



USAID | **COLOMBIA**
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA

Programa BIOREDD+

ENTREGABLE 10: HERRAMIENTA PARA LA MEDICIÓN DE BIOMASA FORESTAL SOBRE LA SUPERFICIE UTILIZANDO TELEDETECCIÓN

Número de Subcontrato: EPP-I-00-06-00013-00-TerraGlobal

Nombre: Terra Global Capital LLC

Enero de 2015

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

HERRAMIENTA PARA LA MEDICIÓN DE BIOMASA FORESTAL SOBRE LA SUPERFICIE UTILIZANDO TELEDETECCIÓN

Título	HERRAMIENTA PARA LA MEDICIÓN DE BIOMASA FORESTAL SOBRE LA SUPERFICIE UTILIZANDO TELEDETECCIÓN
Versión	BORRADOR 3.3
Fecha de Emisión	11 de enero de 2015
Tipo	Herramienta
Alcance Sectorial	AFOLU - REDD, IFM, ARR, WRC
Elaborado por	Terra Global Capital
Contacto	One Ferry Building, Suite 255 San Francisco, CA 94111 Número Telefónico: +1 510 677 5830 Correo electrónico: info@terraglobalcapital.com http://www.terraglobalcapital.com

Tabla de Contenidos

1 Fuentes**Error! Bookmark not defined.**

2 Resumen Descripción de la Herramienta 4

3 Definiciones 5

4 Condiciones de Aplicabilidad 6

5 Procedimientos 6

5.1 Estimación Utilizando el Indicador RS 7

5.1.1 Paso 1: Estratificación AOI 10

5.1.2 Paso 2: Muestreo 9

5.1.3 Paso 3: Pronóstico 17

5.1.4 Paso 4: Descarte 21

6 Datos y Parámetros 221

6.1 Datos y Parámetros Disponibles en la Validación 221

6.2 Datos y Parámetros Monitoreados 276

7 Referencias 276

1 FUENTES

Esta herramienta utiliza las últimas versiones de las siguientes herramientas y metodologías:

- Instrumento CDM 03: *Calculo del número de parcelas de muestreo para mediciones dentro de las actividades del proyecto A/R CDM.*
- Instrumento CDM: *Estimación de reservas de carbono y cambio en las reservas de carbono de árboles y arbustos en las actividades del proyecto A/R CDM.*
- Metodología VCS VM0006: *Contabilidad de Carbono en las actividades del proyecto que Reducen Emisiones de Deforestación Mosaico y Degradación.*

2 RESUMEN DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA

La estimación precisa de carbono en la Biomasa Forestal sobre la Superficie (ALFB) es crítica para la implementación de muchos de los proyectos de AFOLU. ALFB es el factor principal para determinar los niveles de la línea de base para las reservas de carbono de los bosques. El área geográfica de los proyectos AFOLU/Carbono es comúnmente grande (>40,000 hectáreas), y comprende una amplia gama de tipos de uso de suelo/cubierta vegetal (LULC). Las estrategias de muestreo, válidas desde el punto de vista estadístico para dichas áreas mayores utilizando parcelas de inventario de bosque sobre la superficie son usualmente inviables, debido al costo y a las restricciones de acceso. Las metodologías VCS actuales no prevén el uso de métodos de teledetección para determinar la biomasa, y dependen únicamente de medidas tradicionales de biomasa basadas en parcelas. Esta herramienta tiene por objeto disminuir la necesidad de muestreo extensivo terrestre al obtener datos calibrados por teledetección, utilizando un número mínimo de parcelas de muestreo terrestre.

LA HERRAMIENTA PARA LA MEDICIÓN DE BIOMASA FORESTAL SOBRE LA SUPERFICIE UTILIZANDO TELEDETECCIÓN proporciona un método para determinar el promedio de densidad ALFB en el estrato o AOI, a través de la combinación de datos de teledetección y mediciones de campo, para estimar ALFB de manera precisa y costo-efectiva por medio de diversos tipos de clasificación LULC y amplias medidas espaciales. El uso de RS (LiDAR, RADAR, imágenes hiperespectrales/hiperespaciales), en combinación con un número relativamente pequeño de parcelas de campo puede ser utilizado para alcanzar una muestra válida desde el punto de vista estadístico bajo esta herramienta.

Este instrumento está diseñado para estimar el promedio de densidad de ALFB en un punto específico de tiempo. Esta herramienta no presenta métodos específicos para la detección de cambios en ALFB a través del tiempo, o para el mapeo de la densidad de carbono pared a pared. Esta herramienta está destinada para el uso con metodologías aprobadas por VCS dentro del ámbito de Agricultura, Silvicultura y Uso de Suelo involucrando la estimación de Biomasa Forestal. Esta herramienta es por lo tanto, limitada a categorías de proyectos dentro del ámbito de AFOLU en donde hay presencia de bosque y se requiere una estimación de ALFB.

Los principales procedimientos de esta herramienta son:

1. Muestreo remoto y de campo.

2. Desarrollo del modelo de predicción.
3. Estimación del error e incertidumbre.
4. Estimaciones de Descarte basados en (3).

3 DEFINICIONES

Biomasa Forestal Sobre la Superficie (ALFB)

La Biomasa Forestal sobre la superficie incluye el tallo, la cepa, ramas, corteza, semillas y follaje de la vegetación. ALFB incluye arbustos vivos y la biomasa de los árboles y arbustos vivos.

Área-ponderada

La división de una métrica derivada de forma agregada para una región por unidad de área, ej.: Mg ha^{-1} , t ac^{-1} .

Área de Interés (AOI)

Región geográfica sobre la cual se estimará el nivel carbono de la biomasa sobre la superficie. Puede ser una región de referencia, área de proyecto, estrato forestal, zona de filtración o área jurisdiccional del programa.

Curva de Calibración (CP)

Un subconjunto de SP utilizado para desarrollar el modelo predictivo relacionando las métricas RS con ALFB.

Uso del Suelo y Cubierta Vegetal (LULC)

Definición utilizada para estratificar un AOI en regiones con características similares.

Estimador Dependiente del Modelo (MDE)

Enfoque de dos fases para estimar la biomasa forestal, el cual se fundamenta en la suposición de que los modelos predictivos están correctamente especificados para estimar la biomasa a partir de datos de teledetección para cada tipo de bosque, clase de cobertura vegetal, y estrato de bosque.

Modelo Predictivo (PM)

Modelo matemático que relaciona las variables de predicción (independientes) derivadas de los datos de Teledetección con ALFB (dependiente).

Teledetección (RS)

Imágenes y otros datos cuadriculados obtenidos a partir de plataformas aéreas o satelitales, y orto rectificadas hacia un sistema de coordenadas geométrico para que la escala sea uniforme. La métrica derivada de plataformas de teledetección puede incluir medición directa de reflexión para una frecuencia determinada, o métricas derivadas de malla "Raster" a la altura del dosel de un árbol desde LiDAR.

Parcela de Teledetección (RSP)

Píxeles individuales t de datos RS utilizados para estimar ALFB (1 hectárea en tamaño). Ver Figura 1.

Unidad de Muestreo de Teledetección (RSSU)

Área contigua y diferenciada de un estrato determinado o AOI cubierta por datos RS. Puede haber múltiples RSSU en un estrato determinado si existe superposición no-contigua de datos RS con un determinado estrato. La RSSU pueden ser de diferentes tamaños siempre y cuando el área combinada cubierta por la RSSU dentro de un estrato determinado sea igual o mayor a la mínima definida en la ecuación (2).

