

Nivel de Referencia de Emisiones Forestales por Deforestación del
Ecuador
Periodo 2001 – 2014

Quito
Enero, 2020

Raúl Ledesma Huerta

Ministro del Ambiente de Ecuador

Steven Petersen

Subsecretario de Cambio Climático

Sindel Vinueza

Subsecretaria de Patrimonio Natural

Francisco Díaz

Director Nacional de Mitigación de Cambio Climático

Jennifer Espinel

Directora Nacional Forestal

Equipo Técnico Desarrollador

Jorge Armijos	Técnico Especialista en el Desarrollo del Nivel de Referencia
Ximena Herrera	Técnico en Monitoreo Forestal e Inventarios Forestales
Miguel Chinchero	Especialista en Calidad de Recursos Naturales
Jeanneth Alvear	Técnico en Monitoreo Forestal y REDD+
Digner Jiménez	Especialista en Administración y Control Forestal

Equipo técnico de apoyo para la generación de Datos de Actividad y Factores de Emisión

Danilo Granja	Técnico en Monitoreo Forestal y Trazabilidad Forestal
Lenin Beltrán	Técnico en Monitoreo Forestal y Control Forestal
Belén Noriega	Especialista en Categorización Ambiental
Alexandra Chacón	Especialista en Licenciamiento Ambiental
Lorena Parra	Especialista en Administración y Control Forestal
Sandra Barriga	Especialista en Vida Silvestre
Gicela Arias	Especialista en Adaptación al Cambio Climático
Richard Quillupangui	Especialista en Áreas Protegidas

Nivel de Referencia de Emisiones Forestales del Ecuador

Fernando Proaño	Especialista en Categorización Ambiental
Sebastián Dueñas	Técnico en Teledetección
Paúl León	Técnico en Teledetección
Ma. Fernanda Michelena	Técnico en Teledetección
Juan Espinosa	Técnico en Teledetección
Paola Sarango	Técnico en Teledetección

Tabla de contenido

Acrónimos	6
1. Circunstancias nacionales.....	8
2. Extensión Territorial del Ecuador Continental	10
3. Información utilizada para la elaboración del Nivel de Referencia de Emisiones Forestales por Deforestación del Ecuador, periodo 2001 – 2014.....	11
3.1 Actividades Incluidas en el Nivel de Referencia de Emisiones Forestales.....	13
3.2 Definición de Bosques del Ecuador	13
3.3 Definición de Deforestación del Ecuador	14
4. Construcción de la línea base de deforestación del Ecuador 2001 – 2014.....	14
4.1 Datos de Actividad	15
4.1.1 Cálculo de los datos de actividad.....	15
4.1.2 Cálculo de datos de actividad anual promedio.....	18
4.1.3 Cálculo de los Datos de Actividad por tipo de bosque	20
4.1.4 Cálculo de exactitud de los datos de actividad estimados	22
4.2 Factores de Emisión	23
4.2.1 Cálculo de los factores de emisión.....	27
4.3 Cálculo del Nivel de Referencia de Emisiones Forestales por Deforestación.....	27
4.3.1 Cálculos de incertidumbre	30
4.4 Reservorios, Gases y Actividades Incluidas en el Nivel de Referencia de Emisiones Forestales por Deforestación.....	31
5. Bibliografía	33
6. Anexos.....	35
Anexo 1. Métodos utilizados para estimar los factores de emisión.....	35
6.1 Definiciones.....	35
6.1.1 Factores de emisión.....	35
6.1.2 Deforestación	35
6.1.3 Construcción del Nivel de Referencia de Emisiones Forestales por Deforestación del Ecuador. 35	
6.2 Opciones metodológicas.....	35
6.2.1 Ganancias y pérdidas de biomasa	35

Nivel de Referencia de Emisiones Forestales del Ecuador

6.2.2	Procedimientos para la estimación de biomasa y carbono en los distintos componentes del bosque	35
6.2.3	Incertidumbre en madera muerta y mejoras esperadas	38
6.2.4	Estimaciones de Carbono	40
Anexo 2. Resultado de degradación de bosque en dos zonas piloto del Ecuador		41
6.3	Antecedentes	41
6.4	Metodología	41
6.5	Resultados	42
6.6	Validación.....	42
6.7	Conclusiones y recomendaciones del estudio.	43
6.7.1	Conclusiones	43
6.7.2	Recomendaciones	43
Anexo 3. Plan de Mejoras Implementado en el Segundo Nivel de Referencia		44
6.8	Consideraciones sugeridas por los Expertos de la CMNUCC en la Evaluación Técnica y en el Proceso de Análisis y Consulta Internacional (ICA).	44
6.8.1	Inclusión de degradación	44
6.8.2	Mejoras en datos de actividad	44
6.8.3	Mejoras en factores de emisión	45
6.9	Mejoras incluidas en el presente nivel de referencia	45
6.9.1	Detección de deforestación	45
6.9.2	Degradación de bosques.....	46
6.9.3	Sistema de alertas tempranas (SATA)	46
Anexo 4. Plan de mejoras a futuro		47
6.10	Detección de la deforestación	47
6.10.1	Mejora 1. Pre-procesamiento.....	47
6.10.2	Mejora 2. Procesamiento- clasificación de imágenes:.....	47
6.10.3	Mejora 3. Control de calidad de clasificación	48
6.10.4	Mejora 4. Post-proceso	48
6.10.5	Mejora 5. Factores de emisión.....	48

Tablas

Tabla 1. Deforestación bruta periodos 2001-2018; 2009-2014	14
Tabla 2. Categorías de uso de la tierra del IPCC y Ecuador	15
Tabla 3. Deforestación bruta histórica en Ecuador por estrato de bosque	22
Tabla 4. Estimación de las existencias promedio de carbono utilizadas en el cálculo de los factores de emisión.	26
Tabla 5. Emisiones históricas estimadas de GEI de periodo 2001 - 2014.....	28
Tabla 6. Datos de Actividad históricos de deforestación y emisiones de GEI asociadas.....	28
Tabla 7. NREF-D estimado, incluyendo supuestos	30
Tabla 8. Incertidumbres en porcentaje estimados por sumidero de carbono en cada estrato del INF del Ecuador	30
Tabla 9. Emisiones de GEI (Gg CO ₂ eq) generadas por incendios forestales	31
Tabla 10. Ecuaciones alométricas utilizadas según tipos de ecosistemas para estimar la biomasa aérea en los árboles vivos según estratos de bosque identificados como parte de la ENF del Ecuador	36
Tabla 11. Ecuaciones para el cálculo de la biomasa aérea en palmas por género	37
Tabla 12. Número de parcelas o parcelas anidadas por sumidero de carbono en cada estrato del INF del Ecuador	40

Figuras

Figura 1. Límites geográficos del Ecuador Continental.....	10
Figura 2. SNMB parte de la visión del MRV doméstico planteado por el MAE.	12
Figura 3. Mosaico imágenes Landsat 4, 5, 7 de los años 1999-2000.....	16
Figura 4. Mosaico imágenes Landsat 4 y 5 año 1998-2001	16
Figura 5. Mapa del cambio en el uso de la tierra para el período 2001-2014.	19
Figura 6. Mapa de estratos potenciales de bosque del Ecuador continental.	21
Figura 7. Muestreo y diseño de Parcelas de la Evaluación Nacional Forestal	24
Figura 8. Representación del NREF-D periodo 2001 – 2014 de Ecuador y de los promedios de emisiones anuales en los periodos 2001 – 2008, y el periodo 2009 – 2014, asociado con la deforestación bruta media anual.....	29
Figura 9. Emisiones de GEI (Gg CO ₂ eq) generadas por incendios forestales	32

Acrónimos

AGP	Agroprecisión
BA.A	Biomasa aérea - árboles
BA.NA	Biomasa aérea - no árboles
BS.A	Biomasa subterránea - árboles
BS.NA	Biomasa subterránea - no árboles
CCT_AAAA-AAAA	Mapa de categorías de cambio de cobertura y uso de la tierra producido por el Ministerio de Medio Ambiente de Ecuador para el periodo AAAA-AAAA.
CH ₄	Metano
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático
CO ₂	Dióxido de carbono
COS	Carbono Orgánico del Suelo
CUS	Cambio de Uso del Suelo
DA	Datos de Actividad
DAP	Diámetro a la altura del pecho
ENF	Evaluación Nacional Forestal
EVI	Índice de Vegetación Mejorado
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FE	Factores de Emisión
GEE	Google Earth Engine
GEI	Gases de Efecto Invernadero
H	Hojarasca
HC	Altura comercial
HT	Altura total
IBI	Índice para Resaltar Áreas Urbanizadas
ICA	International Consultation and Analysis
INF	Inventario Nacional Forestal
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KfW	Banco Alemán de Desarrollo
MAE	Ministerio del Ambiente de Ecuador
MDH	Mapa de Deforestación Histórico
MEE	Mapa de Ecosistemas del Ecuador
MFS	Manejo Forestal Sustentable
MM	Madera Muerta
MM.C	Madera Muerta Caída
MM.P	Madera Muerta en Pie
MM.R	Madera Muerta Raíces
M-MRV	Monitoreo, Medición, Reporte y Verificación
MPFT	Mapa Potencial de Estratos de Bosque
MV	Mapa de Vegetación del Ecuador Continental

Nivel de Referencia de Emisiones Forestales del Ecuador

N ₂ O	Óxido Nitroso
NREF-D	Nivel de Referencia de Emisiones Forestales por Deforestación
PCB-REDD+	Programa de Conservación de Bosques y REDD+
REDD+	Reducción de emisiones por deforestación y degradación de los bosques, y la función de conservación, de reservorios de carbono, manejo sostenible de bosques e incrementos de contenidos de carbono de los bosques
RG.M	Raíces gruesas muertas
SAF	Sistema de Aprovechamiento Forestal
SAVI	Índice de Vegetación Ajustado al Suelo
SEPAL	System for Earth Observation Data Access, Processing and Analysis for Land Monitoring
USCUSS	Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura

1. Circunstancias nacionales

El Ecuador al ser un país en desarrollo (No-Anexo I) en el contexto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), no está obligado a reducir emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Sin embargo, está convencido de que su desarrollo debe abordar las prioridades del cambio climático, lo cual se concreta a través de la creación de una gobernanza pionera a nivel global por su enfoque holístico e innovador basado en la cosmovisión de nuestros pueblos ancestrales, conocida como el Sumak Kawsay o Buen Vivir. Para ello, la Carta Magna aprobada en el año 2008 se constituye sobre la base del cuidado a la naturaleza, y la conformación de un Estado plurinacional e intercultural. Bajo este marco, el Ecuador reconoce los derechos de la naturaleza en su Constitución. Asimismo, establece que el Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la gobernanza de sus recursos naturales y la mitigación del cambio climático restringiendo sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Todo esto orienta una planificación integral y de desarrollo sostenible a través del Plan Nacional de Desarrollo, lo que a su vez ha avanzado a la par con un fortalecimiento del marco regulatorio donde el Ministerio del Ambiente de Ecuador, como ente rector en cambio climático y gestión de los bosques ha desarrollado desde el año 2008, con miras a fortalecer el cumplimiento de los objetivos nacionales e internacionales.

La clara voluntad política del Ecuador para combatir el cambio climático y reducir las emisiones del sector forestal lo han posicionado como un país líder en la preparación e implementación para REDD+. Somos los primeros en contar con una cooperación no reembolsable y segundos en acceder a pagos por resultados por reducir la deforestación por parte del Fondo Verde para el Clima. La ejecución de medidas y acciones REDD+, se realizan a través del Programa Integral Amazónico de Conservación de Bosques y Producción Sostenible (PROAmazonía). Asimismo, se cuenta con pago por resultados de reducción de la deforestación de parte de Noruega y Alemania mediante el Programa REM. Esto representa un voto de confianza de la comunidad internacional en el modelo ecuatoriano.

El país cuenta con notables avances para acceder a pagos basados en resultados bajo la CMNUCC. Entre estos se destaca la presentación en el 2014 del primer Nivel de Referencia de Emisiones Forestales por Deforestación (NREF-D) del Ecuador con un alcance nacional. Este documento pasó por un proceso de Evaluación Técnica (Technical Assessment) por parte de los expertos de la CMNUCC en el año 2015, cuyo informe técnico menciona al NREF-D como consistente, coherente y transparente.

En el 2016, el Ministerio del Ambiente presentó el Primer Informe Bienal de Actualización del Ecuador a la CMNUCC, completándose con éxito el proceso de Consulta y Análisis Internacional (ICA, por sus siglas en inglés). En noviembre del mismo año se expidió la estrategia de REDD+ del Ecuador denominado Plan de Acción REDD+ “Bosques para el Buen Vivir”. Su enfoque nacional busca articular las medidas y acciones dentro y fuera de bosque, a las políticas, programas e iniciativas nacionales y locales, así como generar múltiples beneficios ambientales y sociales.

En el 2017, el Ecuador siguiendo las recomendaciones de los expertos que realizaron la Evaluación Técnica del NREF-D, así como las de los expertos del proceso ICA, inicia una etapa de fortalecimiento de capacidades y mejoras metodológicas para la generación de los insumos necesarios para construcción de un nuevo NREF-D, acorde con las guías de buenas prácticas de monitoreo forestal con el apoyo financiero de la Cooperación Alemana KfW a través del “Proyecto Fortalecimiento del Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques” del Programa Conservación de Bosques y REDD+ (PCB-REDD+), y con la asesoría técnica del equipo de especialistas de FAO que

Nivel de Referencia de Emisiones Forestales del Ecuador

desarrollan la herramienta System for Earth Observation Data Access, Processing and Analysis for Land Monitoring (SEPAL).

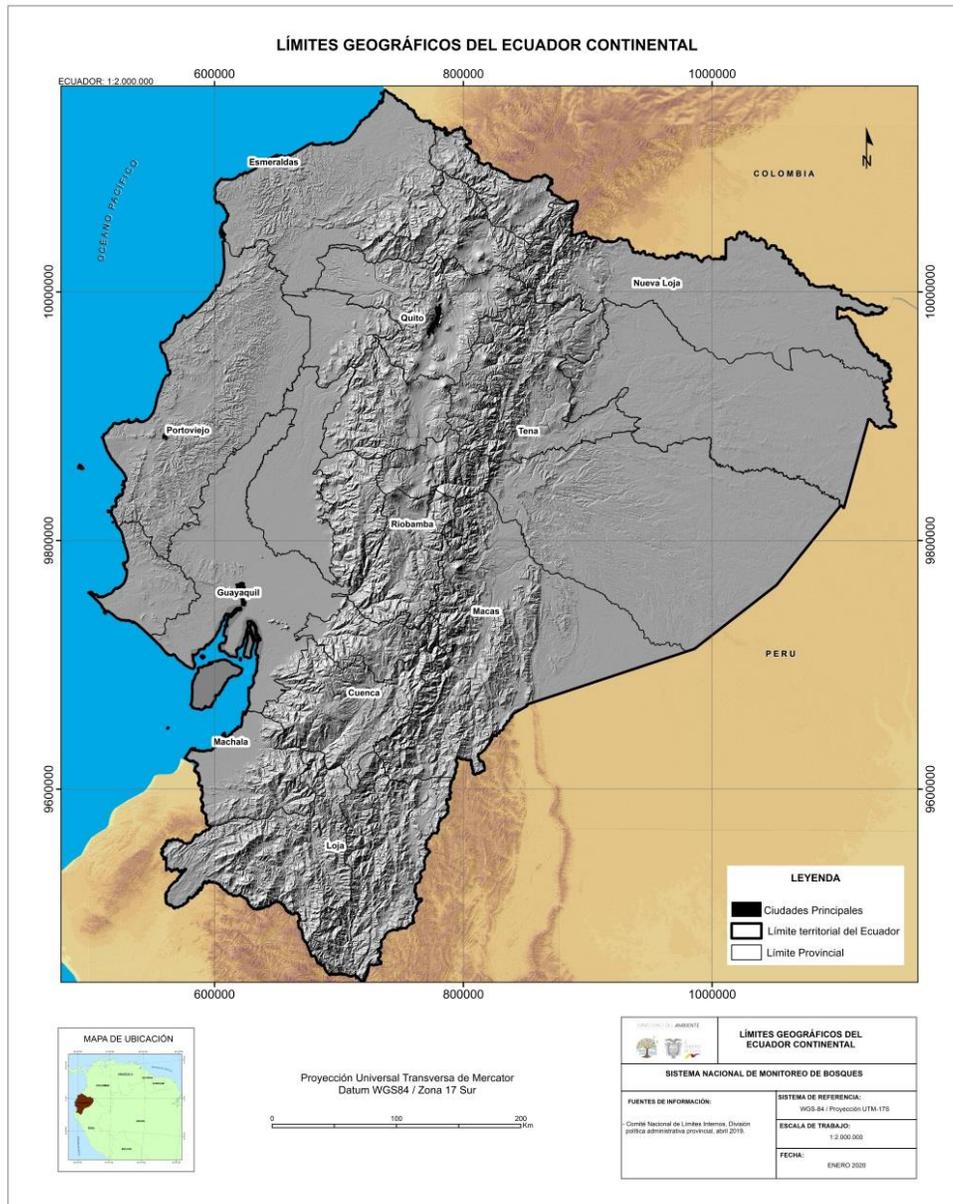
En este contexto, el Ecuador presenta su segundo Nivel de Referencia de Emisiones Forestales por Deforestación (NREF-D), para una evaluación técnica según las Decisiones 12/CP.17 y 13/CP.19 en el marco de REDD+, en virtud de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC), así como los insumos y la metodología empleada por el Ministerio del Ambiente de Ecuador (MAE).

