Programa BIOREDD+

ENTREGABLE 13: CONFIGURACIÓN DEL MECANISMO MRV PARA MONITOREO FUTURO

Número de Subcontrato: EEP-I-00-06-00013-00-GEM-00
Nombre: GeoEcoMap Inc.

Enero de 2015

Este documento fue producido para revisión por la Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional. Fue elaborado por GeoEcoMap Inc. para el Proyecto BIOREDD+, número de tarea AID-514-TO-11-00002.

TABLA DE CONTENIDO ..... *1.*
1. DEFINICIÓN DE LA TAREA 13 ..... *3*
2. ANTECEDENTES *3*
3. MONITOREO DEL IMPACTO CLIMÁTICO *4*
3.1 DATOS Y PARÁMETROS DISPONIBLES EN LA VALIDACIÓN *5*
3.2 DATOS Y PARÁMETROS A MONITOREARSE *6*
3.3. DESCRIPCIÓN DEL PLAN DE MONITOREO *7*
3.4 MONITOREO DE LA DEFORESTACIÓN Y LAS PERTURBACIONES .....
3.5. MONITOREO DE LA DEGRADACIÓN .....
3.6. MONITOREO DE EMISIONES DEL PROYECTO .....
3.7. MONITOREO DE FUGAS .....
3.8. MONITOREO DE INVENTARIOS DE CARBONO FORESTAL .....
4. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL, RESPONSABILIDADES Y COMPETENCIAS .....
5. GESTIÓN DE DATOS Y CALIDAD DE DATOS .....
6. REVISIONES Y AJUSTES A LA LÍNEA BASE .....
7. REFERENCIAS 22

1. Definición de la tarea 11

Este documento resume el plan de monitoreo del impacto ambiental para los proyectos de BioREDD en la Costa Pacífica colombiana y el método paso a paso para el monitoreo futuro de cambios en el inventario de carbono y la deforestación y degradación usando una combinación de observaciones en tierra y por detección remota. Según la metodología VM0006 y los requerimientos VCS AFOLU, el proyecto BioREDD se llevará a cabo bajo la metodología de la Norma de Carbono Verificado (VCS, en inglés) para cuantificar las reservas de carbono y las reducciones netas en emisiones, además de un análisis integral de imágenes satelitales, liderado por GeoEcoMap, Inc., especialistas en SIG/Detección Remota. Un Equipo de Lotes en Tierra compuesto por miembros comunitarios ha recibido un entrenamiento extenso para medir los inventarios de carbono forestal y en la realización de tareas de Monitoreo, Verificación y Reportes (MRV) usando una combinación de tecnologías portátiles para mediciones y registro de datos. Además, BioREDD desarrollará sistemas comunitarios digitales de recolección de biomasa para un monitoreo sistemático y transparente de los cambios asociados con la implementación del proyecto REDD+. El sistema de monitoreo de detección remota utilizará imágenes satelitales tanto ópticas como de Radar. El monitoreo incluirá áreas de proyecto, áreas de referencia, y áreas clasificadas como regiones potenciales de fugas. El mecanismo para el monitoreo futuro de cambios en el uso de tierras se dividirá en tres pasos: 1. Monitoreo anual de deforestación y degradación. 2. Monitoreo anual de regeneración y aforestación forestal. 3. Monitoreo anual de deforestación y degradación en áreas con potenciales fugas.

2. Antecedentes y Metodología General

Número de Proyectos de BioREDD

El proyecto de BioREDD seleccionó ocho áreas a lo largo de la región de la costa Pacífica colombiana para desarrollar proyectos REDD+ (Figura 1).

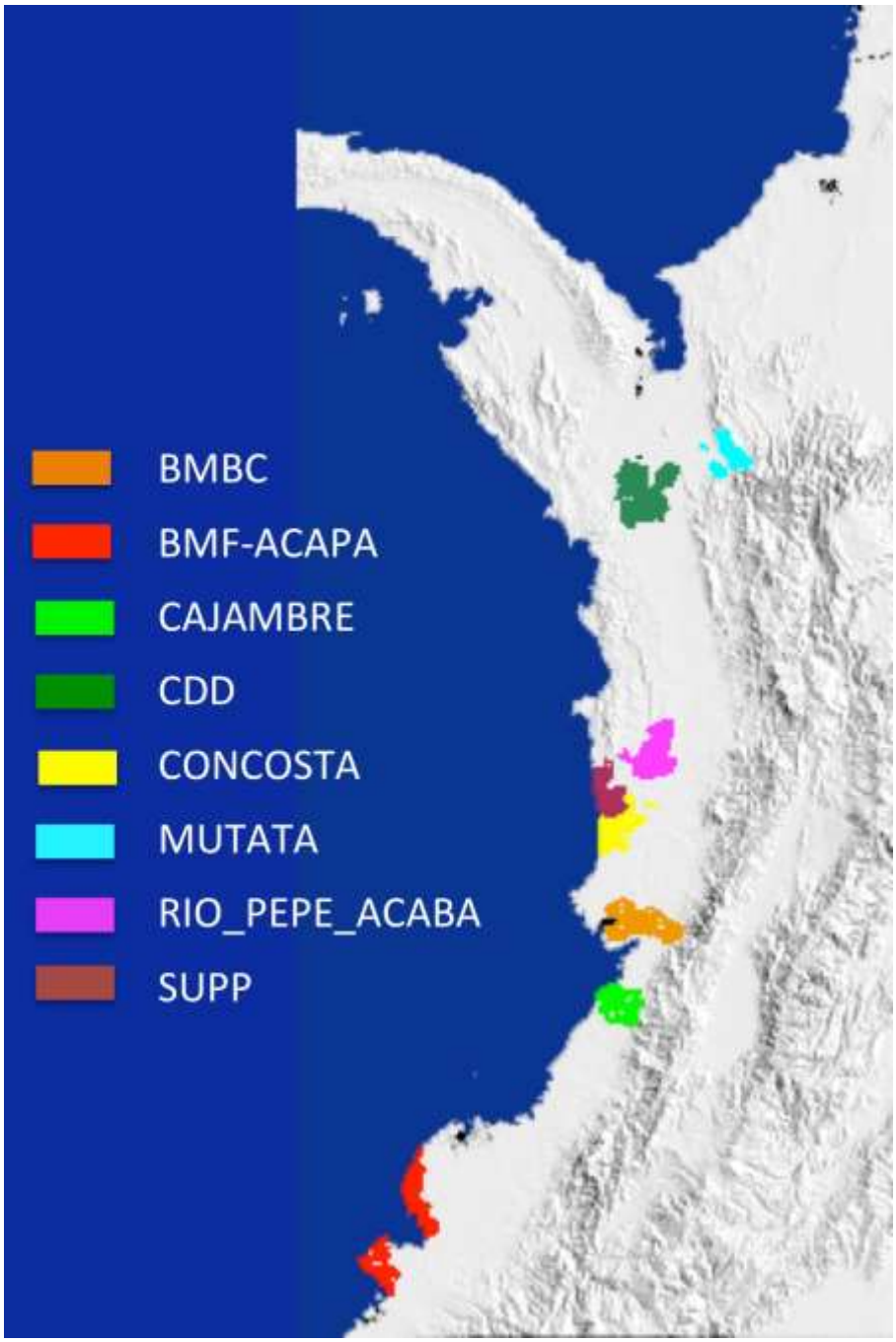


Figura 1. Ubicación de 8 áreas de proyecto de BioREDD a lo largo de la Costa Pacífica Colombiana.

Límites Espaciales de las Áreas del Proyecto

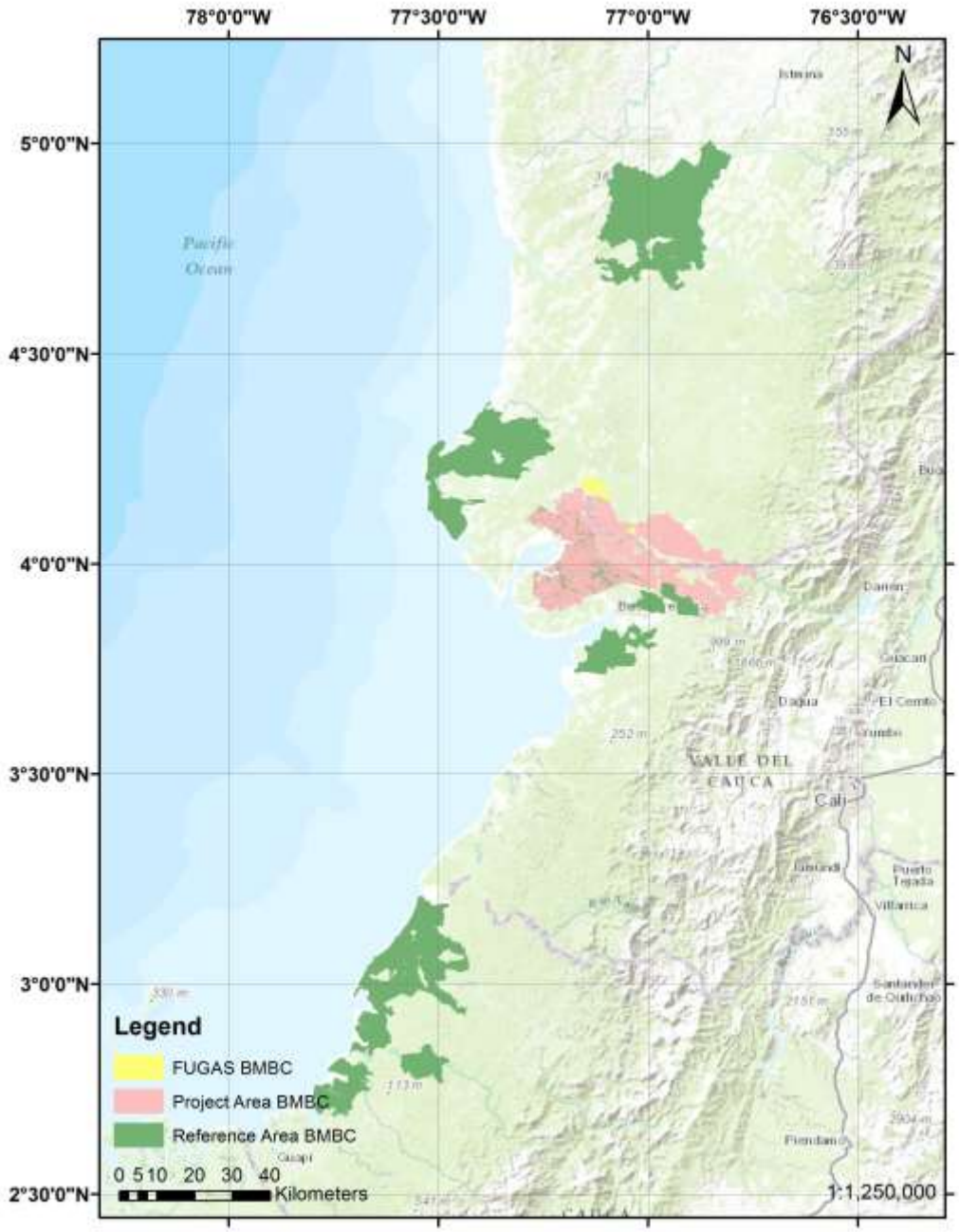
Las áreas del proyecto se ubican a lo largo de la Costa Pacífica Colombiana y, en su mayoría, son áreas de baja elevación donde la actividad humana ha creado un paisaje parcialmente deforestado y degradado alrededor de poblaciones y comunidades indígenas. Todos los archivos de formas de las áreas de proyecto además de las áreas de referencia y fugas están identificados en los documentos del proyecto y de la implementación REDD+ para su validación y verificación para inversiones públicas. Todas las capas SIG están a disposición de los validadores y de los grupos interesados en realizar el monitoreo futuro del proyecto.

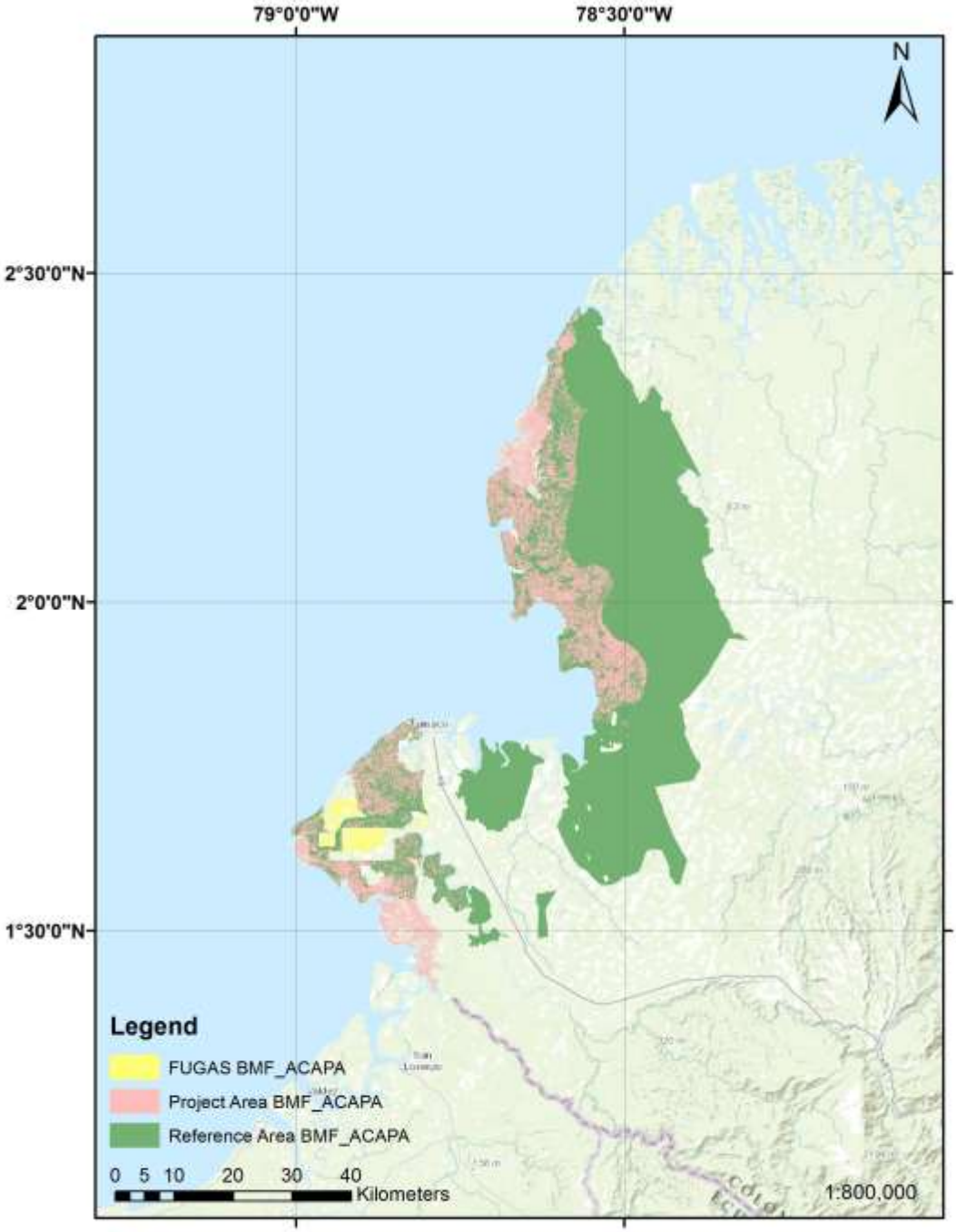
Para cada área del proyecto, se seleccionó una región de referencia para evaluar la deforestación histórica y actual y las cantidades y tendencias actuales de deforestación y degradación forestal para la línea base del Área del Proyecto según el proceso definido por la Metodología VM0006 v2.1. Las variables consideradas al seleccionar la ubicación de la Región de Referencia fueron: (1) leyes y políticas forestales, (2) historia y dinámica del uso de la tierra (p.ej. cobertura forestal, sistemas agrícolas), (3) condiciones ecológicas (tipos de bosque existentes, condiciones climáticas), y (4) condiciones sociales. La metodología VM0006 requiere que el tamaño mínimo de la Región de Referencia excluyendo el Área del Proyecto y el Área de Fugas debe ser el mayor entre 250,000 Ha y el tamaño del Área del Proyecto al inicio del período de acreditación. Las siguientes condiciones se requieren para garantizar que el Área de Referencia sea representativa y no sesgada y estas condiciones se monitorean en todo el proyecto.

