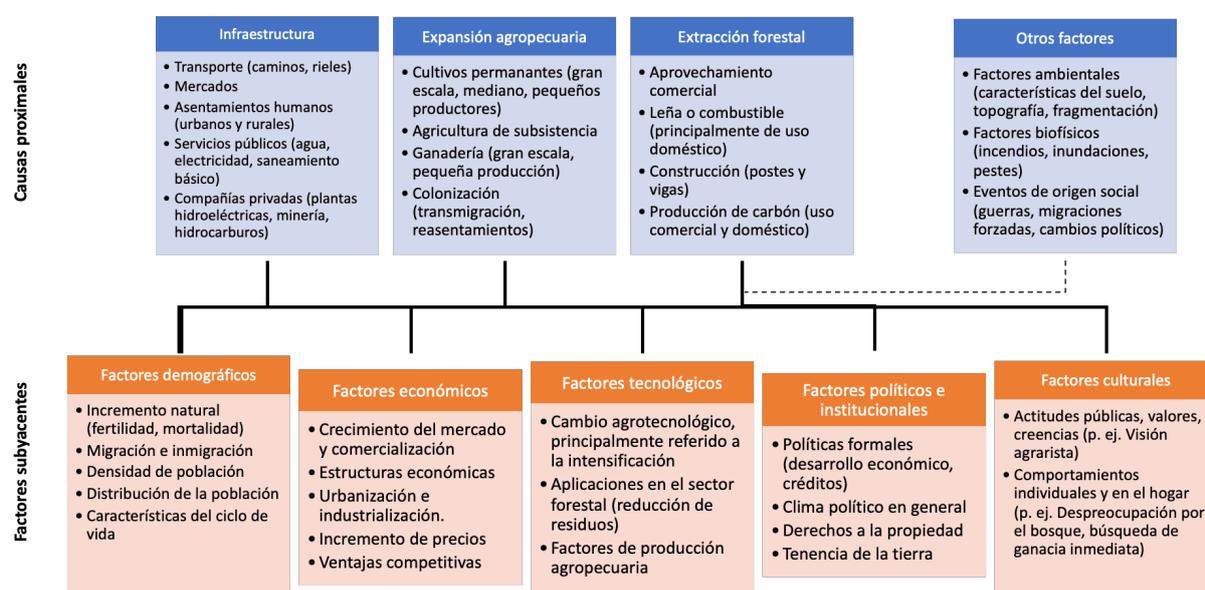
<https://www.ine.gob.bo/index.php/bolivia/aspectos-geograficos/>. Acceso: 04/11/2022.



2.2 Factores clave y causas subyacentes de la deforestación

En un extensivo metaanálisis sobre las causas de la deforestación en las regiones tropicales se identificaron dos grupos de factores clave y causas subyacentes que provocan deforestación y degradación (Geist & Lambin, 2001). Las causas subyacentes incluyen factores demográficos, económicos, de tecnología, políticos e institucionales, y culturales o sociopolíticos; mientras que las causas proximales incluyen el desarrollo de infraestructura, la expansión agropecuaria, la extracción forestal y otros factores (sobre todo ambientales y biofísicos) (Fig. 2).

Cuadro 2: Causas proximales y factores subyacentes de la deforestación



Fuente: Basado en Geist and Lambin (2002).

En una u otra medida este conjunto de causas proximales y factores subyacentes se repiten en el caso boliviano y algunos de ellos, en mayor o menor medida, pueden explicar los procesos de deforestación y degradación de los bosques en Bolivia. Las causas proximales están íntimamente ligadas a los procesos de ocupación de las tierras bajas y la utilización de sus recursos por los distintos agentes han tenido un impacto en las vías de uso de la tierra. Para cada uso, los agentes necesitan derechos forestales y del uso del suelo, aunque sigue existiendo mucho uso informal (Müller, Pacheco, & Montero, 2014).

De las tres causas proximales descritas en la figura 2, sin duda, la expansión agropecuaria es la principal causante de deforestación. Al analizar la deforestación entre 2000 y 2010, evaluando los tres usos del suelo que constituyen las principales causas, es decir la ganadería en pastos sembrados, agricultura mecanizada y agricultura a pequeña escala. Se identificó que si bien la agricultura mecanizada (producción de soya) fue la principal causa de deforestación en los 90's, en la década siguiente la ganadería fue la principal causa de deforestación, causando más del 50% de la deforestación con un impacto muy fuerte en la Chiquitanía. La agricultura mecanizada contribuyó con un 30% a la pérdida de bosques, mientras que aquella de pequeña escala fue responsable de cerca de 18% de la

deforestación.

Este patrón de la década pasada ha cambiado. En una evaluación reciente sobre la deforestación entre los años 2016-2021 se ha identificado ya que la deforestación dejó de ser un fenómeno circunscrito a la “Zona Agroindustrial” debido al reducido tamaño de las áreas que todavía tienen cobertura boscosa (Colque, 2022). Esta zona transitó tempranamente hacia el monocultivo y, prácticamente, no posee bosques para seguir desmontando. Los principales actores relacionados con la deforestación incluyen:

- Las empresas agropecuarias creadas en sociedad entre bolivianos y extranjeros, cuyos propietarios se asociaron bajo diversas modalidades con inversionistas extranjeros para el desmonte y puesta en producción a gran escala.
- Las colonias menonitas, cuyos asentamientos deforestaron la mayor parte de las tierras que ocupan.
- Los avasalladores de las tierras fiscales, ya que al menos una cuarta parte de la deforestación está dentro de tierras fiscales en Santa Cruz. Después de las medianas y grandes propiedades, las tierras fiscales son las más afectadas por encima de las propiedades comunitarias y pequeñas propiedades.
- Las comunidades interculturales tienen una participación relativamente menor con respecto a otros actores. A esto se deben añadir los desmontes en tierras fiscales con autorizaciones de asentamientos de nuevas comunidades.

El fenómeno de la ampliación de la frontera agropecuaria más allá de la zona “tradicional” de producción se ha visto incrementado por el aumento de suelos agotados y con menor capacidad productiva, las prácticas poco sostenibles de producción y el uso intensivo de insumos agroquímicos provoca el abandono o transformación de las tierras a pasturas y ganadería provocando nuevos desmontes.

Este conjunto de causas proximales, principalmente relacionadas con la expansión de la frontera agropecuaria, tienen también relación con el principal factor causante de degradación de los bosques: los incendios forestales. Los años 2019, 2020 y 2021 fueron especialmente preocupantes en cuanto a la extensión de los incendios forestales cuyos orígenes, aunque variados, se concentran en el uso indiscriminado y descontrolado del fuego, que sumado a variables ambientales provoca condiciones para una mayor frecuencia e intensidad de los incendios forestales.

El desarrollo de infraestructura, principalmente caminera, tiene una relación directa con la deforestación, regiones tales como el Bajo Paraguá en Santa Cruz, o Madre de Dios en Pando, son áreas donde la apertura de caminos está directamente relacionada con deforestación por parte de los actores antes mencionados.

De los cinco factores subyacentes descritos, tres de ellos son los más importantes, y explican una buena parte de los patrones de causas que hemos descrito. Según el INE (2022), las tierras cultivadas a nivel nacional aumentaron en 520.093 hectáreas entre los años 2016 y 2021, pasando de 3,49 millones de hectáreas en 2016 a 4,01 millones de hectáreas para el año 2021. Esta ampliación se debe exclusivamente a factores productivos, y por tanto, motivaciones económicas que están directamente relacionadas con el cultivo de

soya. Esta tendencia tomó fuerza con la producción y exportación de aceites vegetales de la mano de nuevos inversores extranjeros y con el alza de los precios internacionales de la soya y derivados, aunque no se debe dejar de lado el sorgo para etanol y el maíz para alimento de ganado. Dos elementos adicionales a tomar en cuenta, como potenciales motores económicos para la deforestación son la producción de palma africana para diesel y la producción de carne bovina para exportación, esta última todavía modesta respecto a las expectativas del sector.

2.3 Los efectos del cambio climático

Bolivia se encontró entre los 10 países más afectados por eventos climáticos extremos en 2019 y en el puesto 25 (de 180) a nivel de los últimos diez años⁶. El país es considerado un país vulnerable al cambio climático. El índice *Global Adaptation Initiative* (ND-GAIN)⁷ de la University of Notre Dame que resume la vulnerabilidad de un país al cambio climático y otros desafíos globales en combinación con su disposición a mejorar la resiliencia, ubica a Bolivia en la posición 129 de 181 países evaluados. El índice se compone de dos macro indicadores: vulnerabilidad (posición 113 de 182 países) y preparación (162 de 192 países). Como resultado del análisis del cambio climático, escenarios climáticos futuros (un escenario más seco y un escenario más húmedo) proyectan una disminución de Agua Renovable Anual Total en función de los Índices de Humedad Climática de los 17 GCM, lo que sugiere un futuro más seco. Este déficit en precipitación se traduce en una amenaza de sequía.

2.4 Mecanismo conjunto de mitigación y adaptación para el manejo integral y sustentable de los Bosques

El Mecanismo Conjunto de Mitigación y Adaptación para el Manejo Integral y Sustentable de los Bosques⁸ es la propuesta boliviana al desarrollo de nuevos enfoques de no-mercado. El mecanismo se enmarca en el párrafo 67 de la decisión 1 de la COP 17, que destaca "... que podrían desarrollarse enfoques no basados en el mercado, por ejemplo, enfoques conjuntos de mitigación y adaptación para la gestión integral y sostenida de los bosques como alternativa no basada en el mercado que respalde y fortalezca la gobernanza, la aplicación de las salvaguardias mencionadas en el párrafo 2 c) a e) del apéndice I de la decisión 1/CP.16, y las múltiples funciones de los bosques".

El Mecanismo Conjunto propone apalancar una serie de incentivos para lograr: i) apoyo técnico y financiero a individuos y comunidades comprometidos a un manejo integral y sustentable de sus territorios; ii) mejor control y fiscalización de la deforestación ilegal; y iii) apoyo técnico y financiero a la intensificación de actividades agropecuarias en áreas ya deforestadas, en concordancia con los compromisos asumidos tanto en la primera como en la segunda CND.

⁶

https://www.germanwatch.org/sites/default/files/Global%20Climate%20Risk%20Index%202021_2.pdf

⁷ <https://gain.nd.edu/our-work/country-index/>

⁸ [https://unfccc.int/files/bodies/awg-lca/application/pdf/3_background_information_mecanismo-medium_\(1\)_bolivia.pdf](https://unfccc.int/files/bodies/awg-lca/application/pdf/3_background_information_mecanismo-medium_(1)_bolivia.pdf)

2.5 Las metas de bosques en la Contribución Nacionalmente Determinada

En el Marco de sus Contribución Nacionalmente Determinada (CND), el Estado Plurinacional del Bolivia establece las siguientes metas para el sector Bosques (Estado Plurinacional de Bolivia, 2022):

- Meta (11) Hasta 2030, reducir al 80% la deforestación en comparación con la línea base.
- Meta (12) Hasta 2030, reducir en 100% la deforestación en Áreas Protegidas Nacionales.
- Meta (13) Hasta 2030, reducir en un 60% la superficie con incendios forestales, en comparación con la línea base.
- Meta (14) Hasta 2030, duplicar las áreas bajo manejo integral y sustentable de bosques.
- Meta (15) Hasta 2030, incrementar la ganancia de cobertura de bosques en un millón de hectáreas.
- Meta (16) Hasta 2030, duplicar la producción de madera autorizada en comparación con el promedio de 2016-2020.
- Meta (17) Hasta 2030, duplicar la producción de productos forestales no-maderables en comparación con el promedio de 2016-2020.

2.6 Competencias institucionales respecto el monitoreo forestal y MRV

Conforme al artículo 13 del Acuerdo de París, el Marco Reforzado de Transparencia solicita que las partes establezcan sistemas nacionales sólidos de monitoreo, reporte y verificación (MRV) a efecto de mejorar y orientar sus Contribución Nacionalmente Determinada. En este sentido, como ha sido descrito en la segunda CND, el EPB está avanzando en la consolidación de un Sistema de Monitoreo, Evaluación y Reporte transparente y diferenciado: el Sistema Plurinacional de Información y Monitoreo Integral de la Madre Tierra y Cambio Climático (SMTCC).

El Art. 53, párrafo IV de la Ley No. 300, establece que la Autoridad Plurinacional de la Madre Tierra, opera técnicamente el Mecanismo Conjunto de Mitigación y Adaptación para el Manejo Integral y Sustentable de los Bosques y la Madre Tierra, el Mecanismo de Mitigación para Vivir Bien y el Mecanismo de Adaptación para Vivir Bien. Adicionalmente, mediante el DS No. 1696, artículo 11, párrafo I, se establece que es la APMT la institución encargada de administrar el SMTCC.

