

Respuesta a los comentarios de la consulta pública de Lineamientos para uso de modelos en la cuantificación de carbono de línea base en el sector uso de la tierra



**Versión
1.0**

Respuesta a los comentarios de la consulta pública de Lineamientos para uso de modelos en la cuantificación de carbono de línea base en el sector uso de la tierra

Estimados participantes:

Cercarbono les extiende su sincero agradecimiento por su participación en nuestra consulta pública de ***Lineamientos para uso de modelos en la cuantificación de carbono de línea base en el sector uso de la tierra***, versión 1.0, llevada a cabo de manera electrónica del 07.07.2025 al 13.08.2025.

Estos valiosos comentarios nos permitirán generar un documento de Lineamientos más completo y robusto para que titulares y desarrolladores de iniciativas de remoción de GEI desarrollen programas o proyectos en diferentes sectores de uso de la tierra y puedan participar en el programa de certificación voluntaria de carbono de Cercarbono.

En la tabla adjunta, se incluye una recopilación de los diferentes comentarios recibidos, así como las respectivas aclaraciones y respuestas desarrolladas por nuestra área técnica, documento que permanecerá públicamente disponible en nuestro sitio web, sección: Consultas.

Agradecemos nuevamente por el tiempo dedicado para la revisión y por su valiosa contribución.

Cordialmente,



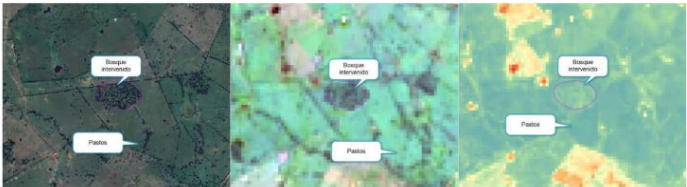
Alex Saer

Director Ejecutivo Cercarbono

No.	Comentario	Sección	Respuesta
1	¿Por qué se aplica un porcentaje mínimo de muestreo para todos los métodos de cuantificación (convencionales de campo, inclusión de índices espectrales derivados de imágenes satelitales y método con inclusión de LiDAR), a pesar de que cada uno presenta requerimientos técnicos, escalas operativas y costos significativamente distintos? Cuando se implementan métodos como el LiDAR o el muestreo convencional en campo, el monitoreo entre el 1 % y el 3 % del área elegible resulta técnica, logística y económicamente inviable. En estos casos, es más apropiado aplicar un enfoque de muestreo estadístico basado en una intensidad de muestreo que garantice un error de muestreo dentro de límites aceptables¹), asegurando representatividad y confiabilidad sin comprometer la viabilidad del proyecto. En este sentido, se sugiere introducir un enfoque flexible y adaptativo para el diseño de las parcelas de calibración. Por otra parte, se solicita la aclaración si las parcelas internas y externas tienen como objetivo principal el monitoreo periódico de la cuantificación de carbono durante la vida del proyecto o si su función se limita únicamente a la estimación del escenario de línea base. 1. El error de muestreo sugerido debe ser del orden de 10 al 15% como lo establece el IDEAM (Yepes A.P., Navarrete D.A., Duque A.J., Phillips J.F., Cabrera K.R., Álvarez, E., García, M.C., Ordoñez, M.F. 2011. Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa - carbono en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales [IDEAM]. Bogotá D.C., Colombia.)	Sección 5.1 Requisitos generales para establecer parcelas internas y externas	Los lineamientos establecen porcentajes mínimos obligatorios de muestreo (entre 1 % y 3 % del área elegible del PMCC) con el fin de garantizar un nivel homogéneo de representatividad espacial para la calibración de los modelos, independientemente del método de cuantificación empleado (campo, índices espectrales o LiDAR). Estos porcentajes constituyen un requisito normativo mínimo orientado a asegurar la trazabilidad, permanencia y verificabilidad de las parcelas durante todo el periodo de ejecución del proyecto. No obstante, el marco metodológico de Cercarbono es consistente con herramientas internacionales como el AR-Tool 13 del Mecanismo de Desarrollo Limpio, el cual permite determinar el número de parcelas a partir de criterios estadísticos como la varianza poblacional, el nivel de confianza y el error de muestreo admisible. En este sentido, el desarrollador podrá utilizar el AR-Tool 13 como herramienta de optimización técnica del diseño del muestreo, siempre que, en todos los casos, se garantice el cumplimiento del porcentaje mínimo establecido por la metodología de Cercarbono. En tal sentido, el desarrollador podrá estimar la representatividad estadística de las parcelas de calibración mediante un diseño de muestreo que demuestre un nivel de confianza del 95 %, un error de muestreo relativo ≤ 10 % y una incertidumbre total $\leq \pm 20$ % a 95 % de confianza, como criterios de calidad estadística complementarios, sin que estos sustituyan el porcentaje mínimo normativo obligatorio. Adicionalmente, el desarrollador podrá aplicar técnicas estadísticas complementarias como la detención temprana del muestreo (<i>early stopping</i>), mediante la cual la recolección de parcelas adicionales puede suspenderse