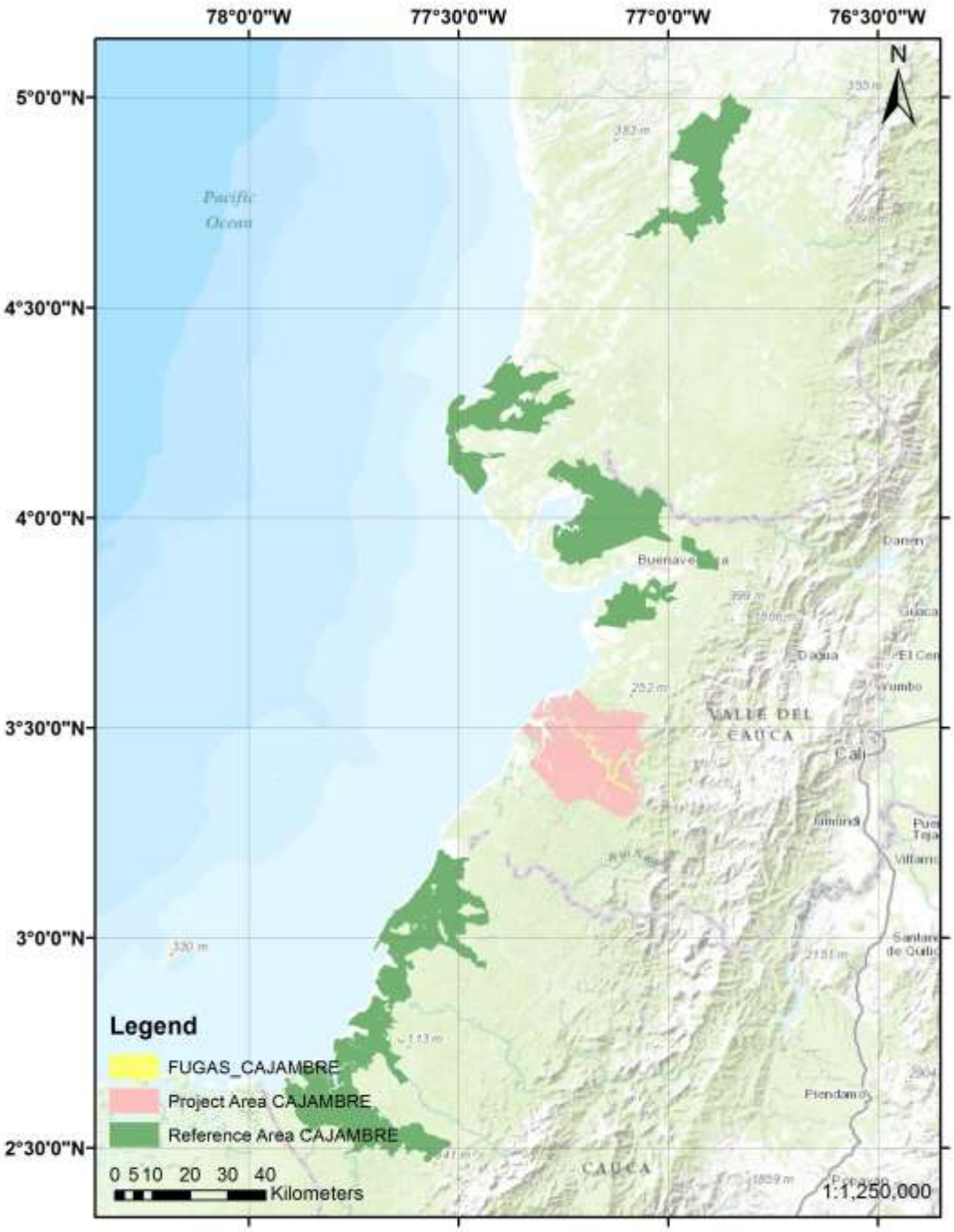
Tamaño mínimo: Según lo requerido por la metodología, la Región de Referencia, excluyendo el Área de Proyecto y el Área de Fugas es de 250,000 Ha. Las regiones de Referencia Exclusiva para cada área de proyecto son suministradas en otros documentos. 1) Fronteras sin sesgo: Las fronteras de la Región de Referencia coinciden con las fronteras de las Áreas Protegidas con búfer. 2) Accesibles por agentes de deforestación: La Región de Referencia excluye el núcleo interior de Áreas Protegidas (áreas con distancias superiores a 5 km al interior de los límites del Área Protegida) donde los agentes de deforestación tienen un acceso restringido. Las áreas restantes son accesibles por agentes de deforestación. 3) Se excluyen las áreas de deforestación planeada: La Región de referencia no contiene ningún área de deforestación planeada conocida. 4) Se excluyen áreas de deforestación natural: No se observaron causas históricas de deforestación natural limitadas espacialmente dentro de la Región de Referencia.

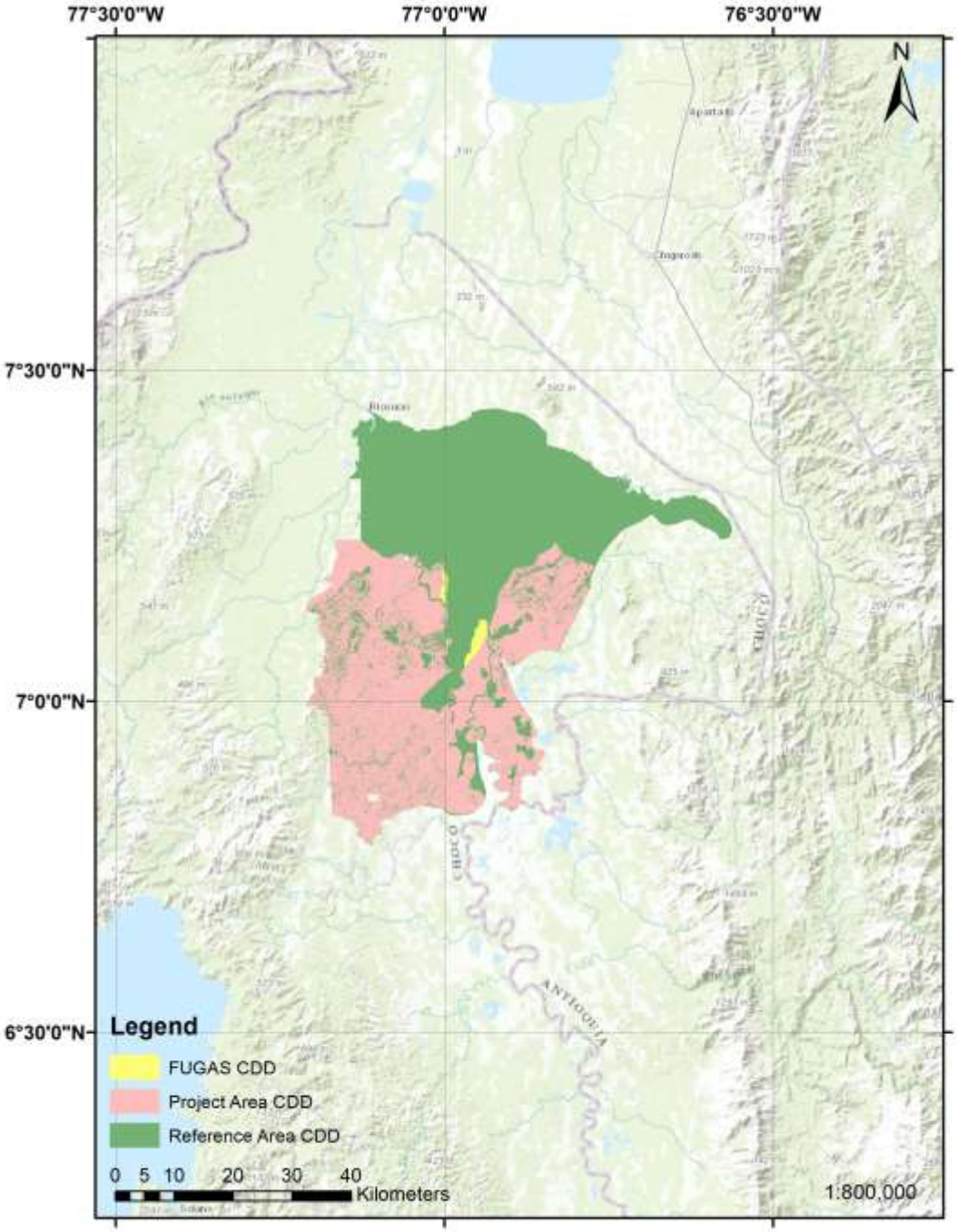
Límites Espaciales de las Áreas de Fugas

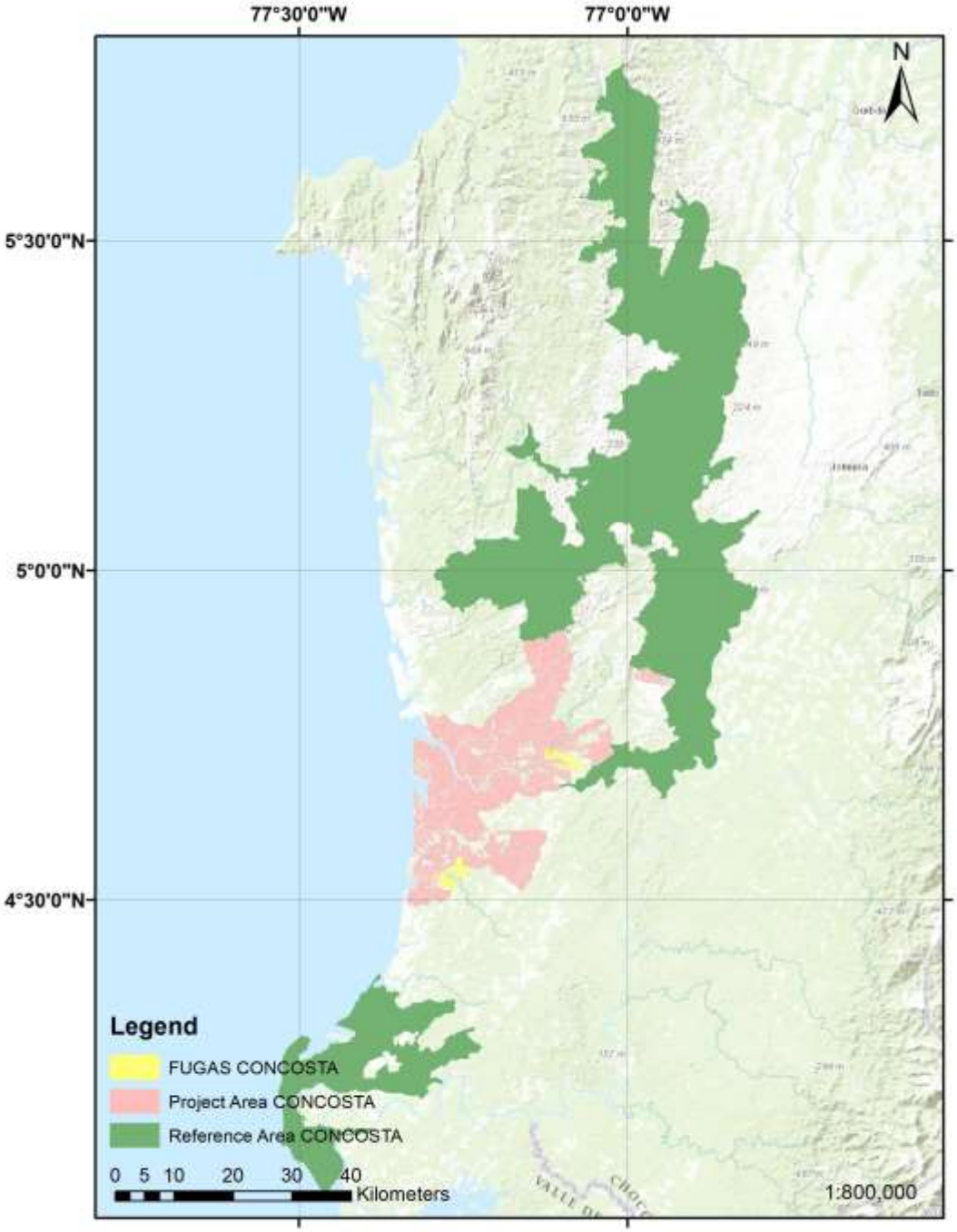
El Área de Fugas se seleccionó tal que fuera lo suficientemente grande como para incluir todos los bosques alrededor de las Áreas de Proyecto que podrían encontrarse bajo una presión mayor por la deforestación desplazada por las actividades del Proyecto durante la vida del proyecto. La ubicación se seleccionó tomando en cuenta el "costo" que tendrían que incurrir los agentes locales de deforestación para mover sus actividades. Se asumió que las fugas solo ocurrirán cuando el costo de desplazar la actividad de deforestación se encuentra por debajo de cierto umbral o sea inferior a los recursos alternativos. Para seleccionar la extensión de un Área de Fugas, este umbral se fijó de manera conservadora usando la distancia máxima viajada para productos forestales, 10 km, según lo reportado en las Evaluaciones Rurales Participativas. Las fugas por los motores de deforestación no constreñidos por la geografía se descuentan usando un abordaje factorizado.
El análisis de costo-distancia se realizó usando la extensión Analista Espacial (Spatial Analyst) para el software ArcGIS. Este proceso requiere de una superficie de Costo Ponderado y de las fuentes de desplazamiento, que son las Áreas del Proyecto. Durante la fase de monitoreo los cambios en la cubierta forestal y en su contenido de carbono se reportarán anualmente.