Sin embargo, en el caso específico de bosques, través del Art. 8 del DS No. 2914, que crea el Programa de Monitoreo y Control de la Deforestación y Degradación de Bosques, se establece también que todas las entidades del Órgano Ejecutivo vinculadas a la administración de bosques y tierras deben alimentar al Sistema de Información y Monitoreo de Bosques (SIMB). El SIMB, es un sistema que recoge, procesa y analiza información proveniente de la Dirección General de Gestión y Desarrollo Forestal (DGGDF), Fondo Nacional de Desarrollo Forestal, Autoridad de Fiscalización y Control Social de Bosques y

Tierra (ABT) y del Servicio Nacional de Áreas Protegidas (SERNAP). Este sistema gestiona datos sobre monitoreo de la cobertura boscosa (bosques, deforestación forestación y reforestación), riesgos forestales (focos de calor, cicatrices de quemaduras e incendios forestales) y gestión de proyectos forestales, siendo todos ellos esenciales para un sistema de MRV.

De acuerdo al Art. 11 del DS No. 1696, párrafo II y III, se establece que la APMT debe fortalecer los sistemas de información relativos al cambio climático, y en ese sentido debe coordinar y articular con las entidades e instancias que generen información relacionada al SMTCC, por tanto, debe coordinar acciones con los responsables del SIMB para recolectar la información necesaria para el MRV. Adicionalmente, el SMTCC contará, para fines del sistema de reporte internacional, un registro de reducciones y remociones de Gases de Efecto Invernadero, que permita el cumplimiento del Acuerdo de París.

El SIMB, debería entregar de forma oportuna, efectiva, gradualmente automática y progresivamente homogénea, datos de actividad y factores de emisión del sector forestal, respecto el uso de la tierra y de su cambio, conforme con la estratificación de tierras que se aplica en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, metadatos, información, documentos, objetos digitales, endógenos y exógenos al SMTCC a efectos de alimentar las acciones de medición, reporte y verificación de emisiones y remociones de GEI por parte del EPB.

El marco conceptual del NREF

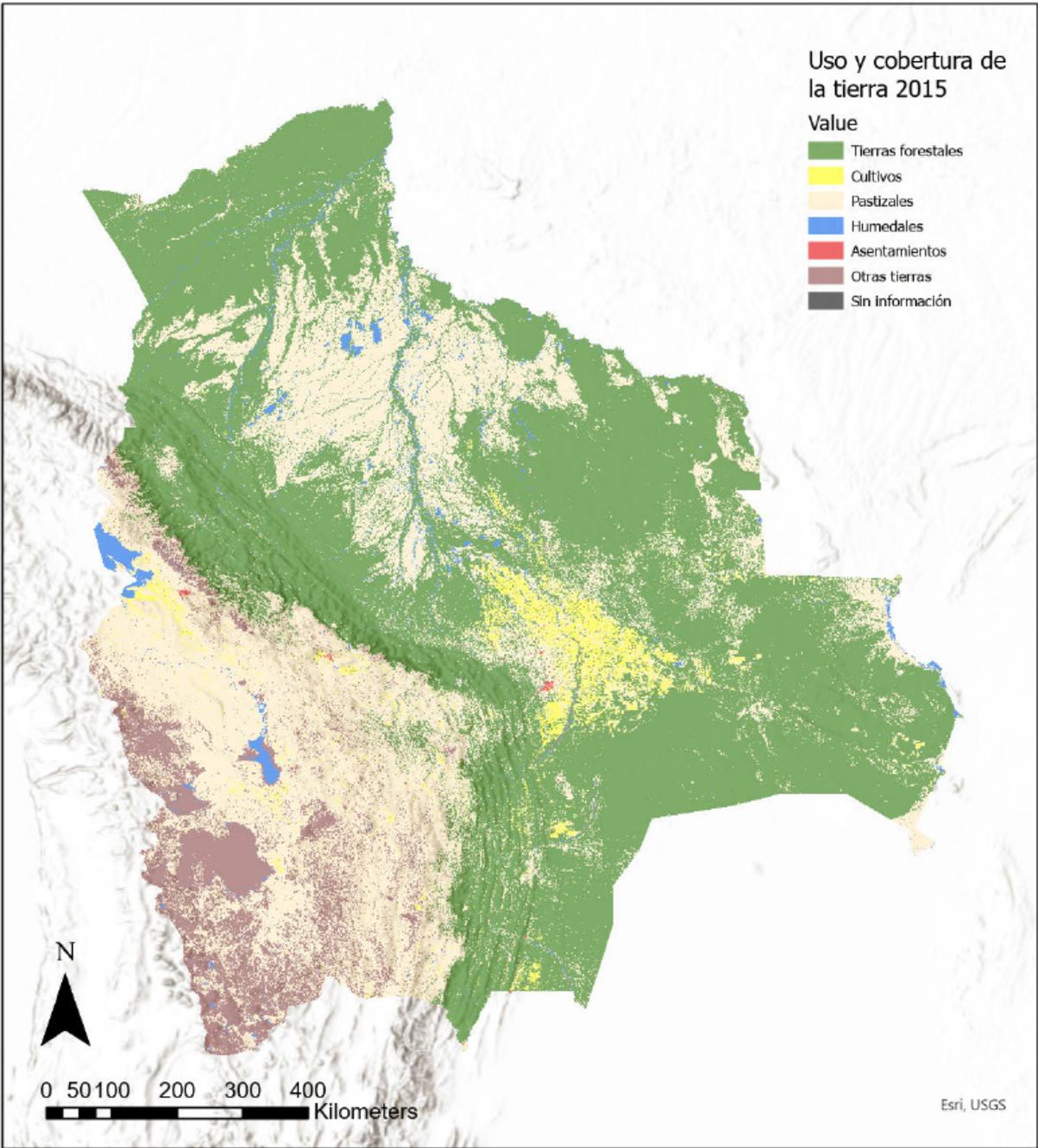
2.1 Límites espaciales

Este Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (NREF) por la Deforestación cubre todo el territorio nacional del Estado Plurinacional de Bolivia.

2.2 Límites temporales

El NREF se determina como promedio de las emisiones bruta anuales por la deforestación del periodo 2016 hasta 2021. El uso y cobertura del año 2015 representa la situación inicial (ver Cuadro 3, en la siguiente página).

Cuadro 3: El uso y cobertura de la tierra del año 2015



Fuente: Elaboración propia

2.3 Actividades elegibles consideradas y definiciones

Aplicando la lógica del cambio de uso de las directrices del IPCC, se conceptualiza deforestación como un cambio de tierras forestales a otros usos como pastizales, tierras de cultivo, humedales, asentamientos, u otras tierras. La implementación de este concepto se basa en la definición de bosque legalmente establecida. El artículo 3 del reglamento del Decreto Supremo (DS) N° 2914, 27 de septiembre de 2016 que crea el Programa de

Monitoreo y Control de la Deforestación y Degradación de Bosques - “NUESTROS BOSQUES”, establece la siguiente definición de bosque:

“Bosques: Toda forma de vegetación en armonía y equilibrio con la Madre Tierra, que tienen funciones múltiples integrales y se componen de sistemas de vida interrelacionados e interdependientes reconociendo además a las áreas forestadas y reforestadas.”

Tomando en cuenta las condiciones particulares que se deben al uso de los datos de Landsat, para el nivel operacional se aplica la definición de bosque que se encuentra en proceso de aprobación por el Ministerio de Medio Ambiente y Agua:

Bosque: Espacio natural que cumple funciones múltiples integrales y es parte constitutiva de los sistemas de vida y la Madre Tierra, con una superficie de tierra de más de una hectárea, árboles de altura superior a 3 metros y una cubierta forestal de más del 10%, o con árboles con potencial para cumplir dichos parámetros.

Esa definición esta consistente con la unidad mínima de mapeo (UMM) que se puede lograr en la detección de cambio utilizando datos como los del sensor Landsat 5/78 con una resolución geométrica de 30m (Knight & Lunetta, 2003).

El mismo artículo del Reglamento define la **deforestación** como “la desaparición y/o pérdida de los bosques como consecuencia directa de las actividades humanas sobre la naturaleza por diversas causas, entre ellas se pueden citar los desmontes, las quemas, los incendios forestales, aprovechamiento forestal indiscriminado (RRAA ABT N* 217 del 31 de julio de 2013)”.

La conceptualización de deforestación como cambio de uso requiere también una definición, respecto a cuáles **categorías de uso** deben considerarse. Para asegurar la consistencia de los resultados del monitoreo con los requerimientos del Marco de Transparencia Reforzada del Acuerdo de Paris, se aplican las siguientes categorías del uso de la tierra establecidas por el IPCC para los Inventarios nacionales de GEI (IPCC, 2006, pp. IV, 3.7).

- (1) Tierras forestales
- (2) Tierras de cultivo
- (3) Pastizales
- (4) Humedales
- (5) Asentamientos
- (6) Otras tierras

Por fines de consistencia, se reportan además anualmente las áreas dentro del territorio del estado, que quedan sin información durante el procesamiento, más que todo por nubes.

2.4 Reservorios

Este NREF contempla cambios en los reservorios de biomasa aérea y subterránea. Actualmente, se está evaluando la disponibilidad de datos para incluir otros reservorios a nivel 2 (tier 2).

2.5 Gases incluidos

Este NREF contabiliza las emisiones de CO₂. Se está evaluando la disponibilidad de datos para cuantificar las emisiones por quema de biomasa que requiere la contabilidad de emisiones de otros GEI (CO, CH₄, N₂O, NO_x).

3 Datos de Actividad

3.1 Marco metodológico

Se cuantificó la deforestación aplicando el enfoque 3 (evaluaciones directas y repetidas del uso de la tierra, con cobertura espacial completa) conforme con las Directrices del IPCC de 2006 refinadas 2019 sobre Agricultura, Silvicultura y otros usos de la Tierra. Siguiendo este enfoque, se generaron mapas anuales de cobertura y uso de la tierra para el periodo 2015-2021 para determinar las transiciones entre las 6 categorías de uso y cobertura. Bajo esa lógica del cambio de uso, se considera como deforestación el cambio de tierras forestales a tierras de otros usos (pastizales, tierras de cultivo, humedales, asentamientos, u otras tierras).

3.2 Estratificación

Para la estimación de emisiones por cambios en el reservorio de biomasa subterránea se aplica una estratificación por ecozonas (ver cuadro 4, p. en este documento) que permite asignar el parámetro *root-to-shoot ratio* R a distintos estratos (ver sección 4.3, p.24 en este documento).

3.3 Método de detección del cambio de uso y cobertura

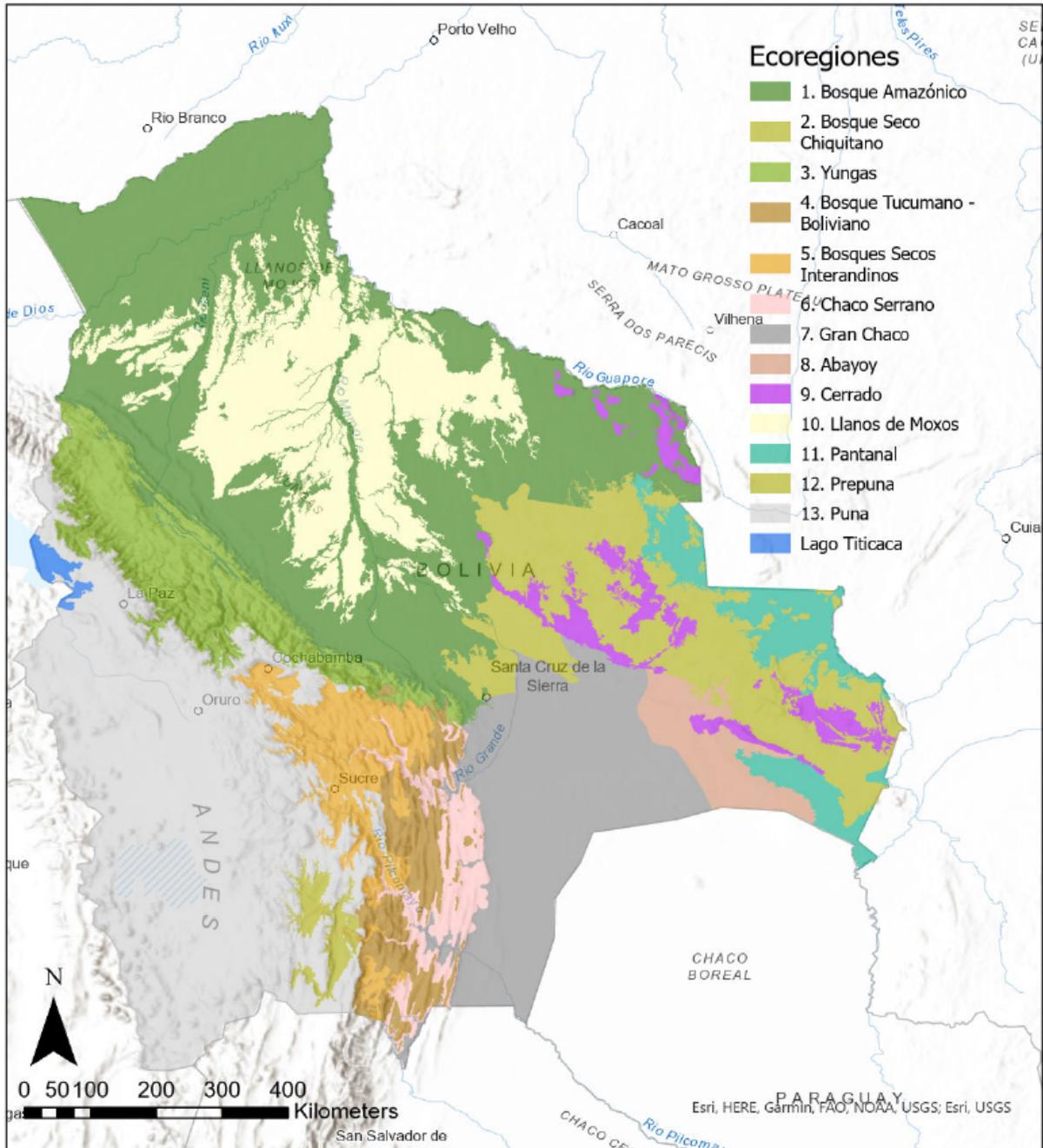
Para clasificar el uso de la tierra, se aplicaron ciertos elementos de la metodología MapBiomás (RAISG, 2022a, 2022b)⁹ en una manera modificada:

- Se cubrió todo el territorio del Estado Plurinacional de Bolivia.
- Se aplicó una unidad mínima de mapeo de 1 ha en el mapeo de uso y cambio de uso.