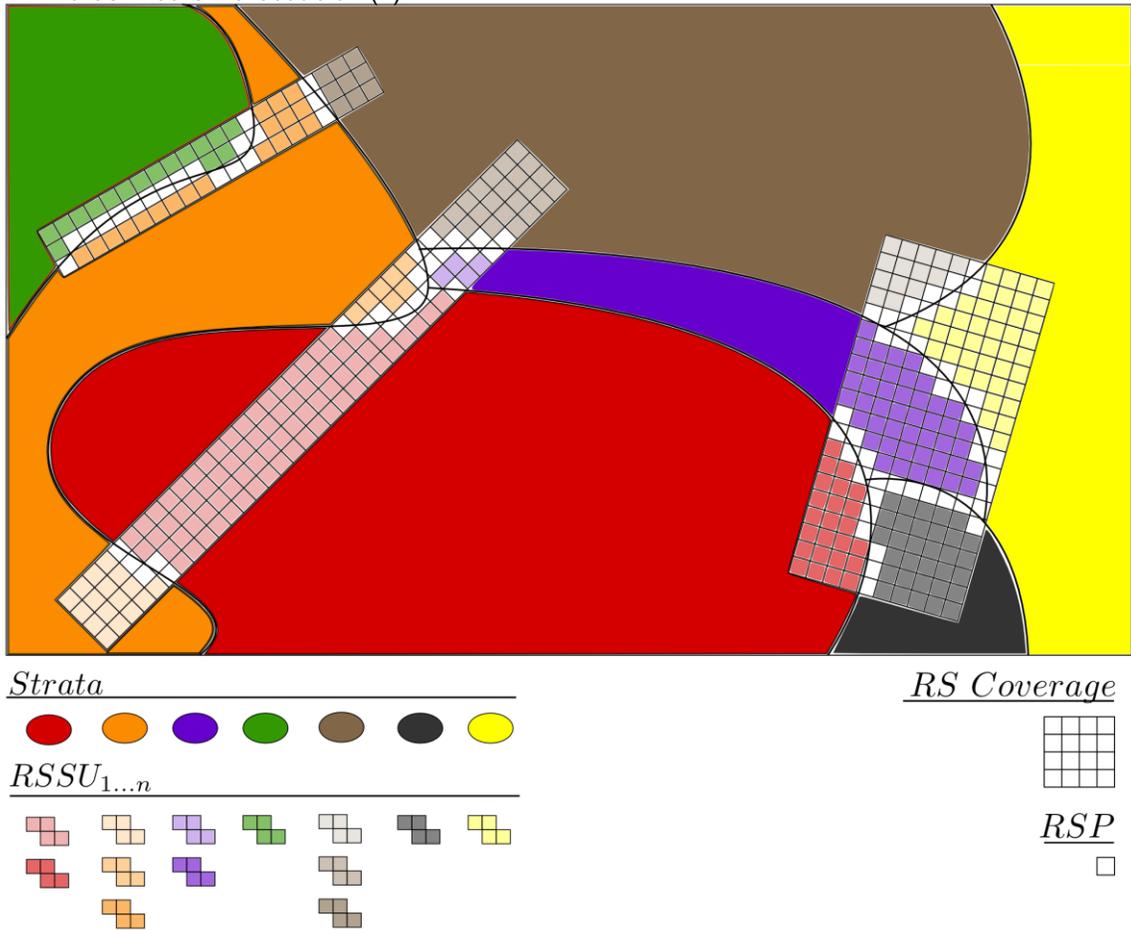


Figura 1. Representación esquemática de Unidades de Muestreo de Teledetección (RSSU) y Parcelas de Teledetección (RSP). El esquema no está a escala.

Raíz Cuadrada del Error (RMSE)

Medida de las diferencias entre los valores estimados por un modelo y los valores realmente observados.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y'_i - y_i)^2} \tag{1}$$

Donde:

RMSE = Raíz cuadrada del error del predictor (unidades de medición de muestra).

γ' , γ = Valores observados y estimados (unidades de medición de muestra).

Parcelas de Muestreo (SP)

Subconjunto geográfico del AOI o estrato dentro del cual ALFB es medida en terreno (*in-situ*) utilizando instrumentación de campo, y utilizado como base para la estimación ALFB en el estrato o escala del proyecto.

Parcela de Validación (VP)

Subconjunto de SP no utilizadas en el desarrollo de una relación predictiva entre la métrica RS y AFLB, utilizada para probar la precisión predictiva del modelo desarrollado utilizando la CP.

4 CONDICIONES DE APLICABILIDAD

La herramienta es aplicable a todos los tipos de bosques y clases de edad. La herramienta es aplicable para uso con metodologías o instrumentos que requieren estimar la densidad de un área ponderada ALFB. Esta herramienta puede ser utilizada para producir estimaciones de densidad ALFB de reserva inicial, o como parte de la Medición, Reporte y Validación de dichas metodologías o instrumentos. Esta herramienta está dirigida para la generación de la densidad ALFB utilizando un enfoque de muestreo. Sin embargo, puede ser utilizado para cartografía pared a pared de ALFB si los datos de teledetección cubren la totalidad del AOI. Las siguientes son las condiciones bajo las cuales esta herramienta puede ser utilizada:

- La herramienta es aplicable conjuntamente con las metodologías AFOLU, en las cuales uno de los requisitos es la estimación de ALFB.
- El AOI califica como bosque.
- Los datos de teledetección necesarios para estimar ALFB son accesibles por el período de tiempo deseado.
- El modelo predictivo (PM) que relaciona la métrica RS con ALFB es paramétrico, ej.
 $ALFB = f(x, \alpha, \varepsilon)$

Esta herramienta no es aplicable bajo las siguientes condiciones:

- La metodología general requiere un método específico para determinar el cambio de la densidad de la biomasa a través del tiempo. Esta herramienta no proporciona métodos para cambios temporales en la densidad ALFB. Sin embargo, el instrumento puede ser repetido en distintos puntos a lo largo del tiempo para determinar un delta ALFB.

5 PROCEDIMIENTOS

El producto de esta herramienta es la estimación de densidad ALFB utilizando muestreo RS basado en el estrato o AOI. Este método **puede** emplear una estratificación del AOI en tipos similares de suelo biofísico o bosque. La estratificación puede ser utilizada para incrementar la precisión de la estimación de densidad de ALFB, o para los propósitos de reporte de la densidad AFLB para una clase de LULC utilizado en otras metodologías. Esta herramienta no presenta un

método para estratificación. Si esta herramienta está siendo desplegada en el contexto de un proyecto de reducción de emisiones, en donde se establece una línea de base histórica de emisiones para las clases de LULC dentro del AOI, el mapa de clasificación LULC debe ser utilizado como base para el establecimiento de un diseño de muestreo RS, con el objeto de garantizar suficiente densidad de muestreo para cada tipo de LULC. La estratificación también puede ser utilizada para mejorar la precisión de la relación de estimación entre RS → ALFB.

Los procedimientos en este documento se describen con mayor detalle en las siguientes secciones:

1. Considerar estratificación
2. Recolectar muestras de teledetección (RS)
3. Recolectar muestras en el territorio (*in-situ*)
4. Desarrollar y probar el modelo predictivo (PM)
5. Utilizar PM para estimar ALFB en el estrato o AOI
6. Estimación de descarte ordenada en incertidumbre.

5.1 Estimación Utilizando el Predictor RS.

Los datos obtenidos por teledetección pueden capturar una variedad de características biofísicas del paisaje a diferentes escalas. En muchos casos, los datos recolectados a partir de plataformas de RS pueden ser relacionados de manera funcional con ALFB, tales como $AFLB = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ en donde x representa una o muchas métricas derivadas directamente a partir de uno o muchos sensores. El método predictor RS utilizado en esta herramienta obedece al modelo-dependiente de estimación (MDE) (Asner et al. 2013), y se fundamenta en un diseño de recolección de datos que garantiza una estimación correcta e imparcial de la densidad de carbono o carbono total. Un predictor de RS basado en el MDE cuenta errores de muestreo y errores de modelo, y le permite al usuario partir la varianza en estos componentes para cada estrato o AOI. El predictor de RS justifica el hecho de que los datos de RS, tales como el estudio LiDAR a lo largo de una línea de vuelo sea un grupo. El predictor de RS también toma en consideración el error de modelo, ej. Las variaciones como resultado de la variabilidad de los coeficientes del modelo que impactan las estimaciones de la densidad de carbono.

Para emplear este enfoque predictivo, se requiere el diseño de un muestreo de dos fases.

1. **Muestreo de teledetección:** Sondeos de RS de vuelos aéreos o satélites en órbita están referidos como Unidades de Muestreo de Teledetección (RSSU), o nivel de muestreo 1 (Saatchi et al. 2011). Los sondeos de RS son muestras aleatorias. Muestras sistemáticas pueden ser utilizadas y tratadas como si fueran aleatorias. Para los casos en los cuales haya tendencias en la densidad de la biomasa (como tendencias norte-sur u oriente-occidente), un diseño de muestra sistemático desalineado puede ser tratado como aleatorio sin inflar los errores de estimación (Nelson et al. 2012).
2. **Muestreo en el Territorio (*In-situ*):** Parcelas de Muestreo (SP), o muestra de segundo nivel, coincidente/simultáneo con la muestra de RS (muestra de nivel 1) es necesaria para calibrar y validar el modelo predictivo. Las parcelas de muestreo deben estar localizadas dentro de una RSSU. Las muestras de nivel 2 deben seleccionarse aleatoriamente a través de sustitución o sistemáticamente con el objetivo de reducir el sesgo. El objetivo de las SP

es facilitar el desarrollo del modelo predictivo (PM). Las SP, de acuerdo a lo definido en esta herramienta, no pueden ser utilizados como un instrumento de estimación imparcial, tal como la muestra de inventario forestal.