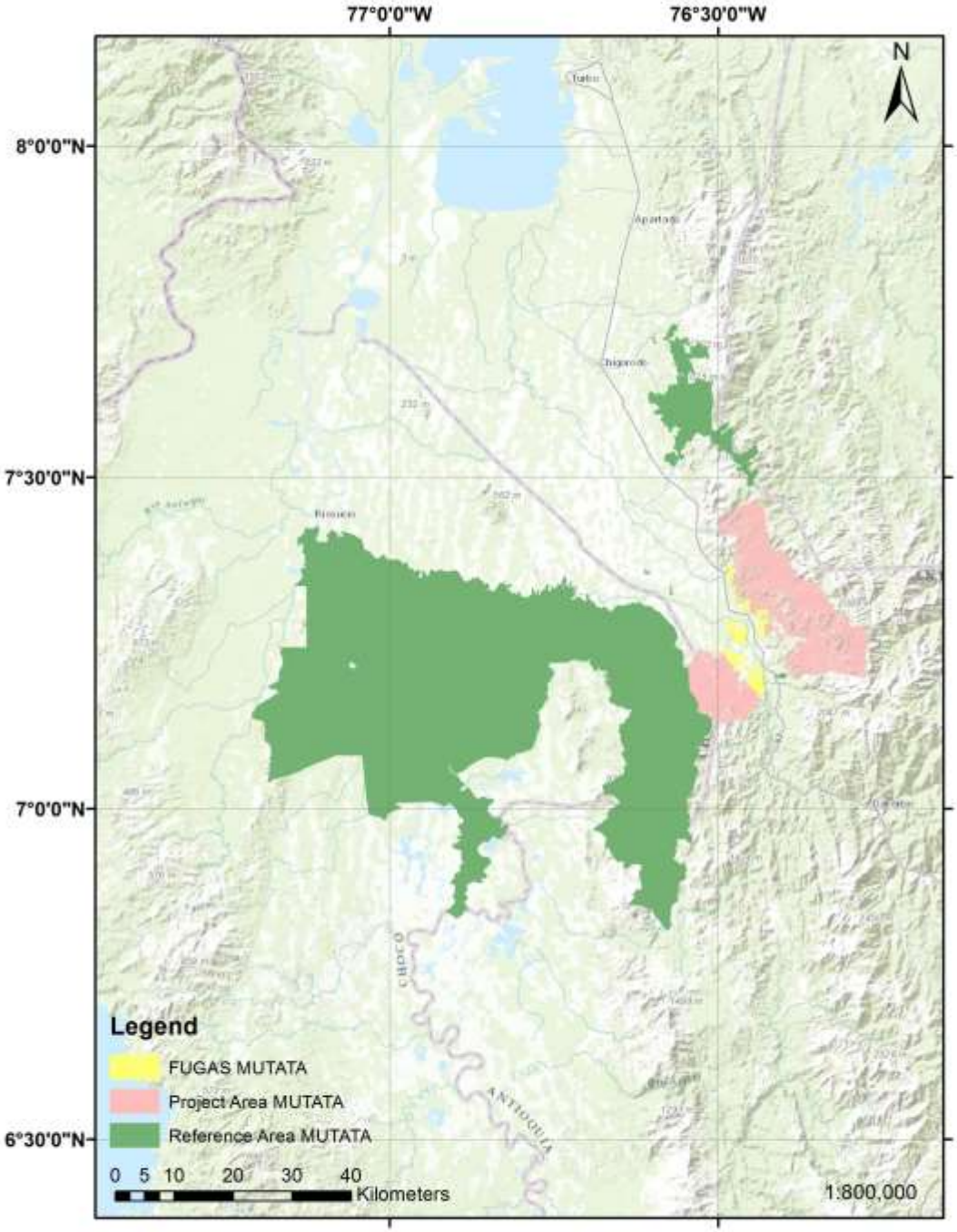

78°0'0"W
77°30'0"W
77°0'0"W
76°30'0"W
5°0'0"N
4°30'0"N
4°0'0"N
3°30'0"N
3°0'0"N
2°30'0"N
N
Pacific Ocean
VALLE DEL CAUCA
Cali
Legend
FUGAS BMBC
Project Area BMBC
Reference Area BMBC
0 5 10 20 30 40
Kilometers
1:1,250,000

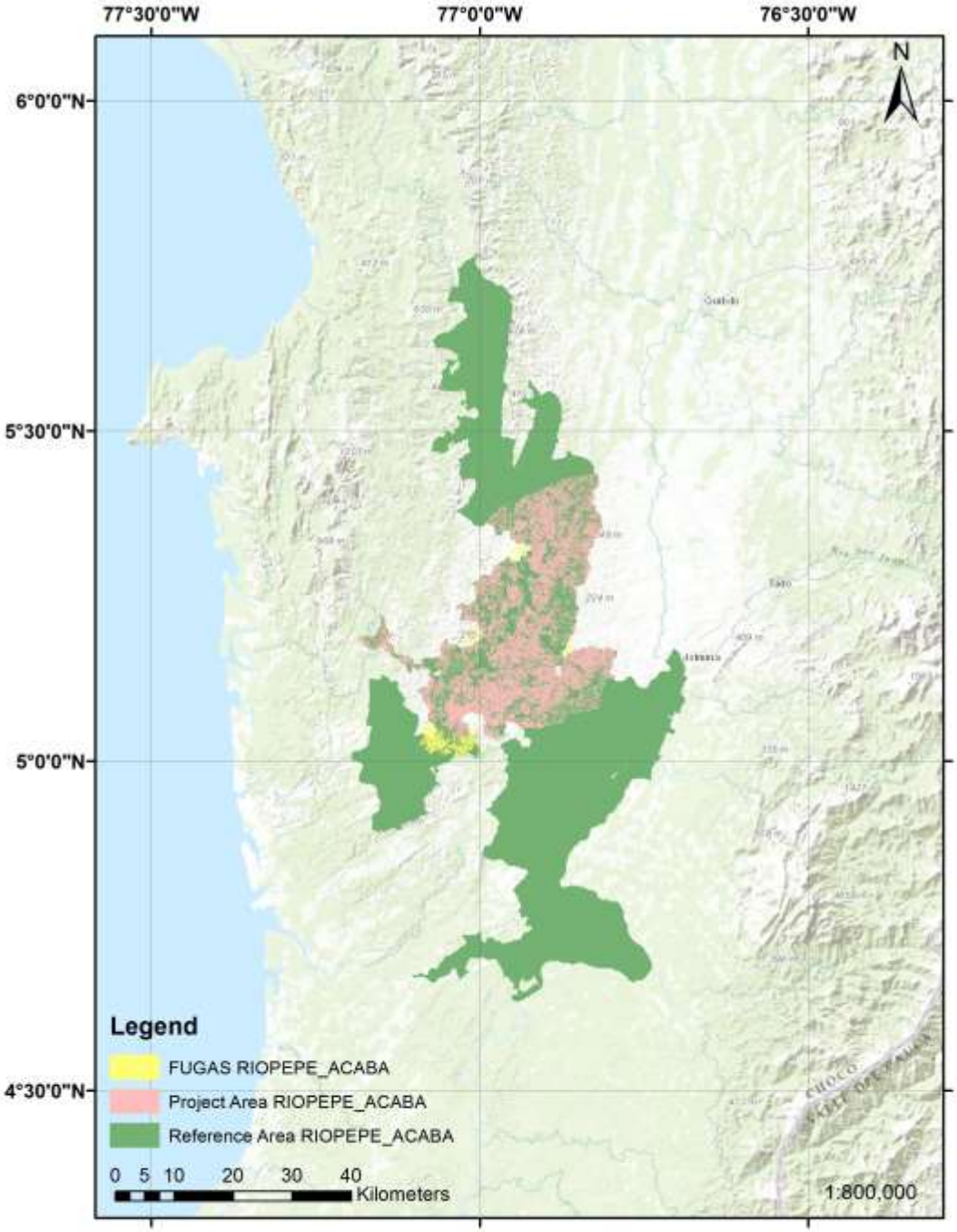

79°0'0"W
78°30'0"W
N
2°30'0"N
2°0'0"N
1°30'0"N
Legend
FUGAS BMF_ACAPA
Project Area BMF_ACAPA
Reference Area BMF_ACAPA
0 5 10 20 30 40
Kilometers
1:800,000

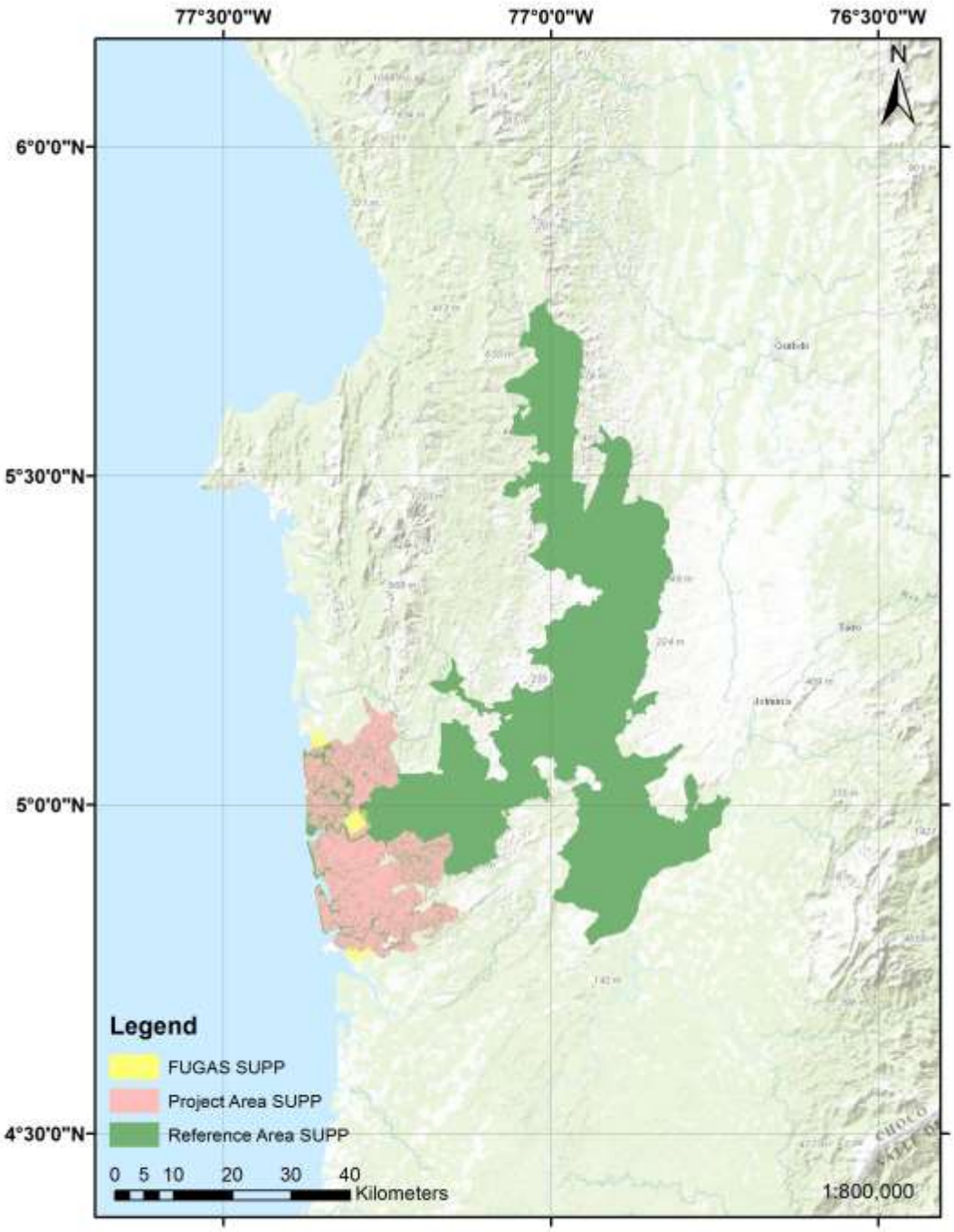

78°0'0"W
77°30'0"W
77°0'0"W
76°30'0"W
5°0'0"N
4°30'0"N
4°0'0"N
3°30'0"N
3°0'0"N
2°30'0"N
N
Pacific Ocean
Buenaventura
Dagua
Yumbo
VALLE DEL CAUCA
Cali
Jamundí
Piendamo
CAUCA
Legend
FUGAS_CAJAMBRE
Project Area CAJAMBRE
Reference Area CAJAMBRE
0 5 10 20 30 40
Kilometers
1:1,250,000


77°30'0"W
77°0'0"W
76°30'0"W
7°30'0"N
7°0'0"N
6°30'0"N
N
CHOCO
ANTIOQUIA
Legend
FUGAS CDD
Project Area CDD
Reference Area CDD
0 5 10 20 30 40
Kilometers
1:800,000


77°30'0"W
77°0'0"W
5°30'0"N
5°0'0"N
4°30'0"N
N
Legend
FUGAS CONCOSTA
Project Area CONCOSTA
Reference Area CONCOSTA
0 5 10 20 30 40
Kilometers
1:800,000


77°0'0"W
76°30'0"W
8°0'0"N
7°30'0"N
7°0'0"N
6°30'0"N
N
Legend
FUGAS MUTATA
Project Area MUTATA
Reference Area MUTATA
0 5 10 20 30 40
Kilometers
1:800,000


77°30'0"W
77°0'0"W
76°30'0"W
6°0'0"N
5°30'0"N
5°0'0"N
4°30'0"N
N
Legend
FUGAS RIOPEPE_ACABA
Project Area RIOPEPE_ACABA
Reference Area RIOPEPE_ACABA
0 5 10 20 30 40
Kilometers
1:800,000


77°30'0"W
77°0'0"W
76°30'0"W
6°0'0"N
5°30'0"N
5°0'0"N
4°30'0"N
N
Legend
FUGAS SUPP
Project Area SUPP
Reference Area SUPP
0 5 10 20 30 40
Kilometers
1:800,000

Límites Temporales del Proyecto
Los límites temporales del proyecto son los siguientes:
Período de referencia histórico: 1990 - 2012

Período de acreditación del proyecto: 30 años (2013 – 2043)

Frecuencia de verificación: anual a periódica

Frecuencia de actualización de la línea base: 10 años

3. Monitoreo del Impacto Climático

Se determinarán y monitorearán los beneficios climáticos según VM0006 v2.1 usando la detección remota y los lotes forestales permanentes. Los detalles de estos procedimientos se incluyen en los SOP de Detección Remota y Medición Forestal.

3.1 Datos y Parámetros Disponibles en la Validación

Los siguientes datos y parámetros se definen para proyectos independientes. Para proyectos anidados dentro de un programa REDD+ jurisdiccional, en el momento de validación el proyecto identificará los datos o parámetros que contenga el documento del proyecto, si existieren, que serán adoptados del programa REDD+ jurisdiccional. Los parámetros aquí enumerados se requieren para la validación. Algunos de estos valores no se han llenado debido a faltantes en la información.

Dato/parámetro [EA1]:	*CF*
Unidad de datos:	[Mg C (Mg CM)$^{-1}$]
Descripción:	Fracción de carbono de la materia seca en la madera
Fuentes de datos:	Valor por defecto de 0.5 (IPCC GPG-LULUCF 2003)
Valor aplicado	0.5
Justificación de la elección de datos o descripción de métodos y procedimientos de medición aplicados:	Según el IPCC, el valor por defecto de 0.5 Mg C (Mg DM)ˆ-1 es aplicable para los tres niveles cuando la tierra forestal restante, la tierra forestal o el carbono por biomasa son categorías claves o no claves.
Cualquier comentario:	

Dato/parámetro [EA2]:	*E*
Unidad de datos:	[-]
Descripción:	Eficiencia promedio de combustión de la biomasa forestal en superficie
Fuentes de datos (*):	Mediciones específicas al proyecto. Estimados regionalmente válidos. Estimados de la Tabla 3.A.14 de IPCC GPG LULUCF. Si no se puede usar alguna eficiencia de combustión apropiada, usar el defecto de IPCC de 0.5.
Valor aplicado	0.3
Justificación de la elección de datos o descripción de métodos y procedimientos de medición aplicados:	IPCC 2006 da este valor para bosques primarios de tipo tropical húmedo.
Cualquier comentario:	El valor de 0.40 se provee como una eficiencia de combustión promedio para la biomasa forestal en superficie en bosques secundarios tropicales húmedos.

Dato/parámetro [EA3]:	*P*
Unidad de datos:	[-]
Descripción:	Proporción promedio de masa quemada de biomasa forestal en superficie.
Fuentes de datos:	GPG-LULUCF Tabla 3ª.1.13
Valor aplicado	83.9
Justificación de la elección de datos o descripción de métodos y procedimientos de medición aplicados:	83.9 es la media dispuesta por el IPCC para la proporción promedio de masa quemada de la biomasa forestal en superficie para bosques tropicales primarios, que es el tipo de bosque con el cual se alinea más que todo el proyecto.
Cualquier comentario:	Para bosques tropicales secundarios, 8.1. se provee como valor promedio para bosques tropicales secundarios jóvenes, 41.1 para bosques tropicales secundarios intermedios, y 46.4 para bosques tropicales secundarios avanzados. Se incluyen aquí porque parte del crecimiento dentro del área del proyecto es secundario pero, mayormente, sigue siendo bosque primario.