No.	Comentario	Sección	Respuesta
			cuando la variación marginal del error de estimación deja de ser significativa. Cuando los criterios estadísticos no se puedan demostrar, se deberán establecer obligatoriamente las parcelas de calibración utilizando el porcentaje mínimo del área elegible del PMCC, conforme a la siguiente escala: • PMCC hasta 500 ha: mínimo el 3 %. • PMCC entre 500 y 2.000 ha: mínimo el 2 %. • PMCC entre 2.000 y 10.000 ha: mínimo el 1,5 %. • PMCC de más de 10.000 ha: mínimo el 1 %. Por otro lado, se aclara que las parcelas internas y externas tienen como objetivo principal la calibración y validación de los modelos implementados en el escenario de Línea Base, y no están definidas como instrumento directo de monitoreo periódico de remociones durante la vida del proyecto, función que corresponde al sistema MRV del proyecto.
2	Las condiciones de gobernanza, prácticas de uso del suelo, políticas públicas aplicables, infraestructura vial, acceso a mercados, tenencia de la tierra y dinámicas socioeconómicas locales son factores importantes que influyen en el desarrollo de un PMCC en el sector de reforestación. Sin embargo, esta información suele tener un carácter cualitativo y es complejo estructurar y traducir en variables cuantificables para su inclusión directa en los modelos. Adicionalmente, el nivel de desagregación disponible de estas variables es limitado en Colombia, especialmente en los niveles veredal, municipal o regional, lo cual restringe su integración efectiva en los procesos de modelación.	Sección 3.2.2 Dimensión socioeconómica Sección 6.2.4 Recolección de variables socioeconómicas	Las variables socioeconómicas no cumplen únicamente una función descriptiva. De acuerdo con los lineamientos de Cercarbono, estas variables deben ser cuantificables y pueden incorporarse tanto en modelos estadísticos clásicos como en modelos de <i>machine learning</i>, ya sea como variables explicativas o como variables de entrada en los algoritmos predictivos. Su inclusión es especialmente relevante en el marco de proyectos REDD+, ya que permite caracterizar los impulsores antropogénicos del cambio de uso del suelo, fortalecer la construcción del escenario de línea base, y robustecer el análisis del riesgo de fuga, en coherencia con los enfoques de referencia de deforestación y degradación evitada.