El estudio de RS no puede estar diseñado para utilizar parcelas existentes. La recolección de datos de RS debe planearse de manera que cubran suficiente área dentro del estrato (o AOI), con el objeto de alcanzar el límite de incertidumbre de los proponentes del proyecto para la estimación. La relación del modelo predictivo entre los datos de nivel 1 y nivel 2 se establece utilizando un subconjunto (parcelas de calibración) del área de muestra (parcelas de muestra) y ensayado utilizando el resto del área de muestreo (parcelas de validación), empleando un proceso de validación cruzada (Picard & Cook 1984) para proporcionar tanto exactitud como predicción, lo cual debe estar claramente documentado. El uso de las SP se limita únicamente a la calibración y validación del modelo predictivo, y no se utiliza para estimar la ALFB de manera independiente en el estrato o escala AOI.

Este instrumento puede ser utilizado para el desarrollo de un mapa de carbono de mosaico (pared a pared) a partir de datos de RS **únicamente** si los datos de RS cubren la totalidad de AOI. En este caso, el PM puede ser utilizado directamente para estimar la media y varianza de ALFB del AOI, basados en la densidad ALFB estimada para todas las RSP sin la necesidad de estratificación o un enfoque de muestreo estadístico (Saatchi et al. 2011).

El resultado del uso de esta herramienta será una estimación de área normalizada (ej. tC/ha) del promedio de densidad AFLB dentro del AOI, o para cada estrato dentro del AOI. La Figura 2 muestra un esquema de alto nivel que representa el proceso descrito en esta herramienta para la estimación de la densidad en el estrato o nivel AOI.

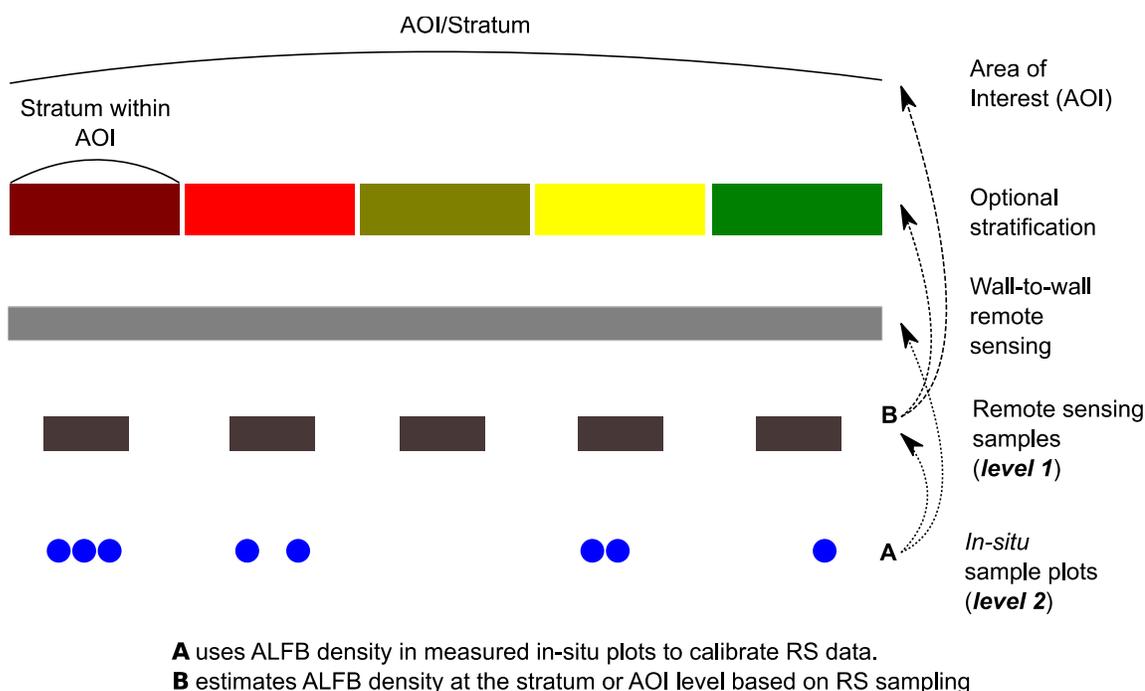


Figura 2: Diagrama esquemático del proceso definido en esta herramienta para la estimación de la densidad de ALFB por estrato o AOI a partir de parcelas RSSU, CP y VP sistemáticas y aleatorias.

5.1.1 Paso 1: Estratificación del AOI

La estratificación del AOI puede mejorar la estimación de las densidades de ALFB a partir de datos de RS en tipos de cobertura de suelos similares. El despliegue de esta herramienta sin la estratificación puede requerir del proponente a: a) aceptar una mayor incertidumbre en la estimación; u b) obtener métricas RS que pueden alcanzar suficiente precisión sin el uso de la estratificación.

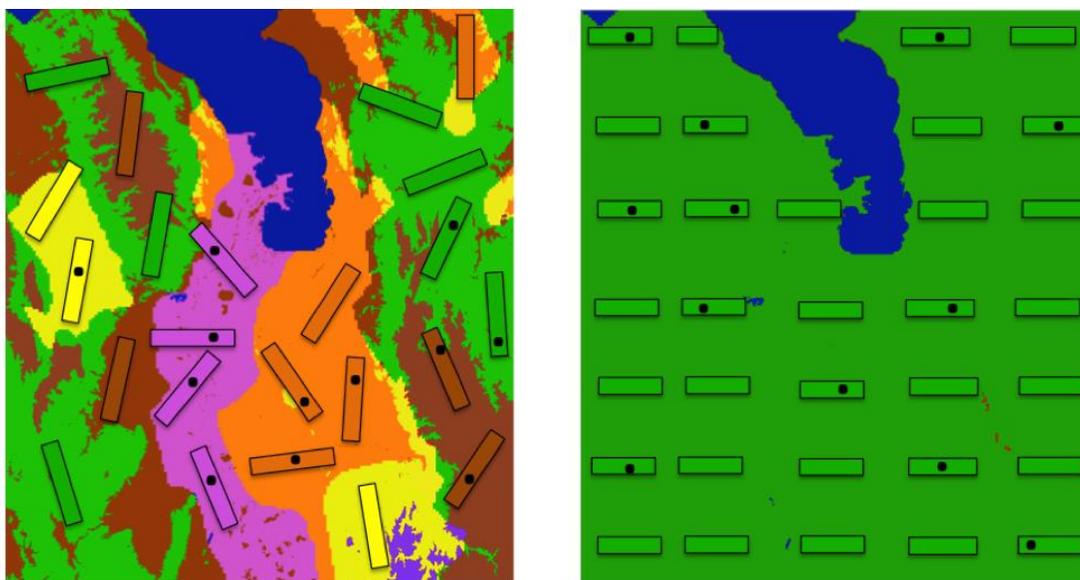
Si esta herramienta está siendo utilizada en el contexto de proyectos que se concentran en la reducción de emisiones, los cuales requieren una demostración de línea de base histórica, el proponente del proyecto debe considerar el uso de dichas clases de LULC como base para la estratificación.

Los proponentes de proyecto deben considerar dos opciones de estratificación: 1) clases de LULC pueden ser utilizadas como estrato si las densidades de ALFB dentro de cada clase de LULC son relativamente constantes; o 2) clases de LULC pueden ser posteriormente subdivididas en múltiples estratos si existe una varianza biofísica suficiente dentro de la clase de LULC. Una disminución de incertidumbre de la estimación de ALFB puede lograrse estableciendo estratos con características biofísicas homogéneas (ej. Densidad de biomasa). La estratificación, si es utilizada, puede resultar en un mapa de pared a pared (mosaico) con tipos de cobertura de suelo similares a la del AOI. Una variedad de fuentes de datos de RS (u otros) pueden ser utilizadas en este paso. Sin embargo, la relación funcional entre la RS y ALFB debe describirse en detalle, y referenciar las relaciones empíricas comprobadas en literatura científica relevante. Los mismos datos de RS pueden ser utilizados en la estratificación y estimación de la biomasa; sin embargo, los datos de muestreo en el territorio (*in-situ*) utilizados para la estratificación, y los datos de muestreo en el territorio (*in-situ*) (SP) utilizados para la estimación de la biomasa **deben** ser independientes y diferentes.

En caso de que la estratificación sea utilizada, las metodologías generales deben ser consultadas como guía. Esta herramienta no presenta un método para la estratificación. Si esta herramienta está siendo utilizado por fuera del contexto de otra metodología general (VCS o cualquier otra), ver Johnson (Johnson 2000) para una referencia general útil en la materia.

5.1.2 Paso 2: Muestreo

El muestreo es un medio para recolectar datos representativos de un subconjunto geográfico del AOI utilizados para predecir y validar la densidad de ALFB del AOI. En esta herramienta, presentamos un método para combinar las parcelas en el territorio (*in-situ*) (Parcelas de Muestra -- SP) con el muestreo a través de una plataforma de RS. La combinación de parcelas *in-situ* y de RS pueden reducir sustancialmente el costo de recolección de datos de muestra necesarios para alcanzar un nivel de incertidumbre dentro del límite deseado. La Figura 3 proporciona un ejemplo de muestreo esquemático.