Dato/parámetro [EA4]:	sc_1
Unidad de datos:	[-]
Descripción:	Primer factor de forma para la ecuación de escasez forestal; pendiente de la disminución en la tasa de deforestación forestal (entre mayor sea, mayor será la pendiente).
Fuentes de datos:	Procedimiento de ajuste estadístico, usando datos de cubierta forestal por detección remota en áreas fuertemente deforestadas cerca del área del proyecto como provincias, estados o países vecinos.
Valor aplicado	
Justificación de la elección de datos o descripción de métodos y procedimientos de medición aplicados:	Usar el procedimiento del VM0006 v2.1
Cualquier comentario:	

Dato/parámetro [EA5]:	sc_2
Unidad de datos:	[-]
Descripción:	Segundo factor de forma para la ecuación de escasez forestal; área de deforestación relativa en la cual la tasa de deforestación será el 50% de la tasa de deforestación inicial.
Fuentes de datos:	Procedimiento de ajuste estadístico, usando datos de cubierta forestal por detección remota en áreas fuertemente deforestadas cerca del área del proyecto como provincias, estados o países vecinos.
Valor aplicado	
Justificación de la elección de datos o descripción de métodos y procedimientos de medición aplicados:	Usar el procedimiento del VM0006 v2.1
Cualquier comentario:	

Dato/parámetro [EA6]:	*wwf(ty)*
Unidad de datos:	[-]
Descripción:	Fracción de carbono en productos de madera talados emitidos de inmediato por ineficiencias del aserradero para la clase de madera *ty*. Esto puede estimarse multiplicando la fracción aplicable por la cantidad total de carbono en las distintas categorías de productos de madera talada.
Fuentes de datos:	La fracción aplicable por defecto es de 24% y 19% respectivamente para países en desarrollo y desarrollados (Winjum et al. 1998)

Valor aplicado	24%
Justificación de la elección de datos o descripción de métodos y procedimientos de medición aplicados:	Winjum et al. 1998 dice que la fracción por defecto es de 24% para países en desarrollo.
Cualquier comentario:	Cualquier actualización nueva de los resultados generados localmente pueden usarse en lugar de los valores por defecto

Dato/parámetro [EA7]:	*slp(ty)*
Unidad de datos:	[-]
Descripción:	Proporción de productos de vida corta
Fuentes de datos:	Los valores por defecto son 0.2, 0.1, 0.4 y 0.3 respectivamente para la clase de madera *ty*, es decir, madera aserrada, paneles basados en madera, papel y cartón y otra madera redonda industrial descrita en Winjum et. al. (1998)
Valor aplicado	0.2
Justificación de la elección de datos o descripción de métodos y procedimientos de medición aplicados:	Winjum et al. provee los anteriores valores para madera aserrada, paneles de madera, papel y cartón y madera redonda industrial.
Cualquier comentario:	Cualquier actualización nueva de los resultados generados localmente pueden usarse en lugar de los valores por defecto. La metodología supone que todas las demás clases de productos de madera se emiten en 5 años.

Dato/parámetro [EA8]:	*Fo(ty)*
Unidad de datos:	[-]
Descripción:	Fracción de carbono que será emitido a la atmósfera entre 5 y 100 años de la tala para la clase de madera *ty*.
Fuentes de datos:	Véase (Winjum et al. 1998)
Valor aplicado	0.84
Justificación de la elección de datos o descripción de métodos y procedimientos de medición aplicados:	Winjum et al. provee estos valores para la fracción de carbono que será emitido a la atmósfera entre 5 y 100 años de la tala para las clases de madera tropicales
Cualquier comentario:	Cualquier actualización nueva de los resultados generados localmente pueden usarse en lugar de los valores por defecto.

Dato/parámetro [EA9]:	$\rho_{wood,j}$
Unidad de datos:	[Mg DM m^{-3}]
Descripción:	Densidad básica y promedio de madera para las especies o el grupo de especies *j*
Fuentes de datos:	GPG-LULUCF Tabla 3ª.1.9. o datos/literatura publicada
Valor aplicado	Los valores promedio de densidad de madera para la región BioREDD y cada área de proyecto se proveen en el Apéndice sobre reservas e inventarios de carbono. El proyecto BioREDD midió la densidad de madera para las especies dominantes en regiones de la costa Pacífica colombiana.
Justificación de la elección de datos o descripción de métodos y procedimientos de medición aplicados:	Comparamos los datos locales con IPCC tabla 3A. 1.9-2 que provee densidades básicas y promedio de madera para múltiples especies en la América tropical y encontramos que las mediciones locales eran más relevantes al proyecto por diferencias de suelos, clima y biogeografía.
Cualquier comentario:	

3.2 Datos y Parámetros Monitoreados

Los siguientes datos y parámetros serán monitoreados por los equipos de monitoreo de BioREDD antes de cada evento de verificación. Estos parámetros han sido seleccionados para que correspondan con los requerimientos de VM0006 y las salidas y resultados del modelo de la teoría del cambio. La siguiente sección resume la metodología de monitoreo en conjunto con fuentes de datos para cada categoría de parámetro. En este informe nos enfocamos en tres categorías de parámetros:

1. Tamaños, Áreas y Transiciones
2. Cubierta Vegetal y Uso de la Tierra y Transiciones
3. Cambios de Carbono (pérdida y regeneración)

A continuación se proveen detalles sobre los datos y parámetros monitoreados. Proveemos la misma metodología general con un abordaje específico de medición y monitoreo. También dejamos alguna flexibilidad en el método de medición y monitoreo, lo cual es esencial para cualquier plan a largo plazo de monitoreo, reporte y verificación (MRV).

Dato/parámetro [MN1]:	$size_{projectArea}$, $size_{leakageArea}$, $size_{referenceregion}$, $size_{referenceForest}$
Unidad de datos:	[Ha]
Descripción:	Tamaño del área del proyecto, área de fugas, región de referencia y área forestal en la región de referencia
Fuentes de datos:	Diseño del proyecto
Descripción de métodos y procedimientos de medición aplicados:	La cobertura y las demarcaciones se monitorearán y se crearán mediante el uso de imágenes satelitales y equipos de monitoreo en tierra que hacen observaciones y toman medidas en términos de cobertura forestal, cobertura de clase, área total y clasificaciones de árboles.
Frecuencia de monitoreo/ registro:	$size_{projectArea}$ y $size_{leakageArea}$ podrán ajustarse durante el período de acreditación según las reglas para proyectos agrupados y ser actualizados en la verificación, pero solo para las instancias adicionales añadidas después de la fecha de inicio del proyecto.
Valor aplicado:	
Equipo de monitoreo:	Software SIG, imágenes Landsat e imágenes de radar, cinta de 30 metros, GPS, brújula, clinómetro, cuadernos, agua, elementos de escritura.
Procedimientos de CC/AC a aplicarse:	
Método de cálculo:	
Cualquier comentario:	

Dato/parámetro [MN2]:	$\Delta area_{projectAreaEAH,projectScenario}(t,i)$
Unidad de datos:	[Ha año^{-1}]
Descripción:	Hectáreas sufriendo la transición *i* dentro del área del proyecto excluyendo las áreas ANR y de cosecha, bajo el escenario de proyecto durante el año *t*. [Ha año^{-1}]
Fuentes de datos:	Análisis de detección remota
Descripción de métodos y procedimientos de medición aplicados:	Los procedimientos se proveen en el plan de monitoreo climático del proyecto BioREDD y suministrados por GeoEcoMap, Inc.
Frecuencia de monitoreo/ registro:	Al menos una vez antes de la verificación
Valor aplicado:	
Equipo de monitoreo:	Software SIG, imágenes Landsat e imágenes de radar, cinta de 30 metros, GPS, brújula, clinómetro, cuadernos, agua, elementos de escritura.

Procedimientos de CC/AC a aplicarse:	Los datos serán ingresados en un archivo interno. El archivo es accedido por expertos técnicos cualificados y autorizados. Todos los documentos de monitoreo, validación, verificación y certificación son revisados y aprobados por varios miembros del equipo. Los datos serán reportados a proponentes e interesados en el proyecto. Las discrepancias o desacuerdos serán justificados mediante explicaciones o visitación de las actividades en cuestión. Todos los datos satelitales disponibles para monitoreo, validación, verificación y certificación se archivarán y se pondrán a disposición de los auditores.
Método de cálculo:	
Cualquier comentario:	

Dato/parámetro [MN3]:	$\Delta area_{projectAreaEAH,baselineScenario}(t,i)$
Unidad de datos:	[Ha año^{-1}]
Descripción:	Hectáreas que sufren una transición *i* dentro del área del proyecto excluyendo las áreas ANR y de cosecha, bajo el escenario de línea base durante el año *t*.
Fuentes de datos:	Modelamiento de cambios en el uso de tierras
Descripción de métodos y procedimientos de medición aplicados:	Los procedimientos deben describirse en el plan de monitoreo del proyecto BioREDD desarrollado por GeoEcoMap, Inc.
Frecuencia de monitoreo/ registro:	Al menos una vez antes de cada línea base. Para más instancias, podrá recalcularse durante la verificación
Valor aplicado:	
Equipo de monitoreo:	Software SIG, imágenes Landsat e imágenes de radar, cinta de 30 metros, GPS, brújula, clinómetro, cuadernos, agua, elementos de escritura.
Procedimientos de CC/AC a aplicarse:	Los datos serán ingresados en un archivo interno. El archivo es accedido por expertos técnicos cualificados y autorizados. Todos los documentos de monitoreo, validación, verificación y certificación son revisados y aprobados por varios miembros del equipo. Los datos serán reportados a proponentes e interesados en el proyecto. Las discrepancias o desacuerdos serán justificados mediante explicaciones o visitación de las actividades en cuestión. Todos los datos satelitales disponibles para monitoreo, validación, verificación y certificación se archivarán y se pondrán a disposición de los auditores.
Método de cálculo:	
Cualquier comentario:	

Dato/parámetro [MN4]:	$\Delta area_{projectAreaWithANR,baselineScenario}(t,i)$
Unidad de datos:	[Ha año^{-1}]
Descripción:	Hectáreas sufriendo la transición *i* dentro del área de fugas bajo el escenario del proyecto para el año *t*.

Fuentes de datos:	
Descripción de métodos y procedimientos de medición aplicados:	Los procedimientos deben describirse en el plan de monitoreo del proyecto BioREDD desarrollado por GeoEcoMap, Inc.
Frecuencia de monitoreo/ registro:	Anual a ≤ 5 años
Valor aplicado:	
Equipo de monitoreo:	Software SIG, imágenes Landsat e imágenes de radar, cinta de 30 metros, GPS, brújula, clinómetro, cuadernos, agua, elementos de escritura.
Procedimientos de CC/AC a aplicarse:	
Método de cálculo:	
Cualquier comentario:	Solo aplica si el proponente del proyecto decide incluir actividades ANR.

Dato/parámetro [MN5]:	$\Delta area_{leakageArea,projectScenario}(t,i)$
Unidad de datos:	[Ha año^{-1}]
Descripción:	Hectáreas que sufran la transición *i* dentro del área de fugas bajo el escenario del proyecto para el año *t*.
Fuentes de datos:	Análisis de detección remota
Descripción de métodos y procedimientos de medición aplicados:	Los procedimientos deben describirse en el plan de monitoreo.
Frecuencia de monitoreo/ registro:	Al menos una vez antes de la verificación
Valor aplicado:	
Equipo de monitoreo:	Software SIG, imágenes Landsat e imágenes de radar, cinta de 30 metros, GPS, brújula, clinómetro, cuadernos, agua, elementos de escritura.
Procedimientos de CC/AC a aplicarse:	Los datos serán ingresados en un archivo interno. El archivo es accedido por expertos técnicos cualificados y autorizados. Todos los documentos de monitoreo, validación, verificación y certificación son revisados y aprobados por varios miembros del equipo. Los datos serán reportados a proponentes e interesados en el proyecto. Las discrepancias o desacuerdos serán justificados mediante explicaciones o visitación de las actividades en cuestión. Todos los datos satelitales disponibles para monitoreo, validación, verificación y certificación se archivarán y se pondrán a disposición de los auditores.
Método de cálculo:	
Cualquier comentario:	

Dato/parámetro [MN6]:	$\Delta area_{leakageArea,baselineScenario}(t,i)$
Unidad de datos:	[Ha año^{-1}]
Descripción:	Hectáreas que sufran la transición *i* dentro del área de fugas bajo el escenario de línea base para el año *t*.
Fuentes de datos:	Modelamiento de cambios en el uso de la tierra.
Descripción de métodos y procedimientos de medición aplicados:	Los procedimientos deben describirse en el plan de monitoreo.
Frecuencia de monitoreo/ registro:	Al menos una vez cada actualización de la línea base. También podrá actualizarse en el momento de incluir instancias que requieran nuevas áreas de fuga.
Valor aplicado:	
Equipo de monitoreo:	Software SIG, imágenes Landsat e imágenes de radar, cinta de 30 metros, GPS, brújula, clinómetro, cuadernos, agua, elementos de escritura.
Procedimientos de CC/AC a aplicarse:	Los datos serán ingresados en un archivo interno. El archivo es accedido por expertos técnicos cualificados y autorizados. Todos los documentos de monitoreo, validación, verificación y certificación son revisados y aprobados por varios miembros del equipo. Los datos serán reportados a proponentes e interesados en el proyecto. Las discrepancias o desacuerdos serán justificados mediante explicaciones o visitación de las actividades en cuestión. Todos los datos satelitales disponibles para monitoreo, validación, verificación y certificación se archivarán y se pondrán a disposición de los auditores.
Método de cálculo:	
Cualquier comentario:	

Dato/parámetro [MN7]:	$\Delta area_{historical}(CS_1 \rightarrow CS_2, t_1 \rightarrow t_2)$
Unidad de datos:	[Ha año^{-1}]
Descripción:	Área de transición de clase LULC o estrato forestal 1 a 2 del tiempo 1 al 2 durante el período de referencia histórico
Fuentes de datos:	Análisis de detección remota
Descripción de métodos y procedimientos de medición aplicados:	Los procedimientos deben describirse en el plan de monitoreo.
Frecuencia de monitoreo/ registro:	Al menos una vez antes de cada actualización de línea base
Valor aplicado:	
Equipo de monitoreo:	Software SIG, imágenes Landsat e imágenes de radar, cinta de 30 metros, GPS, brújula, clinómetro, cuadernos, agua, elementos de escritura.

Procedimientos de CC/AC a aplicarse:	Los datos serán ingresados en un archivo interno. El archivo es accedido por expertos técnicos cualificados y autorizados. Todos los documentos de monitoreo, validación, verificación y certificación son revisados y aprobados por varios miembros del equipo. Los datos serán reportados a proponentes e interesados en el proyecto. Las discrepancias o desacuerdos serán justificados mediante explicaciones o visitación de las actividades en cuestión. Todos los datos satelitales disponibles para monitoreo, validación, verificación y certificación se archivarán y se pondrán a disposición de los auditores.
Método de cálculo:	
Cualquier comentario:	

Dato/parámetro [MN8]:	RFRGrate($CS_1 \rightarrow CS_2$)
Unidad de datos:	[año^{-1}]
Descripción:	Factor de incremento y regeneración de la cubierta forestal anual relativa de la clase o el estrato 1 a 2.
Fuentes de datos:	Análisis de detección remota
Descripción de métodos y procedimientos de medición aplicados:	Los procedimientos deben describirse en el plan de monitoreo.
Frecuencia de monitoreo/ registro:	Al menos una vez antes de cada actualización de línea base
Valor aplicado:	
Equipo de monitoreo:	Software SIG, imágenes Landsat e imágenes de radar, cinta de 30 metros, GPS, brújula, clinómetro, cuadernos, agua, elementos de escritura.
Procedimientos de CC/AC a aplicarse:	Los datos serán ingresados en un archivo interno. El archivo es accedido por expertos técnicos cualificados y autorizados. Todos los documentos de monitoreo, validación, verificación y certificación son revisados y aprobados por varios miembros del equipo. Los datos serán reportados a proponentes e interesados en el proyecto. Las discrepancias o desacuerdos serán justificados mediante explicaciones o visitación de las actividades en cuestión. Todos los datos satelitales disponibles para monitoreo, validación, verificación y certificación se archivarán y se pondrán a disposición de los auditores.
Método de cálculo:	
Cualquier comentario:	Puede usarse para producir la matriz de transición de la línea base para nuevas instancias que se agregarán al área del proyecto.