La presentación del NREF-D y los resultados obtenidos de la reducción de emisiones a presentarse en el Segundo Anexo Técnico a partir de la implementación de REDD+, son voluntarios y exclusivamente con el fin de obtener y recibir pagos basados en los resultados, según las decisiones 9 /CP.19, 13/CP.19 y 14/CP.19.

2. Extensión Territorial del Ecuador Continental

El Ecuador comprende 24'898.221 hectáreas de su territorio continental, sin tomar en consideración las Islas Galápagos y otras islas pequeñas lejanas al límite costanero. Según datos oficiales del Mapa de Vegetación del Ecuador Continental (MV) realizado por el MAE, indica que la vegetación natural del Ecuador se compone de 91 ecosistemas naturales, de los cuales 65 corresponden a boscosos, 14 herbáceos y 12 arbustivos (MAE, 2018). La demarcación de jurisdicción oficial, se presenta en la Figura 1.

Figura 1. Límites geográficos del Ecuador Continental.



3. Información utilizada para la elaboración del Nivel de Referencia de Emisiones Forestales por Deforestación del Ecuador, periodo 2001 – 2014

Desde el año 2009 el Ecuador ha emprendido varios esfuerzos en favor de la medición, reporte y verificación de las distintas acciones relacionadas a la emisión y reducción de GEI y a la gestión del cambio climático en general. En el periodo 2009-2013 se generaron tres procesos importantes en el Ministerio del Ambiente que permitieron contar con información sobre el estado de los bosques:

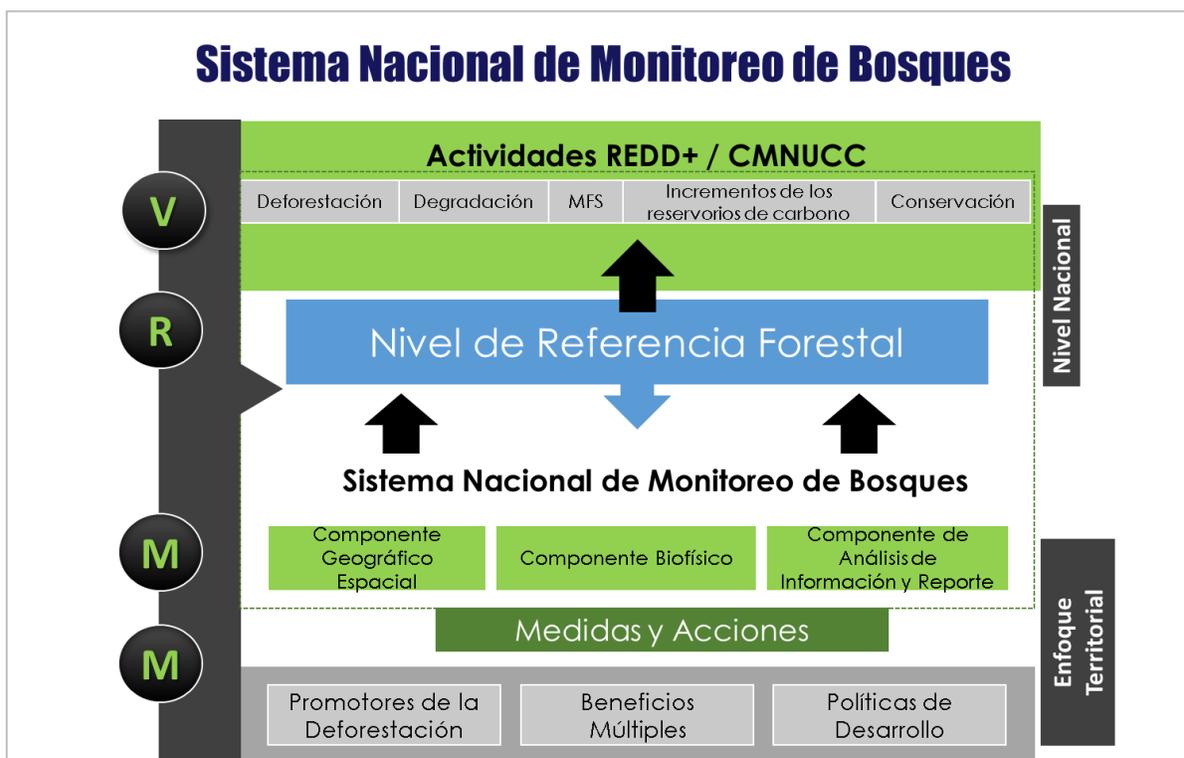
- **El Mapa de Deforestación Histórica (MDH)** del Ecuador continental (2009-2013), cuyo objetivo principal fue construir el escenario histórico de deforestación de forma espacialmente explícita a escala nacional; generando tasas de deforestación a partir una línea base de mapas de cobertura y uso de la tierra a escala 1:100.000 para los años de referencia de cobertura de la tierra 1990, 2000, 2000 y 2008.
- **El Mapa de Vegetación (MV)** del Ecuador Continental (2010-2013), orientado a generar información geográfica y biológica actualizada de los ecosistemas, identificando áreas prioritarias para conservación, restauración, y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales; generando el Sistema de Clasificación de Ecosistemas, el mapa de ecosistemas a escala 1:100.00 y diversos documentos metodológicos y coberturas secundarias sobre los factores diagnóstico (bioclima, geomorfología, biogeografía, etc.) inciden en la distribución espacial de los ecosistemas.
- **La Evaluación Nacional Forestal (ENF)**, proceso con enfoque multipropósito cuyos objetivos principales son, mejorar la gestión de sus bosques y a su vez, responder a los requerimientos para acceder a pagos basados en resultados bajo los mecanismos REDD+. La ENF cuenta con tres componentes, el Inventario Nacional Forestal, componente responsable del levantamiento de información en campo, el componente geográfico para desarrollo del mapa de carbono de los bosques y el componente socioeconómico cuyo objetivo principal es conocer la relación existente entre los bosques naturales y las poblaciones locales.

Las tres iniciativas mencionadas previamente, constituyeron la base para la construcción del actual Sistema Nacional de Monitoreo de los Bosques del Ecuador (SNMB)¹, que permite el seguimiento y reporte de actividades de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD+), e incorpora los procesos de Monitoreo, Medición, Reporte y Verificación (M-MRV).

El trabajo que se plantea actualmente en el Ministerio del Ambiente se enfoca en aplicar una visión integral de MRV doméstico conformado por subsistemas o módulos que trabajen dentro de una misma plataforma de gestión de información sobre cambio climático. Se espera promover la consistencia, sistematización, visualización de resultados y/o avances, evitando la doble contabilidad de emisiones/reducciones de GEI, en el caso de la mitigación al cambio climático, y el monitoreo de la reducción de vulnerabilidad sectorial/territorial o aumento de la resiliencia según sea el abordaje en adaptación al cambio climático.

¹ Acuerdo Ministerial 052, Directrices institucionales para el funcionamiento del Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques del Ecuador (SNMB)

Figura 2. SNMB parte de la visión del MRV doméstico planteado por el MAE.



El SNMB planteado por el Ecuador es robusto y transparente, permite determinar el estado de los bosques a través de indicadores de cambio de uso y cobertura, además del seguimiento y reporte de actividades REDD+. Este sistema incorpora procesos de Monitoreo y Medición, Reporte y Verificación (M-MRV) de acuerdo a sus circunstancias y capacidades nacionales, en línea con las directrices de la CMNUCC en el marco de REDD+.

El sistema permite conocer la efectividad de la implementación de las medidas y acciones articuladas a la conservación, al manejo forestal sostenible y a la restauración, mediante la consolidación de instancias de gestión a nivel sub-nacional, para un fortalecimiento de la gobernanza forestal a nivel de territorio. La información generada, además, proveerá insumos para el diseño e implementación de políticas de ordenamiento territorial y uso del suelo, gobernanza forestal y manejo de recursos naturales.

El sistema compuesto por tres componentes:

- **Componente Geográfico Espacial:** Este componente está orientado al monitoreo permanente del cambio del Patrimonio Forestal Nacional mediante el análisis espectral de los sensores remotos y la gestión de datos espaciales. Es el responsable de determinar las dinámicas espaciales de cambio de los ecosistemas, coberturas y uso de la tierra a mediano plazo; y de forma permanente, el seguimiento de las perturbaciones ambientales a través del procesamiento de alertas tempranas, con el uso de sensores remotos y otras técnicas geomáticas disponibles.

- **Componente Biofísico:** Este componente se encarga de detectar patrones de cambio en el Patrimonio Forestal Nacional mediante una colección continua de datos en campo, como el inventario nacional forestal, con base a muestras que incluye el levantamiento de información de flora y fauna, en coordinación con el Sistema Nacional de Monitoreo de la Biodiversidad. Es el responsable de proporcionar información desde el territorio, actualizada y periódica sobre los bosques y otros ecosistemas naturales, relacionados con variables biofísicas y socioambientales. Además, provee información sobre la administración y uso del patrimonio natural, y la interacción entre las poblaciones y los ecosistemas en los que habitan. La información es multipropósito y considera necesidades para la integración de otros campos temáticos, de acuerdo a requerimientos, y de cara a fortalecer la gestión del patrimonio natural del país.
- **Componente Análisis de Información y Reporte:** Este componente se encarga de la gestión, análisis estadístico y reportes de la información generada por los otros componentes para proporcionar información actualizada y precisa. Está orientado a entregar la información procesada y analizada en función de los requerimientos de los sistemas y las áreas internas del MAE (ej.: Nivel de referencia de Emisiones, Inventarios de Gases de Efecto Invernadero, Sistema de Aprovechamiento Forestal SAF, Base Nacional de Datos de Biodiversidad, etc.)

3.1 Actividades Incluidas en el Nivel de Referencia de Emisiones Forestales

El Nivel de Referencia de Emisiones Forestales por Deforestación incluye únicamente la actividad Deforestación Bruta.

Respecto a las actividades adicionales, el Ecuador menciona que se encuentra trabajando actualmente en la determinación de factores de emisión y metodologías costo – eficientes para el cálculo de datos de actividad para Degradación Forestal, por lo tanto, en la presentación actual no se incluirá a esta actividad para su reporte y contabilización de emisiones, sin embargo, se incluye en el Anexo 2 los resultados obtenidos en dos sitios piloto de un mismo estrato o tipo de bosque en la Amazonía (Bosque Siempre Verde de Tierras Bajas de la Amazonía), como una primera aproximación.

De manera similar, cabe aclarar que el NREF-D no incluye las actividades; Aumento de los Reservorios de Carbono, Conservación y Manejo Forestal Sostenible, por lo que la misma se considera una tasa bruta de deforestación en términos de área y emisiones.

3.2 Definición de Bosques del Ecuador

Se tomó en consideración la definición de bosques, propuesta en el Acuerdo Ministerial 116 del 7 de noviembre de 2016 (MAE, 2016). Esta definición es consistente con la definición de tierra forestal utilizada en el inventario nacional de gases de efecto invernadero.

Definición de bosques: Comunidad vegetal natural o cultivada de por lo menos una hectárea, con árboles de por lo menos cinco metros de altura y con un mínimo de treinta por ciento de cobertura de dosel o capa aérea vegetal. El bosque se puede diferenciar en bosque natural y plantaciones forestales.

Se incluye las áreas cubiertas de bambú y palmas nativas, siempre que estas alcancen el límite mínimo establecido en cuanto a área mínima, altura y cubierta de copas.

Se excluyen las formaciones de árboles utilizadas en sistemas de producción agrícola, por ejemplo plantaciones frutales, plantaciones de palma africana y sistemas agroforestales. Se excluyen también los árboles que crecen en parques y jardines urbanos.

3.3 Definición de Deforestación del Ecuador

Se tomó en consideración la definición de deforestación propuesta en el Acuerdo Ministerial 116 del 7 de noviembre de 2016 (MAE, 2016).

Definición de deforestación bruta: Es un proceso de conversión antrópica del bosque en otra cobertura y uso de la tierra; bajo los umbrales de altura, cobertura del dosel o área establecida en la definición de bosque en un periodo de tiempo, sin considerar áreas de regeneración durante el mismo periodo. El término excluye a las zonas de plantaciones forestales removidas como resultado de cosecha o tala y a las áreas en donde los árboles fueron extraídos a causa del aprovechamiento forestal, y en donde se espera que el bosque se regenere de manera natural o con la ayuda de técnicas silvícolas, a menos que el aprovechamiento vaya seguido de una tala de los árboles restantes para introducir usos de la tierra alternativos.

4. Construcción de la línea base de deforestación del Ecuador 2001 – 2014

Los datos de actividad se estimaron siguiendo el enfoque 3 como se describe en las Directrices del IPCC de 2006 sobre Agricultura, Silvicultura y otros usos de la Tierra (IPCC, 2006), este enfoque toma en cuenta el uso de la tierra y los datos de cambio de uso de la tierra de forma geográficamente explícita. Siguiendo este enfoque, se generó un mapa base de cobertura y uso de la tierra para el año 2000 de todo el territorio continental ecuatoriano. A partir del área de bosque nativo identificada, se generaron mapas de cambio de cobertura boscosa para los periodos 2001-2008 y 2009-2014.

Se asumió que el mapa base del año 2000 representa la situación del terreno hasta el 31 de diciembre del 2000. Las emisiones se empiezan a calcular desde el 1 de enero de 2001 hasta el 31 de diciembre de 2008 (8 años) y desde el 1 de enero de 2009 hasta el 31 de diciembre de 2014 (6 años).

La información metodológica utilizada para desarrollar los mapas está descrita en la sección 4.1.1 y se describen con más detalle en el documento "Protocolo metodológico para la generación de mapas de deforestación utilizando detección directa de cambios para el Ecuador continental". La información sobre la precisión e incertidumbre de los mapas de uso de la tierra se ha resumido en la sección 4.1.2.

Los datos de actividad se cuantificaron en función a la deforestación bruta, a partir del mapa que identifica los bosques del año 2000 (considerado como año base), asegurando que una vez que un área esté deforestada y posteriormente regenerada, esta será excluida de la contabilidad. El NREF-D periodo 2001-2014 se obtuvo del promedio de la deforestación bruta de los periodos 2001-2008 y 2009-2014 (Tabla 1), teniendo en cuenta un total de 14 años. Como resultado se obtuvo, la deforestación media anual del periodo 2001-2014 en 59.330 ha/año.