Strata

- StratumA
- StratumB
- StratumC
- StratumD
- StratumE

- Sample Plot
- RS Flightline

Figura 3: Representación esquemática de la estrategia de muestreo utilizando métricas SP y RS para estimar la densidad de ALFB de estrato/AOI.

El marco de muestreo, o área dentro del cual se debería realizar la muestra se define por el área del proyecto para la cual se requiere una estimación de ALFB en cualquier metodología general. A menos que se indique una barrera (*buffer*) en una metodología general, se debe incluir en el marco de muestreo una barrera especial de 1000 metros alrededor del perímetro para garantizar que los resultados reflejan de manera precisa los gradientes de ALFB en el perímetro del AOI.

5.1.2.1 Paso 2a: Muestreos con datos de RS

El volumen de créditos generados por un proyecto debe ser descartado con base en la incertidumbre de los métodos de estimación. Estadísticamente, una disminución de incertidumbre se obtiene con una mayor intensidad de muestreo; una mayor intensidad de muestreo puede, sin embargo, aumentar los costos de manera sustancial. Por lo tanto, el desarrollador del proyecto debe establecer un límite de incertidumbre que equilibre el costo con el volumen de crédito. Ningún estándar de objetivo puede ser utilizado para llegar a dicho límite, ya que los costos de desarrollo del proyecto varían considerablemente, así como las expectativas del retorno del crédito. El establecimiento de área suficiente de muestreo para alcanzar el límite de incertidumbre sobre grandes áreas, basado únicamente sobre parcelas de medición en el territorio (*in-situ*) puede ser inviable debido a los costos y logística. Los datos de RS aéreos tales como la Teledetección por Láser (LiDAR), Detección y Medición por Radio (RADAR), o imágenes multi-espectrales pueden reducir de manera sustancial el costo general de la recolección de datos en campo, ya que grandes áreas pueden ser cubiertas en mucho menos tiempo, y con menos gastos con relación al personal de campo. Sin embargo, el uso de datos de

RS introduce una fuente adicional de errores al convertir la métrica de RS a la de ALFB (ej. Error de modelo). Por lo tanto, es fundamental seleccionar una plataforma de RS, tal como LiDAR, que pueda obtener directamente métricas que estén estrechamente relacionadas con ALFB. En caso de que dichos datos puedan ser obtenidos, los errores adicionales pueden ser fácilmente reducidos cuando se promedian sobre una mayor área (Asner et al. 2013; Vincent et al. 2014). La precisión de la relación predictiva entre RS y ALFB debe presentarse de manera clara, y la incertidumbre en la estimación debe ser utilizada al descartar ALFB (ver sección 5.1.3)

En esta herramienta utilizamos el término Unidad de Muestreo de Teledetección (RSSU) para referirse a el área espacial contigua dentro de un estrato para el cual los datos de RS han sido recolectados (ver Figura 1 para una representación esquemática del RSSU). Un muestreo aleatorio simple, muestreo sistemático, o muestreo aleatorio estratificado puede ser empleado en el diseño de la RSSU. En general, se asume que la estimación de ALFB basada únicamente en la RSSU tiene grandes errores en comparación con una estimación basada únicamente en SP. El uso de unidades de muestreo de RS mayores reduce el error del estimador.

Las parcelas de Teledetección son regiones diferentes y de igual tamaño dentro de una RSSU. En la terminología de la teledetección, la RSP es equivalente al pixel. Para esta herramienta, la RSP debe ser 1 hectárea (1 ha) de área. Las RSP están agrupadas de manera inherente debido a la franja o configuración de campo de visión de los sensores aéreos o espaciales (ver Figura 1 para una representación esquemática del RSP). La estimación de ALFB utilizando la RSSU debe incluir la correlación espacial entre las RSP. El tamaño combinado de la RSSU dentro de un estrato debe ser mayor que la longitud de correlación espacial (rango del semivariograma) del estimador del error RSSU (ver ecuación (2)). El número de la RSSU y el tamaño de la RSSU necesario para alcanzar la precisión requerida están inversamente relacionados: a medida que el tamaño de la muestra es menor, el número de muestras es mayor.

Las muestras de área, combinadas con una plataforma de RS dentro de cada estrato, o para el AOI deben ser de un tamaño mínimo para permitir una estimación imparcial de la media de ALFB. La determinación de la medida de la recolección de datos es dependiente de la confianza deseada en la estimación producida por esta herramienta y en el uso de estimaciones de densidad ALFB conocidas *a-priori* ya sea, de un estudio piloto, literatura relevante o la utilización de valores predeterminados aquí proporcionados. El número de la RSSU para cada estrato o AOI puede calcularse a través de la siguiente ecuación:

$$n = \left(\frac{t_{\infty val}}{E} \right)^2 \sigma_L^2 \quad (2)$$

$$\sigma_L^2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m cov(\sigma_{ui}, \sigma_{uj}) = \sum_{i=1}^m var(\sigma_{ui}) + 2 \sum_{i=1}^m \sum_{j<i}^m cov(\sigma_{ui}, \sigma_{uj})$$

or

(3¹²)

$$\sigma_L^2 = \frac{1}{m} \left(\sum_{i=1}^m \sigma_{ui}^2 + 2 \sum_{i=1}^m \sum_{j<i}^m \rho(d) \sigma_{ui} \sigma_{uj} \right)$$

$$\rho(d) = \exp\left(-\frac{d}{cr}\right)$$

(4³)

Donde:

- i, j = Índices genéricos representando pixeles en la RSSU (sin unidades).
- E = Margen de error aceptado (ej. La mitad del intervalo de confianza) en la estimación de la densidad del carbono o de ALFB en cada estrato o AOI. El valor predeterminado de E es de diez por ciento (10%) de la media de ALFB ($t \text{ ha}^{-1}$)
- n = Número de la RSSU dentro de cada estrato o AOI (sin unidades).
- t^{∞}_{val} = Valor de la prueba t de Student de doble cola a grados infinitos de libertad para el nivel de confianza requerido (sin unidades).
- r = Rango de semivariograma estimando la correlación espacial de los errores asociados a muestras de grupo en la RSSU. Valor predeterminado de diez pixeles por 1ha. Ver a continuación (en esta sección) la guía de análisis de semivariograma (unidades de medición de distancia en unidades de pixeles).
- c = Parámetro de ajuste para la función de correlación espacial exponencial derivada del análisis de semivariograma. $c=1/3$ es el valor predeterminado (Chilès & Delfiner 2012) (sin unidades)
- d = Distancia entre pixeles i y j dentro de m (pixeles).

¹ Weisbin et. al (2014), ecuación 13. Tomar nota que la ecuación 13 en Weisbin et al. (2014) es para un caso específico en donde $\sigma_{ui,j}^2$ está expresada en términos de variables de teledetección. El segundo término en la ecuación representa el efecto de correlación espacial a través de la matriz de covarianza de pixeles i, j . Ver otras fuentes de formulaciones similares (Wagner 2003; Chilès & Delfiner 2012).

² $cov()$ es la función de covarianza -- $\rho(d)$ en la forma alterna -- asociada a la varianza ALFB para cada pixel de 1-ha.

³ Weisbin et. al (2014), ecuación 13.

- $\rho(d)$ = Función de correlación espacial en términos de distancia basado en el modelo semivariograma exponencial (sin unidades).
- σ_L^2 = Varianza derivada de datos de RS a-priori, un estudio piloto, o valores predeterminados de densidad de ALFB para el estrato o AOI ($t\ ha^{-1}$)². Si hay disponibilidad de un estudio anterior en el cual se estima el promedio de ALFB dentro del AOI o estrato sin variabilidad espacial, se puede utilizar un valor predeterminado de quince por ciento (15%) de la estimación. Si hay disponibilidad de una estimación variable espacial, esta función debería ser utilizada para justificar la covarianza espacial. La ecuación está representada en términos de una matriz de covarianza de error asociada a los pixeles como en Wagner (2003) eq. 3, y escrita en términos de función de variograma como en Chilès y Delfiner (2012) capítulo 2.
- m = Un número mayor ficticio representando pixeles en la RSSU (pixeles). El número puede ser arbitrariamente grande o al menos el doble del valor determinado del rango (r).
- $\sigma_{ui,j}^2$ = Varianza estimada asociada con valores de ALFB para cada pixel de 1-hectárea ($t\ ha^{-1}$)².