Dato/parámetro [MN9]:	$area_{historical}(CS_1, t_1)$
Unidad de datos:	[Ha]
Descripción:	Área total de la clase LULC o estrato forestal 1 en el tiempo 1
Fuentes de datos:	Análisis de detección remota
Descripción de métodos y procedimientos de medición aplicados:	Los procedimientos deben describirse en el plan de monitoreo.
Frecuencia de monitoreo/ registro:	Al menos una vez cada actualización de la línea base.
Valor aplicado:	
Equipo de monitoreo:	Software SIG, imágenes Landsat e imágenes de radar, cinta de 30 metros, GPS, brújula, clinómetro, cuadernos, agua, elementos de escritura.
Procedimientos de CC/AC a aplicarse:	Los datos serán ingresados en un archivo interno. El archivo es accedido por expertos técnicos cualificados y autorizados. Todos los documentos de monitoreo, validación, verificación y certificación son revisados y aprobados por varios miembros del equipo. Los datos serán reportados a proponentes e interesados en el proyecto. Las discrepancias o desacuerdos serán justificados mediante explicaciones o visitación de las actividades en cuestión. Todos los datos satelitales disponibles para monitoreo, validación, verificación y certificación se archivarán y se pondrán a disposición de los auditores.
Método de cálculo:	
Cualquier comentario:	

Dato/parámetro [MN10]:	$area_{biomssLos}(i)$
Unidad de datos:	[Ha año^{-1}]
Descripción:	Área total de la clase LULC aclarada para crear cortafuegos.
Fuentes de datos:	
Descripción de métodos y procedimientos de medición aplicados:	
Frecuencia de monitoreo/ registro:	Anual a ≤5 años
Valor aplicado:	NA
Equipo de monitoreo:	Software SIG, imágenes Landsat e imágenes de radar, cinta de 30 metros, GPS, brújula, clinómetro, cuadernos, agua, elementos de escritura.
Procedimientos de CC/AC a aplicarse:	
Método de cálculo:	
Cualquier comentario:	Debe completarse el análisis de cortafuegos.

Dato/parámetro [MN11]:	$area_{fireBiomassLoss}(i)$
Unidad de datos:	[Ha año^{-1}]
Descripción:	Área anual del estrato forestal aclarado usando quemas prescritas.
Fuentes de datos:	
Descripción de métodos y procedimientos de medición aplicados:	
Frecuencia de monitoreo/ registro:	Anual a ≤5 años
Valor aplicado:	NA
Equipo de monitoreo:	Software SIG, imágenes Landsat e imágenes de radar, cinta de 30 metros, GPS, brújula, clinómetro, cuadernos, agua, elementos de escritura.
Procedimientos de CC/AC a aplicarse:	
Método de cálculo:	
Cualquier comentario:	Debe completarse el análisis de quemas prescritas.

Dato/parámetro [MN12]:	$area_{fireBiomassLoss,ANR}(t,i)$
Unidad de datos:	[Ha]
Descripción:	Área de biomasa removida por quemas prescritas dentro del estrato ANR *i* durante el año *t*.
Fuentes de datos:	
Descripción de métodos y procedimientos de medición aplicados:	
Frecuencia de monitoreo/ registro:	Anual a ≤5 años
Valor aplicado:	NA
Equipo de monitoreo:	Software SIG, imágenes Landsat e imágenes de radar, cinta de 30 metros, GPS, brújula, clinómetro, cuadernos, agua, elementos de escritura.
Procedimientos de CC/AC a aplicarse:	
Método de cálculo:	
Cualquier comentario:	Debe completarse el análisis de quemas prescritas.

Dato/parámetro [MN13]:	$area_{projectAreaWithANR,projectScenario}(t,i)$
Unidad de datos:	[Ha]
Descripción:	Cantidad de tierra en la cual se planean actividades de ANR bajo el escenario del proyecto para el año t y en el estrato *i*
Fuentes de datos:	
Descripción de métodos y procedimientos de medición aplicados:	
Frecuencia de monitoreo/ registro:	Anual a ≤5 años
Valor aplicado:	NA
Equipo de monitoreo:	Software SIG, imágenes Landsat e imágenes de radar, cinta de 30 metros, GPS, brújula, clinómetro, cuadernos, agua, elementos de escritura.
Procedimientos de CC/AC a aplicarse:	
Método de cálculo:	
Cualquier comentario:	Solo aplica si el proyecto incluye actividades ANR

Dato/parámetro [MN14]:	$area_{cosecha}(t,i)$
Unidad de datos:	[Ha]
Descripción:	Área del bosque en el estrato de cosecha *i* cosechada en el tiempo *t*
Fuentes de datos:	
Descripción de métodos y procedimientos de medición aplicados:	
Frecuencia de monitoreo/ registro:	Anual a ≤5 años
Valor aplicado:	NA
Equipo de monitoreo:	Software SIG, imágenes Landsat e imágenes de radar, cinta de 30 metros, GPS, brújula, clinómetro, cuadernos, agua, elementos de escritura.
Procedimientos de CC/AC a aplicarse:	
Método de cálculo:	
Cualquier comentario:	No hay actividades de cosecha en el área del proyecto

Dato/parámetro [MN15]:	$area_{projectAreaWithHarvest,projectScenario}(t,i)$
Unidad de datos:	[Ha año^{-1}]
Descripción:	Tamaño del estrato *i* dentro del área de proyecto con las actividades de cosecha durante el año *t* bajo el escenario del proyecto
Fuentes de datos:	
Descripción de métodos y procedimientos de medición aplicados:	
Frecuencia de monitoreo/ registro:	Anual a ≤5 años
Valor aplicado:	NA

Equipo de monitoreo:	Software SIG, imágenes Landsat e imágenes de radar, cinta de 30 metros, GPS, brújula, clinómetro, cuadernos, agua, elementos de escritura.
Procedimientos de CC/AC a aplicarse:	
Método de cálculo:	
Cualquier comentario:	No hay actividades de cosecha en el área del proyecto

Dato/parámetro [MN16]:	$\Delta area_{projectAreaWithHarvest,baselineScenario}(t,i)$
Unidad de datos:	[Ha año^{-1}]
Descripción:	Hectáreas sufriendo una transición *i* dentro del área de la cosecha bajo el escenario de línea base durante el año *t*.
Fuentes de datos:	
Descripción de métodos y procedimientos de medición aplicados:	
Frecuencia de monitoreo/ registro:	Anual a ≤5 años
Valor aplicado:	NA
Equipo de monitoreo:	Software SIG, imágenes Landsat e imágenes de radar, cinta de 30 metros, GPS, brújula, clinómetro, cuadernos, agua, elementos de escritura.
Procedimientos de CC/AC a aplicarse:	
Método de cálculo:	
Cualquier comentario:	No hay actividades de cosecha en el área del proyecto

Dato/parámetro [MN17]:	$BetaReg_{DF}(t)$ y $BetaReg_{DG}(t)$
Unidad de datos:	[Ha año^{-1}]
Descripción:	Modelo de regresión beta que describe la relación entre el tiempo y la tasa de deforestación/degradación en la región de referencia durante el período de referencia histórico
Fuentes de datos:	
Descripción de métodos y procedimientos de medición aplicados:	
Frecuencia de monitoreo/ registro:	Anual a ≤5 años
Valor aplicado:	NA
Equipo de monitoreo:	Software SIG, imágenes Landsat e imágenes de radar, cinta de 30 metros, GPS, brújula, clinómetro, cuadernos, agua, elementos de escritura.
Procedimientos de CC/AC a aplicarse:	
Método de cálculo:	
Cualquier comentario:	El modelo usado para predecir la deforestación debe clarificarse, y debe completarse el análisis.

3.3 Descripción de Planes de Monitoreo

Este plan de monitoreo ha sido desarrollado muy de la mano con el módulo VM0006 del Módulo Metodológico REDD, "Contabilidad de Carbono para Proyectos REDD a escala de Mosaico y de Paisaje". Esta sección se enfoca en establecer procedimientos para monitorear la deforestación, la degradación ilegal, las perturbaciones naturales y las emisiones de proyecto ex-post en el área del proyecto y el cinturón de fugas. Además se proveen procedimientos para actualizar los inventarios de carbono de los bosques y revisar la línea base. Una sección separada de aseguramiento de calidad/control de calidad y procedimientos de archivos de datos cubre todas las tareas de monitoreo, según lo descrito en las subsecciones de monitoreo a continuación.

La metodología de monitoreo define los métodos para monitorear tanto los cambios en el inventario de carbono en la biomasa viviente como las emisiones de las actividades del proyecto y cualquier cambio en las emisiones GHG que resulte de la implementación de las actividades del proyecto. La metodología define métodos y procedimientos que complementan las disposiciones de la metodología de línea base. Según esta metodología el escenario de línea base se identifica y cuantifica *ex ante* al inicio de las actividades del proyecto y deberá re-evaluarse/revisarse cada 10 años según las pautas VCS tomando en cuenta el conocimiento científico y técnico más reciente. La metodología VM0006 recomienda el uso de datos de detección remota para monitorear los inventarios de carbono y las perturbaciones dentro de las fronteras del proyecto. La metodología especifica el monitoreo anual y apoya el registro de perturbaciones, si existieren. Recomienda la adopción de procedimientos operativos estándar para el monitoreo, la recolección de datos y el registro para mantener la integridad de los datos recolectados durante el proceso de monitoreo.
Esta metodología requiere los siguientes componentes de monitoreo para calcular las Reducciones Netas en Emisiones de Gases de Invernadero (NER) reales:

1. Monitoreo de motores de deforestación, actividades del proyecto y fuentes de emisiones relacionadas con las actividades del proyecto REDD al interior y por fuera del área del proyecto.
2. Monitoreo de transiciones de clase LULC y estrato forestal en el área del proyecto, el área de fugas y la región de referencia usando tecnologías de detección remota, y validado con datos verdaderos en tierra.

3. Monitoreo de densidades del inventario de carbono en clases LULC y estratos forestales.
4. Monitoreo de incrementos en los inventarios de carbono en las áreas en las cuales se realizan Actividades de Regeneración Natural Asistida (ANR).
5. Monitoreo de inventarios de carbono en productos de madera de larga vida.
6. Monitoreo de perturbaciones naturales.
7. Monitoreo de actividades de cosecha.

Se produce un informe de monitoreo que contiene toda la información anterior, y que muestra los cálculos para los NER reales generados. En cada evento de monitoreo, el proponente del proyecto deberá confirmar claramente la existencia de proyectos GHG en el área del proyecto y una declaración formal en este sentido debe incluirse en el informe de monitoreo.
Además de monitorear los cambios inducidos por humanos, deben monitorearse y registrarse las perturbaciones naturales y las causas de cambio de carbono. Como cualquier perturbación natural se contabiliza plenamente como parte del monitoreo continuo durante el período de acreditación, cualquier pérdida de biomasa durante el período de acreditación también debe contabilizarse y reportarse en el informe de monitoreo sin importar las causas de la pérdida. Sin embargo, cuando ocurre un evento que califique como evento de pérdida y se han emitido VCUs con anterioridad, el proponente del proyecto deberá seguir las reglas aplicables de los VCS.

Metodología de Monitoreo

1. Se monitorea la implementación del proyecto, incluyendo la frontera del proyecto, el área donde no pueden haber cambios en el uso de la tierra y cualquier actividad que reduzca los inventarios de carbono o que resulten en emisiones en el área de proyecto durante el período de acreditación. Todos los límites del proyecto en el programa de BioREDD son unidades funcionalmente discretas con regiones distintas de referencia y zonas de colchón para fugas y no requieren regiones adicionales para monitorear las emisiones.
2. La estratificación del área del proyecto se monitorea periódicamente porque dos estratos diferentes pueden ser lo suficientemente similares en términos de carbono para justificar su fusión. La estratificación *ex-post* considera el monitoreo de los estratos del proyecto para verificar la aplicabilidad de la estratificación *ex ante* y las variables que influencian el estrato. Los procesos de estratificación *ex post* facilitan un monitoreo costo-efectivo, consistente y preciso de los cambios en los inventarios de carbono del proyecto durante el período de acreditación. En las regiones de BioREDD, desarrollamos la estratificación con base en los conjuntos de datos disponibles y calculamos los inventarios de carbono según esta. Sin embargo, nuestra metodología de línea base se basó en un muestreo aleatorio de un gran área de la región que permitió evaluaciones de carbono con base en la estratificación y las clases LULC. Además, desarrollamos un mapa de inicio a fin de los inventarios y las reservas de carbono en la región de BioREDD, cubriendo las áreas del proyecto, de referencia y de fugas, permitiendo el desarrollo de procedimientos de monitoreo a diferentes niveles y de cambios potenciales en una estratificación *ex post* si el costo y la eficiencia se convierten en componentes importantes del monitoreo a futuro.
3. Esta metodología no monitorea las emisiones netas GHG de línea base. La metodología prescribe la validez de la línea base identificada *ex ante* al inicio de la actividad del proyecto para el período de acreditación, y logra ahorros en los costos asociados con el monitoreo de la línea base.

El cálculo de las emisiones netas GHG reales evitadas *ex post* se basa en datos obtenidos de lotes de muestra, valores de la literatura regional y métodos desarrollados en IPCC GPG-LULUCF para estimar los cambios en los inventarios de carbono de las reservas de carbono y las emisiones de turba.
Las fugas debido a los desplazamientos de actividades se monitorean y contabilizan para calcular las emisiones netas de GHG evitadas.
Las pautas de AC/CC propuestas como parte del plan de monitoreo verifican la precisión y coherencia de las mediciones en campo y garantizan la integridad de la recolección de datos, la gestión de las bases de datos del proyecto y el archive de la base de datos durante el período de acreditación.

Cuando un proyecto esté siendo validado y verificado, tanto el desarrollador como el validador del proyecto realizarán un análisis del riesgo de no permanencia en el momento de la verificación según la herramienta VCS para Análisis de Riesgo de No Permanencia y Determinación de Búfer para AFOLU.

3.4 Monitoreo de Deforestación y Perturbaciones

Parámetro	***Fuente de Datos***	***Metodología***
$\Delta Area_{project}$ $\Delta Area_{leakage}$ $\Delta Area_{reference}$ Justificación Tamaño de las áreas del proyecto, de fuga y de referencia pueden ajustarse durante el período de acreditación. La metodología VM0006 requiere monitorear el tamaño y cuantificar los cambios de las áreas o de la cubierta vegetal en las áreas del proyecto, de fugas y de referencia.	1. Satélite Landsat 8 a resolución de 30 m y datos pancromáticos a resolución de 15 m. Debe haberse adquirido imágenes de múltiples fechas para tener datos relativamente libres de nubes sobre las áreas del proyecto de manera anual. 2. Datos ALOS-2 PALSAR, pol-dual a resolución ~20m. 3. Otros conjuntos potenciales de datos incluyen Terra-XSAR a una resolución de 6 m, e imágenes ópticas comerciales de alta resolución a una resolución de 1-5 m.	1. Se usarán datos Landsat para monitorear cambios en áreas usando los métodos de clasificación/segmentación[1] en conjunto con la cuantificación de transiciones, análisis SIG de fronteras[2], y técnicas de muestreo en el caso de nubosidades extensas[3]. 2. Las imágenes de Radar ALOS PALSAR están libres de nubes y pueden utilizarse para reemplazar pixeles Landsat con nubes o usarse de manera independiente para monitorear cambios de área y el tamaño de las áreas del proyecto, de fugas y de áreas de referencia. La detección de cambios[4] y los métodos de segmentación son los métodos más comunes y confiables para cuantificar cualquier cambio de tamaño y área. 3. Otros conjuntos de datos ópticos y por Radar pueden utilizarse para compensar la nubosidad en los datos Landsat y mejorar la detección de cambios utilizando imágenes de mayor resolución.