Tabla 1. Deforestación bruta periodos 2001-2018; 2009-2014

Periodo	Deforestación bruta (ha)	Años por periodo	Deforestación bruta promedio anual (ha/año)
2001-2008	497,985	8	62,248.07
2009-2014	332,637	6	55,439.45

4.1 Datos de Actividad

Para clasificar las categorías de cobertura y uso de la tierra del mapa base se empleó la leyenda que corresponde a las 6 categorías de uso de la tierra definidas por el IPCC (2003): bosque nativo, tierra agropecuaria, vegetación arbustiva y herbácea, cuerpo de agua, zona antrópica y otras tierras. Una comparación de la homologación realizada por el Ecuador, se describe en la Tabla 2.

En el caso de los mapas de cambios de cobertura del periodo 2001-2008 y 2009-2014 se consideraron las siguientes categorías: bosque estable, no bosque estable, deforestación y regeneración.

Tabla 2. Categorías de uso de la tierra del IPCC y Ecuador

Categorías de uso de la tierra IPCC 2006	Categorías de usos de la tierra homologadas por Ecuador
Tierras forestales	Bosque nativo
Tierras de cultivo	Tierra agropecuaria
Pastizales	Vegetación arbustiva y herbácea
Humedales	Cuerpo de agua
Asentamientos	Zona antrópica
Otras tierras	Otras tierras

Se diferenciaron las plantaciones forestales considerando que, por definición no se considera deforestación a la cosecha o tala de plantaciones.

4.1.1 Cálculo de los datos de actividad

Los insumos principales para la generación del mapa base del año 2000 y para los mapas de cambios 2001-2008 y 2009-2014 son las imágenes satelitales Landsat 4, 5, 7 y 8, de acuerdo a la disponibilidad e idoneidad de información para cada periodo. El pre-procesamiento y procesamiento se realizó en la plataforma SEPAL, la cual fue diseñada y es administrada por la FAO. Esta plataforma trabaja directamente desde la nube, utilizando datos de acceso libre y herramientas de código abierto (Open Foris, Gdal, etc.) para el procesamiento de datos.

La unidad mínima de mapeo con la que se generaron los mapas es de 1 hectárea, considerando la definición oficial de bosque del Ministerio del Ambiente de Ecuador, según el Acuerdo Ministerial 116.

Para conseguir mejores resultados en el procesamiento de la información se dividió el territorio del país en 7 eco-regiones, las mismas que presentan condiciones biofísicas similares u homogéneas, estas son: Amazonía, Andes del Sur, Chocó, Costa, Sierra, Vertiente Occidental y Vertiente Oriental.

A continuación, se presenta un resumen general de la metodología empleada:

4.1.1.1 Pre-procesamiento

Se generaron mosaicos anuales empleando como insumos imágenes satelitales Landsat, con corrección atmosférica de reflectancia superficial (Surface Reflectance) y se empleó la corrección de función de distribución de reflexión bidireccional en el punto más bajo de la superficie – BRDF (Roy et al 2016).

Como método para la creación de mosaicos se empleó el medoide, el cual utiliza una serie de imágenes encontrando el pixel de la serie que se encuentra a una distancia mínima del valor del pixel mediano (Flood 2013).

La plataforma SEPAL permite definir algunos parámetros para la creación de mosaicos, como: importancia del NDVI, definición de una fecha objetivo (esta se fijó como 31 de diciembre), creación de una máscara de nubes y definición de un área de influencia alrededor de las nubes, para eliminar pixeles con error. Estos parámetros fueron definidos para cada eco-región.

En los mosaicos de imágenes se eliminaron la mayor cantidad de nubes; la niebla y la bruma de ciertas áreas generaron errores de clasificación que posteriormente fueron depurados.

Debido a la presencia de nubes permanentes en el Ecuador, para la creación de los mosaicos anuales del mapa base, se seleccionaron imágenes de los años 1999 y 2000 (Figura 3). Como resultado de este proceso se obtuvo un 5% de zonas sin información. Para llenar estos vacíos de información se generaron mosaicos de los años 1998 y 2001 (Figura 4).

Figura 3. Mosaico imágenes Landsat 4, 5, 7 de los años 1999-2000

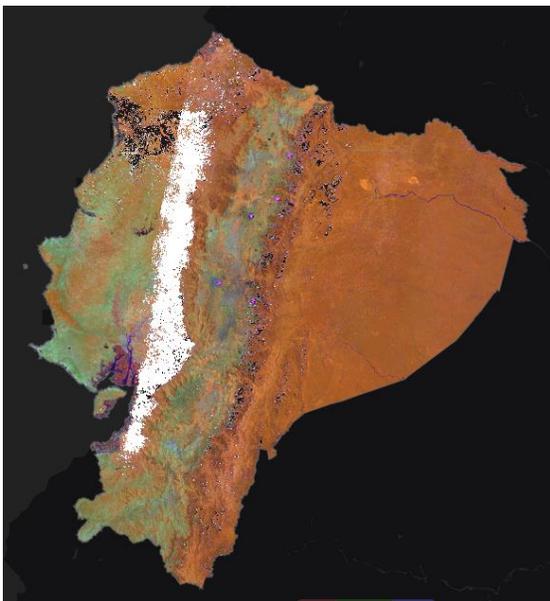
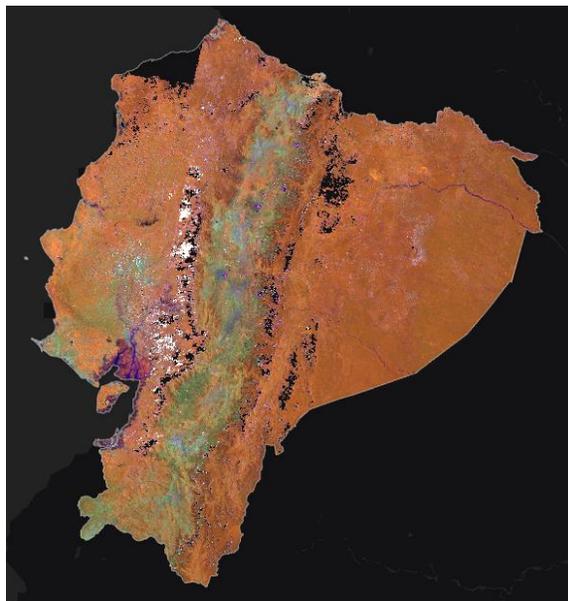


Figura 4. Mosaico imágenes Landsat 4 y 5 año 1998-2001



Bajo la misma consideración, con el objetivo de obtener el máximo porcentaje de áreas con información, para la detección de cambios de los periodos 2001-2008 y 2009-2014 se generaron mosaicos de ± 1 año de la fecha de referencia. Para el año 2008 en eco-regiones en las cuales existen gran cantidad de nubes se generaron mosaicos de ± 2 años, considerando que para este año solo existen disponibles imágenes Landsat 7.

4.1.1.2 Procesamiento:

Para realizar la clasificación de los mosaicos se empleó la herramienta de clasificación de la plataforma SEPAL, la cual emplea el algoritmo de random forest (Breiman 2001). Este algoritmo de aprendizaje automático requiere datos de referencia para entrenar el algoritmo y una serie de variables que se utilizan con el objetivo de generar predicciones de mapas.

Para la creación del mapa base, los puntos de entrenamiento fueron seleccionados por técnicos intérpretes con experiencia en la identificación de diferentes tipos de cobertura de la tierra del Ecuador tomando como referencia los mosaicos Landsat anuales. Se tomaron puntos de las 6 categorías del nivel 1 del IPCC, más plantación forestal.

En el caso de los mapas de cambios se tomaron puntos de entrenamiento de las siguientes clases: bosque estable, no bosque estable, deforestación y regeneración.

Como insumos de la clasificación, además de los puntos de entrenamiento generados, se emplearon varios índices derivados del mosaico de imágenes, en la plataforma SEPAL, como: EVI (índice de vegetación mejorado), SAVI (índice de vegetación ajustado al suelo), IBI (índice para resaltar áreas urbanizadas). Además, se emplearon bandas derivadas: brightness (relacionada con la reflectancia del suelo), greenness (reflectancia de la vegetación) y wetness (nivel de humedad).

Con esta información se realizó una primera clasificación, la misma que fue evaluada visualmente, para determinar zonas con mezcla o confusión entre las clases. Cuando existieron errores, se procedió con la inclusión de puntos de entrenamiento adicionales y se repitió la clasificación hasta conseguir el mejor resultado.

4.1.1.3 Edición visual mapa base:

El resultado del proceso de clasificación automática del mapa base fue depurado mediante edición visual, para eliminar zonas clasificadas erróneamente, debido a la presencia de sombras de nubes, neblina, zonas con topografía accidentada y cambios en la fenología de las coberturas. Para este proceso se contó con la participación de técnicos con amplia experiencia en la interpretación de cobertura en el país.

Como resultado de este proceso se obtuvo una máscara de bosque nativo de todo el territorio continental correspondiente al año 2000.

4.1.1.4 Edición visual de la detección de cambios:

El resultado del proceso de clasificación automática de cambios de cobertura para los periodos 2001-2008 y 2009-2014 fue combinado espacialmente con la máscara de bosque del año 2000, para identificar únicamente los cambios dentro de esta máscara. La Figura 5 muestra la información geográficamente explícita sobre el cambio en el uso de la tierra para el periodo 2001-2014

Los cambios fueron editados visualmente por los técnicos encargados de identificar los diferentes tipos de cobertura vegetal del Ecuador continental. Esto permitió asegurar que todas las transiciones de bosque tengan consistencia temática y temporal, eliminando los errores presentes en la clasificación automática. Este proceso requirió una gran cantidad de tiempo y experiencia en la interpretación de imágenes satelitales.

4.1.1.5 Control de calidad:

Para asegurar el control de calidad durante todo el proceso de generación de mapas, como parte del desarrollo de la metodología se incluye la documentación y el respaldo de todos los productos intermedios realizados. Esto significa que todos los procesos se encuentran debidamente

documentados y se cuenta con respaldo de los productos intermedios realizados. Esta información puede encontrarse en el siguiente link: <http://reddecuador.ambiente.gob.ec/redd/biblioteca/anexos-nivel-de-referencia/>

4.1.2 Cálculo de datos de actividad anual promedio

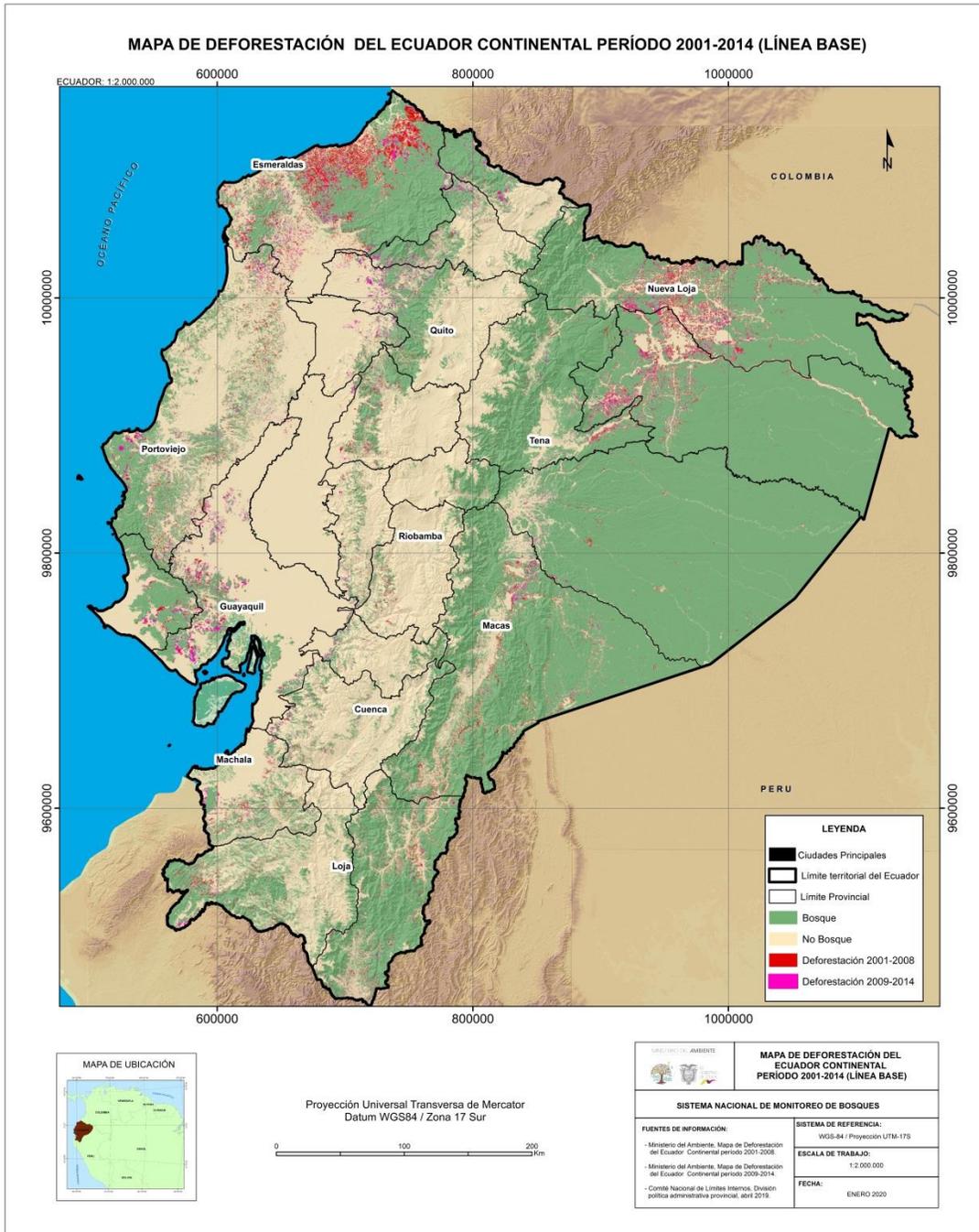
Los datos de actividad anual promedio estimados para la categoría Deforestación (*Def*) se calcula dividiendo los datos de actividad periódica (2001-2014) por el número de años transcurridos durante el período de referencia:

$$DA_{Def} = \frac{ADPH_{Def}}{TPH} \quad (1)$$

Donde:

DA_{Def}	Datos de actividad anual promedio según lo estimado para la deforestación <i>Def</i> en el período 2001-2014; ha año ⁻¹
$DAPH_{Def}$	Los datos de actividad estimados para la Deforestación <i>Def</i> en el período 2001-2014; ha
TPH	Duración del período línea base 2001-2014 (14 años); años
<i>Def</i>	Deforestación

Figura 5. Mapa del cambio en el uso de la tierra para el período 2001-2014.



4.1.3 Cálculo de los Datos de Actividad por tipo de bosque

Producto de la metodología aplicada para obtener los datos de la deforestación histórica se obtiene coberturas independientes por periodo de la deforestación detectada y cuantificada dentro de una máscara de bosque base del año 2000. Para obtener los datos de actividad por tipo de bosque o estratos, se combina espacialmente la deforestación de los periodos 2000-2008 y 2009-2014 y el mapa de estratos potenciales de bosque.