En las ecuaciones anteriores, n es el número de la RSSU para el estrato j . El valor de n dependerá del E deseado y de la desviación estándar de la reserva de biomasa para cada RSSU, de acuerdo a lo definido por σ_L^2 . Cuando el valor de m sea grande, la desviación estándar σ_L^2 será pequeña y por lo tanto el número de la RSSU será pequeño. El número objetivo de pixeles en cada RSSU (m) es seleccionado para permitir un diseño de muestra eficiente y costo-efectivo, al tiempo que se garantiza una densidad de muestra suficiente. Un m mayor, en la mayoría de aplicaciones, significa una cobertura mayor de área por cada RSSU, dando como resultado una n pequeña, lo cual es costo-efectivo. En la mayoría de aplicaciones, m es mayor a lo requerido debido a los planes de viaje, lo cual causa un error mucho menor de ALFB en el estrato o escala AOI, proporcionando un sobre muestreo para una estimación de incertidumbre conservadora.

El análisis de semivariograma que define el coeficiente de correlación (Chilès & Delfiner 2012) cuantifica la correlación espacial de estimaciones de nivel de pixeles de ALFB dentro de la RSSU, debido a variaciones de la estructura del bosque, condiciones ambientales (humedad o temperatura) y condiciones edáficas (topografía y tipos de suelo). En muestreos de RS, la correlación espacial puede ser descrita por la función de covarianza de observaciones a una distancia d (separadas unas de las otras) indicando que los pixeles a distancias menores tienden a ser más similares (mayor correlación) que los pixeles a grandes distancias. La correlación entre pixeles sugiere que cada pixel no puede ser asumido de manera independiente (Weisbin et al. 2014).

El método para estimar la varianza de ALFB, para determinar la intensidad de muestreo de RS empleando la correlación de longitud de análisis de semivariograma, requiere conocimiento a priori de la variación de ALFB, acceso a datos RS existentes sobre la región de interés (ej. estrato) o el uso de valores predeterminados conservadores. Una de las siguientes tres opciones puede ser empleada para determinar la función de correlación espacial:

1. Utilizar datos de RS a priori (ej. Escaneo LiDAR) para el área con el objeto de establecer un rango de longitudes de correlación (rango de semivariogramas) para la región de límites superiores e inferiores para el número de la RSSU para cada estrato. Chilès y

Delfiner (2012) proporcionan una guía para el análisis de semivariograma. La documentación de aplicación de esta herramienta debe estar acompañada por una referencia sobre el método utilizado para el desarrollo de conjunto de datos *a priori* (ej.: Documento de diseño de proyecto REDD+, descripción de proyecto VCS, etc.), en caso de que esta opción sea seleccionada.

2. Realizar un estudio piloto, recolectando en primer lugar, datos de RS de muestra sobre la región para establecer los límites para el número de la RSSU. Chilès & Delfiner (2012) proporcionan una guía para el análisis de semivariograma. Una descripción detallada de los métodos utilizados en el estudio piloto debe acompañar la documentación de la aplicación de esta herramienta (ej. Documento de diseño del proyecto REDD+, descripción de proyecto VCS, etc.).
3. Utilizar los siguientes valores predeterminados a partir de literatura disponible (Weisbin et al. 2014; Zolkos et al. 2013; Asner & Mascaro 2014). Si se utiliza un cálculo de ALFB de un estudio anterior (que no varía a lo largo del AOI o estrato), se debe referenciar el método de estimación de ALFB utilizado y éste debe acompañar la documentación de aplicación de esta herramienta (ej.: Documento de diseño de proyecto REDD+, descripción de proyecto VCS, etc.).

$$c = \frac{1}{3} \tag{5}$$

$$r = 1000 \text{ m (diez 1 ha pixeles)} \tag{6}$$

$$\sigma_{ui,j}^2 = (0.15\widehat{ALFB}_p)^2 \tag{7}$$

Donde:

\widehat{ALFB}_p = Promedio de densidad de ALFB para el AOI o estrato de un estudio anterior de literatura relevante.⁴

El diseño de la RSSU debe considerar lo siguiente:

1. La RSSU debe localizarse de manera aleatoria o sistemática dentro del AOI. En caso de selección aleatoria con datos RS aéreos, la ubicación de centro y la dirección de vuelo debe ser aleatoria.
2. A menos que se especifique una barrera para el AOI en una metodología general, se debe incluir una barrera espacial de 1000 metros alrededor del perímetro del AOI en el

⁴ Una estimación conservadora de quince por ciento (15%) de la media de ALFB a partir de mediciones LiDAR sobre bosques tropicales puede ser utilizada como una estimación de la varianza, para determinar el tamaño e intensidad de la muestra (Asner & Mascaro 2014; Meyer, Saatchi, Jerome Chave, et al. 2013)

marco de muestra, con el objeto de garantizar que los resultados reflejen de manera precisa los gradientes de ALFB en el perímetro del AOI.

3. La RSSU puede ser un transecto contiguo de tamaño m que cubra la variabilidad de ALFB dentro de cada estrato, por consideraciones operacionales y de costo.
4. La RSSU puede también ser dividida en segmentos para cubrir la variabilidad de ALFB dentro de cada estrato, manteniendo el área total de la RSSU según sea necesario.

La resolución de píxeles de los datos producidos a partir de la plataforma de RS no debe exceder el tamaño de la SP. Para el diseño y tamaño de la parcela SP, ver Sección 5.1.2.2.

5.1.2.2 Paso 2b: Parcelas de medición en el territorio (In-situ)

Las *Parcelas de medición en el territorio (In-situ)*, o Parcelas de Muestra (SP) son consideradas como muestreo de nivel 2, y son utilizadas para desarrollar modelos predictivos y para validar y cuantificar la incertidumbre en la relación entre las métricas de RS y ALFB. La relación entre los datos de RS y la densidad de ALFB puede ser considerada como una relación alométrica. Los muestreos de Nivel 1 y Nivel 2 deben ser independientes; por lo tanto, la ubicación de las SP debe ser establecida de manera aleatoria o sistemática dentro de cada estrato (o a lo largo del AOI). Si se utiliza un enfoque aleatorio, la adherencia a la selección aleatoria sin reemplazo⁵ de localización SP es crítica.

Si los coeficientes de relaciones alométricas para diferentes especies no varían a lo largo del AOI (entre estrato), no es necesario que las SP sean localizadas conjuntamente con todas las RSSU. Si las relaciones alométricas de estrato específico son utilizadas (ej. Coeficientes de regresión varían a través del estrato), se deben realizar muestreos dentro del área superpuesta para desarrollar la relación con respecto a la medida de los datos RS y de cada estrato. De lo contrario, si los coeficientes de la ecuación alométrica no varían a través del AOI, únicamente una relación alométrica de RS \rightarrow ALFB puede ser utilizada (Saatchi et al. 2011).

Un mínimo de 45 SP debe ser establecido dentro del área cubierta por los datos de RS del AOI. De los 45 SP, 30 Parcelas de Calibración (CP) deben ser empleadas para desarrollar el PM y 15 deben ser utilizadas como Parcelas de Validación (VP) (Asner & Mascaro 2014). En el caso de la estratificación dentro de un tipo de bosque (ej. Una ecuación alométrica), el número total de parcelas requeridas para la herramienta será de mínimo 45.

Las parcelas de muestra deben ser lo suficientemente grandes para evitar efectos de margen, y proporcionar una relación imparcial con métrica RS (ej. Altura media de dosel, altura superior de dosel). Un tamaño mínimo de 0.25 hectárea (rectangular: 50 m x 50 m) o 0.28 hectárea (circular: 30 m de radio) (Meyer, Saatchi, J. Chave, et al. 2013; Asner et al. 2012; Asner et al. 2013) debe ser empleado para el desarrollo de RS \rightarrow biomasa alométrica. Estas parcelas son parcelas temporales empleadas para calibrar los datos de RS.

⁵ En caso de que localizaciones posteriores de parcelas seleccionadas de manera aleatoria se dupliquen, la última parcela debe ser descartada y se debe realizar otra selección aleatoria.

1. El QA/QC para la recolección de datos debe cumplir la *Guía de Buenas Prácticas para el Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura (Intergovernmental Panel on Climate Change 2003)*
2. El modelo de RS-ALFB incluye únicamente la biomasa sobre el suelo en arbustos y árboles.

La precisión posicional de las parcelas utilizadas para calibrar los modelos de RS es crítica, en contraste con el tradicional muestreo aleatorio estratificado. El error en la precisión posicional de localización de la parcela *in-situ* reportada por el sistema GPS utilizado, debe ser igual o menor a 10 metros, y debe acompañar la documentación de aplicación de esta herramienta (ej. Documento de diseño de proyecto REDD+, descripción de proyecto VCS, etc.). El fabricante y modelo del Sistema de Posicionamiento Global utilizado debe acompañar la documentación de aplicación de esta herramienta, y la localización precisa reportada por el instrumento debe ser registrada en cada parcela.