Parámetro	***Fuente de Datos***	***Metodología***
$\Delta Area_{project}$ $\Delta Area_{leakage}$ $\Delta Area_{reference}$ Justificación Tamaño de las áreas del proyecto, de fuga y de referencia pueden ajustarse durante el período de acreditación. La metodología VM0006 requiere monitorear el tamaño y cuantificar los cambios de las áreas o de la cubierta vegetal en las áreas del proyecto, de fugas y de referencia.	1. Satélite Landsat 8 a resolución de 30 m y datos pancromáticos a resolución de 15 m. Debe haberse adquirido imágenes de múltiples fechas para tener datos relativamente libres de nubes sobre las áreas del proyecto de manera anual. 2. Datos ALOS-2 PALSAR, pol-dual a resolución ~20m. 3. Otros conjuntos potenciales de datos incluyen Terra-XSAR a una resolución de 6 m, e imágenes ópticas comerciales de alta resolución a una resolución de 1-5 m.	1. Se usarán datos Landsat para monitorear cambios en áreas usando los métodos de clasificación/segmentación[1] en conjunto con la cuantificación de transiciones, análisis SIG de fronteras[2], y técnicas de muestreo en el caso de nubosidades extensas[3]. 2. Las imágenes de Radar ALOS PALSAR están libres de nubes y pueden utilizarse para reemplazar pixeles Landsat con nubes o usarse de manera independiente para monitorear cambios de área y el tamaño de las áreas del proyecto, de fugas y de áreas de referencia. La detección de cambios[4] y los métodos de segmentación son los métodos más comunes y confiables para cuantificar cualquier cambio de tamaño y área. 3. Otros conjuntos de datos ópticos y por Radar pueden utilizarse para compensar la nubosidad en los datos Landsat y mejorar la detección de cambios utilizando imágenes de mayor resolución.

3.5 Monitoreo de LULC y Degradación

Parámetro	***Fuente de Datos***	***Metodología***
Cambio de Cubierta en LULC $\Delta area_{historical}(CS_1 \rightarrow CS_2, t_1 \rightarrow t_2)$ Degradación Forestal Justificación La metodología requiere monitorear cualquier cambio en la cubierta vegetal o la clase LULC entre el tiempo 1 y el tiempo 2 y todas las transiciones entre una clase y otras clases. Todos los cambios deberán actualizarse al menos una vez antes de cualquier actualización de línea base.	1. Clasificación histórica de las LULC en áreas de proyecto, referencia y fugas establecidas para el período anterior al arranque del proyecto (2012 para los proyectos de BioREDD). 2. Satélite Landsat 8 a resolución de 30 m y datos pancromáticos a resolución de 15 m. Debe haberse adquirido imágenes de múltiples fechas para tener datos relativamente libres de nubes sobre las áreas del proyecto de manera anual. 2. Datos ALOS-2 PALSAR, pol-dual a resolución ~20m. 3. Otros conjuntos potenciales de datos incluyen Terra-XSAR a una resolución de 6 m, e imágenes ópticas comerciales de alta resolución a una resolución de 1-5 m. Cualquier satelite futuro con capacidad de monitore.	1. Se usarán datos Landsat para monitorear cambios en LULC usando métodos de clasificación o detección de cambios para LULC de manera annual. En el caso de nubosidades extensas se pueden utilizar abordajes[3] para cuantificar las transiciones. Un número mínimo de clases utilizados para el análisis de clasificación y transición son dispuestos por la metodología VM0006 e incluye bosques, bosques degradados, pastizales, tierras de cultivos, humedales, asentamientos y otras tierras no forestales. 2. Las imágenes de Radar están libres de nubes y pueden utilizarse para reemplazar pixeles Landsat con nubes o de manera independiente para monitorear cambios en las áreas de cobertura forestal y la transición de bosques a otras unidades de cubierta vegetal. La Fortaleza de las imágenes de Radar consiste en monitorear la cubierta forestal y cuantificar las transacciones de bosques intactos a degradados de manera annual. Una metodología sencilla para detector la degradación utilizará relaciones de polarización para el tiempo 1 y el tiempo 2. Los cambios derivados de las imágenes de Radar pueden compararse con los mapas LULC históricos para identificar los tipos de transición. 3. Otros conjuntos de datos ópticos y por Radar pueden utilizarse para compensar la nubosidad en los datos Landsat y mejorar la detección de cambios utilizando imágenes de mayor resolución.

Las emisiones debido a talas ilegales serán rastreadas mediante levantamientos alrededor de las áreas del proyecto, fugas y de referencia anualmente o cada dos años. Las ubicaciones reseñadas incluirán: Familias que viven dentro y cerca del área del proyecto; y rancherías y propiedades rurales cercanas, en las áreas del proyecto y de fugas, particularmente alrededor de senderos y vías secundarias que se aproximen al área del proyecto.

Se usarán métodos de detección para identificar y estimar el área y la intensidad de la tala en las áreas de proyecto y de fuga. En general los abordajes de detección remota podrían no ser capaces de detectar talas selectivas e ilegales donde un pequeño número de árboles son extraídos por las comunidades locales. Los levantamientos en tierra producirán información acerca de los consumidores de madera (es decir, madera para combustible y madera para la construcción y producción de carbón) en áreas circundantes, además de indicaciones generales sobre las áreas de las cuales es extraída la madera y la profundidad máxima de penetración de las actividades de cosecha a partir de los puntos de acceso.

Si se detectan talas ilegales potenciales en el área del proyecto a partir de los levantamientos o los datos de detección remota (es decir, ≥ 10% de los entrevistados/encuestados creen que podría estar ocurriendo degradación dentro de los límites del proyecto), se asignarán y se medirán lotes de muestra temporales en el área del proyecto indicado por los levantamientos como una fuente potencial de madera talada ilegalmente. El área de degradación potencial dentro del área del proyecto se delineará con base en los resultados del levantamiento, incorporando información general del área y la profundidad máxima de penetración y lotes potenciales de biomasa.

3.6 Monitoreo de Emisiones del Proyecto

Parámetro	***Fuente de Datos***	***Metodología***
$RFRG_{rate}(CS1\text{-}CS2)$ Justificación El incremento o la regeneración relativa anual de la cubierta forestal es un factor importante para desarrollar créditos REDD en la metodología VM0006. El incremento forestal puede cuantificarse para áreas de proyecto, de referencia, o de fugas y de manera similar para cada estrato identificado en el análisis LULC de línea base.	1. Clasificación histórica de las LULC en áreas de proyecto, referencia y fugas establecidas para el período anterior al arranque del proyecto (2012 para los proyectos de BioREDD). 2. Satélite Landsat 8 a resolución de 30 m y datos pancromáticos a resolución de 15 m. Debe haberse adquirido imágenes de múltiples fechas para tener datos relativamente libres de nubes sobre las áreas del proyecto de manera anual. 2. Datos ALOS-2 PALSAR, pol-dual a resolución ~20m. . Imágenes ópticas comerciales de alta resolución a una resolución de 1-5 como rapid-eye, o levantamientos aéreos con sensores ópticos (fotografía) o técnicas LiDAR. 4. Levantamientos en campo para estimar cambios de cubierta forestal o recrecimiento de bosques mediante técnicas de inventario o levantamientos sencillos.	1. Se requieren múltiples imágenes para establecer tasas de crecimiento forestal o regeneración en áreas de proyecto. La metodología requiere de tres pasos. Paso 1. El área de cambio de la cubierta forestal se cuantificará usando la metodología para el cambio LULC según lo discutido anteriormente. El cambio positivo y la transición de clases no forestales como pastizales y tierras de cultivo a bosques se registrará y cuantificará como una relación de cambio en términos de área/año. Paso 2. El incremento en la cubierta o densidad de los bosques degradados o secundarios debe identificarse mediante el desarrollo de métricas a partir de Landsat TM como EVI o NDVI o la fracción de sombra o de otras métricas de Radar como RFDI[5] o relación de polarización cruzada. La metodología de usar imágenes Landsat y de Radar es de aplicación limitada a bosques en etapas de sucesión tempranas. Paso 3. La sucesión tardía o regeneración de bosques talados selectivamente puede detectarse usando datos de alta resolución (1-5m) de satélites comerciales o datos de detección remota aérea repetida usando fotografía aérea o técnicas LiDAR. Un abordaje alternativo incluirá una detección directa de cambios en la regeneración forestal utilizando levantamientos en tierra. Paso 4. Para cuantificar precisamente la magnitud de la tasa de cambio en términos de cubierta porcentual o biomasa, podrán requerirse levantamientos en tierra o mediciones LiDAR repetidas. Una metodología de detección de cambio que fusione técnicas de detección remota y en tierra[6] se considera el mejor método para cuantificar la tasa de cambio en la biomasa forestal

Parámetro	***Fuente de Datos***	***Metodología***
$Area_{Biomass\ Loss}$ Justificación La metodología VM0006 requiere identificar y cuantificar las áreas de pérdida de biomasa debido a varias actividades como la tala selectiva, los cortafuegos, los incendios prescritos, y la tala de productos madereros y no madereros u otras actividades que resulten en una pérdida de biomasa bien sea por cambios en la cubierta forestal o cambios de biomasa.	1. Clasificación histórica de las LULC en áreas de proyecto, referencia y fugas establecidas para el período anterior al arranque del proyecto (2012 para los proyectos de BioREDD). 2. Satélite Landsat 8 a resolución de 30 m y datos pancromáticos a resolución de 15 m. Debe haberse adquirido imágenes de múltiples fechas para tener datos relativamente libres de nubes sobre las áreas del proyecto de manera anual. 2. Datos ALOS-2 PALSAR, pol-dual a resolución ~20m. . Imágenes ópticas comerciales de alta resolución a una resolución de 1-5 como rapid-eye, o levantamientos aéreos con sensores ópticos (fotografía) o técnicas LiDAR. 4. Levantamientos en campo para estimar cambios de cubierta forestal o recrecimiento de bosques mediante técnicas de inventario o levantamientos sencillos.	1. La pérdida de biomasa por cambios en LULC o área forestal ya se ha discutido. Aquí nos enfocamos en el área de pérdida de biomasa sin cambios en el área del tipo forestal según el mapa LULC histórico. 2. Series de tiempo de los datos Landsat usando banda NIR o cualquier índice de vegetación como NDVI y EVI pueden proveer estimados de ganancia o pérdida de biomasa sin cambios en el área forestal. Sin embargo, las técnicas ópticas deben ser validadas por levantamientos en tierra. 3. La detección de cambios usando series de tiempo de datos de imágenes de Radar proveen un método confiable para estimar la pérdida de biomasa forestal. Las métricas de Radar incluyendo mediciones con polarización cruzada a partir de datos ALOS2 PALSAR pol-dual, pueden usarse para detectar directamente la pérdida de biomasa forestal. La magnitud de la pérdida depende del tipo forestal y el original de la biomasa. Una pérdida significativa de biomasa como del 25-50% puede detectarse fácilmente a partir de los datos de Radar. Sin embargo, pérdidas menores por talas selectivas de bajo impacto deben ser detectados por una combinación de Radar, imágenes ópticas y levantamientos en campo. 4. La pérdida de biomasa por talas selectivas y extracciones de pequeña escala puede verificarse usando levantamientos en tierra de lotes establecidos aleatoriamente en las regiones del proyecto, de referencia y de fugas.

Usando la anterior metodología y datos para estimar el área forestal y la pérdida de biomasa en las áreas de proyecto, de fugas o de referencia, las emisiones se calculan como la suma de emisiones de la combustión de combustibles fósiles y las emisiones no CO_2 debido a la quema o pérdida de biomasa. Según se estipula en la metodología, la combustión de combustibles fósiles en todas las situaciones es una fuente opcional de emisiones. Además, no se aplica nitrógeno en usos alternativos de la tierra en el caso con-proyecto y por tanto las emisiones del proyecto son iguales a $E_{biomassBurn}$ y se calculan usando la metodología VM0006. Las emisiones no-CO_2 por la quema de biomasa en el caso del proyecto incluyen emisiones de quemas asociadas con deforestación y quemas asociadas con perturbaciones naturales, es decir, incendios forestales.

3.7 Monitoreo de Fugas:

Las fugas por causa de agentes locales de deforestación se cuantifican en el cinturón de fugas. El área deforestada en el cinturón de fugas se estima de la misma manera que se hace para el área deforestada en el área del proyecto usando los procedimientos definidos arriba en la sección de monitoreo de deforestación. Las actividades que mueven las fugas dentro del cinturón de fugas se calcula entonces como las emisiones con proyecto dentro del cinturón de fugas.

3.8 Monitoreo de Inventarios de Carbono Forestal

El monitoreo de inventarios de carbono se realizará frecuentemente durante la implementación del proyecto para revisar los inventarios de carbono y monitorear cualquier cambio asociado con la regeneración y pérdida. Durante el desarrollo del proyecto, el carbono en bosques en áreas de proyecto, de referencia y de fugas se estimó usando detección remota aérea LiDAR en conjunto con lotes de inventario en campo en varias regiones de las áreas de proyecto BioREDD donde tenemos acceso para levantamientos en campo y recolección de datos.

Esta sección provee una descripción básica de las mediciones de los lotes de biomasa, que se describen en mayor profundidad en los informes provistos por CONIF y Alvaro Duque, para el Sistema de Monitoreo de Carbono Forestal y la calibración y validación de los datos LiDAR. Para áreas del proyecto de BioREDD, establecemos lotes de muestreo tanto permanentes como temporales que se utilizarán para estimar inventarios de carbono en todo el paisaje y para implementar monitoreo futuro para detección de cambios. El tamaño y la forma de los lotes de muestreo a ser utilizados para estimar los inventarios de carbono a lo largo y ancho del paisaje y para implementar monitoreo futuro para detectar cambios. El tamaño y la forma de los lotes de muestreo para medición de la biomasa forestal es un intercambio entre exactitud, precisión, tiempo, y costo de medición, y finalmente la compatibilidad con los datos de detección remota. El tamaño y la forma más apropiados podrían también depender del tipo de vegetación encontrado en el área de muestreo. Además, los lotes deben ser de suficiente tamaño para reducir errores asociados con la geolocalización y los efectos de borde al usarse para calibrar los datos RS. El tamaño mínimo de los lotes seleccionados para este proyecto es de 0.25 ha (Asner y Mascaro, 2013; Meyer y Saatchi et al. 2013).El lote de 0.25 Ha es un compromiso entre los tamaños de lote pequeños que son eficientes para los métodos de inventario de campo (p.ej. < 0.1 ha) pero proveen modelos con gran incertidumbre entre RS y los estimados en tierra de la AGB, y lotes grandes (p.ej. 1.0 ha) que son costosos y difíciles de establecer en el campo pero proveen modelos con una baja incertidumbre (~ 10% de error relativo sin sesgo) (Meyer et al., 2013; Asner y Mascaro, 2014).

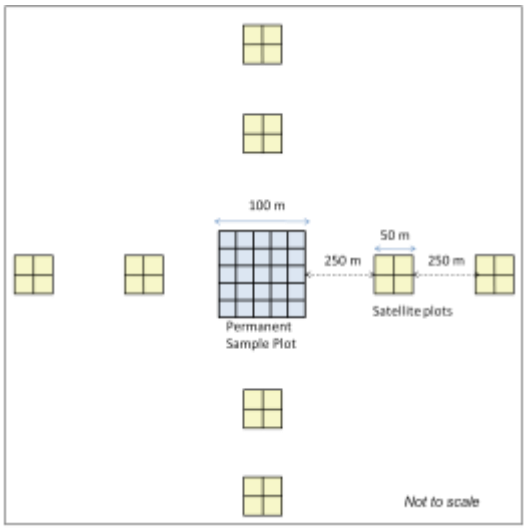


Fig. 6.1 Forma y tamaño de los lotes permanentes y satelitas dentro del transecto LiDAR.