⁹ <https://amazonia.mapbiomas.org/atbd>

- Se aplicaron las 6 categorías de uso y cobertura establecidas en las orientaciones del IPCC descritas en la anterior sección.
- Se aseguró la consistencia temporal y homogeneidad de los insumos, más que todo de las series temporales de los datos de Landsat 8.

Cuadro 4: Estratificación de la vegetación



Fuente: Elaboración propia basada en Villarroel et al. (2022)

- Se utilizaron los resultados de otros procesos de clasificación del uso y cobertura a nivel regional (MapBiomas colección 3.0 y 4.0) y global (*ESRI Sentinel-2 10-Meter Land-use /LandCover*¹⁰, *Copernicus Climate Change Service Land cover classification gridded maps*¹¹, (*Finer Resolution Observation and Monitoring of Global Land Cover (Gong et al., 2019)*¹²), *Global Forest Watch tree cover loss*¹³) para determinar categorías de uso estables y áreas de mayor discrepancia entre los resultados de las distintas iniciativas de clasificación que requieren una mejor calibración.

La metodología de detección de uso y cobertura se opera en la plataforma de Google Earth Engine (GEE) y sigue los siguientes pasos que se describen con mayores detalles en el Anexo 1 partiendo de RAISG (2022b):

- (1) Creación de **mosaicos anuales** de Landsat 8 en base de una selección de escenas con menor nubosidad y ruido. Las nubes y sombras se enmascaran aplicando los algoritmos de CFmask¹⁴ y CloudScore¹⁵.
- (2) De cada mosaico, se derivaron 7 **bandas espectrales** (R, G, B, NIR, SWIR 1 y 2), 20 **índices espectrales**¹⁶ (NDVI, EVI2, NDWI-GAO, NDVI-McFeeters, GCFI, Hallcover, PRI, SAVI, textG, NUACI, NDSI, CAI, GLI, MNDWI, NDBI, NDGB, NDMI, MDMIR, NDRB, NDSI2), 6 **fracciones del Modelo de Mezcla Espectral** (GV, NPV, Soil, Shade, Snow, Cloud), 6 **Índices de Fracción** (GVS, NDFI, SEFI, WEFI, FNS, NDFIB), y 7 **variables estadísticas y topográficas** (Shademask2, SLPPOST, ALTITUDE, SLOPE, LATITUDE, LONGITUDE, HAND). Estas **46 métricas** se transforman aplicando **reductores estadísticos** (entre otros, la Mediana, la Desviación Estándar, el Máximo y mínimo en distintos periodos, y la calidad). La aplicación de los reductores estadísticos a las métricas genera un cubo de datos con 156 bandas con métricas estadísticamente reducidas que representan un momento en el tiempo.
- (3) Se divide el territorio nacional en subregiones según características de la vegetación, del clima, y de la topografía. En base de las clases definidas, es decir de las 6 categorías principales del uso y cobertura recomendadas por el IPCC, se seleccionan en cada clase **pixeles cuyos valores (métrica reducida) se mantienen estable** en el mosaico que representa el inicio (p.ej. año 2016) y fin (p.ej. año 2021) del periodo de análisis. A estos pixeles, se aplica un muestreo aleatorio para la selección de muestras para el entrenamiento de la clasificación balanceado según la extensión de cada clase. Aparte, se incluyen muestras complementarias que representan coberturas o usos estables documentados.
- (4) En la **clasificación supervisada** del cubo de 156 bandas con métricas estadísticamente

¹⁰ <https://livingatlas.arcgis.com/landcover/>

¹¹ <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/10.24381/cds.006f2c9a?tab=overview>

¹² <http://data.ess.tsinghua.edu.cn/>

¹³ <https://glad.earthengine.app/view/global-forest-change#dl=1;old=off;bl=off;lon=20;lat=10;zoom=3;>

¹⁴ <https://www.usgs.gov/landsat-missions/cfmask-algorithm>

¹⁵ <https://developers.google.com/earth-engine/apidocs/ee-algorithms-landsat-simplecloudscore>

¹⁶ La Tabla 4 en RAISG (2022b) describe cada índice.

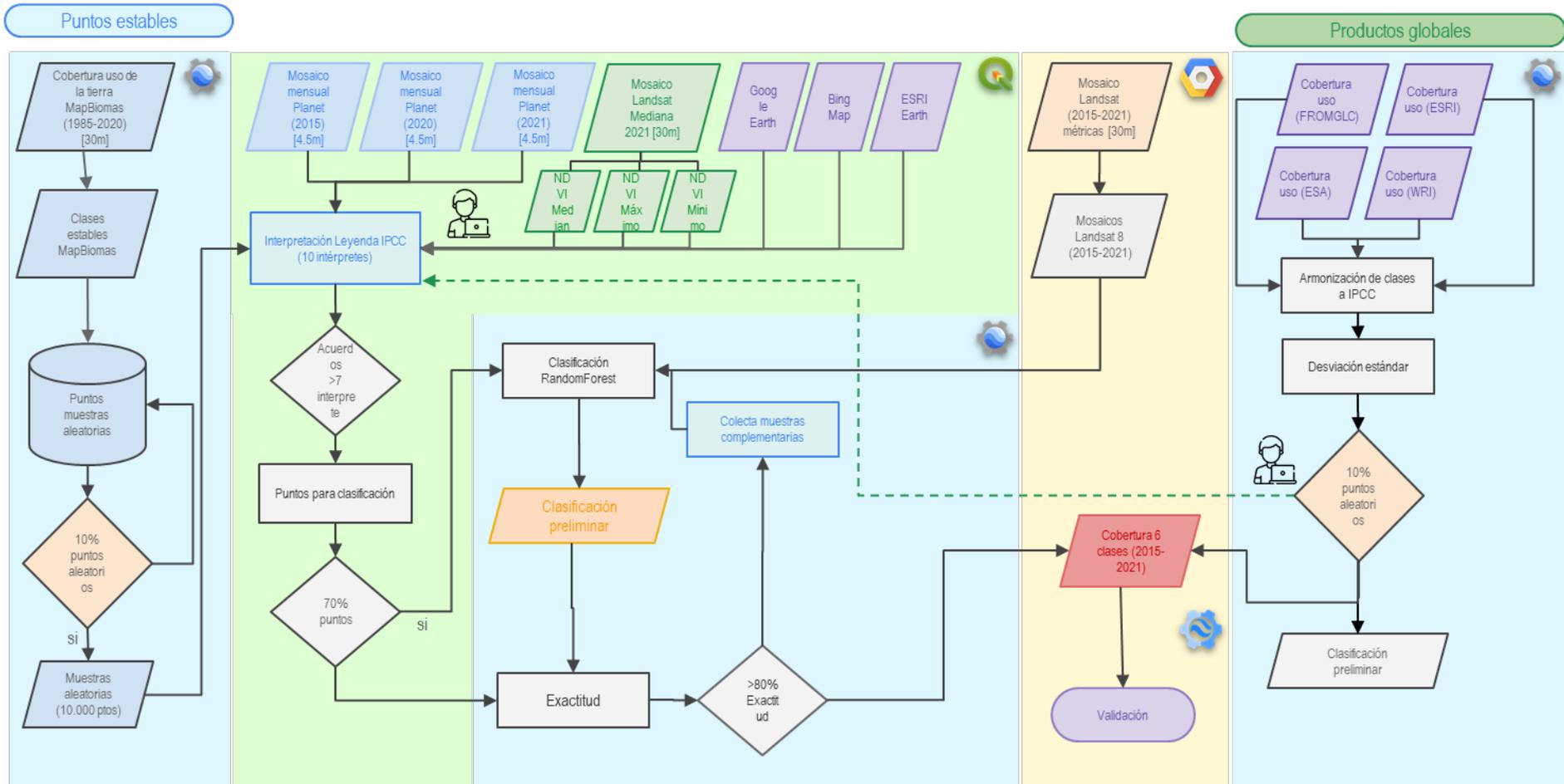
reducidas, se aplica el método de aprendizaje automatizado **Random Forest**¹⁷, un método de clasificación que utiliza un algoritmo de aprendizaje de máquina (*machine learning*). *Random Forest* crea árboles de decisión en muestras de datos seleccionadas al azar, obtiene predicciones de cada árbol y selecciona la mejor solución mediante votación (Breiman, 2001). En base de un número de árboles de decisión definido, de variables, es decir las métricas reducidas, y muestras para el entrenamiento, el algoritmo genera una clasificación en base de la estructura de clase inherente en los datos de entrenamiento. Para ciertas constelaciones de cobertura, uso y/o subregiones llamadas temas transversales, se aplica una configuración específica de Random Forest, cuyos resultados se integran en base de reglas.

- (5) En la **pos-clasificación**, se aplican una secuencia de **filtros** con el propósito de reducir inconsistencias temporales (filtro temporal) y ruidos de clasificación menores a la unidad mínima de mapeo (filtro espacial; filtro de frecuencia) y para llenar vacíos de información (gap fill).
- (6) Con base a los mapas anuales de cobertura y uso integrados, se calculan las **transiciones entre las categorías de uso y cobertura**. Estas representan los cambios entre pares de mapas que representan dos momentos distintos en el tiempo (años) y que delimitan un periodo. Unidades espaciales pueden pasar por múltiples cambios de uso y cobertura en el transcurso de tiempo establecido por el marco de monitoreo, y MRV. El sistema de codificación de cambios capta esa **trayectoria de cambio de uso y cobertura por múltiples periodos** conforme con el método 3 (approach 3) de las orientaciones del IPCC (ver Anexo 3.A.4 en IPCC (2006, p. IV 3.39)). A las transiciones anuales se aplica el filtro de la unidad mínima de mapeo (UMM), que descarta transiciones anuales con un tamaño igual o menor a 11 píxeles equivalente a 0.99 ha.
- (7) Para determinar las incertidumbres de los cambios de uso y cobertura detectados se estima primero la **exactitud global** del mapa de uso y cobertura de cada año aplicando las buenas prácticas recomendadas por el GFOI (GFOI, 2020; Olofsson et al., 2014). La evaluación de exactitud debe incluir por lo menos los siguientes elementos: (i) el diseño de muestreo; (ii) el diseño de respuesta, y (iii) el diseño de análisis (GOFC-GOLD, 2015). En el diseño de **muestreo** se establecen entre otros las técnicas del muestreo y el tamaño de la muestra en función del número de clases y con relación a la variabilidad en base de un nivel de confianza deseado. En el diseño de **respuesta** se definen las especificaciones de los datos de referencia. En general, que los datos de referencia sean, de mejor resolución geométrica o de mayor exactitud que los resultados a evaluarse. El diseño del **análisis** establece los métodos de la estimación e integración de las incertidumbres. Una vez estimada la exactitud de global de la cada clase, se estima la exactitud global de cada tipo de cambio de uso de la tierra aplicando el método de la propagación de errores conforme con la sección 3.2.3 en Volumen I de IPCC (2006)).

El cuadro 5 en la siguiente página visualiza el marco conceptual y su implementación en Google Earth Engine.

¹⁷ https://www.stat.berkeley.edu/~breiman/RandomForests/cc_home.htm

Cuadro 5: Marco metodológico de la detección del cambio de uso



Fuente: Dirección General de Desarrollo y Gestión Forestal (elaboración propia)

4 Factores de Emisión

4.1 Marco metodológico

El Estado Plurinacional de Bolivia todavía no cuenta con un inventario nacional forestal actual. Sin embargo, Bolivia tiene una larga trayectoria de mediciones de biomasa de sus bosques, que permite mapear las densidades de biomasa aérea y que contiene además mediciones de otros reservorios de carbono (Villarroel et al., 2022). Complementariamente, el Estado recién inició mediciones directas de las densidades de biomasa aérea combinado tecnologías de teledetección satelital utilizando radar de apertura sintética (SAR, por sigla en inglés) y *Light Detection and Ranging* (LiDAR), mediciones aéreas de LiDAR y mediciones terrestres in situ aplicando las buenas prácticas del *Committee on Earth Observation Satellites* CEOS¹⁸ (Duncanson et al., 2021) conforme con las directrices del IPCC 006 refinadas (Tomo IV, sección 2.3.1.B en IPCC (2019, p. 2.17)). Ambas fuentes, mediciones terrestres compiladas y mediciones por teledetección intercalibradas serán¹⁹ utilizadas para estimar las densidades de biomasa aérea.