5.1.2.2.1 Estimación de ALFB en Parcelas

La recolección de datos en campo de la SP debe incluir el diámetro y altura de los árboles medidos, y la identificación específica de la estimación de densidad de la madera. Si la densidad de la madera para cada especie no es recolectada en el muestreo en campo, los valores deben tomarse de la Base de Datos Global de la Densidad de Madera (*Global Wood Density Database*⁶) (Zanne et al. 2009; Chave et al. 2009).

La ecuación alométrica pertinente debe ser utilizada para estimar ALFB de una especie de árbol en particular, en una parcela de muestra basada en mediciones en campo. Si esta herramienta se utiliza de manera conjunta con las metodologías de REDD/REDD+, ARR, WRC IFM que especifican ecuaciones alométricas, la selección y uso de ecuaciones alométricas deben cumplir las guías establecidas en las mismas. Para casos en los cuales no existen guías de metodologías globales AFOLU, las ecuaciones alométricas para bosques similares en aquellas incluidas en el AOI e incluidas en GPG-LULUCF Anexo 4A.2 Tabla 4.A.1 (*Intergovernmental Panel on Climate Change 2003*), o en Chave et al (2014) pueden ser utilizadas. Ver información adicional sobre la selección y uso de ecuaciones alométricas, así como para el desarrollo de ecuaciones alométricas a partir de datos de campo para ALFB en Picard et al. (2012) y Chave (2005). Una referencia útil para la documentación de ecuaciones alométricas utilizadas puede encontrarse en Cifuentes Jara (2014).

5.1.3 Paso 3: Pronóstico

Los SP deben extrapolarse a la medida del estrato o el AOI. Esto involucra dos etapas:

1. Desarrollar un Modelo Predictivo (PM), y estimar su precisión en la predicción de la densidad de ALFB en cada RSSU y;
2. Calcular ALFB para cada estrato o AOI basado en las estimaciones ALFB obtenidas por el PM en 1.

⁶ <http://datadryad.org/repo/handle/10255/dryad.235>

La estimación de la densidad de ALFB para cada estrato o AOI involucra el desarrollo y validación de un PM relacionado con métricas de RS a ALFB medida en SP. El PM es luego utilizado para estimar ALFB para todas las RSP en el estrato.

5.1.3.1 Paso 3a: Desarrollo del Modelo

La estimación de densidad de ALFB para cada estrato o para el AOI (S_j), se consigue utilizando las SP dentro de S_j para desarrollar y validar el PM relacionado con los datos de RS para ALFB medido en campo. En este paso, la métrica contenida en los datos está minada por su poder de predicción frente a ALFB, de acuerdo a la medición en CP. Uno o varios estimadores son seleccionados y empleados para estimar ALFB para el VP dentro de S_j . Este proceso se realiza de manera iterativa/repetida (validación cruzada) manteniendo la relación/cociente de CP a VP para mejorar la capacidad del predictor. Es crítico que, para cada iteración/repetición, los CP se utilicen **únicamente** para el desarrollo del modelo predictivo, y que se utilicen los VP **únicamente** para evaluar la precisión del modelo. Un mínimo de 10 rondas ($K \geq 10$) de validación cruzada deben emplearse, y los resultados deben reportarse en cualquier documentación de aplicación de esta herramienta (ej.: Documento de diseño de proyecto REDD+, descripción de proyecto VCS, etc.) para evaluar la precisión del PM.

5.1.3.2 Paso 3b: Informe de Precisión de PM

Los modelos de RMSE, coeficiente de variación y de sesgo deben acompañar la documentación de aplicación de los resultados de esta herramienta (ej. Documento diseño de proyecto REDD+, descripción de proyecto VCS). Asumiendo rondas de validación cruzada K , la RMSE debe ser calculada a partir de todas las rondas, comparando lo observado versus los valores de predicción de densidad de ALFB para las VP.

$$\varepsilon_{S_j} = \sqrt{\frac{1}{n+m} \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^m (Y'_{kl} - Y_{kl})^2} \quad (8)$$

$$R_{S_j}^2 = 1 - \frac{SSR_j}{SST_j} \quad (9)$$

$$SSR_j = \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^m (Y'_{kl} - Y_{kl})^2 \quad (10)$$

$$SST_j = \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^m \left(Y_{kl} - \left(\frac{1}{n+m} \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^m Y_{kl} \right) \right)^2 \quad (11)$$

$$B_{S_j} = \frac{\sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^m (Y_{kl} - Y'_{kl})}{n+K} \quad (12)$$

Donde:

- ε_{S_j} = RMSE para estrato j ($t\ ha^{-1}$) derivada de la densidad de biomasa pronosticada y observada.
- $R_{S_j}^2$ = Coeficiente de determinación para estrato j (sin unidades).
- SSR_j = Suma de los cuadrados de residuales, estrato j ($t\ ha^{-1}$)
- SST_j = Suma total de los cuadrados, estrato j ($t\ ha^{-1}$)
- B_{S_j} = Estrato con sesgo j ($t\ ha^{-1}$)
- n = Número de la VP estrato j (parcela)
- K = Número de rondas de validación cruzada de estrato j (ronda de validación cruzada).
- $\gamma'_{kl}, \gamma_{kl}$ = Densidad ALFB pronosticada y observada en VP $_k$, ronda de validación l respecto ($t\ ha^{-1}$)

El rango de aplicabilidad del PM debe ser descrito en términos del rango de las densidades de la biomasa en la medida SP, y el rango de métrica de RS utilizado en el PM.

5.1.3.3 Paso 3c: Estimación de ALFB en el estrato/AOI

En un caso general que incluya la estratificación del bosque y las diferentes relaciones alométricas RS-ALFB para cada estrato, se debe utilizar el siguiente estimador para estimar la media y la varianza para cada estrato y área del proyecto (Asner et al. 2013; Nelson et al. 2012; Næsset et al. 2013). Asumiendo el estrato n , y las unidades de muestreo de teledetección (RSSU) n_j en cada estrato j , el estimador para el valor de la media de ALFB y la varianza del estrato j es:

$$ALFB_j = \frac{\frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} F_{ij}(\alpha_j)}{\frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} n_{ij}} \quad (137)$$

$$\widehat{ALFB} = \sum_{j=1}^n w_j ALFB_j \quad (14^8)$$

⁷ Ståhl (2011), ecuación 11.

⁸ Ståhl (2011), ecuación 12.

$$\sigma_j^2 = \frac{1}{\bar{\eta}_j^2} \frac{\sum_{i=1}^{n_j} (F_{ij}(\alpha_j) - ALFB_j \eta_{ij})^2}{n_j(n_j - 1)} + \frac{1}{\bar{\eta}_j^2} \sum_{k_1}^{P_j} \sum_{k_2}^{P_j} Cov(\alpha_{k_1j}, \alpha_{k_2j}) \overline{F'_{k_1j}} \overline{F'_{k_2j}} \quad (15^9)$$

$$\bar{\eta}_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} \eta_{ij} \quad (16^{10})$$

$$\overline{F'_{k_1j}} = \sum_{i=1}^{n_i} \sum_{t=1}^T \frac{\partial f(x_{it}, \alpha_{k_1})}{\partial \alpha_{k_1}} \quad (17^{11})$$

$$u_j = \frac{t_{val} \sqrt{w_j^2 \times \frac{\sigma_j^2}{n_j}}}{ALFB_j} \quad (18^{12})$$

$$w_j = A_j \sum_j A^{-1} \quad (19)$$

Donde:

$ALFB_j$ = Media de la densidad ALFB de estrato j (t ha⁻¹)

\overline{ALFB} = Media de ALFB a lo largo de todo el estrato, el cual puede ser multiplicado por el área total para obtener el carbono total en el AOI (t ha⁻¹)

F_{ij} = La suma de todas las estimaciones de RSP ALFB derivadas del PM en cada RSSU i y estrato j. (t)

n_j = El número de RSSU que cruzan el estrato j (RSSU)

⁹ Ståhl (2011), ecuación 15

¹⁰ Ståhl (2011), ecuación 15

¹¹ Ståhl (2011), ecuación 15

¹² Kangas y Maltamo (2006)

α_j	= El vector de parámetros utilizado en el Modelo Predictivo, ej. a y b en la ecuación ALFB anterior. (Sin unidades).
P_j	= Número de parámetros, ej. Número de variables independientes ej. Métrica de altura en la ecuación ALFB. (Sin unidades)
T	= Número total de la RSP en cada RSSU. Debido a que las estimaciones de RS ALFB están representadas en unidades 1-ha, T representa el tamaño de RSSU en hectáreas. (RSP)
η_{ij}	= El número de la RSP dentro de la RSSU i , estrato j (RSP)
$\frac{\partial f}{\partial \alpha}$	= La primera derivada de la función f con respecto a los coeficientes del modelo, y evaluados para t^{th} RSP dentro de i^{th} RSSU en el estrato j (t), ver Ståhl et al. (2011), Anexo A.
t_{val}	= Valor de la prueba de Student t de doble cola para el nivel de confianza y grados de libertad igual a $n - M$, en donde n es el número total de parcelas de muestreo en el estrato de biomasa de árboles, y M es el número total de estratos en la estimación de biomasa de árboles. (Sin unidades)
w_j	= Proporción/cociente del área del estrato j a la suma de áreas de todos los estratos (sin unidades).
σ_j^2	= Varianza de ALFB por hectárea en estrato j ; $(t \text{ ha}^{-1})^2$
A_j	= Área del estrato j o AOI (ha)
u_j	= Incertidumbre del valor de la media de ALFB por estrato j ($t \text{ ha}^{-1}$).