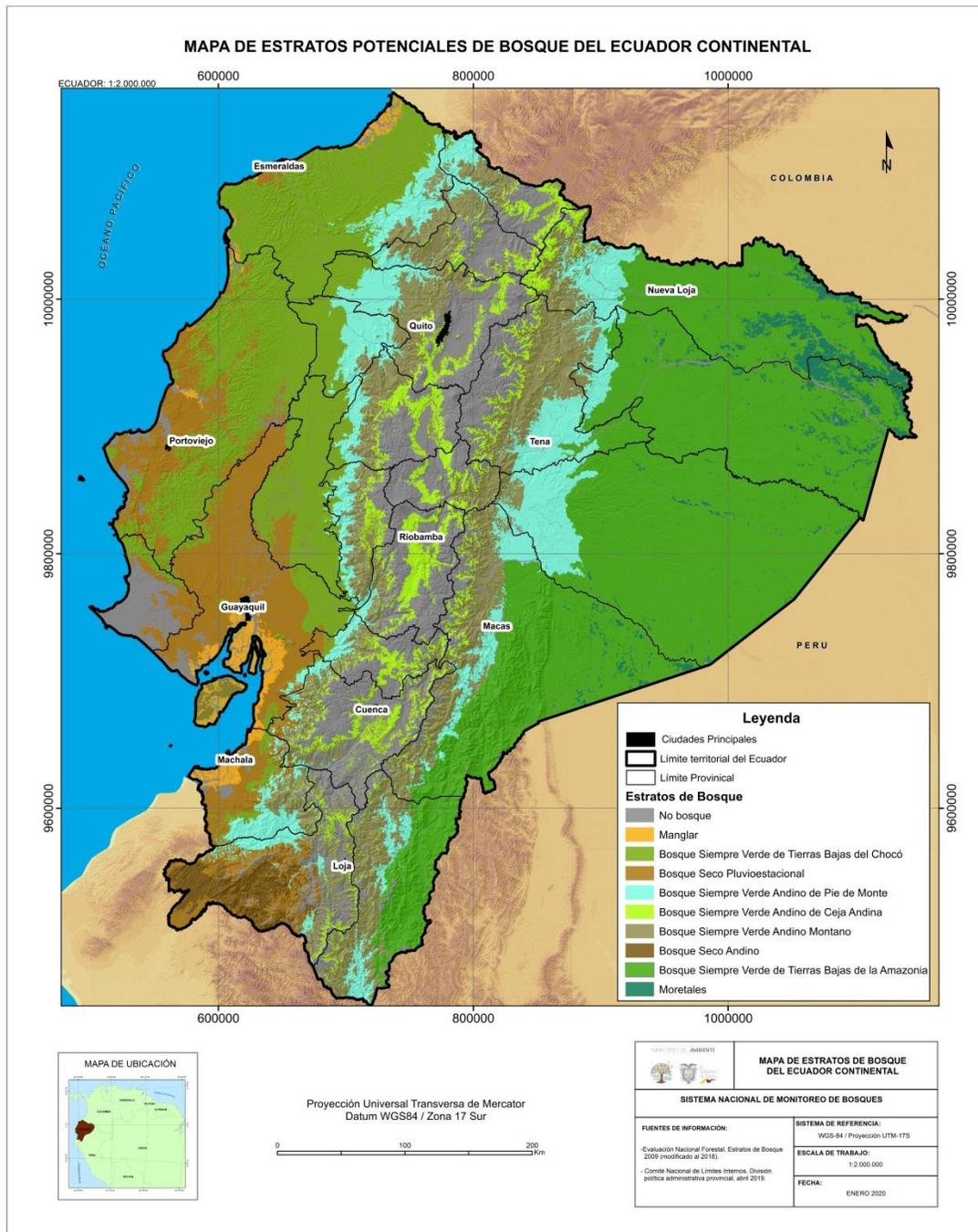
El mapa de estratos potenciales de bosque representa la clasificación de los tipos de bosque en base a criterios bioclimáticos y recomendaciones de expertos. La estimación de las áreas de bosque potencial representa una situación hipotética, sin influencia humana y la clasificación de este bosque potencial según los 9 estratos de bosque utilizados para la Evaluación Nacional Forestal (Figura 6). El empleo de este mapa permite que las áreas definidas como bosque en los mapas de cobertura y uso de la tierra tengan una correspondencia espacial con los 9 estratos de bosque.

Los datos de actividad para la construcción de la Línea Base de Ecuador se extrajeron de los mapas de cambio de uso de la tierra creados para los períodos 2001-2008 y 2009-2014 del Ecuador continental. Los archivos empleados se mencionan a continuación:

- CCT_2001_2008: Mapa de categorías de cambio de cobertura y uso de la tierra producido por el Ministerio de Medio Ambiente de Ecuador para el periodo 2001-2008.
- CCT_2009_2014: Mapa de categorías de cambio de cobertura y uso de la tierra producido por el Ministerio de Medio Ambiente de Ecuador para el periodo 2009-2014.
- MPFT: Mapa de estratos potenciales de bosque

Esta información está disponible en el siguiente link:
<http://reddecuador.ambiente.gob.ec/redd/biblioteca/anexos-nivel-de-referencia/>

Figura 6. Mapa de estratos potenciales de bosque del Ecuador continental.



La Tabla 3 muestra los datos de actividad por estrato de bosque, estimados para el NREF-D en hectáreas por año que fueron deforestadas entre 2001 y 2014.

Tabla 3. Deforestación bruta histórica en Ecuador por estrato de bosque

Categorías de tierras forestales convertidas a otros usos del suelo	Superficie de deforestación periodo 2001-2008	Superficie de deforestación periodo 2009-2014	Superficie de deforestación periodo 2001-2014	
	ha	ha	ha	ha año ⁻¹
Bosque Seco Andino	8,419.23	3,408.12	11,827.35	844.81
Bosque Seco Pluviestacional	46,340.46	57,843.99	104,184.45	7,441.75
Bosque Siempre Verde Andino Montano	43,432.02	40,126.23	83,558.25	5,968.45
Bosque Siempre Verde Andino Pie Montano	29,122.29	48,942.36	78,064.65	5,576.05
Bosque Siempre Verde Andino de Ceja Andina	15,202.98	11,513.07	26,716.05	1,908.29
Bosque Siempre Verde de Tierras Bajas de la Amazonía	171,456.84	86,002.02	257,458.86	18,389.92
Bosque Siempre Verde de Tierras Bajas del Chocó	176,844.96	82,346.58	259,191.54	18,513.68
Manglar	3,782.07	794.79	4,576.86	326.92
Moretal	3,383.73	1,659.51	5,043.24	360.23
Total deforestación bruta	497,984.58	332,636.67	830,621.25	59,330.09

4.1.4 Cálculo de exactitud de los datos de actividad estimados

La evaluación de la exactitud del mapa base del año 2000 y de los mapas de cambios de los periodos 2001-2008 y 2009-2014 fue realizada por la empresa consultora independiente Agroprecisión (AGP). La metodología empleada sigue las recomendaciones del documento de buenas prácticas para evaluación de la exactitud de mapas independientes y estimación de áreas de cambio de cobertura de la tierra presentada por Olofsson en 2013. Esta metodología emplea un muestreo aleatorio estratificado, además permite calcular áreas de cambio con ajustes de error, cálculos de exactitud total, usuario y productor, a través de matrices de confusión.

Para ejecutar la evaluación de exactitud, el Ministerio del Ambiente proporcionó acceso a las imágenes rapideye disponibles para el año 2014, así como a los mosaicos de imágenes Landsat de los años 2000, 2008 y 2014. Además, se utilizaron plataformas de acceso abierto como Google Earth y World Imagery de Esri en los sitios donde estaban disponibles. Los sensores de estas plataformas han sido utilizados para la interpretación de los puntos de muestreo puesto que permiten conocer las fechas de captura.

En el caso del mapa base del año 2000, se evaluó la exactitud de las 6 categorías de la leyenda. El resultado de exactitud global del mapa es de 87,46%. La metodología y resultados a detalle se

muestran en el “Informe de evaluación de exactitud independiente del mapa de cobertura y uso de la tierra del año 2000”².

En el caso de los mapas de cambios de los periodos 2001-2008 y 2009-2014, se evaluaron las clases: bosque estable, no bosque estable, deforestación y regeneración.

4.2 Factores de Emisión

Para estimar las emisiones históricas, Ecuador propuso multiplicar la deforestación bruta con Factores de Emisión específicos para cada estrato de bosque. La estratificación de los bosques para los Datos de Actividad y los Factores de Emisión es coherente con la estratificación utilizada en el inventario nacional de gases de efecto invernadero del año 2014. Los factores de emisión se calcularon siguiendo las Directrices del IPCC de 2006 sobre Agricultura, Silvicultura y otros usos de la Tierra, (IPCC, 2006).

Los Factores de Emisión, consisten en el stock de carbono asociado con el estrato de bosque. Además, se toma como supuesto que la biomasa inmediatamente después de la deforestación es cero. También, se supone una oxidación del 100% del carbono almacenado en madera muerta y hojarasca en el momento de la conversión. Esta suposición se hace dado que la información disponible sobre los contenidos de carbono del uso de la tierra después de la deforestación no es lo suficientemente precisa.

Los datos sobre las reservas de carbono forestales para los 9 estratos de bosques naturales, se obtuvieron de los resultados del Inventario Nacional Forestal de Ecuador (Evaluación Nacional Forestal, ENF 2011-2013), documento puede ser descargado en el siguiente link: <http://reddecuador.ambiente.gob.ec/redd/biblioteca/anexos-nivel-de-referencia/>. Los detalles sobre los métodos utilizados para recolectar medidas de campo y estimar las reservas de carbono se describen en el informe en el Anexo 1. Métodos utilizados para estimar los factores de emisión.

La ENF ha reportado cuatro reservorios de carbono forestal: biomasa aérea (BA); Biomasa subterránea (BS); Hojarasca (H); Madera muerta (MM) - que incluye los siguientes componentes: madera muerta en pie (MM.P); madera muerta caída (MM.C); y raíces gruesas muertas (RG.M). Las mediciones de campo se realizaron entre 2011 y 2013 y sus resultados han sido utilizados para estimar los factores de emisión en la construcción del NREF-D del Ecuador para la deforestación en el contexto de pagos basados en resultados de REDD+.

La información recopilada por la ENF se estructuró en el módulo Collect del software OpenForis; para llevar a cabo los cálculos, la información se dividió en cinco conjuntos de datos:

- Conjunto de datos a nivel de árboles individuales
- Conjunto de datos a nivel de parcela
- Conjunto de datos de información de hojarasca
- Conjunto de datos de madera muerta caída
- Conjunto de datos de sotobosque

Los conglomerados se diseñaron en forma de L (Figura 7) y la información se extrae de tres parcelas de cada conglomerado. Dentro de cada parcela, hay parcelas anidadas que se utilizan para recopilar información y mediciones de los diferentes depósitos de carbono establecidos por el IPCC

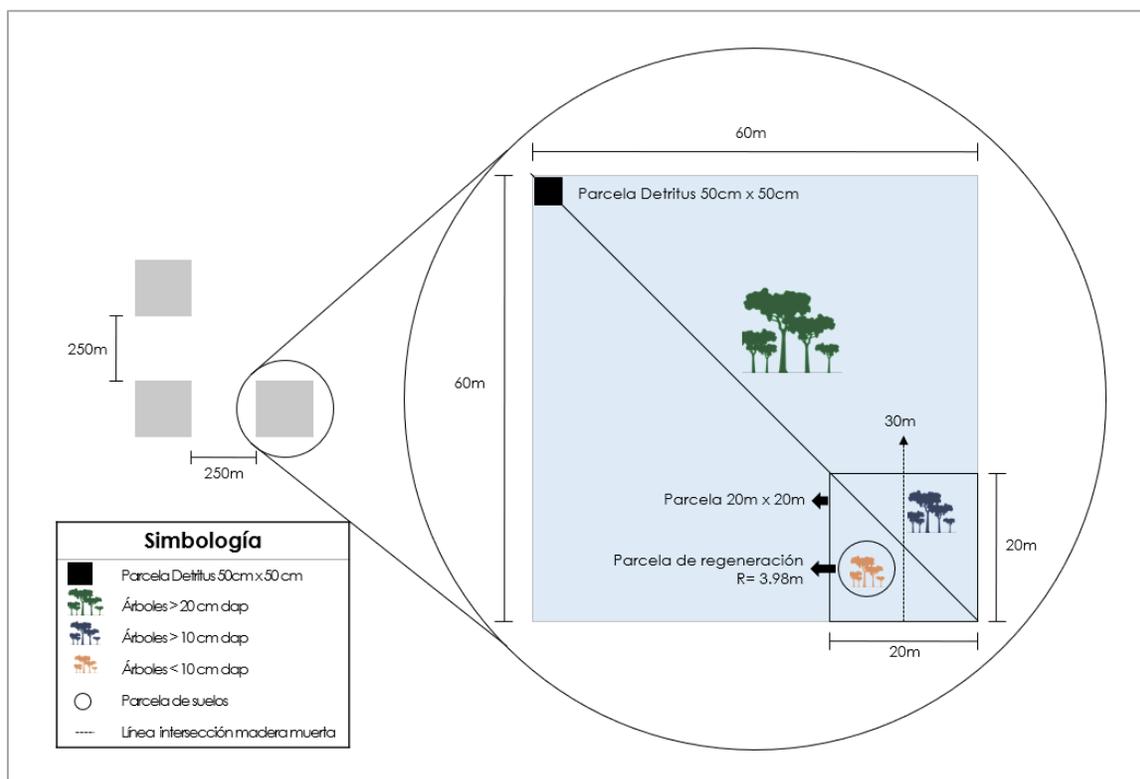
² El informe desarrollado por la AGP se encuentra disponible para su descarga en el siguiente link: <http://reddecuador.ambiente.gob.ec/redd/biblioteca/anexos-nivel-de-referencia/>

Nivel de Referencia de Emisiones Forestales del Ecuador

(versión revisada 1996): leña seca, hojarasca, sotobosque, biomasa aérea y materia orgánica del suelo. Las variables consideradas para cada reservorio son:

- Madera muerta: madera muerta caída con un DAP ≥ 10 cm.
- Hojarasca: Materia orgánica que se encuentra en el suelo con un diámetro inferior a 10 cm y superior a 2 mm.
- Árboles regenerados: árboles jóvenes con una altura superior a 30 cm y un DAP inferior a 5 cm (brinzales y plántulas).
- Biomasa viva con un DAP inferior a 5 cm: sotobosque; arbustos y árboles frutales leñosos; pastos, cultivos y pastos cultivados y naturales en la parcela de 2m x 2m, por el método destructivo.
- Árboles vivos, madera muerta y tocones: ubicación, identificación de árboles, DAP, altura total (HT), altura comercial (HC), estado fitosanitario, cobertura de copas, fenología y; uso, diámetro y estado de tocones. Los sujetos con un DAP mayor de 20 cm se consideraron en la parcela principal (60 mx 60 m), DAP de 10-20 cm en la parcela anidada de 20 m x 20 m. En el estrato boscoso perennifolio de Montaña Alta Andina, donde el tallo es principalmente pequeño, los sujetos se midieron en el rango de 5-20 cm DAP.
- Suelo: color, textura, estructura, pedregosidad, contenido de carbono, densidad aparente y profundidad orgánica del horizonte.

Figura 7. Muestreo y diseño de Parcelas de la Evaluación Nacional Forestal



Nivel de Referencia de Emisiones Forestales del Ecuador

Se puede encontrar información detallada sobre la metodología para estimar la biomasa y los factores de emisión en el archivo de los resultados de la ENF en la página 57.

Hasta el momento, la ENF de Ecuador no ha informado los resultados de las mediciones de las reservas de carbono orgánico del suelo (COS), aunque se han tomado muestras que se están analizando actualmente, si bien, durante la primera ENF se levantó información y estimaron los contenidos de carbono, Ecuador no dispone de datos precisos respecto a su dinámica frente a eventos de deforestación.

Actualmente el país, se encuentra en un segundo ciclo de levantamiento de información (Segunda Evaluación Nacional Forestal) en el que se considera de forma sistemática para el reservorio suelos, una vez finalizado estas actividades se podrá validar la información levantada por la primera ENF, y analizar esta información para ser incluida en un próximo reporte del Nivel de Referencia.

Información más detallada contiene el reporte “Carbono orgánico del suelo del Inventario Nacional Forestal” y que se encuentra listo para su descarga en el siguiente link: <http://reddecuador.ambiente.gob.ec/redd/biblioteca/anexos-nivel-de-referencia/>

La Tabla 4 presenta las existencias promedio estimadas de carbono, expresadas en toneladas de dióxido de carbono equivalente por hectárea (CO₂-e ha⁻¹).

Como los datos presentados en el informe de la ENF se expresan en toneladas de carbono por hectárea (tC ha⁻¹), fue necesario convertirlos en toneladas de dióxido de carbono equivalentes por hectárea (tCO₂-e ha⁻¹). Esta conversión consiste en una multiplicación por 44/12, como lo sugiere el IPCC.

Nivel de Referencia de Emisiones Forestales del Ecuador

Tabla 4. Estimación de las existencias promedio de carbono utilizadas en el cálculo de los factores de emisión.