Para la estimación del reservorio de biomasa subterránea se asignan los valores por defecto de la relación entre la biomasa subterránea y aérea de las directrices del IPCC 2006 en su versión afinada 2019 (Tomo IV, Tabla 4.4 en IPCC (2019, p. 4.49) a la estratificación de ecorregiones del territorio de Bolivia. La inclusión del reservorio materia orgánica del suelo (SOC, por sigla en inglés) está sujeta a un análisis más detallado (ver sección 4.4, p.25).

4.2 Procesamiento de densidades de biomasa aérea

5.2.1 Estimación de las densidades de biomasa aérea en base de mediciones in situ

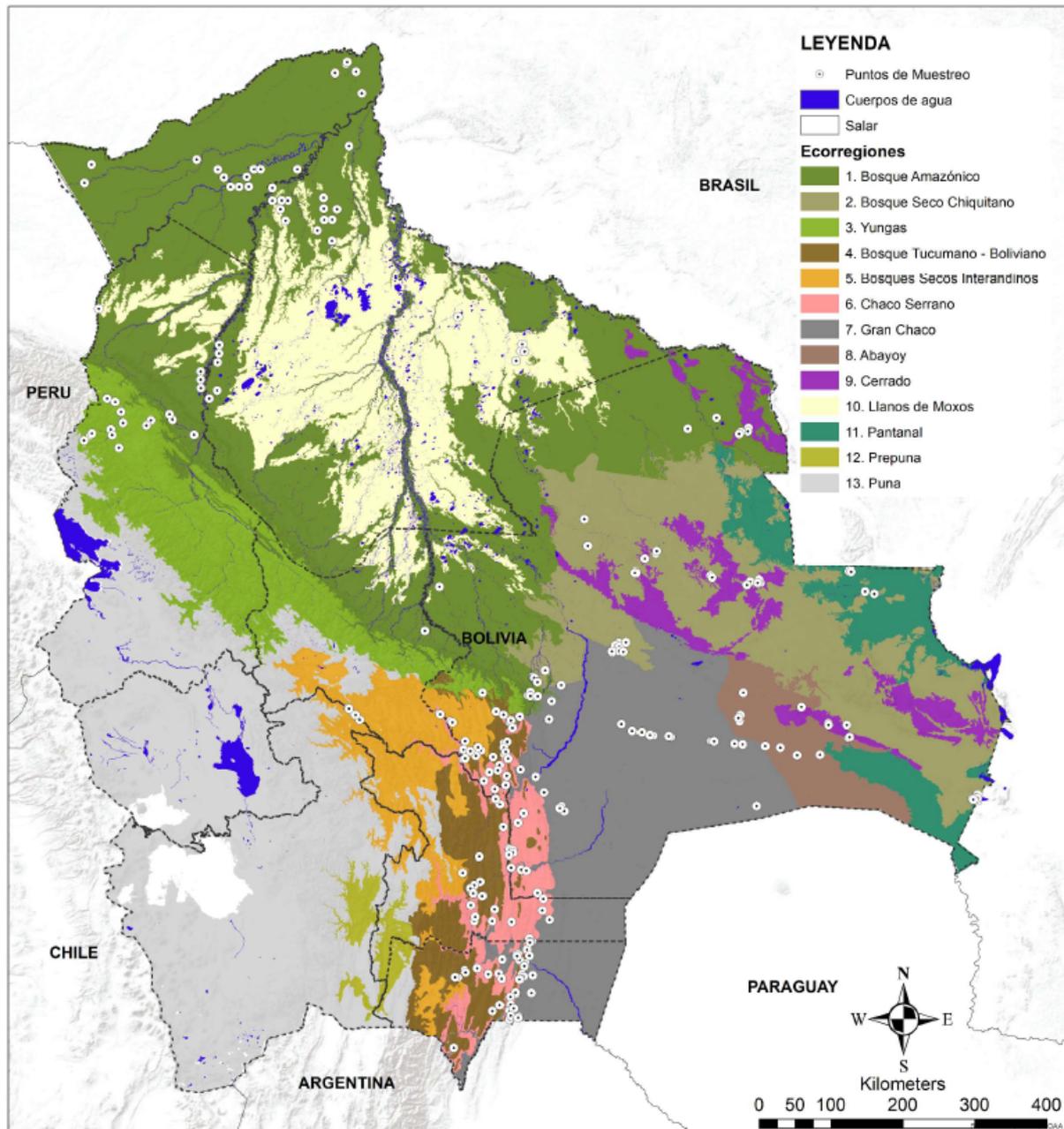
Se estimó la cantidad de biomasa vegetal aérea y modeló su distribución espacial a una resolución de 100 m compilando las mediciones in situ de varios inventarios de campo. Procesando 504 parcelas establecidas y/o evaluadas entre el año 2000 y 2020 y variables ambientales espectrales [seleccionadas bajo umbrales de correlación ($r \geq 0.8$) y colinealidad ($VIF \geq 10$)] se utilizó el método de aprendizaje automatizado **Random Forest**. El cuadro 6 en la siguiente página indica la distribución de parcelas entre las ecorregiones de Bolivia.



¹⁸ <https://ceos.org/>

¹⁹ Dado que las mediciones aéreas de LiDAR ejecutadas hasta el 29 de diciembre 2022 se encuentran en procesamiento, esta versión del NREF se basa en las mediciones de biomasa compiladas por Villarroel et al. (2022). Se tiene previsto, incluir los resultados del mapeo de densidades de biomasa por LiDAR y SAR en la nueva versión de este documento a presentarse hasta fines de marzo 2023.

Cuadro 6: Distribución espacial de mediciones in situ para la generación del modelo de biomasa aérea



Fuente: Villarroel et al. (2022)

La metodología para la generación del modelo de biomasa aérea se opera en la plataforma de Google Earth Engine (GEE) y sigue los siguientes pasos que se describen con mayores detalles en el Anexo 2 partiendo de Villarroel et al. (2022):

- (1) Se compilaron las mediciones en una base de datos y se **estandarizaron los registros** mediante el algoritmo TPL del paquete *Taxonstand - Taxonomic Standardization of Plant Species v.2.2* en R²⁰.

²⁰ <https://cran.r-project.org/web/packages/Taxonstand/index.html>

- (2) Se asignó la **densidad de la madera** de los individuos registrados en las parcelas utilizando el *Global Wood Density Database* (Zanne et al. 2009);
- (3) Se estimó la biomasa aérea para todos los individuos ≥ 10 cm de DAP leñosa) mediante las **ecuaciones alométricas** propuestas por (Chave et al., 2005), extrapolándola y/o uniformizadas a unidades equivalentes a toneladas por hectárea de superficie ($t\ ha^{-1}$). La tabla 1 (ver p.) presenta las ecuaciones alométricas utilizadas para cada estrato.
- (4) Para la **predicción y el mapeo de biomasa aérea** se compilaron tres tipos de **variables predictoras**:
 - a. **Variables bioclimáticas** de la base de datos Worldclim²¹ versión 2 (1970–2000): bio 1= temperatura promedio anual; bio 4= estacionalidad de la temperatura; bio 12= precipitación anual; bio 14= precipitación de trimestre más seco; bio 15= estacionalidad de la precipitación;
 - b. **Métricas de topografía** derivadas del *Multi-Error-Removed Improved-Terrain DEM MERIT* (Yamazaki et al., 2017).
 - c. **Índices espectrales** calculados y promediados en base a series temporales de las imágenes *Landsat 8 Surface Reflectance Tier 1* correspondientes a la estación seca (mayo a septiembre) de los años 2013-2018:
 - Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI);
 - Índice de Vegetación Mejorado (EVI);
 - Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI);
 - Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI);
 - NDVI promedio anual;
- (5) Las 11 variables ambientales fueron reajustadas y **uniformizadas a píxeles de 100 m**, para evaluar, identificar y excluir las variables predictoras con altos niveles de colinealidad (Factor de Inflación de Varianza; $VIF \geq 10$) y/o correlación (coeficiente de correlación de Pearson; $r \geq 0.8$) mediante el algoritmo VIF del paquete *usdm - Uncertainty Analysis for Species Distribution Models* v.1.1-18 para R²².
- (6) Para la **calibración y validación**, se dividió la base de datos considerando nueve clases o intervalos de densidad de biomasa. Posteriormente, a partir de cada clase y considerando una distancia mínima de 5 km entre los puntos de muestreo, se seleccionó aleatoriamente las muestras de calibración y evaluación (proceso de selección repetido 999 veces) mediante el algoritmo thin del paquete *spThin - Implements random spatial thinning algorithm* v.0.2.0 (Aiello-Lammens, Boria, Radosavljevic, Vilela, & Anderson, 2015).
- (7) El **modelamiento espacial de la densidad** de biomasa aérea fue realizado mediante el

²¹ www.worldclim.org.

²² <https://cran.r-project.org/web/packages/usdm/>

método de aprendizaje automatizado **Random Forest** (Breiman, 2001), que cuantifica la relación de las variables predictoras (métricas ambientales) y la variable respuesta (biomasa aérea; datos de calibración) mediante la generación aleatoria de múltiples árboles de decisiones, obteniendo como resultado un árbol que representa los mejores atributos de la clasificación y predicción.

- (8) El rendimiento del modelo de predicción fue determinado mediante el valor del coeficiente de determinación y ajuste (R^2), y el error cuadrático medio (RMSE), esperando obtener un alto valor de R^2 y un bajo valor de RMSE. **La incertidumbre espacial del modelo** fue calculada en función de la diferencia de valores expresada en porcentaje de los valores de la biomasa aérea modelada a partir de los datos de calibración versus los valores modelada mediante los datos de evaluación.

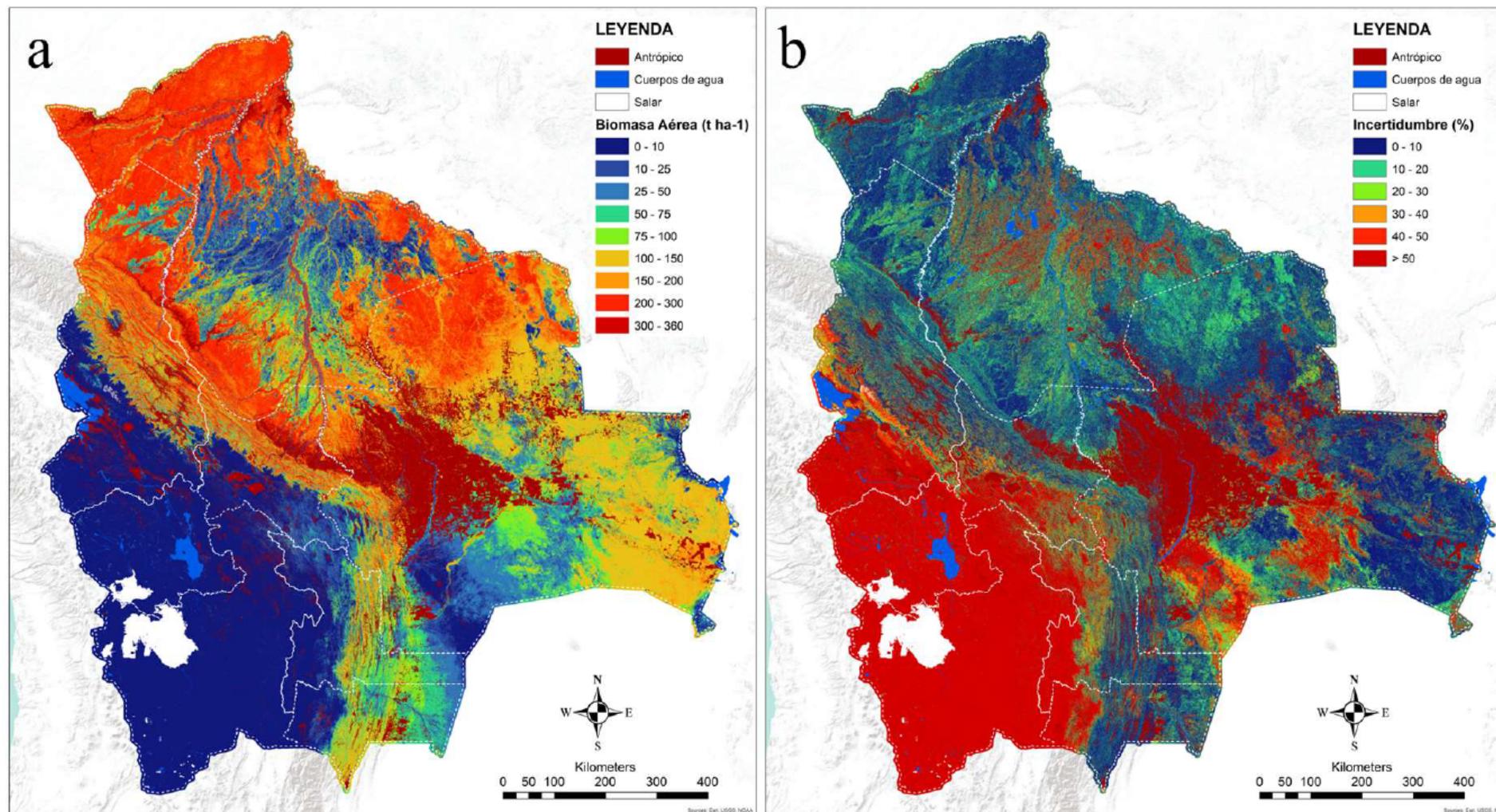
Tabla 1: Número de parcelas de muestreo implementadas por ecorregión y ecuaciones alométricas aplicadas

Ecuación alométrica aplicada	Ecorregión	Fisionomía vegetal			Total Muestreo
		Bosque	Sabana	Campo	
Bosque húmedo $BA = 0.112 \times (\rho D^2 H)^{0.916}$	Bosque del sudoeste de la Amazonia	79	6		85
	Bosque tucumano - boliviano	102	2	5	109
	Yungas	26	3		29
	Bosque seco chiquitano	32			32
	Bosques secos interandinos	47		3	50
	Chaco serrano	61	6	4	71
Bosque seco $BA = \exp(-2.977 + \ln(\rho D^2 H))$	Gran Chaco	46		4	50
	Abayoy	3	11		14
	Cerrado	17	23	11	51
	Llanos de Moxos		2	4	6
	Pantanal	4	3		7
Total muestreo	Total muestreo	417	56	31	504

Fuente: Villarroel et al. (2022)

El Cuadro 7 presenta la distribución espacial de la densidad de la biomasa vegetal aérea (t ha⁻¹) y los valores de incertidumbre (%) de predicción del modelo de biomasa vegetal aérea.