En la ecuación de varianza (15), $Cov(\alpha_{k_1j}, \alpha_{k_2j})$ es la covarianza de coeficientes k_1 y k_2 del RS-ALFB PM, representado por la función f para estrato j . El primer término en la ecuación de estimación de la varianza representa el error de muestreo, y el segundo término describe el error de modelo para cada estrato. Las relaciones anteriores serán simplificadas si solamente un modelo es utilizado para todos los estratos.

La incertidumbre en la estimación de la media de ALFB para el estrato j está definido como un error estándar de la media expandida por el porcentaje del intervalo de confianza deseado, dividido por el valor de la media, y expresado como un porcentaje. La incertidumbre está dada por CDM (2013), y calculada para este instrumento utilizando la ecuación (15).

En el caso en donde la incertidumbre excede el límite deseado, la estimación debe ser descartada de acuerdo a la Sección 5.1.4. Para reducir la incertidumbre en la estimación, el parámetro E en la sección 5.1.2.1 puede ser disminuida, lo cual resultaría en un área RSSU mayor.

5.1.4 Paso 4: Descarte

Si esta herramienta está siendo desplegada en el contexto de una metodología general (VCS, CDM, etc.), se puede requerir que las estimaciones de carbono de ALFB sean descartadas basadas en la precisión de la estimación. En este caso, la guía del descarte de volumen de

carbono debe procurarse a partir de la metodología general para los siguientes aspectos de esta herramienta:

- **Ecuaciones Alométricas.** Las ecuaciones alométricas utilizadas en la estimación de ALFB en la SP pueden ser requeridas para ser evaluadas de acuerdo a los estándares de la metodología general que está siendo utilizada.
- **Media del estrato ALFB.** El descarte de la densidad ALFB estimada puede ser requerida para ser ejecutada basada en el estándar de la metodología general.

6 DATOS Y PARÁMETROS

6.1 Datos y Parámetros Disponibles en la Validación

Datos / Parámetro	E
Unidad de Datos	$t\ ha^{-1}$
Descripción	Márgen de error aceptado (ej. La mitad del intervalo de confianza) en la estimación de la densidad de carbono o ALFB en cada estrato o AOI.
Ecuaciones	(2)
Fuente de los Datos	Arbitrario dependiente de los requerimientos del proyecto.
Valor Aplicado:	10% de la media de ALFB en el estrato o AOI.
Justificación de la selección de los datos, o descripción de los métodos de medición y procedimientos aplicados	El valor determinado de E es 10% de la media de estrato o de las reservas de biomasa AOI ($t\ ha^{-1}$).
Objetivo de los Datos	Determinación del escenario de la línea de base (para metodologías AFOLU, según corresponda)

Datos / Parámetro	t^{∞}_{val}
Unidad de Datos	Sin unidades
Descripción	Valor de prueba de t de Student de dos colas en grados de libertad infinitos para el nivel de confianza requerida.
Ecuaciones	(2)
Fuente de Datos	A grados de libertad infinitos, la T de Student es equivalente a una distribución normal.
Valor aplicado:	Dependiente del nivel de confianza deseado.

Justificación de la selección de los datos, o descripción de los métodos de medición y procedimientos aplicados	Permite calcular el tamaño de muestra de la RSSU, de tal forma que el intervalo de confianza deseado en la estimación de ALFB pueda ser alcanzado.
Objetivo de los Datos	Determinación del escenario de la línea de base (para metodologías AFOLU, según corresponda)

Datos / Parámetro	r
Unidad de Datos	Píxeles
Descripción	Rango del semivariograma de estimación de la correlación espacial de errores asociados al grupo de muestras en RSSU. Ver a continuación (en esta sección) una guía de análisis de semivariograma.
Ecuaciones	(4)
Fuente de los Datos	Se puede utilizar el valor predeterminado. Ver sección 5.1.2.1 para buscar alternativas al valor predeterminado.
Valor Aplicado:	10
Justificación de la selección de los datos, o descripción de los métodos de medición y procedimientos aplicados	Estimación conservadora de la correlación de longitud. Diez 1-ha por píxeles.
Objetivo de los Datos	Determinación del escenario de la línea de base (para metodologías AFOLU, según corresponda)

Datos / Parámetro	d
Unidad de Datos	Píxeles
Descripción	Distancia entre píxeles dentro el estrato y todos los otros píxeles dentro del estrato.
Ecuaciones	(4)
Fuente de los Datos	Calculo basado en el tamaño de m .
Valor Aplicado:	N/A.
Justificación de la selección de los datos, o descripción de los métodos de medición y procedimientos aplicados	Correlación canónica utilizada para determinar la covarianza espacial.

Objetivo de los Datos	Estimación del tamaño de la RSSU
-----------------------	----------------------------------

Datos / Parámetro	c
Unidad de Datos	Sin unidades
Descripción	Parámetro de ajuste para la función de correlación espacial exponencial derivada del análisis de semivariograma.
Ecuaciones	(4)
Fuente de los Datos	Weisbin, Zolkos et al. and Asner and Mascaro (2014; 2013; 2014).
Valor Aplicado:	$\frac{1}{3}$
Justificación de la selección de los datos, o descripción de los métodos de medición y procedimientos aplicados	Demostrado en Weisbin, Zolkos et al. y Asner y Mascaro (2014; 2013; 2014).
Objetivo de los Datos	Determinación del escenario de la línea de base (para metodologías AFOLU, según corresponda)

Datos / Parámetro	m
Unidad de Datos	pixeles
Descripción	Un número ficticio mayor representando pixeles en la RSSU. El número puede ser arbitrariamente grande, o al menos el doble del valor predeterminado del rango (r).
Ecuaciones	(4)
Fuente de los Datos	Calculo basado en el tamaño del estrato.
Valor Aplicado:	El valor (predeterminado) mínimo es $2r = 20$ pixeles, puede ser mayor.
Justificación de la selección de los datos, o descripción de los métodos de medición y procedimientos aplicados	Este parámetro establece el tamaño mínimo de la RSSU, basado en la covarianza estimada de una estimación a-priori de la variable espacial ALFB.
Objetivo de los Datos	Determinación del escenario de la línea de base (para metodologías AFOLU, según corresponda)

Datos / Parámetro	\widehat{ALFB}_p
-------------------	--------------------

Unidad de Datos	Toneladas (métricas) por hectárea (ha ⁻¹)
Descripción	Promedio de densidad de ALFB para el AOI o estrato de un estudio anterior o literatura relevante.
Ecuaciones	(7)
Fuente de los Datos	Estudio anterior.
Valor Aplicado:	N/A.
Justificación de la selección de los datos, o descripción de los métodos de medición y procedimientos aplicados	Estimaciones de la densidad ALFB de un estudio anterior que pueden ser utilizadas para estimar la intensidad de muestreo de RS.
Objetivo de los Datos	Determinación del escenario de la línea de base (para metodologías AFOLU, según corresponda)

Datos / Parámetro	K
Unidad de Datos	Entero
Descripción	Número de rondas de validación utilizadas en la validación cruzada del modelo de predicción RS.
Ecuaciones	(8)(10)(11)(12)
Fuente de los Datos	Define, con base el número de iteraciones que resultan en una disminución del RMSE en relación con la ronda anterior (debe ser 10 o superior).
Valor Aplicado:	≥10
Justificación de la selección de los datos, o descripción de los métodos de medición y procedimientos aplicados	Un número superior a 10 rondas de validación cruzada proporcionará suficiente capacitación y validación para evaluar de manera sólida la precisión del PM.
Objetivo de los Datos	Determinación del escenario de la línea de base (para metodologías AFOLU, según corresponda)
Comentarios	N/A

Datos / Parámetro	γ'
Unidad de Datos	Toneladas (métricas) ha ⁻¹
Descripción	Pronóstico de densidad ALFB.
Ecuaciones	(8)(10)(11)(12)