Categoría de uso del suelo	Biomasa aérea		Biomasa subterránea		Madera muerta			Hojarasca	Total
	BA.A	BA.NA*	BS.A	BS.NA**	MM.P	MM.C	MM.R	H	SUM
Descripción	tCO ₂ -e ha ⁻¹								
B. Seco Andino	105.60	5.83	25.34	1.40	2.13	20.35	0.95	15.47	177.07
B. Seco Pluviestacional	91.67	5.46	22.00	1.31	1.50	7.59	0.77	6.82	137.12
B. Siempre verde andino Montano	296.60	15.25	71.17	3.66	21.27	28.12	10.12	8.87	455.06
B. Siempre verde andino Pie montano	267.45	11.92	64.20	2.86	15.44	76.01	7.22	7.92	453.02
B. Siempre verde andino de Ceja Andina	224.47	28.20	53.86	6.77	14.78	47.23	6.97	9.86	392.13
B. Siempre verde de tierras bajas de la Amazonía	396.44	13.68	95.15	3.28	15.40	48.84	7.41	11.26	591.45
B. Siempre verde de tierras bajas del Chocó	192.17	11.26	46.13	2.70	8.36	34.32	4.84	8.51	308.28
Manglar	183.77	70.33	44.11	-***	3.41	14.52	1.50	-	317.64
Moretal	181.28	9.46	43.52	2.27	4.55	24.27	2.16	12.72	280.24

* Sumidero de carbono en palmeras y sotobosque.

** Sumidero de carbono subterráneo basado en un factor de expansión de raíz para sotobosque y palmeras.

*** El factor de expansión de raíz no se aplicó en los estratos de manglar ya que el peso de la raíz se midió en el campo.

BA.A Biomasa Aérea Arbórea

BA.NA Biomasa Aérea No Arbórea

BS.A Biomasa Subterránea Arbórea

BS.NA Biomasa Subterránea No Arbórea

MM.P Madera Muerta en Pie

MM.C Madera Muerta Caída

MM.R Madera Muerta Raíces

H Hojarasca

4.2.1 Cálculo de los factores de emisión

Ecuador tomó en consideración la literatura existente del IPCC que guía a los países en la compilación de inventarios nacionales de gases de efecto invernadero para la estimación de factores de emisión en el contexto de la construcción del NREF-D. Por lo tanto, Ecuador describe a continuación el método elegido considerado el más apropiado para la elaboración del NREF-D.

Método aplicado para el cálculo de los factores de emisión en la construcción de la Línea Base de Deforestación bruta 2001 – 2014:

Este es el método más simple y conservador para calcular los factores de emisión. Supone que los factores de emisión son iguales al 100% de las reservas de carbono forestal anteriores a la deforestación:

$$FE_{Def} = \sum_{rc}^{RC} CF_{Src} \quad (2)$$

Donde:

FE_{Def}	Factor de emisión promedio estimado para la categoría Deforestación <i>Def</i> para el período 2001-2014; ha año ⁻¹
CF_{Src}	Existencias de carbono forestal en el reservorio de carbono <i>rc</i> de la categoría Deforestación <i>S</i> ; tCO ₂ -e ha ⁻¹
RC	Número de reservas de carbono incluidas en la estimación de los factores de emisión

4.3 Cálculo del Nivel de Referencia de Emisiones Forestales por Deforestación

El NREF-D se ha estimado como el promedio anual de emisiones de GEI derivadas de la deforestación del período 2001-2014. Período para el cual se generaron datos de actividad nacional. La herramienta desarrollada para estimar los cálculos de las emisiones puede encontrarse en el siguiente link y está listo para su descarga: <http://reddecuador.ambiente.gob.ec/redd/biblioteca/anexos-nivel-de-referencia/>

Para estimar las emisiones históricas, Ecuador propuso multiplicar la deforestación bruta de cada tipo de bosque con los factores de emisión específicos identificados de cada uno de los 9 estratos (Tabla 5). En este proceso se empleó como insumo los mapas de deforestación, en el cual se definen las áreas deforestadas para los periodos 2001-2008 y 2009-2014, y el mapa de estratos potenciales de bosque, esto permite relacionarlos con los factores de emisión generados por tipo de bosque con lo cual se determina la deforestación que se produjo por tipo de bosque.

La deforestación bruta promedio anual estimada para el período 2001-2014 (Tabla 6) es de 59.330 ha año⁻¹. Ecuador ha decidido utilizar las emisiones de GEI anuales promedio de la deforestación estimada para el período 2001-2014 en la construcción del NREF-D, para pagos basados en resultados de REDD+. En la parte inferior se describen los datos históricos:

Nivel de Referencia de Emisiones Forestales del Ecuador

Tabla 5. Emisiones históricas estimadas de GEI de periodo 2001 - 2014

Categorías de tierras forestales convertidas a otros usos del suelo	Factores de emisión (CO ₂ /ha) por tipo de bosque	Datos de actividad periodo 2001-2008 ha año ⁻¹	Emisiones (tCO ₂ /año) por deforestación de bosque natural (solo CO ₂) 2001-2008	Datos de actividad periodo 2009-2014 ha año ⁻¹	Emisiones (tCO ₂ /año) por deforestación de bosque natural (solo CO ₂) 2009-2014	Datos de actividad periodo 2001-2014 ha año ⁻¹	Emisiones (tCO ₂ /año) por deforestación de bosque natural (solo CO ₂) 2001-2014
B. Seco Andino	177.07	1,052.40	186,348.29	568.02	100,578.85	844.81	149,589.96
B. Seco Pluvioestacional	137.12	5,792.56	794,301.74	9,640.67	1,321,971.69	7,441.75	1,020,446.01
B. Siempre verde andino Montano	455.06	5,429.00	2,470,544.32	6,687.71	3,043,334.68	5,968.45	2,716,025.90
B. Siempre verde andino Pie montano	453.02	3,640.29	1,649,110.34	8,157.06	3,695,284.13	5,576.05	2,526,041.97
B. Siempre verde andino de Ceja Andina	392.13	1,900.37	745,200.42	1,918.85	752,444.11	1,908.29	748,304.86
B. Siempre verde de tierras bajas de la Amazonía	591.45	21,432.11	12,676,069.94	14,333.67	8,477,683.52	18,389.92	10,876,761.47
B. Siempre verde de tierras bajas del Chocó	308.28	22,105.62	6,814,755.90	13,724.43	4,230,989.24	18,513.68	5,707,427.33
Manglar	317.64	472.76	150,168.67	132.47	42,076.62	326.92	103,843.50
Moretal	280.24	422.97	118,532.23	276.59	77,510.29	360.23	100,951.40
Estimación del NREF-D		62,248.07	25,605,031.85	55,439.45	21,741,873.13	59,330.09	23,949,392.40

Las emisiones para el Nivel de Referencia de Emisiones Forestales por Deforestación para el periodo 2001-2014 se ha estimado 23,949,392.40 millones de tCO₂-eq. En la Figura 8 se aprecia la línea base, la cual será la línea de referencia en el tiempo para medir la reducción de emisiones en los periodos futuros.

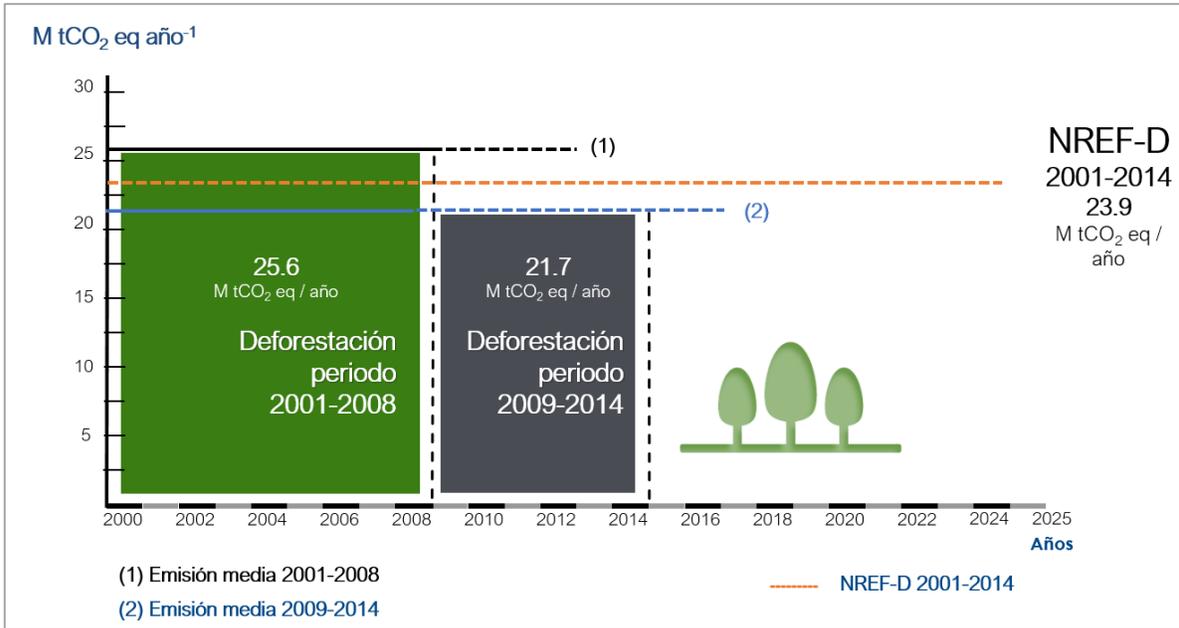
Tabla 6. Datos de Actividad históricos de deforestación y emisiones de GEI asociadas.

Periodo	Datos de Actividad Históricas		Emisiones históricas estimadas de GEI	
	ha	ha año ⁻¹	tCO ₂ -eq año ⁻¹	tCO ₂ -eq año ⁻¹ ha ⁻¹
2001-2008	497,984.58	62,248.07	25,605,031.85	411
2009-2014	332,636.67	55,439.45	21,741,873.13	392
2001-2014	830,621.25	59,330.09	23,949,392.40	404

La Tabla 6 refleja los valores de las emisiones históricas estimadas de GEI para los diferentes periodos 2001-2008; 2009-2014 y 2001-2014. En esta se puede apreciar que las estimaciones de las emisiones calculadas para el periodo 2001-2014 por hectárea y por año, fue de aproximadamente 404 tCO₂-eq.

Los resultados que se muestran en la Tabla 6, se pueden reproducir con la información proporcionada en la herramienta de cálculo, que está lista para su descarga en el link: <http://reddecuador.ambiente.gob.ec/redd/biblioteca/anexos-nivel-de-referencia/>

Figura 8. Representación del NREF-D periodo 2001 – 2014 de Ecuador y de los promedios de emisiones anuales en los periodos 2001 – 2008, y el periodo 2009 – 2014, asociado con la deforestación bruta media anual.



El método utilizado para calcular las emisiones promedio anuales de GEI por deforestación sigue la orientación genérica definida en IPCC GPG sobre USCUSS (2003), en términos de multiplicar los "datos de actividad" por un coeficiente de stock de carbono o "factor de emisión" para proporcionar las estimaciones de fuente/o sumidero, considerando todas las reservas de carbono relevantes y los cambios de uso del suelo de un tipo a otro. Este principio, como se presenta en la ecuación 3, sigue el enfoque de la ecuación 3.1.1 en IPCC GPG (IPCC 2003, página 3.16), donde FE_{Def} representa la suma de ganancias y pérdidas ocurridas durante el límite temporal para cada categoría de cambio de uso del suelo.

$$NREFD = \sum_{Def=1}^{CDef} (DA * FE_{lc}) \quad (3)$$

Donde:

$NREF-D_t$ NREF-D; tCO₂-e año⁻¹

Def Deforestación

$CDef$ Categoría deforestación

DA_{Def} Datos de actividad anual promedio según lo estimado para la categoría deforestación Def en el período 2001-2014; ha año⁻¹

FE_{Def} Factor de emisión estimado para la categoría Deforestación Def para el período 2001-2014; ha año⁻¹

Nivel de Referencia de Emisiones Forestales del Ecuador

Tabla 7. NREF-D estimado, incluyendo supuestos

Emisiones de GEI de actividades anteriores a 2001	Reservorios de carbono forestal	Reservas de carbono post-deforestación	NREF-D estimado		
			Periodo	tCO ₂ -e año ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹ año ⁻¹
Excluido	Incluido	Excluido	2001-2014	23,949,392.40	404 ⁽¹⁾

(1) El factor de emisión promedio se calcula dividiendo las emisiones anuales promedio por los datos de actividad anual promedio del período 2001-2014 (DA₂₀₀₁₋₂₀₁₄);

En la Tabla 7 se asume una oxidación inmediata del 100% de las reservas de carbono en todos los reservorios de carbono forestal en el año del cambio de uso de la tierra y se identifica el factor de emisión promedio ⁽¹⁾, el cual se calcula dividiendo las emisiones anuales promedio por los datos de actividad anual promedio del período 2001-2014.

4.3.1 Cálculos de incertidumbre

La estimación de los factores de emisión está asociada a las siguientes fuentes de incertidumbre, como valores de stock de biomasa predeterminados, parámetros por defecto, errores de muestra y sesgo inevitable de mediciones de campo, incertidumbre de parámetros asumidos conservadoramente, valores de incertidumbre no informados por el IPCC y variabilidad interanual afectando los cambios de existencias de biomasa.

En el caso de valores de stock de carbono producidos por ENF para los 9 estratos diferentes de bosques se calcularon las incertidumbres de los errores asociados con las estimaciones para los diferentes reservorios de carbono medidos por estrato de bosque. La mayor incertidumbre se asoció con las mediciones en el grupo de madera muerta.

Las reservas totales de carbono en los 9 estratos de bosques nativos inventariados (Tabla 8) tienen un valor de incertidumbre promedio de 10.25%.

Tabla 8. Incertidumbres en porcentaje estimados por sumidero de carbono en cada estrato del INF del Ecuador³

Estrato	Incertidumbre (%) C Aéreo	Incertidumbre (%) C en Raíces	Incertidumbre (%) C en Sotobosque	Incertidumbre (%) C en Madera caída	Incertidumbre (%) C en Hojarasca
B. Seco Andino	18.04	18.04	57.59	67.20	14.33
B. Seco Pluvioestacional	14.99	15.00	27.11	79.09	9.86
B. Siempre verde andino Montano	9.87	10.17	32.23	23.86	9.12
B. Siempre verde andino Pie montano	10.61	10.60	27.58	84.96	11.53
B. Siempre verde andino de Ceja Andina	24.36	26.18	34.32	45.20	11.80
B. Siempre verde de tierras bajas de la Amazonía	6.06	6.09	19.61	34.94	7.36
B. Siempre verde de tierras bajas del Chocó	8.97	8.99	22.43	24.13	6.89
Manglar	17.92	17.92	24.74	55.04	--*
Moretal	20.79	21.07	44.26	67.52	14.33

*-- En el estrato Manglar la estimación de Carbono en hojarasca no aplica.

³ Fuente: Anexo Cálculo_Incertidumbre_Combinada_USCUSS, INGEI 2017

4.4 Reservorios, Gases y Actividades Incluidas en el Nivel de Referencia de Emisiones Forestales por Deforestación

El presente informe ha incluido los siguientes reservorios y gases de GEI:

Reservorios de Carbono:

- Biomasa aérea arbórea y no arbórea
- Biomasa subterránea arbórea y no arbórea
- Madera muerta en pie, caída y en raíces gruesas muertas;
- Hojarasca

Gases de efecto invernadero

En relación a las emisiones de gases de efecto invernadero distintos del CO₂ el Ministerio del Ambiente cuenta con registros históricos no validados y certeros sobre incendios que se produzcan en tierras forestales gestionadas. De manera adicional, el Nivel de Referencia de Emisiones Forestales por Deforestación de Ecuador 2001-2014, incluye solamente las emisiones de CO₂ dada la escasez de datos precisos de las emisiones de gases distintos del CO₂.

Sin embargo, se ha realizado una recopilación de información que actualmente el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero ha desarrollado y que será reportado en la Cuarta Comunicación Nacional del Ecuador.