Cuadro 7: La distribución espacial de la (a) densidad de la biomasa vegetal aérea (t ha⁻¹) y (b) de la incertidumbre (%) de predicción del modelo de biomasa vegetal aérea



Fuente: Villarroel et al. (2022)

5.2.2 Evaluación directa de las densidades de biomasa aérea

Durante los últimos 4 años, sensores de *Light Detection and Ranging* (LiDAR) como el *Ice, Cloud, and Land Elevation Satellite 2* (ICE-Sat2²³) y *Global Ecosystem Dynamics Investigation* (GEDI²⁴) 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. Complementariamente a las misiones operativas de LiDAR, la Agencia Espacial de Europa (ESA, por sus siglas en inglés), lanzará BIOMASS²⁵ en agosto 2023, un sensor de radar de apertura sintética (SAR por sus siglas en inglés) de la banda P, cuyos datos permiten mapear las densidades de biomasa aérea en ecosistemas boscosas con una densidad de biomasa aérea hasta 700 t/ha y la altura del dosel, además las perturbaciones del bosque (p.ej. por la degradación o a aprovechamiento forestal) con una resolución espacial de 50m (Banda et al., 2020).

Las directrices IPCC 2006 en su versión refinada integró orientaciones para el uso de mapas de biomasa aérea con fines de reporte (Tomo IV, sección 2.3.1.3B, IPCC (2019, p. 2.17). La combinación de datos de LiDAR con datos de SAR, mediciones terrestres y aéreas permite estimar densidades de biomasa aérea y monitorear sus cambios en una manera costo-eficiente. Para la calibración y validación de la evaluación directa de densidades de biomasa aérea y de parámetros de mensuración forestales, el *Committee on Earth Observation Satellites* (CEOS) que aglutina las agencias espaciales y otras instancias académicas líder, acordó buenas prácticas y un protocolo para la calibración y validación del mapeo directo de densidades de biomasa aérea (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.

Para fortalecer su Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques (SIMB) y MRV, el Estado Plurinacional de Bolivia inició la generación de mediciones de la altura del dosel y de la densidad de biomasa aérea intercalibrando las mediciones de la altura promedio del dosel y de la densidad de biomasa aérea a través de LiDAR (GEDI y ICESat-2) y SAR con mediciones aéreas de laser (ALS) y mediciones terrestres de validación y calibración in situ aplicando las buenas prácticas y recomendaciones del CEOS. En particular eso incluye, entre otro:

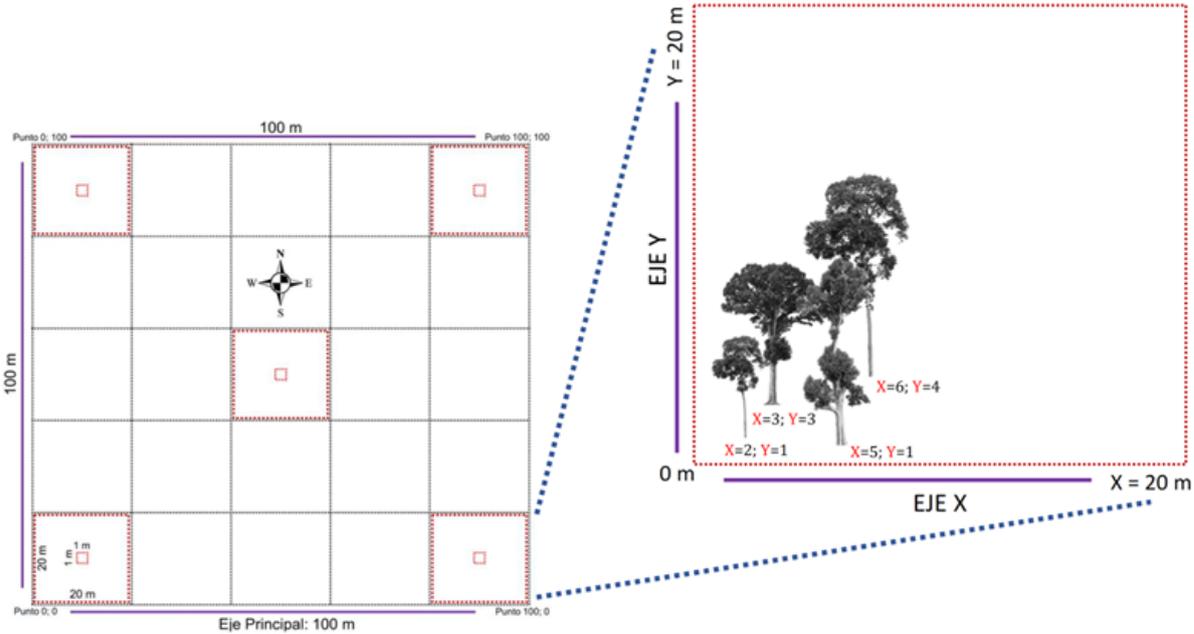
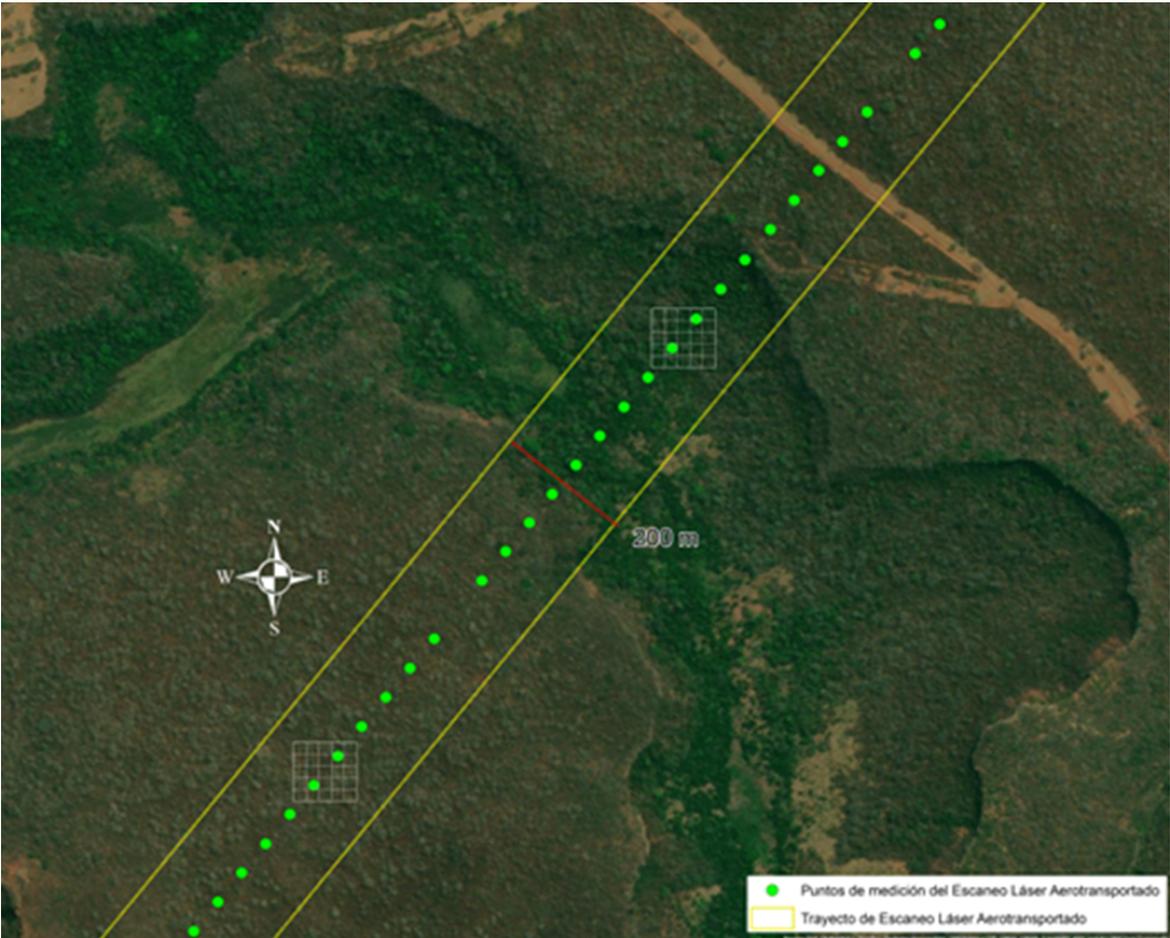
- (1) La **compilación de observaciones de GEDI L2A Elevation and Height Metrics Data Global Footprint Level** (Dubayah et al., 2021) y de ICESat-2 y filtrar las observaciones de mejor calidad asegurando la consistencia temporal con los datos de SAR (ALOS-2) y con las mediciones terrestres de calibración y validación.

²³ <https://icesat-2.gsfc.nasa.gov/>

²⁴ <https://gedi.umd.edu/>

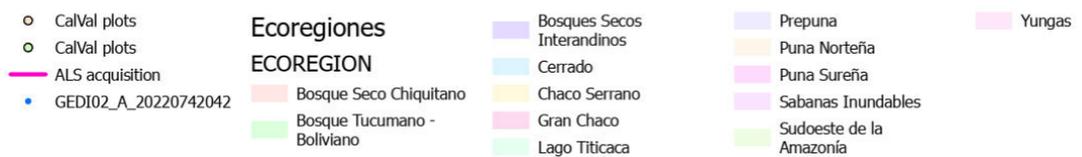
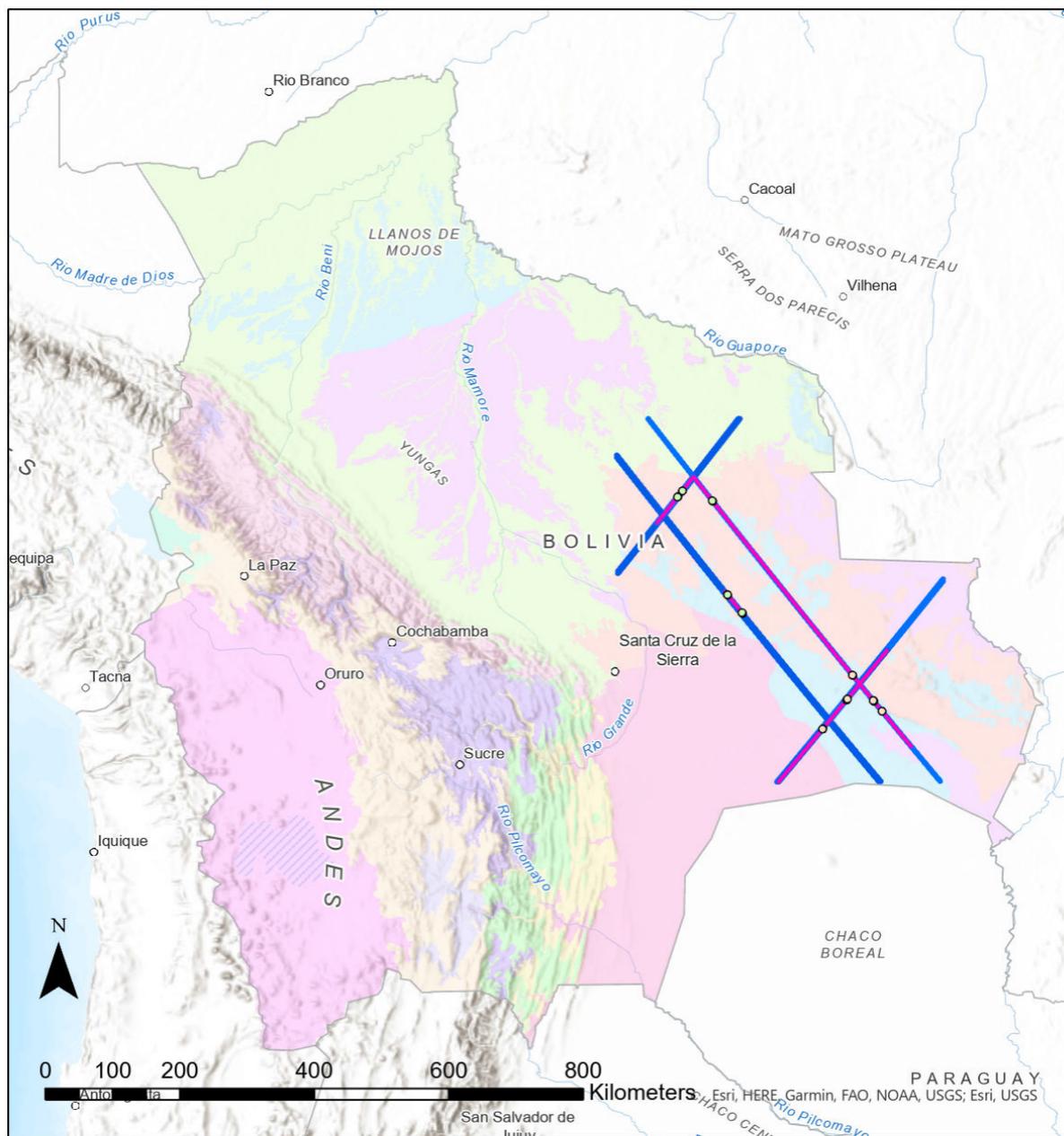
²⁵ https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/FutureEO/Biomass