No.	Comentario	Sección	Respuesta
	Considerando lo anterior, ¿las variables socioeconómicas cumplen principalmente una función descriptiva y contextual dentro del diseño y análisis de los proyectos PMCC, siendo su inclusión en modelos predictivos o de machine learning de carácter opcional y dependiente de la disponibilidad, calidad y nivel de desagregación de los datos, así como de los objetivos específicos del modelado?		No obstante, la incorporación de variables socioeconómicas en modelos predictivos dependerá de la disponibilidad, calidad, nivel de desagregación, trazabilidad y consistencia temporal de los datos, así como de los objetivos específicos del modelado. En todos los casos, estas variables deben transformarse en indicadores numéricos verificables que garanticen su replicabilidad y validez técnica.
3	El uso de índices espectrales como el NDVI para la detección de cambios de cobertura vegetal debe ser considerado con precaución, ya que estos índices no fueron diseñados originalmente para la discriminación de tipos de cobertura, sino para estimar la vigorosidad y el estado fisiológico de la vegetación. El NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), se creó específicamente para cuantificar la cantidad, calidad y vigor de la biomasa verde. Su uso se ha popularizado principalmente para monitorear la salud de cultivos, estimar la productividad primaria y analizar la dinámica estacional de la vegetación. Sin embargo, el NDVI presenta limitaciones para discriminar cambios entre diferentes tipos de cobertura, especialmente en paisajes heterogéneos donde varias coberturas (por ejemplo, cultivos, pastizales, matorrales o bosques secundarios) pueden compartir rangos similares de valores NDVI debido a niveles comparables de vigor vegetal, densidad de cobertura o fenología. Esto puede llevar a confusiones, falsos positivos o negativos en la detección de cambios de uso del suelo, lo cual afecta la precisión y confiabilidad del análisis de línea base. Ejemplo ilustrativo – Saturación del NDVI en bosques densos: Algunas veces, el bosque presenta valores de NDVI inferiores a otras coberturas vegetales, lo cual es un fenómeno documentado en la literatura científica conocido como saturación del NDVI. El NDVI se satura cuando el Índice de Área Foliar (LAI) excede 2 m²/m², condición típica en bosques maduros y densos. En estas condiciones:	Sección 6.2.3 Análisis de imágenes y generación de índices espectrales	Si bien el NDVI fue desarrollado inicialmente para estimar la cantidad, vigor y biomasa verde, su uso se ha extendido ampliamente en la literatura científica y en aplicaciones operativas para la detección de cambios de cobertura vegetal y análisis de la dinámica del uso del suelo. Los lineamientos de Cercarbono reconocen explícitamente el uso del NDVI, así como de otros índices espectrales como el EVI y el NBR, los cuales han demostrado ser herramientas válidas para diferenciar coberturas y detectar perturbaciones. En particular, el EVI mejora la sensibilidad en áreas de vegetación densa y reduce problemas de saturación y efectos del suelo, mientras que el NBR es especialmente útil para la identificación de pérdidas bruscas de biomasa asociadas a incendios, deforestación, degradación o estrés severo de la vegetación. No obstante, se reconoce, que estos índices presentan limitaciones cuando se aplican a paisajes altamente heterogéneos o a coberturas que comparten rangos espectrales similares, lo cual puede generar errores de clasificación en ausencia de una adecuada calibración con parcelas de campo. En este sentido, los lineamientos mantienen explícitamente abierta la posibilidad de incorporar otros índices espectrales, análisis multiespectrales, o técnicas de clasificación más avanzadas, siempre que:

No.	Comentario	Sección	Respuesta
	• Las múltiples capas de vegetación absorben completamente la radiación roja • El dosel cerrado genera sombras que reducen la reflectancia general • Se producen múltiples reflexiones internas que alteran la respuesta espectral. El NDVI deja de aumentar proporcionalmente con la densidad vegetal y puede mostrar valores menores que vegetación menos densa (pastizales, arbustos). Este comportamiento se presenta en estudios de teledetección y no indica degradación forestal, sino una limitación inherente del índice NDVI en vegetación muy densa.  a) Imagen de Google Earth b) Landsat (RGB) c) Landsat (NDVI) Por estas razones, se solicita dejar abierta la posibilidad de usar otros índices, análisis multiespectrales, o técnicas de clasificación más avanzadas que permitan una mejor discriminación entre tipos de cobertura, tal como lo sugieren las mejores prácticas y metodologías internacionales.		• Estén debidamente documentados en la literatura científica, • Sean calibrados con datos de campo representativos, • Sean validados mediante métricas objetivas de desempeño e incertidumbre, • Y cuenten con trazabilidad metodológica. De este modo, se asegura que el análisis de cambios de cobertura no dependa de un único índice, sino de un enfoque flexible, robusto y científicamente verificable, acorde con las mejores prácticas internacionales.
4	El documento menciona algunos algoritmos comúnmente utilizados, como regresiones múltiples, Random Forest y redes neuronales. No obstante, existen otros modelos de machine learning que también pueden ser aplicables, dependiendo de las características del proyecto y del desempeño que ofrezcan en términos de ajuste y precisión. Por esta razón, el documento metodológico debería dejar explícitamente abierta la posibilidad de utilizar otros modelos predictivos, siempre que cumplan con criterios de rigurosidad estadística.	Sección 6.2.6.2 Procedimientos para el uso de los modelos (clásico o predictivo avanzado)	Los lineamientos no restringen el uso de los modelos predictivos a un conjunto cerrado de algoritmos. Si bien el documento menciona como ejemplos modelos de regresión, Random Forest y redes neuronales, estos deben entenderse como referentes metodológicos y no como una limitación técnica. En consecuencia, el desarrollador del PMCC podrá implementar cualquier modelo estadístico o de <i>machine</i>