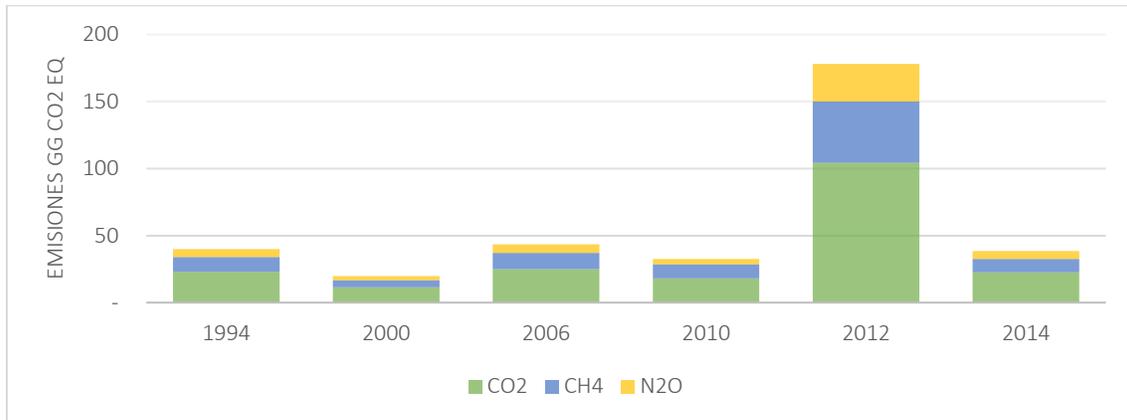
Según la información levantada por el Proyecto Cuarta Comunicación Nacional, manifiestan que los incendios forestales generan emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O, en la categoría “tierras forestales” se reporta el CO₂, mientras que en la categoría “quema de biomasa” se reporta se reporta el CH₄ y N₂O, en la Tabla 9 y Figura 9 se presenta la emisión total de los tres gases generadas por incendios forestales. No se evidencia una tendencia clara sobre las emisiones de GEI generadas por incendios forestales debido a que tienen una dinámica compleja, sin embargo, el año 2012 presenta los valores más altos de toda la serie histórica (178.17 Gg CO₂ eq)

Tabla 9. Emisiones de GEI (Gg CO₂ eq) generadas por incendios forestales

GEI	1994	2000	2006	2010	2012	2014
CO ₂	23.05	11.42	25.03	18.17	104.29	22.51
CH ₄	10.95	5.25	12.02	10.41	45.81	9.97
N ₂ O	5.92	2.99	6.38	4.06	28.07	6.03
Total	39.93	19.66	43.43	32.64	178.17	38.51

Fuente: Elaboración del Equipo del Proyecto 4CN/2IBA

Figura 9. Emisiones de GEI (Gg CO₂ eq) generadas por incendios forestales



Fuente: Elaboración del Equipo del Proyecto 4CN/2IBA

Las emisiones totales para el periodo 2001-2014 por incendios forestales en el Ecuador, es de aproximadamente 312,410 tCO₂ eq, que representa menos del 2% de las emisiones totales brutas, reflejadas en el presente nivel de referencia.

Ante estas circunstancias, se sugiere que las emisiones no son representativas y refleja mucha incertidumbre, por aquello, no han sido incorporados los datos a los cálculos finales.

5. Bibliografía

- AGP. (2020). Informe de evaluación de exactitud independiente del mapa de cobertura y uso de la tierra del año 2000. Quito
- BREIMAN. (2013). Leo. "Random forests." *Machine learning* 45, no. 1 (2001): 5-32.
- Brown J, Roussopoulos P (1974) Eliminating biases in the planar intersect method. En: *Forest Science*, 20(4): 350-356.
- Brown I, Nepstad D, Ires O, Luz L, Alechandre A (1992) Carbon storage and landuse in extractive reserves *Acre Environmental Conservation* 19: 307-315
- Cairns M, Brown S, Helmer E, Baumgardner G (1997) Root biomass allocation in the world's upland forests *Oecologia* 111(1): 1-11
- Chave J, Andalo C, Brown S, Cairns J, Chambers Q, Eamus D, Fölster H, Fromard F, Higuchi N, Kira T, Lescure J, Nelson B, Ogawa H, Puig H, Riéra B, Yamakura T (2005) Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests *Oecologia* 145:87-99 FCI. (2013). Review of the historical change and classification of forest areas of Ecuador. Vietman.
- FAO Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2014) Directrices voluntarias sobre monitoreo forestal nacional Roma Disponible en: <http://www.fao.org/forestry/38632-0b89fc0547b243713e7e5c6178c57a27.pdf>
- Global Forest Observation Initiative (GFOI), 201. Integrating remote-sensing and ground-based observations for estimation of emissions and removals of greenhouse gases in forests: Methods and Guidance from the Global Forest Observations Initiative: Pub: Group on Earth Observations, Geneva, Switzerland, 2014.
- Goodman R, Phillips O, Del Castillo Torres D, Freitas L, Cortese S, Monteagudo A, Baker T (2013) Amazon palm biomass and allometry *Forest Ecology and Management* 310: 994-1004
- IPCC. (2006). Intergovernmental Panel on Climate Change. Obtenido de Task Force on National Greenhouse Gas Inventories: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf.html>
- Harmon M, Sexton J (1996) Guidelines for measurements of woody detritus in forest ecosystems US LTER Publication No. 20 US LTER Network Office University of Washington, College of Forest Resources. Seattle US
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (eds. Eggleston, H.S. et al.). Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Japón.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2003. IPCC Good Practice Guidance for Land-Use, Land-use Change and Forestry. Available at: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf.html>

Nivel de Referencia de Emisiones Forestales del Ecuador

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land-use. Available at: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>
- MAE. (2012). Metodología para la Representación Cartográfica de los Ecosistemas del Ecuador Continental. Quito.
- MAE. (2014). Resultados de la Evaluación Nacional Forestal. Quito.
- MAE. (2015). Estadísticas del Patrimonio Natural. Estadísticas del Patrimonio Natural.
- MAE. (07 de 11 de 2016). Acuerdo Ministerial 116. Quito, Quito, Ecuador.
- MAE. (2016). Bosques para el Buen Vivir - Plan de Acción REDD+ Ecuador (2016-2025). Quito: graphus.
- MAE. (2020) Protocolo metodológico para la generación de mapas de deforestación utilizando detección directa de cambios para el Ecuador continental. Quito
- MAE. (2018). Estadísticas del Patrimonio Natural del Ecuador Continental. 12-15.
- Olofsson, P., Foody, G., Stehman, S., & Woodcock, C. (2013). Making better use of accuracy data in land change studies: Estimating accuracy and area and quantifying uncertainty using stratified estimation. *Remote sensing of environment*, 122-131.
- Roy, D. P., Wulder, M. A., Loveland, T. R., Woodcock, C. E., Allen, R. G., Anderson, M. C., ... & Scambos, T. A. (2014). Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote sensing of Environment*, 145, 154-172

6. Anexos

Anexo 1. Métodos utilizados para estimar los factores de emisión

6.1 Definiciones

6.1.1 Factores de emisión

Con la conversión del bosque a otro uso de la tierra se asume una pérdida del 100% de carbono en biomasa, madera muerta y hojarasca según lo sugerido por el IPCC.

6.1.2 Deforestación

Para la construcción de la Línea Base de Ecuador a nivel nacional, la deforestación bruta se define como un proceso de conversión antrópica del bosque en otra cobertura y uso de la tierra; bajo los umbrales de altura, cobertura del dosel o área establecida en la definición de bosque en un periodo de tiempo, sin considerar áreas de regeneración durante el mismo periodo. El término excluye a las zonas de plantaciones forestales removidas como resultado de cosecha o tala y a las áreas en donde los árboles fueron extraídos a causa del aprovechamiento forestal, y en donde se espera que el bosque se regenere de manera natural o con la ayuda de técnicas silvícolas, a menos que el aprovechamiento vaya seguido de una tala de los árboles restantes para introducir usos de la tierra alternativos⁴.

En el caso de la siguiente presentación se incluye únicamente las zonas deforestadas a partir de los bosques.

6.1.3 Construcción del Nivel de Referencia de Emisiones Forestales por Deforestación del Ecuador.

La oxidación inmediata de toda la materia orgánica se considera como una suposición conservadora predeterminada de acuerdo con el enfoque seguido en el cálculo del Inventario de Gases de Efecto Invernadero.

6.2 Opciones metodológicas

6.2.1 Ganancias y pérdidas de biomasa

Existencias de carbono antes de la deforestación

Una parte importante de las reservas totales de carbono, se emitirá en el año del evento de deforestación como resultado de las actividades de tala y quema que afectan parte de la biomasa viva total sobre el suelo (árboles y no árboles), madera muerta total (de pie, caído y bajo tierra), y la hojarasca existente en los estratos de bosque.

6.2.2 Procedimientos para la estimación de biomasa y carbono en los distintos componentes del bosque

La Biomasa de Árboles Vivos en Pie se calculó de diferentes formas para comparar los resultados finales y elegir el método de mejor ajuste. El método volumétrico utiliza una densidad específica para cada especie, un promedio para los géneros, un promedio para las familias, y un promedio ponderado para los demás individuos que no fueron identificados.

⁴ La definición de deforestación fue presentada en el Plan de Acción REDD+ (2016-2015) "Bosques para el Buen Vivir", oficializado mediante Acuerdo No. 116 del Ministerio del Ambiente, fecha 7 de noviembre de 2016.

Nivel de Referencia de Emisiones Forestales del Ecuador

Por otra parte, se asignaron ecuaciones a los datos de cada estrato según la clasificación de bosques de Chave et al. (2005), para la elección de las ecuaciones alométricas se buscó su equivalencia con las características climáticas de cada estrato de bosque considerado en la ENF (Tabla 10).

Tabla 10. Ecuaciones alométricas utilizadas según tipos de ecosistemas para estimar la biomasa aérea en los árboles vivos según estratos de bosque identificados como parte de la ENF del Ecuador

Estrato INF	Características ambientales (altura / precipitación)	Zona vida Chave et al. 2005	Ecuación*
B. Seco Andino	800-2600 msnm / < 1500 mm	Bosque Seco (1200-1700 mm precipitación y con más de 5 meses secos)	$Biomasa = (\rho * \exp(-0.667 + (1.784 * \ln(dap)) + (0.207 * (\ln(dap))^2 - 0.0281 * (\ln(dap))^3))$
B. Seco Pluvioestacional	0-700 msnm / < 1600 mm	Bosque Seco (1200-1700 mm precipitación y con más de 5 meses secos)	$Biomasa = (\rho * \exp(-0.667 + (1.784 * \ln(dap)) + (0.207 * (\ln(dap))^2 - 0.0281 * (\ln(dap))^3))$
B. Siempre verde andino Montano	1300-1800 msnm / promedio 2450 mm	Bosque Húmedo (1800-6000 mm precipitación con 1 a 5 meses secos)	$Biomasa = (\rho * \exp(-1.499 + (2.148 * \ln(dap)) + (0.207 * (\ln(dap))^2 - 0.0281 * (\ln(dap))^3))$
B. Siempre verde andino Pie montano	300-1500 msnm / promedio 3406 mm	Bosque Muy Húmedo (2335 - 3936 mm precipitación y sin meses secos)	$Biomasa = (\rho * \exp(-1.239 + (1.98 * \ln(dap)) + (0.207 * (\ln(dap))^2 - 0.0281 * (\ln(dap))^3))$
B. Siempre verde andino de Ceja Andina	1500-4000 msnm / > 2500 mm	Bosque Húmedo (1800-6000 mm precipitación con 1 a 5 meses secos)	$Biomasa = (\rho * \exp(-1.499 + (2.148 * \ln(dap)) + (0.207 * (\ln(dap))^2 - 0.0281 * (\ln(dap))^3))$
B. Siempre verde de tierras bajas de la Amazonía	150-1300 msnm / promedio 2835 mm	Bosque Húmedo (1800-6000 mm precipitación con 1 a 5 meses secos)	$Biomasa = (\rho * \exp(-1.499 + (2.148 * \ln(dap)) + (0.207 * (\ln(dap))^2 - 0.0281 * (\ln(dap))^3))$
B. Siempre verde de tierras bajas del Chocó	0-300 msnm / > 3500 mm	Bosque Húmedo (1800-6000 mm precipitación con 1 a 5 meses secos)	$Biomasa = (\rho * \exp(-1.499 + (2.148 * \ln(dap)) + (0.207 * (\ln(dap))^2 - 0.0281 * (\ln(dap))^3))$
Manglar	0-20 msnm	Bosque de Manglar 1800 – 3200 mm precipitación	$Biomasa = (\rho * \exp(-1.349 + (1.98 * \ln(dap)) + (0.207 * (\ln(dap))^2 - 0.0281 * (\ln(dap))^3))$
Moretal	40-300 msnm / > 3500 mm	Bosque Muy Húmedo (2335 - 3936 mm precipitación y sin meses secos)	$Biomasa = (\rho * \exp(-1.239 + (1.98 * \ln(dap)) + (0.207 * (\ln(dap))^2 - 0.0281 * (\ln(dap))^3))$

Mayor información se encuentra disponible en el archivo “Evaluación Nacional Forestal – Resultados” (MAE, 2014).

La estimación de carbono en la biomasa de los árboles vivos con DAP mayores a 10 cm, requirió las variables DAP (en cm) y densidad específica de la madera (ρ , en g cm-3).

Nivel de Referencia de Emisiones Forestales del Ecuador

La densidad de la madera (ρ) fue obtenida de la base mundial de densidades de madera de FAO (Zanne et al. 2009). Se otorgó un valor de densidad de madera a cada individuo según su especie. Para los individuos de cuyas especies no se poseía valor de densidad en la base de FAO, se utilizó el promedio del valor ρ por género o el valor promedio ρ por familia. Para los individuos cuyos valores de ρ por especie, género o familia no se encontraron en la base de FAO o cuyos individuos no pudieron ser identificados, se utilizó el valor de 0.52 g cm⁻³ que fue el valor promedio ponderado calculado en base al valor ρ de todas las especies presentes en el INF.

La estimación de la biomasa aérea en palmas empleó siete ecuaciones de (Goodman, 2013), una para la familia y seis ecuaciones específicas para géneros (Tabla 11).

Tabla 11. Ecuaciones para el cálculo de la biomasa aérea en palmas por género

Género	Ecuación
<i>Astrocaryum</i>	AGB= 21,302*Hc
<i>Attalea</i>	Ln(AGB)= 3,2579+1,1249*Ln(Hc+1)
<i>Euterpe</i>	AGB= -108,81+13,598*Hc
<i>Iriartea</i>	Ln(AGB)= -3,483+0,94371*Ln(dap ² *Hc)
<i>Mauritia</i>	Ln(AGB)= 2,4647+1,3777*Ln(Hc)
<i>Mauritiella</i>	AGB= 2,8662*Hc
<i>Oenocarpus</i>	Ln(AGB)=4,5496+0,1387*Hc

Biomasa aérea para la Familia Arecaceae (palmas):

$$\text{Ln (AGB)} = -3.3488 + 2.7483 * \text{Ln(dap)}$$

Biomasa en raíces de palmas:

$$\text{Ln (BGB)} = -0.3688 + 2.0106 * \text{Ln(Hc)}$$

La estimación de biomasa seca de los árboles muertos en pie, usó las ecuaciones alométricas de (Chave, y otros, 2005), según cada estrato y se asumió que todos los árboles muertos en pie se encontraban en descomposición, por lo que se aplicó un descuento, dividiendo a los árboles muertos en: muertos con ramas sin hojas y muertos sin ramas. Según varios autores (Brown et al. 1992; Saldarriaga et al. 1988 citados por Sarmiento et al. 2005) en bosques amazónicos el porcentaje de biomasa en ramas y hojas se encuentra entre 25 y 50% del total, por eso se procedió a descontar un 50% del peso de los árboles muertos sin ramas y un 25% a los árboles muertos con ramas. El promedio de densidad de madera utilizado es 0.52 g cm⁻³ (valor promedio para las especies no identificadas).

La madera muerta caída son restos de fustes o ramas sobre el suelo con DAP \geq 10 cm. El diseño de muestreo usa la intersección de líneas (Böhl y Brändli 2000 citando en MAE 2012). La estimación de carbono en la biomasa consideró el diámetro, largo de los árboles caídos y su ubicación dentro de la parcela de muestreo con lo cual se calculó el volumen mediante la ecuación de Brown y

Roussopoulos (1974) y la biomasa al multiplicar el volumen por el valor promedio de densidad de madera (0.52 g cm^{-3}); finalmente los valores fueron expandidos a una hectárea.