En el proyecto de BioREDD, los lotes solo se usan para calibrar y validar el LiDAR al modelo de AGB. El número mínimo de lotes requerido para desarrollar y validar la detección remota contra el modelo predictivo de AGB se estimó en 45, con 30 lotes de calibración y 15 lotes de validación. Estos requerimientos se basaron en una metodología similar a las herramientas CDM A/R para calcular el número de lotes de muestreo dentro de las actividades de los proyectos A/R CDM, y basados en un

número mínimo para desarrollar la detección remota y el modelo predictivo de la AGB (Asner y Mascaro, 2014). En general un modelo predictivo basta para estimar la biomasa forestal a partir de LiDAR en las regiones BioREDD si el modelo alométrico en tierra utilizado para estimar la AGB también es uno solo. Si el número de alometrías en tierra cambia por la presencia de varios tipos de bosque, según Chave et al., 2005 para selvas tropicales, y bosques húmedos o secos, entonces el número de modelos predictivos de detección remota también cambiará.
En el proyecto de BioREDD incrementamos el número de lotes de calibración y validación para asegurarnos que los números sean suficientes para desarrollar más de un modelo predictivo de AGB de ser necesario. Su usaron un total de 15 lotes agrupados en 15 transectos de LiDAR que cubrieron diferentes estratos en las regiones de BioREDD. Cada lote agrupado cumplió los siguientes requerimientos:

1. Cada lote agrupado tenía un lote permanente con un tamaño de 1 Ha (100 m x 100 m) y 8 lotes satélite o auxiliares con un tamaño de 0.25 Ha (50 m x 50 m).
2. La ubicación central del lote permanente se seleccionó aleatoriamente en el transecto lidar en el área forestal para permitir un muestreo de todas las condiciones forestales en bosques fragmentados, degradados o secundarios. Los lotes satélite estaban ubicados a 250 m y 500 m de distancia de los lotes centrales permanentes en cuatro direcciones cardinales (Fig. 6.1).
3. Las mediciones en los lotes permanentes siguieron los protocolos RAINFOR (REF?) Todos los árboles con un DBH ≥ 10 cm de diámetro se midieron en cada lote, y los árboles se marcaron y registraron. Se registraron coordenadas x,y para los lotes permanentes pero no para los lotes satélite, y se identificaron árboles en todos los lotes por especie para los valores de densidad de madera.
4. Un mínimo de 50 árboles en diferentes clases de DBH se seleccionaron para mediciones de altura y el desarrollo de una alometría DBH-H para los lotes o tipo de bosque. El número de árboles con medición de altura representó entre el 7 y el 16% del número total de árboles registrados en cada sitio. Todos los árboles en San Pablo ya tenían mediciones de altura.
5. Se desarrolló una relación o un modelo predictivo diámetro-altura de árbol (D-A) para cada lote agrupado y también combinado para la región. La Fig. 6.2 muestra la alometría utilizada para convertir el diámetro del árbol en altura para todos los árboles en los lotes. Usamos un modelo Weibull para estimar la altura de los árboles que no se midieron directamente.

Para estimaciones AGB de los lotes de muestreo, usamos el modelo alométrico desarrollado para la región bajo estudio por el equipo de BioREDD. Primero usamos el modelo de Chave et al. 2005 para bosques húmedos para estimar la biomasa para cada lote. Sin embargo, el proyecto BioREDD proveyó financiamiento para desarrollar ecuaciones alométricas locales para los árboles de los bosques de costa pacífica. Los modelos desarrollados para la región incluyeron tres tipos de bosques en las regiones: Tierra firme (Colinas), Bosques inundados (Guandal), y manglares (Manglar). Se talaron árboles en la región y se combinaron con árboles talados por actividades de investigación anteriores para desarrollar los modelos. Los modelos incluyeron análisis de incertidumbre y comparaciones con las ecuaciones alométricas de Chave et al. (2005) y (2014) y se reportaron las diferencias (véase el informe de proyecto BioREDD BR-SUBK-FP-022). Las ecuaciones se resumen a continuación:

Colinas $\ln(AGB) = -2.130+2.015\times\ln(D)+0.724\times\ln(H)+1.002\times\ln(WD)$

Guandal $\ln(AGB) = -2.328+1.833\times\ln(D)+0.724\times\ln(H)+0.151\times\ln(WD)$

Manglar $\ln(AGB) = -2.818+2.185\times\ln(D)+0.724\times\ln(H)+0.650\times\ln(WD)$

Para estimar la biomasa de las palmeras en toda clase de bosques, usamos la ecuación alométrica desarrollada por Saldarriaga (2014).

$$\ln(AGB) = -0.173+0.700\times\ln(D^2\times H\times WD)$$

Para valores de biomasa estimados en lotes permanentes y satélite individuales véase la tabla 6.3. Para cada lote también tenemos un identificador y descripción por el grupo de campo que resume el tipo y la condición de los bosques como bosques degradados, secundarios, Guandal, Colinas, Manglar, etc. La mayoría de los lotes caen sobre bosques mixtos, y por tanto los valores de biomasa estimados a partir de los modelos alométricos se aplican al nivel de los árboles para proveer estimados de la biomasa al nivel del lote.

Revisión de la Línea Base

La línea base definida en la Descripción del Proyecto VCS es válida por 10 años. La línea base se revisará cada 10 años a partir de la fecha de inicio del proyecto. Los procedimientos de recolección de datos con respecto a la revisión de la línea base incluirán evaluaciones rurales participativas, entrevistas y colaboración con las comunidades regionales de BioREDD, los expertos de SIG en el proyecto BioREDD, y las autoridades municipales. Dado el caso que el proyecto BioREDD ya no produzca el conjunto de datos anual respecto a la extensión y ubicación espacial de toda la deforestación dentro de la región, se prepararán mapas de deforestación clasificando imágenes detectadas remotamente. Otros conjuntos de datos usados para sustanciar aspectos de la línea base vendrán de fuentes gubernamentales oficiales, publicaciones con revisión de pares, u otras fuentes de buena reputación.

Aseguramiento de Calidad/Control de Calidad y Procesos de Archivo de Datos

Para garantizar la consistencia y los resultados de calidad, los analistas espaciales que realizan el procesamiento de imágenes, la interpretación y los procesos de detección de cambios se ceñirán estrictamente a las mejores prácticas y a las pautas de mejores prácticas, al utilizar el método alternativo para cuantificar la deforestación. Todas las fuentes de datos y los procesos analíticos se documentarán y archivarán (descrito a continuación bajo archivo de datos). El monitoreo de deforestación, las perturbaciones naturales, y la precisión de fugas de la clasificación se evaluarán comparando la clasificación con los puntos de verdad en tierra o muestras de imágenes de alta resolución. Se registrarán y archivarán los datos adquiridos de los puntos de verdad en tierra (incluyendo coordenadas de GPS, clase identificada de uso de tierra, y evidencias fotográficas de apoyo). Todos los puntos de muestra de imágenes de alta resolución utilizados para evaluar la precisión de la clasificación también se archivarán. Las muestras usadas para evaluar la precisión de la clasificación deben estar bien distribuidas a lo largo y ancho del área de proyectos (hasta donde sea posible considerando la disponibilidad de imágenes de alta resolución y/o la logística de adquirir datos verdaderos en tierra), con una intensidad mínima de muestreo de 30 puntos cada uno para las clases forestales y no forestales. Nótese que la clasificación únicamente se utilizará en el paso de detección de cambios en la cobertura forestal si la precisión general de la clasificación, calculada como el número total de muestras correctas / el número total de muestras, es igual o superior a 90%.

4. Estructura Organizacional

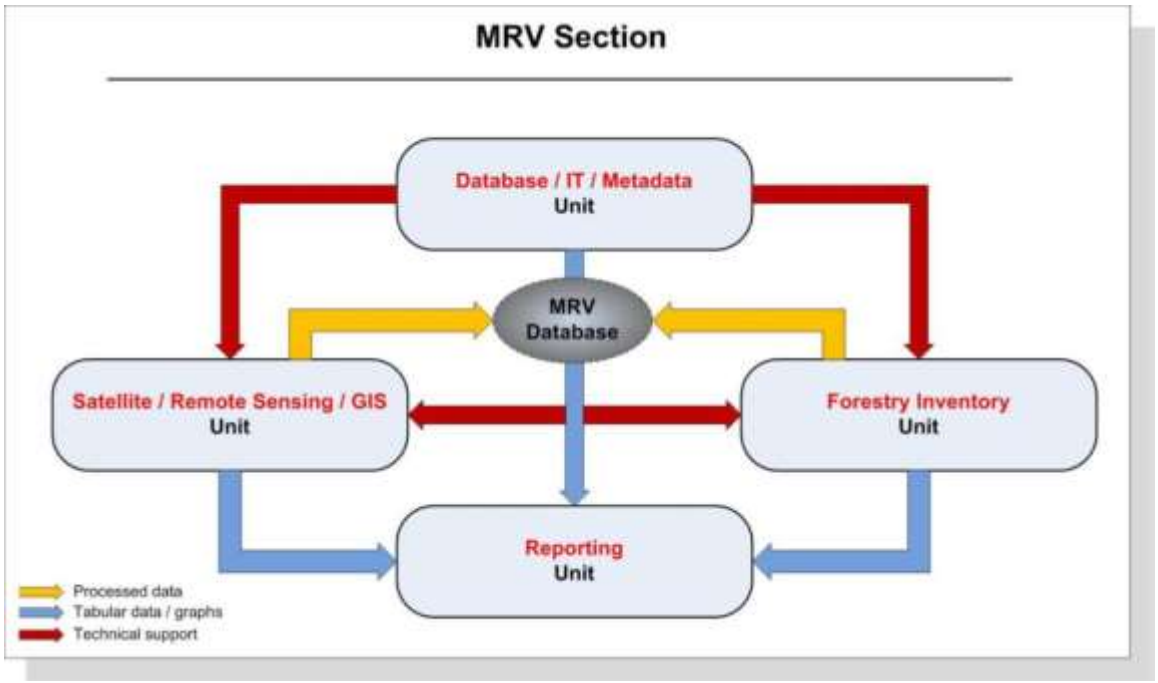
La arquitectura de gestión del sistema MRV

La Sección de MRV: Para gestionar las distintas funciones del sistema MRV se propone una oficina de gestión centralizada. Esta oficina puede estar ubicada o bien en una de las

entidades gubernamentales como el IDEAM, una ONG local que trabaje con el proyecto REDD, o cualquier otra institución gubernamental o privada. Su objetivo principal consiste en organizar y manejar a los expertos de MRV a nivel nacional y local, para mantener el sistema MRV y promover la divulgación de datos. La misma Sección MRV que se establecerá para la MRV nacional tendrá responsabilidad de ejecutar MRV a nivel del proyecto y de construir la capacidad de los actores relevantes para que realicen las tareas. En el programa BioREDD, hay varios proyectos dentro de la misma región geográfica. Uno o todos los proyectos pueden tener una sola unidad y estructura administrativa. La Sección MRV se subdivide en cuatro unidades independientes pero estrictamente conectadas:

1. Unidad de Bases de Datos/Sistemas/Metadatos (DBM)
2. Unidad de Satélite/Detección Remota/SIG (RS)
3. Unidad de Inventario Forestal (FIN)
4. Unidad de Reportes (REP).

Cada Unidad tiene sus propios expertos y aplicaciones de software. Un Coordinador de MRV administrará la Sección de MRV.



La Unidad de Satélite / Detección Remota / SIG (RS)

El objetivo principal de la Unidad RS consistirá en el procesamiento y análisis requeridos para producir las capas de clasificación Uso de Tierra/Cubierta Vegetal y realizar las ediciones y los análisis SIG para garantizar la integridad de los datos en la base de datos de monitoreo y reportes (MRV en general). Se usarán imágenes satelitales multi-temporales, DEM y eventualmente otros datos auxiliares para identificar la detección de cambios en las clases forestales. Cuando se hayan producido y validado las capas LULC, serán cargadas a la base de datos de monitoreo. Debe entregarle gráficas y datos tabulados a la Unidad de Reportes según sus solicitudes periódicas. Esta Unidad, que deberá incluir dos expertos, podría hacer uso del soporte técnico de las unidades REP y FIN para tareas específicas.

La Unidad de Inventario Forestal (FIN)

El objetivo principal de la Unidad FIN será la producción del inventario forestal (también integrado por entidades nacionales y sub-nacionales como CONIF e IDEAM) para estimar las emisiones de GHG usando algoritmos y modelos muy específicos aplicados a los datos locales recolectados por el equipo de cambio de FIN. Cuando se hayan producido y validado los

estimados GHG, serán cargados a la base de datos MRV. La Unidad también podrá usar el soporte técnico de la unidad RS y demás unidades para tareas específicas. Debe enviarle gráficas y datos tabulados/agregados a la Unidad de Reportes cuando esta se los solicite. Los recursos humanos necesarios para manejar esta unidad incluyen un experto forestal.

La Unidad de Reportes (REP)

Esta Unidad provee reportes MRV estándar y periódicos (consistentes con los requerimientos para reportes dispuestos en las pautas de UNFCCC y la metodología VCS) para divulgación de datos e información agregada, recolectando la información necesaria de las otras tres unidades. Los reportes son un elemento clave del MRV porque provee los medios mediante los cuales, por un mecanismo REDD+ futuro, se evaluará el desempeño del proyecto en comparación con sus compromisos o escenario de referencia y, por tanto representará la base para asignar incentivos. El recurso humano necesario para gestionar esta unidad es un experto de MRV REDD.

Resumen de Técnicas de Detección Remota

El Análisis de Detección de Cambios abarca una amplia gama de métodos usados para identificar, describir y cuantificar las diferencias entre las imágenes de la misma escena en diferentes momentos o bajo condiciones distintas. Uno puede usar muchas de las herramientas ENVI o de cualquier otro software de procesamiento de imágenes (como Band Math o Principal Components Analysis) de manera independiente, o en combinación, como parte del análisis de detección de cambios. Además, las rutinas encontradas bajo la Caja de Herramientas Change Detection ofrecen un método sencillo para medir los cambios entre un par de imágenes que representan un estado inicial y uno final. Use las Estadísticas de Detección de Cambios para imágenes de clasificación; use el Mapa de Diferencias de Detección de Cambios para imágenes en escala de grises (de una sola banda).

Los métodos digitales de detección de cambios pueden caracterizarse por (1) el proceso de transformación de datos (si existiere) y (2) las técnicas de análisis utilizadas para delinear las áreas con alteraciones significativas. Hay dos métodos básicos para la detección de cambios: (1) análisis comparativo de clasificaciones producidas independientemente para diferentes fechas y (2) análisis simultáneo de datos multi-temporales.

Al realizar un análisis de detección de cambios sobre imágenes no temáticas (datos en escala de grises) es importante tomar en cuenta todos los factores que pueden hacer que se vean distintas dos escenas de la misma área. A continuación, algunos factores notables:

- Diferencias en el instrumento o el sensor: Considerar la similitud de los sensores que tomaron las imágenes. Incluso bandas recolectadas en la misma sección del espectro (por ejemplo, dos bandas rojas) podrían tener distintas longitudes de onda de la banda central, o diferentes funciones de respuesta espectral, lo que podría producir diferentes valores de pixeles para el mismo material.
- Diferencias en la fecha y hora de recolección: Los cambios estacionales pueden impartirle grandes diferencias a escenas que contengan vegetación (debido a la senescencia vegetal y el desarrollo de la arquitectura de la cubierta). Las diferencias de estación y de hora del día también afectarán el azimut y la elevación del sol.
- Diferencias en Condiciones Atmosféricas: Las condiciones climáticas dominantes pueden afectar la transmisión y la dispersión atmosférica. Las diferencias en las condiciones atmosféricas generales a menudo se asocian con cambios de estaciones. Por ejemplo, pueden

ser importantes las diferencias en la dirección predominante del viento (los vientos que entran desde el océano contienen aerosoles distintos con distintas propiedades de dispersión que los vientos que entran sobre un área urbana). Otra diferencia común, pero consistente, es el contenido de humedad de la atmósfera. Las atmósferas de verano tienden a ser más húmedas que las de invierno. Las imágenes con corrección atmosférica pueden ayudar a reducir estas influencias.