Cuadro 8: Ubicación y diseño de las parcelas de calibración y validación



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 9: GEDI tracks, ALS vuelo, y parcelas de calibración y validación



Fuente: Elaboración propia

(2) Planificar y ejecutar **sobrevuelos de ALS** siguiendo LiDAR *beams* seleccionados (ver los *tracks* en color azul en el cuadro 8, p.22). Las primeras adquisiciones con ALS ejecutados siguen los *beams* seleccionados de GEDI de 2021 y cubren transectos de un largo total de 545 km con un ancho de 200m que corresponde a un área total de 10.900 ha (ver los *tracks* en color magenta en el cuadro 9, p.23). Los *tracks* de ALS cubren los ecosistemas boscosos con la mayor deforestación, es decir el Bosque

Seco Chiquitano, el Serrado, Gran Chaco, el Sudoeste de la Amazonía.

- (3) Conforme con las buenas prácticas recomendadas por el CEOS (Duncanson et al., 2021), se instalaron hasta la fecha 19 **parcelas de 1 hectárea para la intercalibración** de las adquisiciones satelitales y aéreas de LiDAR. La ubicación de cada parcela se orienta en el *beam* de GEDI y cubre por los menos dos GEDI *footprints* circulares con un diámetro de 25 m. En las parcelas, se registra la ubicación relativa de cada árbol con un dbh \geq 10cm, se mide el dbh, la altura del árbol, y se determina la especie. El protocolo de mediciones terrestres de calibración y validación de LiDAR (Anexo 4) brindará mayores detalles.
- (4) Con las mediciones de GEDI calibradas y validadas, se calibrará **la estimación de biomasa aérea derivados de distintas polarizaciones de SAR** adquiridos por el sensor ALOS-2. El Documento Teórico Base de Algoritmos (ATBD): Intercalibración de mediciones directa de densidades de biomasa aérea por LiDAR, SAR, y mediciones in situ (Anexo 4) brindará mayores detalles.

Se tiene previsto integrar los primeros resultados de la evaluación directa de biomasa aérea cubriendo la parte Sureste de Bolivia en la estimación de emisiones hasta fines de marzo 2023. Aparte, se tiene previsto ejecutar vuelos adicionales de adquisición con ALS en 2023 que cubrirán el Norte de la Amazonia Boliviana.

4.3 Biomasa subterránea

Conforme con las directrices del IPCC 2006 refinadas 2019, se estima la biomasa subterránea aplicando el factor R que representa la relación entre biomasa subterránea y aérea (Tabla 4.4 en Tomo IV, sección 4, (IPCC, 2019, p. 4.18)). Para ello, se relacionan los dominios y las zonas ecológicas a la estratificación por ecozonas de Bolivia (ver sección 4.2, p.11 en este documento). La Tabla 2 documenta los valores de R asignada a cada ecozona.

Tabla 2: Valores de la relación entre biomasa subterránea y aérea R por ecozona

ID	Ecoregión	IPCC 2019 Climate Zone	tAGB_pha	R	Uncertainty	Uncertainty _type
1	Bosque Amazónico	Tropical Wet	> 125	0,221	0,036	SD
2	Bosque Seco Chiquitano	Tropical Dry	> 125	0,379	0,04	SD
3	Yungas	Tropical Mountain	> 125	0,283	0,16	SD
4	Bosque Tucumano - Boliviano	Tropical Moist	> 125	0,284	0,061	SD
5	Bosques Secos Interandinos	Tropical Moist	> 125	0,284	0,061	SD
6	Chaco Serrano	Tropical Dry	\leq 125	0,334	0,04	SD
7	Gran Chaco	Tropical Dry	\leq 125	0,334	0,04	SD
8	Abayoy	Tropical Dry	\leq 125	0,334	0,04	SD
9	Cerrado	Tropical Dry	\leq 125	0,334	0,04	SD
10	Llanos de Moxos	Tropical Moist	\leq 125	0,2845	0,061	SD
11	Pantanal	Tropical Moist	\leq 125	0,2845	0,061	SD
12	Prepuna	Continental Natural (Other Broadleaf)	\leq 125	0,481	\pm 90%	default
13	Puna	Continental Natural (Other Broadleaf)	\leq 125	0,481	\pm 90%	default

Fuente: (IPCC, 2019, p. 4.17; Villarroya et al., 2022)

4.4 Carbono orgánico del suelo

El estado Plurinacional de Bolivia cuenta con una primera evaluación y mapeo del carbono orgánico de los suelos a nivel nacional. Sin embargo, según el mismo diagnóstico “las actuaciones del modelo fueron limitadas, y la precisión de la predicción fue baja, a la profundidad analizada (30 cm) (Figueredo Ticona, 2017, p. 26). Aparte, el reservorio de las sábanas inundables requiere un análisis más profundo, cruzando las observaciones y resultados con información científica publicada. Por lo pronto, no se consideran los cambios en este reservorio.

4.5 Madera muerta y hojarasca

Si bien algunas parcelas de medición de biomasa compiladas (ver sección 5.2.1, p.16 en este documento) incluyen la medición de los reservorios de madera muerta y hojarasca, la información disponible todavía no permite estimar las emisiones provenientes de estos reservorios a nivel nacional.

5 La estimación de emisiones por la deforestación

5.1 Marco metodológico y supuestos

En la construcción de su NREF, el Estado Plurinacional de Bolivia sigue las directrices para la presentación de información sobre los niveles de referencia aprobadas por la Conferencia de Partes de la CMNUCC (12CP.17):

La información proporcionada se guía por las orientaciones y directrices más recientes del IPCC (IPCC, 2019, 2020), e incluye:

- (a) La información que fue utilizada para elaborar un nivel de referencia de las emisiones forestales con datos históricos, de manera íntegra y transparente (ver secciones 4.3 p.13 y 5.2.1 p.16);
- (b) La información transparente, completa, coherente y exacta, incluida la información metodológica con inclusión de una descripción de los conjuntos de datos, enfoques, métodos, modelos, y supuestos empleados (ver secciones 4.3 p.11 y 5.2.1 p.16), las descripciones de las políticas y planes pertinentes (ver secciones 2.5 p.**Fehler! Textmarke nicht definiert.** y 2.6.1 p.7) y las descripciones de los cambios existentes con respecto a la información presentada anteriormente (ver sección 2.8 p.**Fehler! Textmarke nicht definiert.**);
- (c) Los reservorios y gases, las actividades enumeradas que se incluyeron en el NREF y las razones de la omisión de un reservorio y/o una actividad, teniendo en cuenta que no deben excluirse los reservorios y/o actividades significativas (ver sección 5, p.16);

- (d) La definición de bosque utilizada al elaborar los niveles de referencia de las emisiones forestales y, según proceda, en el caso de que haya una diferencia con la definición de bosque utilizada en el inventario nacional de gases de efecto invernadero o en los informes presentados a otras organizaciones internacionales una explicación de por qué y cómo se eligió la definición utilizada al elaborarse los niveles de referencia de las emisiones forestales y/o los niveles de referencia forestal (ver sección 3.3, p.9).

El NREF se ha estimado como el promedio anual de emisiones de GEI derivadas de la deforestación del período 2016 a 2021 en base del mapa de uso y cobertura 2015. Se asume la **oxidación inmediata del 100% de las reservas de carbono** en todos los reservorios de carbono forestal considerados (biomasa aérea y subterránea) en el año del cambio de uso de la tierra.

Se calcularon las emisiones de GEI a través de una serie de pasos implementados con *Map Algebra* en ArcGISPro 3.0 siguiendo los métodos genéricos de las Directrices del IPCC para el sector AFOLU (IPCC, 2019, 2020). El Anexo 5 documentará estos pasos.

Bajo el supuesto de oxidación inmediata en los 2 reservorios biomasa aérea y subterránea considerados sin contabilizar las emisiones y remociones de GEI por los tipos de uso pos-deforestación, se reformulan las ecuaciones 2.1, 2.2, y del Tomo IV, sección 2 IPCC (2020, pp. 2.6-7) como:

Cambios en las existencias anuales de carbono para Tierras forestales:

$$(2.1) \Delta C_{AFOLU} = \Delta C_{FL}$$

Donde:

ΔC = cambio en las existencias de carbono

AFOLU = Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra

FL = Tierras forestales

Cambios en las existencias anuales de carbono para Tierras forestales:

$$(2.1) \Delta C_{AFOLU} = \Delta C_{FL}$$

Donde:

ΔC = cambio en las existencias de carbono

AFOLU = Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra

FL = Tierras forestales

Cambios en las existencias anuales de carbono para Tierras forestales como la suma de los cambios de todos los depósitos de biomasa aérea y subterránea:

$$(2.3) \Delta C_{FL} = \Delta C_{AB} + \Delta C_{BB}$$

Donde:

AB = Biomasa aérea

BB = biomasa subterránea

Sin contabilizar las ganancias y pérdidas en usos post-deforestación, ecuación 2.4 se convierte in:

$$(2.4) \Delta C_{FL} = \Delta C_{FL, L}$$

Donde:

ΔC_{FL} = cambio en las existencias anuales de carbono en tierras forestales, tC año⁻¹

$\Delta C_{FL, L}$ = pérdida anual de carbono en tierras forestales, tC año⁻¹

Implementando la siguiente ecuación en Map Algebra, se determina la pérdida de biomasa aérea por deforestación en un año t como:

$$(2.6a) \Delta C_{AB,t} = \sum_1^n (AD_{n,t} * EF_{n,t})$$

Donde:

$AD_{n,t}$ = Datos de actividad: área deforestada en píxel n durante año t, 900 m²

$EF_{n,t}$ = Densidad de biomasa aérea en píxel n, tAGB (900 m²)-1

Se calcula la pérdida de Biomasa subterránea en píxel n durante año t como función de la densidad de biomasa aérea ($EF_{n,t}$) aplicando los valores de la relación entre biomasa subterránea y aérea (R) documentados en la Tabla 2 (ver p.24). Los valores de R se asignaron a cada polígono de los estratos de ecozonas que se convirtieron en un raster llevando el parámetro R.

$$(2.6b) \Delta C_{BB,t} = \sum_1^n (AD_{n,t} * EF_{n,t} * R_{s,n})$$

Donde:

$AD_{n,t}$ = Datos de actividad: área deforestada en píxel n durante año t, 900 m²

$EF_{n,t}$ = Densidad de biomasa aérea en píxel n, tAGB (900 m²)-1

$R_{s,n}$ = V de la relación entre biomasa subterránea y aérea de la ecozona s en píxel n, sin dimension.