Se asumió que toda la madera caída está en proceso de descomposición, por lo que se aplicó un factor de descuento de 0.9 para madera en estado sólido, 0.5 para madera en proceso avanzado de descomposición y 0.15 para madera que se rompía con facilidad (MAE 2012); de acuerdo con las guías metodológicas para proyectos MDL (MDL AR-TOOL12) basadas en Harmon y Sexton (1996).

Los tocones son restos del aprovechamiento forestal que también fueron considerados dentro de las parcelas. En campo se midió el diámetro y la altura (MAE 2012); la biomasa del tocón se calculó con una ecuación volumétrica, dado que las ecuaciones de Chave et al. (2005) no permiten estimar biomasa en tocones. A la ecuación volumétrica se aplicó un factor de forma de 1, asumiendo que el tocón era un cilindro perfecto.

La hojarasca y detritus definidos como todo el material orgánico caído en el suelo inferior a 10 cm y mayor de 2 mm de diámetro (hojas, tallos, flores, frutos, hierbas muertas, cortezas); incluyendo el material orgánico existente en el horizonte orgánico del suelo, el cual se ubica sobre el horizonte mineral (mayor a 2 mm) (MAE 2012). En campo se pesó el material en fresco y se tomaron muestras de 0.5 kg en cada parcela, que fue enviada a laboratorio para estimar el peso seco de la biomasa.

La biomasa del sotobosque que se consideró como regeneración natural de todos aquellos árboles jóvenes mayores a 30 cm de altura y con DAP < 10 cm (MAE 2012), se la estimó a partir del corte y pesó fresco en campo de toda la biomasa presente en la parcela anidada. Seguidamente se colectaron muestras de la vegetación de 1 kg en cada parcela, que fue enviada a laboratorio para estimar el peso seco.

La biomasa de las raíces de los individuos vivos y muertos y de tocones (considerados en este estudio como si fuesen árboles vivos) se estimó multiplicando la biomasa aérea obtenida mediante las ecuaciones de Chave et al. (2005) tanto para árboles vivos como muertos por un factor de 0.24 (Cairns et al. 1997) para bosques tropicales. Mayor información se encuentra disponible en el archivo (MAE, Resultados de la Evaluación Nacional Forestal, 2014).

6.2.3 Incertidumbre en madera muerta y mejoras esperadas

Las maderas caídas muertas son restos o trozos de madera en el suelo del bosque con DAP ≥ 10 cm. Para recopilar información sobre la madera muerta caída, se utilizó un diseño de muestreo de líneas de intersección según lo propuesto por Bohl y Brändli 2000 (MAE 2012). Para el Inventario Forestal Nacional (ENF), se tomaron medidas en la primera franja de 30 m de la parcela de medición de 60 x 60 m. Para estimar el carbono en la biomasa, en el campo se tomaron medidas del diámetro y la longitud del tronco caído dentro de las parcelas de muestreo (MAE, 2012). El volumen se estimó aplicando la ecuación propuesta por Brown y Roussopoulos (1974) a los parámetros medidos para cada registro. La biomasa se calculó multiplicando el valor promedio de la densidad de la madera para todas las especies ($0,52 \text{ g cm}^{-3}$). La biomasa de madera muerta se obtuvo con la ecuación para calcular el volumen de madera muerta (las fórmulas se pueden ver a continuación)⁵.

⁵ Los valores se expandieron a estimaciones por hectárea

Fórmulas⁶ aplicadas para calcular el volumen y la biomasa en los diferentes componentes del ecosistema:

Volumen de madera caída:
$$V = \frac{\pi^2 \sum d^2}{8l}$$

Donde:

- V: volumen (m³ m⁻²)
- d: diámetro (m)
- l: longitud horizontal de la muestra (m)

Biomasa de madera muerta caída:
$$B = V * frd * p$$

Donde:

- B: biomasa (kg)
- V: Volumen de madera muerta caída
- frd: factor de reducción de densidad de madera
- p: densidad de madera

Biomasa de tocones:
$$B = \left(\frac{\pi}{4}\right) * ([d] * 0,001)^2 * [H] * p * Fft$$

Donde:

- B: biomasa (kg)
- d: diámetro del tocón (m)
- H: altura del tocón (m)
- Fft: factor de forma de altura total (1)
- p: densidad de madera (0,52 gm cm⁻³)

Se asumió que toda la madera caída está en descomposición, de modo que se aplica un factor de descuento (o factor de reducción de densidad) de 0,9 a toda la madera en estado sólido, se aplica un factor de 0,5 a la madera no sólida, es decir, madera a un nivel avanzado etapa de descomposición, y se aplica un factor de 0,15 para el material descompuesto del cual la madera se separó fácilmente (MAE 2012). Se sostuvieron discusiones con expertos locales para aplicar los factores anteriores al estado correcto de descomposición, guiados por la herramienta metodológica para CDM (CDM AR-TOOL12) basada en el trabajo de Harmon y Sexton (1996).

La información anterior explica la alta incertidumbre; por un lado, porque la parte metodológica solo considera los primeros treinta metros en la línea de intersección para calcular este sumidero, por otro lado, no hubo registro en aproximadamente el 60% de los lotes medidos en madera muerta. La segunda etapa del inventario completará las mediciones en las parcelas omitidas y proporcionará un mayor tamaño de muestra que se espera reduzca la incertidumbre en el futuro.

⁶ Ecuaciones tomadas de la Evaluación Nacional Forestal (MAE, 2012)

6.2.4 Estimaciones de Carbono

El cálculo de los contenidos de carbono se realizó utilizando los coeficientes sugeridos por el IPCC 2006, 0,44 para hojarasca, madera caída: 0,9 para troncos sin descomponer, 0,5 para descomposición intermedia y 0,15 para madera descompuesta).

Las estimaciones por estrato se realizaron por sumidero en forma independiente, calculándose primero el carbono total por parcela, y luego llevándolo a hectárea. Como los conglomerados contaban con distinto número de parcelas (Tabla 12), primero se estimó el promedio por hectárea y por conglomerado; a partir de estos promedios se calcularon las estimaciones por estrato y sus respectivos límites de confianza e incertidumbres.

Estas estimaciones de biomasa por sumidero fueron calculadas con distinto esfuerzo de muestreo, salvo para árboles vivos, muertos sin hojas, muertos sin ramas, raíces y tocones donde se cuenta con toda la información de las parcelas. Los demás sumideros tienen solo relevamientos en algunas de las parcelas (Tabla 12). Como procedimiento general, a nivel de parcela, se estimó el total de la biomasa en peso seco de cada componente del bosque (árboles vivos, árboles muertos en pie, madera caída, hojarasca y detritus, tocones, sotobosque y raíces vivas y muertas). La cantidad de biomasa en las parcelas se estimó en toneladas o mega gramos de carbono y se extrapolaron a una hectárea ($Mg\ ha^{-1}$).

Los estratos con mayor información para los sumideros sotobosque, madera caída y detritus son el 3 y el 6. En el caso del manglar no se registró hojarasca. Mayor información se encuentra disponible en el archivo (MAE, Resultados de la Evaluación Nacional Forestal, 2014)

Tabla 12. Número de parcelas o parcelas anidadas por sumidero de carbono en cada estrato del INF del Ecuador

Categorías de uso del suelo	Vivo	Muerto sin hojas	Muerto sin ramas	Tocón	Sotobosque	Detritus u Hojarasca	Madera caída
B. Seco Andino	105	105	105	105	31	80	7
B. Seco Pluvioestacional	151	151	151	151	108	108	13
B. Siempre verde andino Montano	312	312	312	312	274	249	129
B. Siempre verde andino Pie montano	175	175	175	175	142	114	60
B. Siempre verde andino de Ceja Andina	118	118	118	118	106	106	36
B. Siempre verde de tierras bajas de la Amazonía	432	432	432	432	285	270	217
B. Siempre verde de tierras bajas del Chocó	207	207	207	207	147	151	87
Manglar	87	87	87	87	55	0	11
Moretal	52	52	52	52	45	4	17

Anexo 2. Resultado de degradación de bosque en dos zonas piloto del Ecuador

6.3 Antecedentes

Como parte del Proyecto Fortalecimiento del Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques” del Programa Conservación de Bosques y REDD+ (PCB-REDD+), desarrollado con el apoyo financiero de la Cooperación Alemana KfW se desarrolló la consultoría “Desarrollo e implementación de la cadena de detección de la degradación en la Amazonía del Ecuador utilizando SEPAL”, la cual fue ejecutada por la Fundación Amigos de la Naturaleza (FAN)

El objetivo de la consultoría fue generar una cadena de detección de degradación e implementarla en dos áreas piloto del Ecuador: la provincia de Orellana y la provincia de Morona Santiago. El análisis se realizó en el estrato o tipo de Bosque Siempre Verde de Tierras Bajas de la Amazonía.

A continuación, se muestra un resumen de la metodología y resultados

6.4 Metodología

Para motivos del análisis se definió operativamente como bosques degradados a aquellas áreas de bosques que sufrieron intervención de tala selectiva de madera, y que tuvieron reducción en área de dosel de bosque por construcción de infraestructura de carreteras y patios.

Para la implementación de la cadena para el mapeo y monitoreo de perturbaciones en bosques asociados a la tala selectiva se emplearon como insumos imágenes de satélite de los sensores ópticos Landsat y Sentinel 2. Para el procesamiento se utilizó la plataforma GEE (Google Earth Engine), principalmente en la primera fase de calibración de umbrales de detección de perturbaciones por tala selectiva de madera, y los métodos que dieron mejores resultados con base a la información generada en campo migraron a la plataforma SEPAL en colaboración con la FAO.

La presencia de nubes en los sitios analizados no permitió realizar un análisis mensual o anual de las imágenes satelitales, por lo que se decidió realizar un análisis más complejo que incluye el procesamiento de toda la serie temporal de imágenes satelitales disponibles desde el 2000 al 2017.

Para el pre-procesamiento de imágenes se utilizaron varios algoritmos: para landsat 5 (TM) corrección atmosférica LEDAPS, SimpleCloudScore; para landsat 7 (ETM+) LEDAPS y CFMASK; para landsat 8 (OLI) corrección atmosférica LaSRC; Sentinel 2 (MSI) se utilizó “top of atmosphere” TOA, S6 para corrección de reflectancia de la superficie implementado en Google Earth Engine.

Para la detección de degradación se probaron varios algoritmos, para determinar cual genera mejores resultados. Estos algoritmos son:

Modelo de mezcla espectral ((MME) de pixel: Software en lenguaje IDL (desarrollado por investigadores de Brasil) que fue calibrado para para el cálculo de los índices espectrales de vegetación como: NDFI Índice de actividad fotosintética, NDVI: Índice de vegetación de Diferencia Normalizada, NBR: Coeficiente de quemas, EVI: Índice de Vegetación Mejorada, con los cuales fueron usados para generar la máscara de bosque.

Módulo de análisis de series temporales: Es el módulo de clasificación de la cadena de procesamiento, se desarrollaron 4 algoritmos: i) Median Absolute Deviation (MAD o DAM); ii) Delta NBR; iii) CODED; y iv) Landtrendr los cuales tienen en común el uso de la información temporal de los píxeles con observación de la superficie, los algoritmos DAM y Delta-NBR fueron los que presentaron los mejores resultados y los algoritmos Landtrendr y CODED tienen potencial para el monitoreo de la deforestación de bosques cerrados de Ecuador, más no para degradación.

El índice que dio mejores resultados para la detección de degradación en las zonas pilotos es el NDFI (Souza Jr., et al. 2005). y el algoritmo DAM se empleó para el análisis de series temporales.

La metodología incluyó trabajo de campo la cual consistió en la instalación de parcelas de muestreo para inventario de claros y tocones para calibrar los algoritmos de detección, lo cual incluyó 3 fases: Gabinete para caracterización de la selección de sitios de muestreo; trabajo de campo en el cual se instalaron de 63 parcelas de muestreo: 35 en Francisco Orellana, 26 en Morona Santiago y 2 en Esmeraldas y; Procesamiento y Análisis de datos que incluye estándares de evaluación y control de calidad (QA/QC).

En la calibración se registraron para los dos sitios 1927 tocones en los lugares de extracción de madera, las variables consideradas fueron: la apertura de copas, grado de pudrición de la madera categorizada por dureza de la misma y la detección de la dirección del derribe.

Para la calibración de algoritmos se diseñó un protocolo de mediciones de campo para la calibración del método de detección de extracción de madera, con lo cual se aplicó el producto de calibración y validación de los algoritmos seleccionados en GEE y probado su capacidad de detección de perturbaciones, se aplicó un control de calidad de los datos de campo, se utilizó las coordenadas geográficas de los tocones, y la dirección de caída del fuste, de acuerdo al estado sanitario de los tocones se determinó que la mayoría de extracción de madera ocurrió en los últimos 3 años por lo tanto se utilizó las imágenes entre 2016-2018.

6.5 Resultados

En la provincia de Morona Santiago se detectó una mayor superficie de degradación para los periodos analizados. Los años de 2013 y 2018 con 92 mil hectáreas y 132 mil hectáreas respectivamente, corresponden a los años con mayor degradación detectada. En la provincia de Francisco Orellana se detectaron 27 mil hectáreas y 66 mil hectáreas para los mismos años. Es importante resaltar que los valores altos de los años 2013 y 2017 responden a pixeles contaminados por la atmosfera.

En cuanto a la Integración de la cadena con SEPAL, los algoritmos fueron traducidos de lenguaje Java Script a Python, se desarrollaron los scripts más avanzados para el procesamiento de imágenes landsat y sentinel, y pruebas para la transferencia al equipo SEPAL.

6.6 Validación

Se utilizaron imágenes de alta resolución disponibles actualmente en Planet del año 2017, el número de muestras para los sitios de validación (formula de Olfsson 2014) necesarios fue de 103 con 97.5% de precisión general esperada se realizó la validación dentro de Collect Earth los resultados muestran un nivel de detección de la degradación forestal bajo debido al grado de perturbación por extracción de bajo impacto y a la disponibilidad de imágenes. Los valores para extracción reportados de exactitud global fueron de 49% para Morona Santiago y 53% para Francisco de Orellana (considerados de bajo impacto).

Pruebas metodológicas realizadas con otros sensores:

Se realizó un análisis con imágenes Planet siendo el nivel de detección relativamente mejor, para zonas con alta frecuencia de nubes es necesario generar mosaicos temporales mensuales. También se probó con datos radar (Sentinel 1), pero no se obtuvieron resultados satisfactorios, debido a que el nivel de detección de tala selectiva es bajo para estos sitios piloto.

6.7 Conclusiones y recomendaciones del estudio.

6.7.1 Conclusiones

Las perturbaciones en dosel de bosque amazónico en el Ecuador asociado a la tala selectiva son de bajo impacto y continuas a lo largo del año, es decir, las perturbaciones en el dosel son pequeñas y cierran rápidamente, la extracción de madera se concentra alrededor de áreas deforestadas, centros poblados y carreteras.

De acuerdo a la cadena de procesamiento para los sensores Landsat (5, 7 y 8) y Sentinel 2, los resultados con Landsat permitirán detectar cambios en los índices NDFI y NBR, con los algoritmos DAM y Delta NBR generando los mejores resultados, aunque la característica de tala selectiva de bajo impacto está limitando la detección de perturbaciones.

Se detectó disturbios de bajo impacto por tala selectiva en Landsat y Sentinel con los métodos implementados, pero la alta frecuencia de nubes limita su aplicación para el monitoreo de tala selectiva de madera siendo el nivel de detección de perturbación alrededor del 25% con Landsat, Sentinel 2 genera mejores resultados de detección, por lo tanto, ambos sensores ópticos deben ser utilizados para indicar áreas prioritarias para visitas de campo.