Fuente de los Datos	Modelo Predictivo, Métrica RS
Valor Aplicado:	N/A
Justificación de la selección de los datos, o descripción de los métodos de medición y procedimientos aplicados	La métrica RS está correlacionada con ALFB desde SP para derivar un modelo paramétrico relacionando métricas RS con ALFB.
Objetivo de los Datos	Determinación del escenario de la línea de base (para metodologías AFOLU, según corresponda)
Comentarios	N/A

Datos / Parámetro	γ
Unidad de Datos	Toneladas (métricas) ha ⁻¹
Descripción	Densidad ALFB observada en la SP
Ecuaciones	(8)(10)(11)(12)
Fuente de los Datos	Muestreos <i>In-situ</i>
Valor Aplicado:	N/A
Justificación de la selección de los datos, o descripción de los métodos de medición y procedimientos aplicados	La densidad ALFB observada es medida en campo en parcelas de muestreo <i>in-situ</i> .
Objetivo de los Datos	Determinación del escenario de la línea de base (para metodologías AFOLU, según corresponda)
Comentarios	N/A

Datos / Parámetro	n
Unidad de Datos	Parcela
Descripción	Número de VP utilizadas validando el PM.
Ecuaciones	(8)(10)(11)(12)
Fuente de los Datos	N/A
Valor Aplicado:	15
Justificación de la selección de los datos, o descripción de los métodos de medición y procedimientos aplicados	Proporción/cociente de CP a VP basado en Asner y Mascaro (2014)

Objetivo de los Datos	Determinación del escenario de la línea de base (para metodologías AFOLU, según corresponda)
Comentarios	N/A

Datos / Parámetro	t_{val}
Unidad de Datos	Sin unidades
Descripción	Valor de prueba T de Student con dos colas para un nivel de confianza de 90 o 95 por ciento de acuerdo a lo requerido por la metodología general, y grados de libertad iguales al número de parcelas de muestreo dentro del estrato de estimación ALFB, menos el número total del estrato de estimación ALFB.
Ecuaciones	(8)(10)(11)(12)
Fuente de los Datos	N/A
Valor Aplicado:	(17)
Justificación de la selección de los datos, o descripción de los métodos de medición y procedimientos aplicados	N/A
Objetivo de los Datos	Determinación del escenario de la línea de base (para metodologías AFOLU, según corresponda)
Comentarios	N/A

6.2 Datos y Parámetros Monitoreados

No aplica.

7 REFERENCIAS

- Asner, G.P. et al., 2012. *A universal airborne LiDAR approach for tropical forest carbon mapping*. *Oecologia*, 168(4), pp.1147–60. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22033763> [Consultado: 26 de mayo de 2014].
- Asner, G.P. et al., 2013. *High-fidelity national carbon mapping for resource management and REDD+*. *Carbon balance and management*, 8(1), p.7. Disponible en: <http://www.cbmjournal.com/content/8/1/7> [Consultado: 12 de diciembre 2013].
- Asner, G.P. & Mascaró, J., 2014. *Mapping tropical forest carbon: Calibrating plot estimates to a simple LiDAR metric*. *Remote Sensing of Environment*, 140, pp.614–624. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S003442571300360X> [Consultado el 22 de julio de 2014].

- Chave, J. et al., 2014. *Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees*. *Global change biology*. Disponible: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24817483> [Consultado: 10 de julio de 2014].
- Chave, J. et al., 2009. *Towards a worldwide wood economics spectrum*. *Ecology letters*, 12(4), pp.351–66. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19243406> [Consultado: 26 de mayo de 2014].
- Chave, J. et al., 2005. *Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests*. *Oecologia*, 145(1), pp.87–99. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B9-9Vlx0SkkFcWNBOTRNdVpLQnc/edit?usp=sharing>.
- Chilès, J.-P. & Delfiner, P., 2012. *Geostatistics*, Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1002/9781118136188.ch2> [Consultado: 9 de enero de 2015].
- Cifuentes Jara, M. et al., 2014. *Guidelines for documenting and reporting tree allometric equations*. *Annals of Forest Science*. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/s13595-014-0415-z> [Consultado: 18 de enero de 2015].
- Intergovernmental Panel on Climate Change, 2003. *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry* J. Penman et al., eds., Hayama: Institute for Global Environmental Strategies. Disponible en: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_files/GPG_LULUCF_FULL.pdf.
- Johnson, E.W., 2000. *Forest sampling desk reference*, CRC Press. Disponible en: <http://books.google.com/books?id=S8PPECeCBCMC&pgis=1> [Consultado: 22 de marzo de 2012].
- Kangas, A. & Maltamo, M., 2006. *Forest inventory: methodology and applications*, Dordrecht: Springer Netherlands. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=lah&AN=20083182418&lang=fr&site=ehost-live>.
- Meyer, V., Saatchi, S.S., Chave, J., et al., 2013. *Detecting tropical forest biomass dynamics from repeated airborne lidar measurements*. *Biogeosciences*, 10(8), p.5421–5438. Disponible en: <http://adsabs.harvard.edu/abs/2013BGeo...10.5421M> [Consultado: 4 de junio de 2014].
- Meyer, V., Saatchi, S.S., Chave, J., et al., 2013. *Detecting tropical forest biomass dynamics from repeated airborne lidar measurements*. *Biogeosciences*, 10(8), pp.5421–5438. Disponible en: <http://adsabs.harvard.edu/abs/2013BGeo...10.5421M> [Consultado: 4 de junio de 2014].
- Næsset, E. et al., 2013. *Model-assisted estimation of change in forest biomass over an 11year period in a sample survey supported by airborne LiDAR: A case study with post-stratification to provide “activity data.”* *Remote Sensing of Environment*, 128, pp.299–314. Disponible: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425712003902> [Consultado: 9 de septiembre de 2014].
- Nelson, R. et al., 2012. Lidar sampling — Using an airborne profiler to estimate forest biomass in Hedmark County, Norway. *Remote Sensing of Environment*, 123, pp.563–578. Disponible en:

- <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425712001848> [Consultado: 9 de septiembre de 2014].
- Picard, N., Saint-André, L. & Henry, M., 2012. *Manual for building tree volume and biomass allometric equations: from field measurement to prediction*. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Disponible en: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Manual+for+building+tree+volume+and+biomass+allometric+equations+From+field+measurement+to+prediction#0> [Consultado: 24 de noviembre de 2013].
- Picard, R.R. & Cook, R.D., 1984. *Cross-Validation of Regression Models*. *Journal of the American Statistical Association*, 79(387), pp.575–583. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01621459.1984.10478083> [Consultado: 7 de diciembre de 2014].
- Saatchi, S.S. et al., 2011. *Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(24), pp.9899–904. Disponible en: <http://www.pnas.org/content/108/24/9899> [Consultado: 10 de julio de 2014].
- Ståhl, G. et al., 2011. *Model-based inference for biomass estimation in a LiDAR sample survey in Hedmark County, Norway* This article is one of a selection of papers from *Extending Forest Inventory and Monitoring over Space and Time*. *Canadian Journal of Forest Research*, 41(1), pp.96–107. Disponible: <http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/X10-161> [Consultado: 7 de diciembre de 2014].
- UNFCCC, 2013. *AR-TOOL14 Estimation of carbon stocks and change in carbon stocks of trees and shrubs in A/R CDM project activities*, Disponible en: <http://cdm.unfccc.int/methodologies/ARmethodologies/tools/ar-am-tool-14-v2.1.0.pdf>.
- Vincent, G., Sabatier, D. & Rutishauser, E., 2014. *Revisiting a universal airborne light detection and ranging approach for tropical forest carbon mapping: scaling-up from tree to stand to landscape*. *Oecologia*, 175(2), pp.439–43. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24615493> [Consultado: 27 de mayo de 2014].
- Wagner, H.H., 2003. *Spatial covariance in plant communities: Integrating ordination, geostatistics, and variance testing*. *Ecology*, 84, pp.1045–1057.
- Weisbin, C.R., Lincoln, W. & Saatchi, S., 2014. *A Systems Engineering Approach to Estimating Uncertainty in Above-Ground Biomass (AGB) Derived from Remote-Sensing Data*. *Systems Engineering*, 17(3), pp.361–373. Disponible en: <http://doi.wiley.com/10.1002/sys.21275> [Consultado: 20 de noviembre de 2014].
- Zanne, A.E. et al., 2009. Datos de: *Towards a worldwide wood economics spectrum*. *Ecology Letters*. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5061/dryad.234>.
- Zolkos, S.G., Goetz, S.J. & Dubayah, R., 2013. *A meta-analysis of terrestrial aboveground biomass estimation using lidar remote sensing*. *Remote Sensing of Environment*, 128, pp.289–298.

Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425712004051> [Consultado:
17 de octubre de 2014].