- Diferencias en la Calibración de las Imágenes: Para resultados más precisos en la detección de cambios es importante trabajar con imágenes que estén calibradas para las mismas unidades. Si no es posible una calibración en unidades físicas (como radianes), una calibración relativa puede ser mejor que ninguna (especialmente si los instrumentos que capturan los datos tienen diferentes rangos dinámicos).
- Diferencias en la Resolución de las Imágenes: Diferentes tamaños de pixeles pueden llevar a la detección de cambios falsos. Es importante que las imágenes originales (antes de su remuestreo o reproyección) tengan la misma resolución de pixeles. Para imágenes con grandes tramos (como AVHRR, SeaWiFS, o MODIS) los tamaños reales de los pixeles difieren a lo ancho de la escena. En estos casos, las diferencias en la geometría de visión del sensor pueden ser importantes también.
- Precisión en el Co-registro: Imágenes co-registradas con precisión son críticas para los análisis de detección de cambios. Aunque la rutina Calcular Mapa de Diferencias co-registrará automáticamente las imágenes de entrada usando la información disponible de mapas, si las diferencias en la geometría de las imágenes son sustanciales, vale la pena asegurarse de que el co-registro sea lo más preciso posible antes de realizar una detección de cambios. La metodología VM0006 requiere una precisión de registro de imagen menor a 1 pixel (<30 m).

Entre las técnicas utilizadas para monitorear los cambios, a continuación aparecen algunas de las metodologías más comunes:

Mapa de Diferencias para la Detección de Cambios: El método de diferenciación de imágenes no compensa por cualquiera de estas condiciones (o por otras). Sus resultados dependen estrictamente de comparaciones pixel por pixel. Las imágenes de entrada deben georeferenciarse o co-registrarse. Si las imágenes no se co-registran, entonces la información disponible de mapas se usará para co-registrar automáticamente el área del proyecto o las áreas de referencia en común de ambas imágenes. Para que este método de detección de cambios sea eficiente, se recomienda únicamente seleccionar un área de interés para realizar la detección de cambios o el mapa de diferencias. El uso de imágenes enteras como, p.ej., escenas Landsat, podrán incrementar el tiempo de procesamiento y, hasta cierto punto, los errores asociados con el registro y la calibración radiométrica. La metodología puede resumirse en los siguientes pasos:

Seleccionar una imagen de una sola banda que represente el estado inicial de LULC y crear subconjuntos espaciales opcionales para las áreas delineadas para una clasificación de línea base sobre áreas de proyecto, de fugas y de referencia.
Seleccionar una imagen de una sola banda que represente el estado final del período de monitoreo y crear subconjuntos espaciales opcionales sobre las áreas de proyecto, de referencia y de fugas, y calcular el mapa de diferencias para un análisis más profundo.
Ingresar el número de clases a usarse. Cada clase está definida por un umbral de diferencia que representa una cantidad variable de cambio entre las dos imágenes. El número mínimo de clases es de dos. Los umbrales de clasificación por defecto están espaciados uniformemente entre (-1) y (+1) para diferencias sencillas, y (-100%) y

(+100%) para diferencias porcentuales. Las definiciones de las clases por defecto intentan producir clases simétricas, con un número igual de clases de cambios positivas y negativas alrededor de una categoría de no cambio. El orden en que se define las clases es el siguiente.
Para n clases, donde n es impar, las primeras (n/2) clases representan cambios positivos, iniciando con los cambios positivos más grandes y terminando con los más pequeños.
La clase del medio, (n/2) + 1, no representa ningún cambio.
Las últimas (n/2) clases representan cambios negativos, empezando con los más pequeños y finalizando con los mayores.
Para un número de clases par, las definiciones siguen iguales y el número de clases negativas se reduce en uno. En resumen, las definiciones por defecto de las clases van desde las positivas a las negativas, y la magnitud del cambio se incrementa con la distancia de la clase de 'no cambio' que se encuentra en la mitad.
Aunque es mejor personalizar los criterios usados para definir los umbrales de cambio, también se recomienda retener las propiedades simétricas de las clases, con un número igual de clases negativas y positivas alrededor de una clase de 'no cambio' en la mitad. El retener la posición (el orden) y el tipo (negativo y positivo) por defecto de las clases facilitará la interpretación de los resultados al asignar los colores de la clasificación.
Se recomienda iterar sobre los umbrales para encontrar los valores óptimos para separar los cambios. El mejor método consiste en usar un umbral para una clase, separar dicha clase del resto de las clases y repetir el proceso. También se recomienda usar distintas bandas para diferentes clases para reducir cualquier confusión y error asociados con la separación de las diferentes clases.
Para el monitoreo de múltiples años, se recomienda fijar automáticamente los umbrales de cambio de la clasificación para que se compaginen con los usados en un momento o un análisis anterior. Esto requiere múltiples imágenes del mismo satélite con las mismas características como banda, resolución y geometría de las observaciones.

Regresión de Imágenes: En el método de detección de cambios usando regresión, se asume que los pixeles del tiempo t1 son una función lineal de los pixeles del tiempo t2. Así, uno puede hacer regresión de los valores de bandas de los pixeles de la imagen 1 contra los valores de bandas de los pixeles de la imagen 2 usando una regresión de menores cuadrados. Si el valor pronosticado obtenido de la línea de regresión se usa como una capa, la imagen de la diferencia puede desarrollarse de manera similar al método de diferenciación de imágenes anterior. Se aplica una técnica de creación de umbrales, según se describió anteriormente, para detectar áreas de cambios (Singh, 2010). La técnica de regresión da cuenta de diferencias en la media y la varianza entre valores de pixeles para distintas fechas para reducir los efectos adversos por diferencias en condiciones atmosféricas o ángulos solares o efectos de procesamiento (Jenson 1983). En la mayoría de los casos, el método de regresión de imágenes se comporta marginalmente mejor que la técnica de diferenciación de imágenes univariante discutida anteriormente, especialmente para la detección de cambios en la cubierta urbana y en la cubierta de bosques tropicales.

Relacionamiento de Imágenes: El relacionamiento (ratioing) de imágenes se considera un medio relativamente rápido de identificar áreas de cambio particularmente en imágenes ópticas como Landsat. Al relacionar dos imágenes registradas en diferentes fechas, una o más bandas de la imagen son relacionadas, banda por banda. Los datos se comparan pixel por pixel. Si la intensidad de la energía reflejada es casi igual en cada imagen entonces la relación = 1, lo cual indica que no hay cambio. En áreas con cambios el valor de la relación sería significativamente superior o inferior a 1 dependiendo de la naturaleza de los cambios entre ambas fechas. El

elemento crítico de la metodología consiste en seleccionar valores de umbral apropiados en las colas inferior y superior de la distribución que representen cambios en los valores de los pixeles. La práctica usual ha consistido en seleccionar umbrales arbitrarios y probarlos empíricamente par aver si la detección de cambios se realizó con precisión. En la mayoría de los casos el umbral puede determinarse si se identifican áreas de cambio tanto en las imágenes como en tierra. El relacionamiento tiene varios problemas y fuentes de error. Entre ellos, la naturaleza ruidosa de la relación que causa ambigüedades en la detección de cambios, y la distribución no normal de la relación son los más críticos.

Diferenciación por Índice de Vegetación: Diferentes índices de vegetación relacionados con la cubierta vegetal o el verdor de la vegetación pueden usarse para detector cambios. Uno de los índices vegetales más utilizados en las imágenes ópticas como los datos Landsat es NDVI = (NIR-RED)/(NIR+RED) como el índice de vegetación diferenciada normalizada desarrollado a partir de las bandas de Landsat de infrarrojo cercano (NIR) y rojo (RED). Los índices de vegetación se usan para incrementar las diferencias espectrales relacionadas con características de la vegetación y pueden mejorar los métodos de detección de cambios. En la mayoría de los casos, el índice de vegetación es similar a una banda y puede incorporarse a los métodos de relacionamiento o diferenciación de bandas. Se ha evidenciado fuertemente que las relaciones normalizadas de diferencia entre las bandas o los índices de vegetación también pueden mejorar la metodología como en el siguiente caso (Nangendo et al. 2005; Mitchard et al., 2009):

$$cambio = \frac{NDVI_2 - NDVI_1}{NDVI_2 + NDVI_1}$$

Donde 1 y 2 representan las imágenes NDVI para los tiempos 1 y 2 respectivamente. Esto produce imágenes de cambio donde cada pixel tiene un valor de -1 a +1, donde cero indica que no hay cambio, los valores positivos indican cambios positivos (es decir, un incremento en la cubierta forestal), y los valores negativos cambios negativos (es decir, una disminución en la cubierta forestal).

Comparación Pos-Clasificación: Este es el método más obvio de detección de cambios que requiere la comparación de imágenes clasificadas producidas de manera independiente. Al codificar apropiadamente los resultados de clasificación para los tiempos t1, y t2, el analista puede producir mapas de cambio que muestran una matriz de cambio completa. Además, la agrupación selectiva de los resultados de clasificación le permite al analista observar cualquier subconjunto de cambios que podría ser de interés. La comparación pos-clasificación promete porque los datos de ambas fechas se clasifican por separado, minimizando así el problema de normalización por diferencias atmosféricas y de sensores entre ambas fechas. Este método también elimina el problema de conseguir un registro preciso de imágenes multi-fecha.

Sin embargo, esta metodología podría tener una incertidumbre mayor que las imprecisiones de clasificación individual pues el error de la comparación es aproximadamente el error de clasificación del tiempo 1 multiplicado por el tiempo 2. Computacionalmente, requiere clasificar escenas completas dos veces. […] hallaron que la técnica de comparación pos-clasificación identificó confiablemente las áreas de cambio pero no usaron información en tierra coincidente con fines de comparación. En la metodología VM0006 una comparación de la imagen de línea base con una nueva imagen clasificada realizada anualmente para las áreas de proyecto, de fuga y de referencia puede proveer fácilmente un estimado de los cambios en la cubierta forestal.

Método de detección de cambios por Radar. La polarimetría por radar desde sensores aéreos y espaciales es reconocida por su aplicación en la clasificación de la cubierta vegetal y la extracción de información como la estructura y biomasa de los paisajes vegetales. Las técnicas de clasificación por Radar se dividen generalmente en dos categorías: métodos de clasificación paramétricas (p.ej., supervisadas, no supervisadas y semi-supervisadas) y no paramétricas. Cada una de estas técnicas de clasificación tiene sus ventajas y desventajas. La polarización de las imágenes de radar puede utilizarse de manera similar a las bandas en los datos ópticos, proveyendo opciones que permiten separar con precisión los tipos de cubierta vegetal o de uso de la tierra. Así los parámetros de polarización como las relaciones de polarización que pueden interpretar físicamente el comportamiento de difusión de los diferentes objetivos pueden resultar útiles para clasificar la cubierta vegetal de aquellos sitios donde no hay suficiente información a priori. Los investigadores han usado diferentes índices de polarización para diferentes aplicaciones, como la retrodispersión de los coeficientes de diferentes polarizaciones (lineales: HH, HV, VV), y sus relaciones se han usado ampliamente para clasificación de cultivos/identificación de vegetación, discriminación de suelos baldíos/vegetación, y discriminación de humedales/aguas de otras clases; el índice normalizado de polarización diferenciada (NDPI, en inglés) se ha usado para el monitoreo de peligros, relación del índice de vegetación (RVI) para descripción de cubierta, suma de polarización ponderada (WPS) para el mapeo urbano, y la relación de polarización cruzada para separar los campos baldíos o con vegetación escasa de las áreas con bosques.

Métrica RFDI para Radar

Hemos desarrollado una métrica sencilla de las mediciones de retrodispersión polarimétricas captadas por sensores SAR de longitud de onda larga para detectar la deforestación y degradación, y que tiene un desempeño consistente en toda clase de paisajes complejos y condiciones ambientales (Saatchi et al. 2014). Hemos evaluado el desempeño de las métricas y las aplicaciones desarrolladas que sean compatibles con lo ya establecido y recomendado bajo las metodologías negociadas de uso de tierras, cambios en el uso de tierras y silvicultura (LULCF) bajo la UNFCCC, y las "Pautas de Buenas Prácticas" de la IPCC [*IPCC*, 2006].
Para desarrollar esta métrica nos enfocamos en datos SAR de doble polarización suministradas a intensidades de retrodispersión de radar HH (Transmisión Horizontal y Recepción Horizontal) y HV (Transmisión Horizontal y Recepción Vertical). Estas polarizaciones son el modo de operación más común de la mayoría de los sensores de radar tales como el ALOS PALSAR en el espacio. Definimos el Índice de Degradación Forestal por Radar (RFDI) como la relación normalizada de los dos canales de polarización de radar, dada por:

$$RFDI = \frac{HH - HV}{HH + HV}$$

donde las intensidades de retrodispersión se dan en unidades lineales (m^2/m^2). El valor de RFDI varía entre 0 y 1, pues incluso en los terrenos más topográficamente complejos la retrodispersión HH siempre será superior a la HV. Para datos del modo ALOS PALSAR FBD, la geometría y el ángulo

de incidencia no varía entre los pixeles SAR, permitiendo un análisis temporal del RFDI sin tener que preocuparse por cambios en la geometría, el ángulo de incidencia, o cualquier otra característica de la imagen.

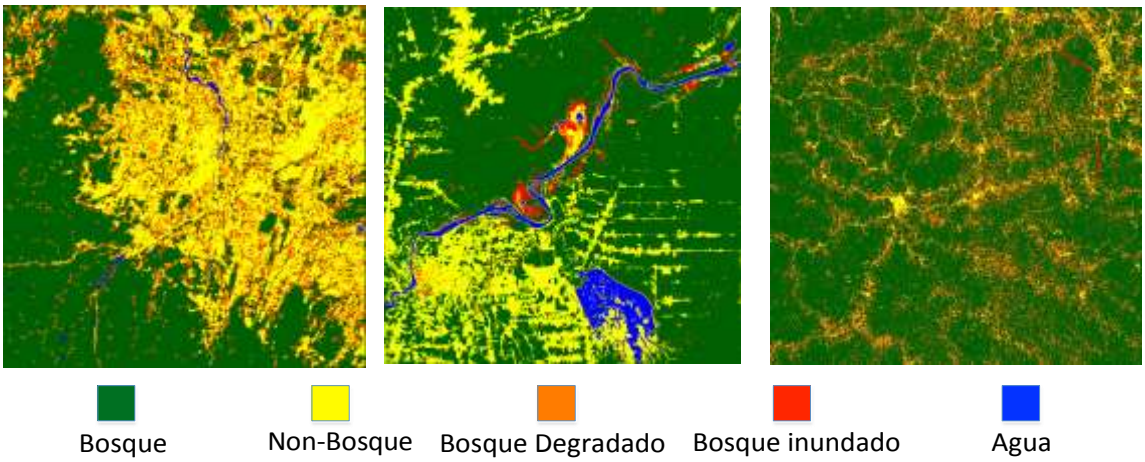


Fig. 1. Aplicación de RFDI para monitorear la deforestación y degradación en bosques tropicales. Los mapas proveen tres ejemplos en Costa Rica (izquierda), Rondonia, Brasil (centro), y Camerún (derecha).