El análisis con imágenes Planet en cuanto al nivel de detección con interpretación visual es mejor, pero al tener un valor comercial es necesario primero realizar un análisis costo-beneficio, se probó además con datos radar de Sentinel 1 que atraviesan nubes, pero no fue posible detectar tala selectiva para Ecuador, un análisis exploratorio de esos datos en otros sitios de Ecuador indica que existiría un potencial uso de estas imágenes para monitoreo de cobertura de suelo y de la deforestación, pero eso aún necesita ser investigado.

6.7.2 Recomendaciones

Los datos Landsat y Sentinel 2 pueden ser usados como alerta de disturbios por tala selectiva. El uso de serie temporales es necesario para aumentar la capacidad de detección de cambios sutiles el dosel forestal. Los mosaicos semanales y bisemanales que enmascaran estos cambios, dificultan la detección. Por lo tanto, deben ser usadas todas las imágenes disponibles en algoritmos de series temporales.

Se recomienda que los análisis de imágenes satelitales de sensores ópticos sean utilizados para indicar las áreas que deben ser priorizadas para visitas de campo, para confirmar la degradación. Pero no se debe basar el monitoreo únicamente en el uso de imágenes satelitales.

Se recomienda complementar el protocolo de validación con datos de campo como alternativa a las imágenes de muy alta resolución. Si se pretende utilizar imágenes de muy alta resolución estas deberían tener un tamaño de píxel menor a 2 metros.

Para la implementación de un sistema de monitoreo de la degradación forestal es importante establecer claramente las áreas con permiso de estas actividades para poder determinar periodos de extracción que permitirían mejorar la detección de estas actividades.

Anexo 3. Plan de Mejoras Implementado en el Segundo Nivel de Referencia

6.8 Consideraciones sugeridas por los Expertos de la CMNUCC en la Evaluación Técnica y en el Proceso de Análisis y Consulta Internacional (ICA).

Ecuador con base en sus capacidades y circunstancias nacionales, presentó ante la CMNUCC el Nivel de Referencia de Emisiones Forestales por Deforestación (NREF-D) en diciembre de 2014, el cual pasó por una evaluación técnica de los expertos de ese organismo.

En las conclusiones del informe de la evaluación, el equipo evaluador (TA, por sus siglas en inglés) consideró que la información de datos de actividad y factores de emisión a nivel de tipo de bosque, en la construcción del NREF para la actividad de reducción de emisiones de la deforestación a nivel nacional fue completa, además se considera que esta información se ajusta principalmente a las directrices para la presentación de información sobre los NREF (que figura en el anexo de la decisión 12 / CP.17).

Sin embargo, el TA señaló algunas áreas para mejoras técnicas futuras relacionadas a mejoras metodológicas, descripción de datos, los reservorios y actividades a incluir en la construcción del nuevo NREF-D, que se mencionan a continuación y se abordan en el capítulo 6.9 “Mejoras incluidas en el presente nivel de referencia”:

6.8.1 Inclusión de degradación

Debido a la falta de información sobre las emisiones de degradación de bosque, el TA no pudo evaluar si esta actividad es significativa en términos de emisiones, y reconoce la intención de Ecuador de incluir la degradación forestal en construcción de futuros FREL cuando se conviertan en datos nuevos y adecuados y una mejor información disponible. Por esta razón, el AT considera la recolección de datos sobre la degradación forestal como un área importante para futuras mejoras técnicas. Si bien reconoce la dificultad de esta tarea, el equipo evaluador señala que el análisis de las posibles representaciones de la degradación forestal (por ejemplo, redes viales, estadísticas de cosecha, etc.) o el análisis de la degradación a escala sub nacional podría ser considerado por Ecuador como un paso intermedio hacia la estimación de las emisiones de degradación forestal a nivel nacional. Este análisis podría proporcionar información preliminar sobre las tendencias actuales y facilitar la comprensión de la relación entre la deforestación y degradación (incluido cualquier riesgo de desplazamiento de emisiones entre las actividades), así como como facilitar la evaluación de la importancia de la degradación forestal en cualquier futuro FREL sumisión (Párrafo 31 y 38 “Report on the technical assessment of the proposed forest reference emission level of Ecuador submitted in 2014”)

6.8.2 Mejoras en datos de actividad

El TA acoge la intención expresada por Ecuador de explorar las siguientes mejoras metodológicas potenciales relacionadas con los datos de actividad mediante la evaluación de las siguientes áreas, consideradas por la TA como prioridades para futuras mejoras técnicas (Párrafo 39 “Report on the technical assessment of the proposed forest reference emission level of Ecuador submitted in 2014”):

- a) Evaluar la clasificación directa de la deforestación mediante la comparación de imágenes compuestas multitemporales (potencialmente más precisas que la comparación de mapas estimados a partir de imágenes), al menos en áreas con condiciones ambientales homogéneas, llevando pruebas en diferentes regiones del país para determinar si esta metodología significa una mejora a la metodología anterior.

- b) Cálculo de la precisión de cambios en la cobertura terrestre, especialmente la deforestación.

6.8.3 Mejoras en factores de emisión

El TA acoge la intención expresada por Ecuador de explorar Inclusión del reservorio de suelo y otros de efecto invernadero diferentes al CO₂, tratamiento diferencial de los boques menores a 10 años, tanto en su detección como en su densidad de carbono y estado sucesional (Párrafos 20, 22, 31, 36 y 37 “Report on the technical assessment of the proposed forest reference emission level of Ecuador submitted in 2014”).

6.9 Mejoras incluidas en el presente nivel de referencia

El Ecuador cuenta con un sistema de monitoreo de bosques robusto y transparente, para determinar el estado de los bosques a través de indicadores de cambio de uso y cobertura, uno de los objetivos del sistema es implementar mejoras en la metodología, que permita contar con datos más precisos y ser más eficiente en el proceso de obtención de datos de actividad.

En los últimos años han existido avances tecnológicos en el procesamiento de información geográfica, como las plataformas de procesamiento de imágenes satelitales en la nube como Google Earth Engine y SEPAL. Además, existen nuevos insumos de libre acceso como Landsat 8, Sentinel 1 y 2. Esto ha permitido que se puedan implementar mejoras en la generación de los datos de actividad del Ecuador.

Con este antecedente, el Ministerio del Ambiente (MAE) con el apoyo financiero del Programa Conservación de Bosques y REDD+ (PCB REDD+) que fue creado como apoyo por parte de la Cooperación Financiera Alemana (KfW), implementa el “Proyecto Fortalecimiento del Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques”, con lo cual se están desarrollando las siguientes consultorías:

- Desarrollo e implementación de las cadenas de pre-procesamiento y de procesamiento del cambio de cobertura y uso del suelo del Ecuador en el System for Earth Observation Data Access, Processing and Analysis for Land Monitoring (SEPAL).
- Desarrollo e implementación de la cadena de detección de la degradación en la Amazonía del Ecuador utilizando el System for Earth Observation Data Access, Processing and Analysis for Land Monitoring (SEPAL)”.
- Desarrollo e implementación piloto del Sistema de Alertas Tempranas (SATA) del Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques del Ecuador Las mejoras metodológicas planteadas se resumen a continuación

A continuación, se presentan las principales mejoras metodológicas incluidas en el segundo nivel de referencia en base a los resultados de las consultorías antes mencionadas:

6.9.1 Detección de deforestación

Las mejoras referentes a la detección de deforestación implementadas son:

- Cadena de preprocesamiento de imágenes satelitales gratuitas de forma automatizada en SEPAL (System for Earth Observation Data Access, Processing and Analysis for Land Monitoring)⁷ que permita correcciones topográficas, radiométricas y atmosféricas. Con lo cual se generaron mosaicos anuales para cada ecoregión del país.

⁷ El sistema SEPAL es diseñado por la FAO con colaboración del Gobierno de Noruega, KSAT, AMA, USGS, Comisión Europea, entre otros, para facilitar el acceso y procesamiento de las imágenes satelitales con la finalidad

Nivel de Referencia de Emisiones Forestales del Ecuador

- Definición de una máscara de bosque del año 2000, que permita identificar únicamente la deforestación bruta.
- Clasificación directa de la deforestación mediante la comparación de imágenes compuestas multitemporales, empleando el algoritmo random forest. En el cual se incluyeron índices de vegetación y bandas derivadas de los mosaicos anuales.
- Cálculo de la precisión de cambios en la cobertura de la tierra, en base a una metodología que sigue las recomendaciones del documento de buenas prácticas para evaluación de la exactitud de mapas independientes y estimación de áreas de cambio de cobertura de la tierra (Olofsson et al, 2013)

6.9.2 Degradación de bosques

Al momento la única actividad de reporte es la deforestación, sin embargo, se considera importante generar datos que permitan entender los procesos de degradación en bosques, por lo cual se han realizado talleres y reuniones técnicas para conceptualizar la degradación forestal bajo la coordinación del Ministerio del Ambiente del Ecuador y el apoyo del Proyecto Apoyo Especifico ONU-REDD FAO (TS ONU-REDD). Además, se realizó el análisis de la metodología para calcular degradación en 2 zonas piloto, de la Amazonía: la provincia de Orellana y la provincia de Morona-Santiago.

Como resultado de este análisis se cuenta con una cadena de procesamiento de degradación con imágenes satelitales Landsat (5, 7 y 8) y Sentinel (1 y 2). Los resultados del procesamiento en las dos zonas piloto se muestran en el Anexo 2.

Se debe considerar que los resultados generados en las zonas piloto corresponden al estrato de bosque Tierras Bajas de la Amazonia y el Ecuador tiene 9 estratos, de diferentes características, por lo cual el país no tiene aún la información suficiente para incluir a la degradación como una nueva actividad.

6.9.3 Sistema de alertas tempranas (SATA)

El control forestal es una de las competencias del Ministerio del Ambiente, que tiene como finalidad proteger el patrimonio forestal nacional. Realizar este control implica una serie de actividades en territorio, lo cual involucra un gran esfuerzo en tiempo y recursos. Tomando en cuenta esta situación, se ha visto la necesidad de contar con un sistema de alerta temprana, que en base a la información de sensores remotos permita identificar amenazas en un corto tiempo, de manera que el control en campo sea más eficiente.

Como resultado de la consultoría SATA se tienen los siguientes resultados:

- Cadena de procesamiento de alertas tempranas empleando como insumos imágenes satelitales Landsat 8 y Sentinel 1, 2.
- Implementación de la cadena de procesamiento en 3 provincias de la Amazonía del Ecuador: Orellana, Morona Santiago y Pichincha.
- Generación de un modelo de gestión de alertas tempranas en territorio.
- El análisis piloto permitió identificar las fortalezas y debilidades de la implementación de este sistema, para que en un futuro se convierta en una herramienta que apoye a la reducción de la deforestación.

de obtener productos que indiquen el estado de la cobertura forestal y contribuir a fortalecer el monitoreo del bosque relacionado con las actividades REDD+

Anexo 4. Plan de mejoras a futuro

6.10 Detección de la deforestación

6.10.1 Mejora 1. Pre-procesamiento

El Ecuador continental, a pesar de ser un país pequeño por encontrarse en la región tropical del planeta, presenta constante nubosidad sobre su territorio. Adicionalmente, las regiones naturales de nuestro país poseen comportamientos atmosféricos locales muy complejos por lo que en muchas zonas hay escasa información durante todo el año.

Es un verdadero reto encontrar datos de sensores remotos pasivos en algunas zonas denominadas como pie de monte (zonas de transición de llanuras bajas a la cordillera de Los Andes) por sus características geomorfológicas y climáticas.

Para la generación de los datos de actividad se dividió el territorio ecuatoriano en las denominadas “eco-regiones” las mismas que comprenden zonas de características homogéneas en altitud, fenología vegetal y geomorfología. No obstante, a pesar que el territorio fue parcelado en diferentes eco-regiones, éstas presentan internamente comportamientos atmosféricos locales que no permiten obtener buenos datos de una serie de imágenes de satélite.

Por lo expuesto se propone analizar el área que ocupa cada eco-región y subdividirla en función de cada período, dependiendo de la disponibilidad de imágenes libres o con baja nubosidad. Así como buscar escenas (fechas) en donde las condiciones atmosféricas permitan la observación de la superficie de la tierra para una parte de cada eco-región; eligiéndose las mejores fechas para minimizar la presencia de nubes y bruma, mejorando los mosaicos de imágenes que son utilizados como insumos para el método de clasificación directa de cambios.

La búsqueda de las mejores escenas para cada eco-región se puede hacer mediante la aplicación de un código en la plataforma Google Earth Engine.

6.10.2 Mejora 2. Procesamiento- clasificación de imágenes:

Gran parte de la calidad del resultado de una clasificación de imágenes de satélite depende de la prolijidad con que se interpreten los puntos de muestreo o las áreas de interés (ROI) con los que un clasificador trabaja para determinar la separación espectral de las imágenes. En función de la escala determinada para el proyecto se debe definir una cantidad aproximada de puntos de muestreo de la imagen según el método escogido.

Se propone realizar pruebas de clasificación con puntos de muestreo que deben ser predefinidos para cada eco-región y no deberían ser modificados en su ubicación (coordenadas) en los periodos de análisis. De esta forma se pueden hacer comparaciones entre diferentes periodos para poder validar los cambios en la cobertura de la superficie terrestre.

Los puntos de muestreo podrían ser colocados por un muestreo sistemático, permitiría evitar que se coloquen puntos según el criterio del técnico que interpreta la imagen. Los puntos predefinidos deberían ser interpretados según donde se ubiquen, así estén en sitios sin información por la presencia de nubes o sombras. Los puntos deberían mantener su ubicación para todos los periodos de análisis.

Para la detección de cambios se definieron cuatro clases: Bosque, No Bosque Estable, Deforestación, Regeneración. Se propone realizar pruebas con mayores subdivisiones en la leyenda, para verificar si esto permite identificar mejor los cambios.

6.10.3 Mejora 3. Control de calidad de clasificación

Actualmente el clasificador de imágenes corresponde al algoritmo random forest (Breiman 2001), que se encuentra en la plataforma SEPAL (System for Earth Observation Data Access, Processing and Analysis for Land Monitoring), la misma que es administrada por la FAO.

Para que un algoritmo de clasificación genere buenos resultados es necesario que todos los insumos previos sean lo más precisos y exactos posibles, ya que luego de la clasificación, el proceso de post-procesamiento de una clasificación puede requerir mucho tiempo y generar la acumulación de errores.

El incorporar una matriz de confusión para visualizar las clases en las que el algoritmo presentó problemas para separarlas espectralmente, ayudaría a analizar si los resultados son satisfactorios. Si aquellos no lo son, es necesario que se revise en qué parte de la metodología se cometieron errores para corregirlos a tiempo.

En muchos casos las clases que generan mayor confusión son aquellas que tienen menor separabilidad espectral de los elementos que se encuentran sobre la superficie de la tierra. Estas estadísticas ayudan a evaluar si es necesario aumentar las clases o, por el contrario, agrupar algunas otras que no sean parte del objetivo final de la metodología

6.10.4 Mejora 4. Post-proceso

Como parte de la evaluación de la calidad de la clasificación actualmente se realiza una comparación secuencial de la coherencia en las transiciones temporales de cambio de cobertura de la tierra de forma manual. Se podría investigar nuevas técnicas de análisis semi-automatizado que haga más eficiente este proceso.

6.10.5 Mejora 5. Factores de emisión

El MAE implementa la segunda Evaluación Nacional Forestal desde el año 2016 y se espera obtener resultados a partir del año 2022, el cual incorpora mejoras y cambios metodológicos:

- Ajuste de muestreo en función de datos de la ENF I, distribución sistemática por los 9 tipos de bosque.
- Ajuste de muestreo de reservorio de madera muerta.
- Inclusión de medidas para caracterizar el estado sucesión de los bosques (bosques jóvenes).
- Reducción de un coeficiente de expansión de superficie.
- Actualización de procesos de aseguramiento y control de calidad de datos (A nivel de formularios, base de datos, exploración y análisis).
- Análisis de consistencia y de incertidumbre para los datos del reservorio de carbono provenientes de la ENFI y ENFII.

Este proceso está planificado en ciclos de remediación de cada 5 años, que considera mejorar las estimaciones en los factores de emisión para los nueve estratos de bosque y explorar la generación de factores de emisión por estado de sucesión del bosque, manejo forestal y flujo de las reservas de carbono.