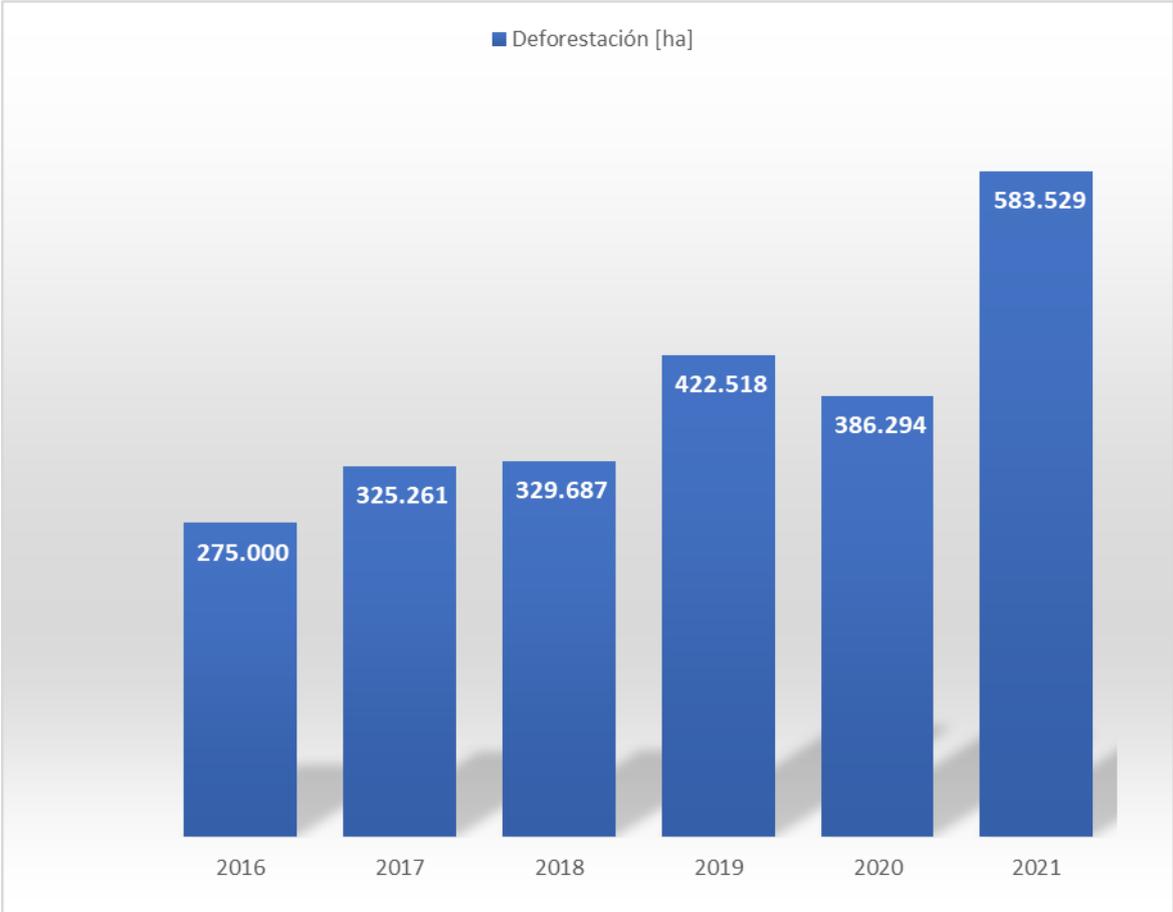
Para convertir toneladas de biomasa (tAGB) en toneladas métricas de carbono (tC) se aplica la fracción de carbono de materia seca (CF), tC (ton d.m.)-1 con un valor por defecto de 0.5. Los cambios de las categorías de existencias de C (que impliquen transferencias a la atmósfera) se convierten en unidades de emisión de CO2 multiplicando el cambio en las existencias de C por (-44/12) conforme con IPCC (2020, p. 2.11).

Se determina el **Nivel de Referencia de Emisiones Forestales** por la Deforestación bruta como el promedio de las emisiones anuales bruta durante el periodo 2015 hasta 2021.

5.2 Resultados

Los cuadros 10 y 11 presentan el desarrollo de la deforestación en el territorio del Estado Plurinacional de Bolivia durante el periodo 2016 hasta 2021 en base de la cobertura y del uso de la tierra del año 2015.

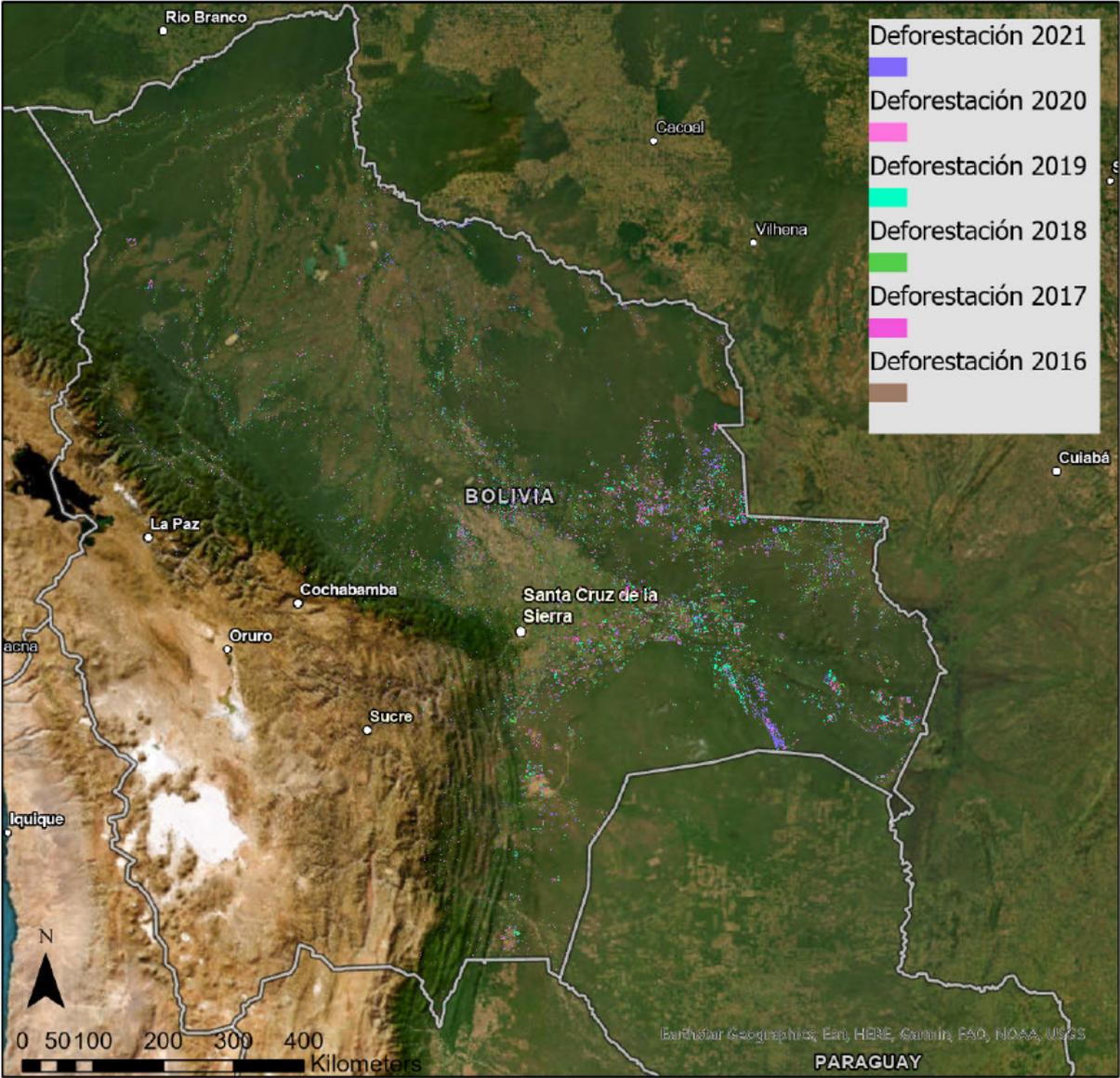
Cuadro 10: La deforestación 2016 hasta 2021



Fuente: elaboración propia



Cuadro 11: La distribución espacial de la deforestación 2016 hasta 2021

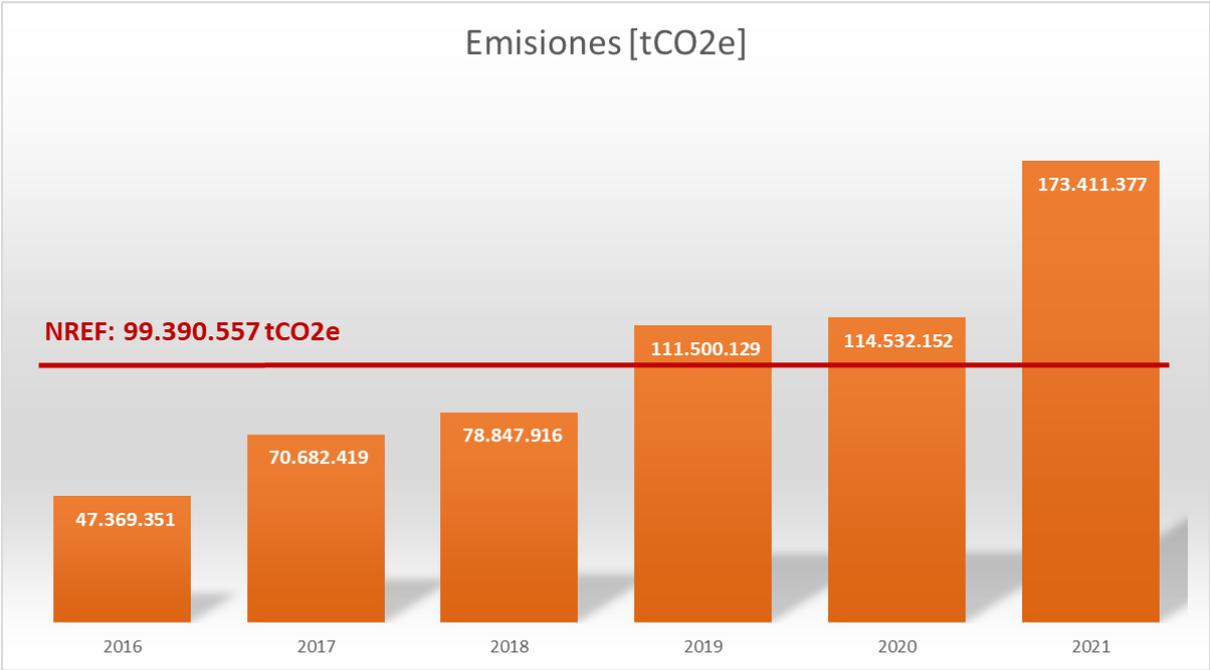


Fuente: elaboración propia

La distribución espacial de la deforestación se transforma en un promedio anual de emisiones de **99.390.557 tCO₂e / año** que representa el **Nivel de Referencia de Emisiones Forestales por la Deforestación** de Estado Plurinacional de Bolivia. El cuadro 12 presenta el patrón temporal de las emisiones y el cuadro 13 brinda mayores detalles respecto su distribución entre los dos reservorios.



Cuadro 12: Las emisiones anuales por la deforestación y el Nivel de Referencia de Emisiones Forestales



Fuente: elaboración propia

Tabla 3: Resultados del análisis de la deforestación anual y de las emisiones 2016 hasta 2021

Año	Deforestación [pixeles]	Deforestación [ha]	perdida AGB [t]	perdida BGB [t]	perdida BGB [% AGB]	perdida (AGB + BGB) [t]	perdida (AGB + BGB) [tC]	perdida (AGB + BGB) [tCO₂e]
2016	3.055.560	275.000	19.814.013	6.023.815	30,4%	25.837.828	12.918.914	- 47.369.351
2017	3.614.007	325.261	29.606.948	8.947.099	30,2%	38.554.047	19.277.023	- 70.682.419
2018	3.663.189	329.687	33.027.987	9.979.967	30,2%	43.007.954	21.503.977	- 78.847.916
2019	4.694.649	422.518	46.760.535	14.057.717	30,1%	60.818.252	30.409.126	- 111.500.129
2020	4.292.152	386.294	48.275.749	14.196.334	29,4%	62.472.083	31.236.042	- 114.532.152
2021	6.483.653	583.529	73.357.297	21.230.727	28,9%	94.588.024	47.294.012	- 173.411.377
Promedio		387.048				54.213.031	27.106.516	- 99.390.557