No.	Comentario	Sección	Respuesta
			<i>learning</i> que resulte adecuado a las características del proyecto y a la naturaleza de los datos disponibles, siempre que dicho modelo: • Sea calibrado utilizando parcelas de campo válidas (internas o externas), • Incorpore procedimientos formales de validación (por ejemplo, validación cruzada, bootstrap u otros), • Cuantifique explícitamente el error y la incertidumbre asociada a las estimaciones, • Presente métricas objetivas de desempeño (por ejemplo, RMSE, MAE, R^2), • Y cuente con trazabilidad, replicabilidad y documentación técnica verificable. De esta manera, los lineamientos garantizan un marco flexible para la innovación en modelación, sin sacrificar los principios de rigor estadístico, conservadurismo, transparencia y calidad de la información exigidos por el estándar.
5	Nuestra preocupación se relaciona con el requisito de medir en campo un porcentaje mínimo fijo del área del proyecto para fines de calibración. Las mejores prácticas en el desarrollo de proyectos de carbono vinculan la intensidad del muestreo de campo con los niveles objetivo de incertidumbre estadística en las estimaciones de biomasa, no con un porcentaje fijo del área del proyecto. El enfoque propuesto en las <i>Directrices para el Uso de Modelos en la Cuantificación de Carbono de Referencia en el Sector de Uso de la Tierra</i> se basa en un porcentaje fijo, que no considera variables clave como la heterogeneidad del área del proyecto, que suele ser un factor importante en el diseño de planes de muestreo.	No determinada	Esta inquietud corresponde al mismo fundamento técnico y normativo abordado en la Respuesta 1, en relación con el carácter obligatorio del porcentaje mínimo de muestreo (1 %–3 %) establecido por los lineamientos de Cercarbono para la calibración de modelos en la estimación de la línea base. En consecuencia, si bien se reconoce que desde el punto de vista de la eficiencia operativa y la reducción de costos es deseable vincular la intensidad de muestreo únicamente a objetivos de incertidumbre estadística, en el marco normativo vigente estos enfoques no sustituyen el cumplimiento del umbral mínimo de área exigido por los lineamientos, el cual debe cumplirse para efectos de validación, registro y verificación del PMCC.

No.	Comentario	Sección	Respuesta
	Para ilustrar el impacto: trabajamos con un promotor cuyo proyecto abarca poco menos de 300 hectáreas y que ya ha medido 89 parcelas de campo, cada una de 400 m². Esto representa 3,56 hectáreas de mediciones, o aproximadamente el 1,2 % del área del proyecto. Según las nuevas directrices, este proyecto necesitaría más del doble del número de parcelas para alcanzar el umbral del 3 %. Esto aumentaría considerablemente los costos y las cargas logísticas, lo que a su vez desincentivaría el uso de modelos. El objetivo de incorporar modelos debería ser permitir a los desarrolladores de proyectos aumentar la transparencia, mejorar la cobertura del monitoreo, optimizar la eficiencia, ahorrar costos en campañas de campo y reducir la incertidumbre mediante modelos de teledetección escalables calibrados con los datos de campo disponibles. Un requisito de porcentaje fijo socava estos beneficios. Por lo tanto, recomendamos, como alternativa, que las directrices mantengan la flexibilidad, basando los requisitos de muestreo de campo en el logro de un umbral de incertidumbre aceptable, en lugar de un porcentaje fijo del área del proyecto. Esto permitiría diseños de monitoreo adaptativos, estadísticamente robustos y rentables que mejoren la transparencia y amplíen el acceso a datos de alta calidad para los desarrolladores de proyectos. Nos complacería analizar esta recomendación más a fondo y compartir nuestro conocimiento y experiencia sobre cómo el modelado puede fortalecer el monitoreo y hacer que el desarrollo de proyectos sea más accesible bajo el estándar Cercarbono.		