Fuente: elaboración propia

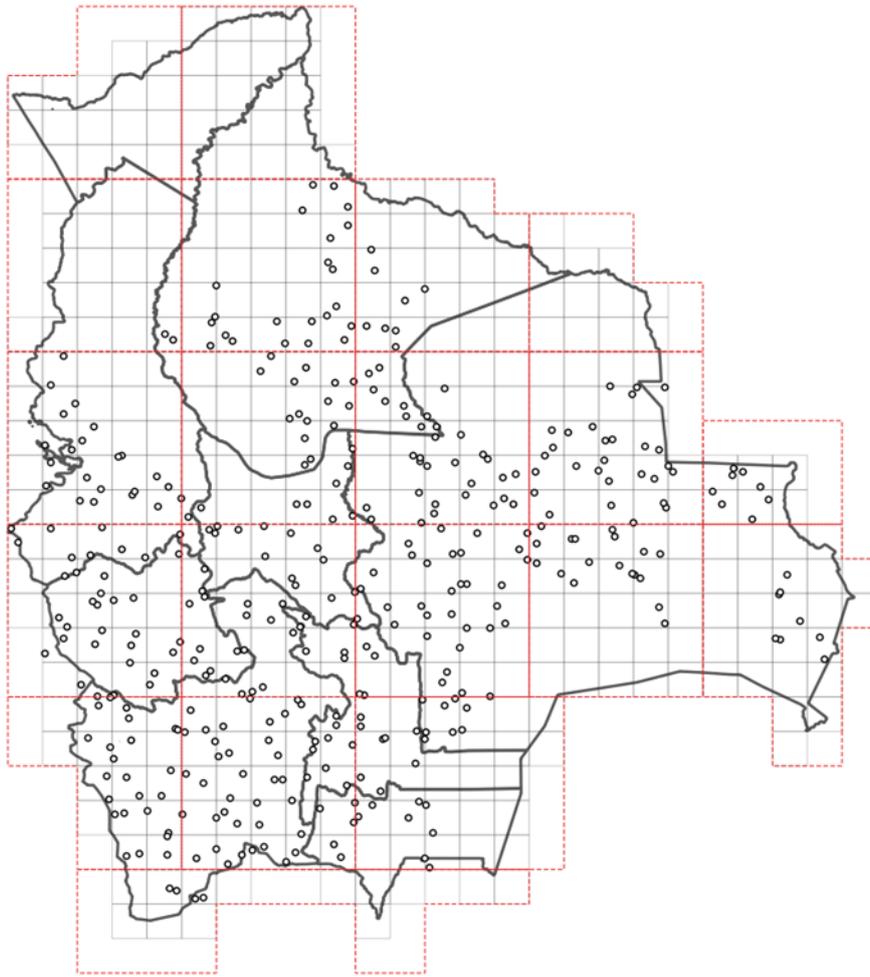
5.3 Evaluación de incertidumbres

A partir de las transiciones identificadas en el periodo 2015-2021 se ejecutó una evaluación preliminar la exactitud de los datos de actividad aplicando los siguientes pasos metodológicos:

- (1) Se construyó un **grillado de 50 km** por grilla. Se seleccionaron grillas de 50 km con mayor actividad de cambio para priorizar regiones de evaluación.
- (2) Como **datos de referencia**, se generaron compuestos anuales de imágenes Landsat 8 y Sentinel-2, además de índices espectrales tales como NDVI y NDWI en composiciones medianas, mínimas y máximas. La representación de imágenes fue realizada utilizando las bandas SWIR1, NIR, y RED. Para facilitar el proceso se interpretaron las muestras directamente en la plataforma Google Earth Engine.
- (3) Para el **muestreo**, se determinaron los centroides de píxeles de transición y se contaron los puntos de transición por grilla. Se seleccionaron grillas con más de 200 puntos de transición y de esa muestra, se seleccionaron aleatoriamente 2 puntos por grilla para la interpretación.
- (4) La **interpretación** se ejecutó a través de tres expertos por punto. El equipo encargado de esta evaluación fue organizado de tal forma de asegurar que se generen tres interpretaciones por cada punto y que el intérprete no haya sido asignado a esas regiones en la etapa de calibración y clasificación. La clasificación se categorizó como correcta, si coincidieron dos interpretaciones.



Cuadra 13: Grillado y distribución de muestras seleccionadas



Fuente: Elaboración propia

Los resultados indican que la clasificación anual de uso y cobertura alcanzó un promedio de 72% de la exactitud global. La tabla 4 presenta los resultados por año.

Tabla 4: Exactitud global de las transiciones anuales de cambio de uso

año	Exactitud global	Cantidad de muestras
2016	71,8	362
2017	71,9	360
2018	72,7	362
2019	72,9	361
2020	70,9	358
2021	72,9	362
2022	71,5	361
promedio	72,1	

Cabe recalcar que los resultados de la evaluación de la exactitud temática de los datos de actividad son preliminares. El equipo de monitoreo está iniciando una evaluación más rigurosa y exhaustiva en base de un marco metodológico aplicando las buenas prácticas para la evaluación de incertidumbres del cambio de uso de la tierra recomendadas *Global Forest Observation Initiative* GFOI (GFOI, 2020; Olofsson et al., 2014) y presentará los métodos (Anexo 6) y resultados consolidados (Anexo 7) hasta fines de marzo 2023.

6 Mejoras y necesidades de asesoramiento y capacitación

En base del avance actual en desarrollar el NREF del Estado Plurinacional de Bolivia se cuál identifican las siguientes mejoras del NREF previstas a corto, mediano y largo plazo.

Hasta fines de marzo 2023 se tiene previsto:

- Concluir la evaluación directa de biomasa aérea en base de una intercalibración de mediciones satelitales y aérea de LiDAR, SAR y mediciones terrestres cubriendo los ecosistemas afectados por la mayor parte de la deforestación.
- Concluir la evaluación de la factibilidad de incluir reservorios adicionales, en particular la materia orgánica en suelos.
- Consolidar la estimación de las incertidumbres de las emisiones conforme con las buenas prácticas del IPCC y del GFOI.
- Evaluar la factibilidad de mapear las áreas quemadas y de estimar las emisiones correspondientes.
- Estimar las emisiones y remociones de GEI por los tipos de usos post-deforestación.

A mediano plazo (fines de 2023) se tiene previsto:

- Ejecutar pruebas para el monitoreo de la degradación forestal en el departamento Pando en el Norte del país y en el municipio autónomo indígena Charagua en el sur, dado que se propusieron ambas jurisdicciones a la coalición LEAF.
- Ejecutar nuevas mediciones aéreas con ALS y mediciones in situ para extender la cobertura de la evaluación directa de las densidades de biomasa aérea en la Amazonia Boliviana.
- El desarrollo de un sistema de monitoreo y MRV para beneficios no-vinculados al carbono forestal (decisión 18/CP.21) con enfoque en los productos no-maderables y en el Índice de vida sustentable del bosque multidimensional.
- La integración y operación del mecanismo de cooperación por resultados al Mecanismo Conjunto de Adaptación y Mitigación (Art. 6.8 del Acuerdo de Paris).

A largo plazo (fines de 2024) se apunta a las siguientes mejoras:

- La inclusión de actividades elegibles para el incremento de los reservorios de carbono forestal, particularmente a través del recrecimiento de bosques secundarios.
- Actualizar los inventarios nacionales de GEI utilizando los datos de actividad y

factores de emisión asegurando la coherencia en el sistema de MRV.

7 Referencias bibliográficas

- Aiello-Lammens, M. E., Boria, R. A., Radosavljevic, A., Vilela, B., & Anderson, R. P. (2015). spThin: an R package for spatial thinning of species occurrence records for use in ecological niche models. *Ecography*, 38(5), 541-545. doi:<https://doi.org/10.1111/ecog.01132>
- Banda, F., Giudici, D., Le Toan, T., Mariotti d'Alessandro, M., Papathanassiou, K., Quegan, S., . . . Villard, L. (2020). The BIOMASS Level 2 Prototype Processor: Design and Experimental Results of Above-Ground Biomass Estimation. *Remote Sensing*, 12(6), 985. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/6/985>
- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45(1), 5-32. doi:10.1023/A:1010933404324
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., . . . Yamakura, T. (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
- Colque, G. (2022). *Deforestación 2016-2012. El pragmatismo irresponsable de la "Agenda Patriótica 2025". Investigación.*
- Dubayah, R., Hofton, M., Blair, J., Armston, J., Tang, H., & Luthcke, S. (2021). *GEDI L2A Elevation and Height Metrics Data Global Footprint Level V002 [Data set].* . Accessed 2023-01-22 from https://doi.org/10.5067/GEDI/GEDI02_A.002. Retrieved from: https://lpdaac.usgs.gov/products/gedi02_av002/
- Duncanson, L., Disney, M., Armston, J., Nickeson, J., Minor, D., & Camacho Olmedo, F. (2021). *Aboveground Woody Biomass Product Validation Good Practices Protocol. Version 1.0 – 2021.* Retrieved from https://lpvs.gsfc.nasa.gov/PDF/CEOS_WGCV_LPV_Biomass_Protocol_2021_V1.0.pdf
- Estado Plurinacional de Bolivia. (2022). *Contribución Nacionalmente Determinada (CND) del Estado Plurinacional de Bolivia. Actualización de las CND para el periodo 2021-2030 en el marco del Acuerdo de París.* . Retrieved from <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/CND%20Bolivia%202021-2030.pdf>
- Figueredo Ticona, H. (2017). *Mapa de Carbono Orgánico de los Suelos del Estado Plurinacional de Bolivia. Un aliado para la adaptación al cambio climático y la producción agropecuaria.* Retrieved from La Paz, Bolivia: <https://geo.gob.bo/geonetwork/srv/ger/catalog.search;jsessionid=node09pk6p6pmt1sy15ivd4wl8hfb514310.node0#/metadata/5a66abe8-6161-48d7-b1bf-7662c6c6276d>
- Geist, H. J., & Lambin, E. F. (2001). What drives tropical deforestation? A meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on subnational case study evidence. In: LUCC International Project Office.
- Geist, H. J., & Lambin, E. F. (2002). Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation. *BioScience*, 52(2), 143. doi:10.1641/0006-3568(2002)052[0143:PCAUDF]2.0.CO;2
- GFOI. (2020). *Integración de las observaciones por teledetección y terrestres para estimar las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero en los bosques. Métodos y Orientación de la Iniciativa Mundial de Observación de los Bosques Edición 3.0* Retrieved from <https://www.reddcompass.org/mgd/resources/GFOI-MGD-3.1-es.pdf>
- GOFC-GOLD. (2015). *REDD+ training materials by GOFC-GOLD, Wageningen University, World Bank FCPF V 1, April 2015.* Retrieved from <http://www.gofcgold.wur.nl/redd/training-materials/training-modules/>
- Gong, P., Liu, H., Zhang, M., Li, C., Wang, J., Huang, H., . . . Song, L. (2019). Stable classification with limited sample: transferring a 30-m resolution sample set collected in 2015 to mapping 10-m resolution global land cover in 2017. *Science Bulletin*, 64(6), 370-373. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scib.2019.03.002>
- 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.
- IPCC. (2020). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Corrected version July 2020* (H. S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, & K. Tanabe Eds. Vol. 4: Agriculture, Forestry, and Other Land Use): IGES, Japan.
- Knight, J. F., & Lunetta, R. S. (2003). An experimental assessment of minimum mapping unit size. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(9), 2132-2134. doi:10.1109/TGRS.2003.816587
- Müller, R., Pacheco, P., & Montero, J. C. (2014). *El contexto de la deforestación y degradación de los bosques en Bolivia: Causas, actores e instituciones*. Center for International Forestry Research (CIFOR).
- Olofsson, P., Foody, G. M., Herold, M., Stehman, S. V., Woodcock, C. E., & Wulder, M. A. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment*, 148, 42-57. doi:10.1016/j.rse.2014.02.015
- RAISG. (2022a). MapBiomias. Apéndice - Bolivia Colección 4.0, Versión 1.0, Noviembre de 2022. Retrieved from https://s3.amazonaws.com/amazonia.mapbiomas.org/atbd/atbd%20general/Paises/Apendice_1_Bolivia_-_Coleccion_4.0.pdf
- RAISG. (2022b). *MapBiomias. Documento Teórico Base de Algoritmos (ATBD). RAISG - MapBiomias Amazonía - Colección 4, versión 1, Noviembre 2022*. Retrieved from https://s3.amazonaws.com/amazonia.mapbiomas.org/atbd/atbd%20general/ATBD_General_MapBiomias_Amazonia_4.0.pdf
- Villarroel, D., Rodríguez-Montellano, A., Araujo-Murakami, A., Camargo, R., Martínez-Ugarteche, M. T., Ledezma, R., . . . Proença, C. E. B. (2022). Estimación y modelamiento de la distribución espacial de la biomasa vegetal aérea para Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 57(1), 5-18. Retrieved from http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1605-25282022000100005&script=sci_abstract
- Yamazaki, D., Ikeshima, D., Tawatari, R., Yamaguchi, T., O'Loughlin, F., Neal, J. C., . . . Bates, P. D. (2017). A high-accuracy map of global terrain elevations. *Geophysical Research Letters*, 44(11), 5844-5853. doi:<https://doi.org/10.1002/2017GL072874>

8 Lista de Anexos

Anexo	Título
1	Documento Teórico Base de Algoritmos (ATBD): Mapeo y detección de cambio de uso y cobertura
2	Documento Teórico Base de Algoritmos (ATBD): Estimación de las densidades de biomasa aérea en base de mediciones in situ
3	Documento Teórico Base de Algoritmos (ATBD): Intercalibración de mediciones directa de densidades de biomasa aérea por LiDAR, SAR, y mediciones in situ
4	Protocolo de mediciones in situ para la intercalibración de mediciones directa de densidades de biomasa aérea
5	Documento Teórico Base de Algoritmos (ATBD): Calculo de las emisiones de GEI por el cambio de uso y cobertura de la tierra
6	Protocolo de la evaluación de incertidumbres de la estimación de emisiones por el cambio de uso de la tierra
7	Resultados de la evaluación de incertidumbres de la estimación de emisiones por el cambio de uso de la tierra