
GL-MC-004 – Metodología de cálculo — Cuantificación del inventario de Carbono conservado (CO₂eT) por Stock Ex-Post

Versión: 1.0

Fecha: septiembre de 2025

Desarrollado por: Flávio Alfaro

Base normativa: PCC (ICVCM), Código de Buenas Prácticas de ICROA, CORSIA, ISO 14064-2

Integraciones metodológicas: GL-M-001 (núcleo); GL-MC-004 (cálculo/informes); Anexo de fugas de GL-MC-004 (clase→puerta); GL-MS-012 (datos/QA/QC); GL-MS-011 (requisitos nacionales/Art. 6)

Beneficios colaterales: Evaluados según el estándar CCB (Clima, Comunidad y Biodiversidad).
Estándares

GREENLINE CARBONSAT

Septiembre de 2025

Resumen

1.	Introducción.....	7
1.1	Objetivo.....	7
1.2	Ámbito de aplicación.....	7
1.3	Referencias normativas.....	7
1.4	Integración y referencias cruzadas.....	8
1.5	Principios aplicables al cálculo.....	8
2.	Límites, unidades de análisis e identificación de polígonos.....	9
2.1	Alcance.....	9
2.2	Límites espaciales (SSR).....	9
2.3	Unidad de análisis y condiciones de elegibilidad.....	9
2.4	Ventana horaria y ciclo (cosecha).....	9
2.5	Identificación y serialización.....	9
2.6	Reglas de superposición y coherencia espacial.....	10
2.7	Máscaras, capas y preprocesamiento.....	10
2.8	Metadatos requeridos (por polígono/ciclo).....	10
2.9	Publicación y enlace al registro.....	10
3.	Fuentes de datos y criterios de elegibilidad.....	11
3.1	Lista positiva versionada.....	11
3.2	Política de actualización de versiones.....	11
3.3	Metadatos requeridos por fuente y por polígono/ciclo.....	11
3.4	Preprocesamiento mínimo requerido (lista de verificación).....	12
3.5	Criterios operativos para la elegibilidad de los datos.....	12
3.6	Inconsistencias, exclusiones técnicas y CAPA.....	12
3.7	Responsabilidades.....	13
4.	Estratificación, máscaras y preprocesamiento.....	14
4.1	Estratificación de las zonas forestales.....	14
4.2	Uso obligatorio de mascarilla.....	14
4.3	Preprocesamiento de datos.....	14
4.4	Documentación y metadatos.....	15
5.	Conversiones y fórmulas (AGB → C → CO ₂ e).....	16
5.1	Descripción general del flujo de trabajo.....	16

5.2	Entradas obligatorias (por ciclo).....	16
5.3	Parámetros y factores (definidos en el Anexo A).....	16
5.4	Cálculo por píxel/celda (nivel micro).....	17
5.5	Agregación por polígono y por ciclo (nivel meso).....	19
5.6	Consolidación de los resultados del ciclo (nivel macro).....	19
5.7	Precisión, redondeo y decimales.....	20
5.8	Tratamiento de la incertidumbre (antes del número final).....	20
5.9	Guiones, reproducibilidad y bandas sonoras.....	20
5.10	Resultados mínimos del capítulo (por polígono/ciclo).....	21
6.	Factor de Confianza Técnica (FCT).....	22
6.1	Objetivo.....	22
6.2	Alcance.....	22
6.3	Naturaleza y efecto.....	22
6.4	Nota normativa — FTC_min (estándar Greenline Carbonsat).....	22
6.5	Entradas de la FTC.....	23
6.6	Cálculo y evidencia.....	23
7.	Gestión de la incertidumbre y las exclusiones técnicas (preconsolidación).....	24
7.1	Objetivo.....	24
7.2	Desencadenantes del tratamiento.....	24
7.3	Opciones de saneamiento (en orden de preferencia).....	24
7.4	Criterios objetivos para la exclusión técnica.....	25
7.5	Registro CAPA (Corrección y Prevención).....	25
7.6	Alta del tratamiento y derivación.....	25
7.7	Documentos y pruebas mínimos.....	25
7.8	Funciones y responsabilidades	26
8.	Consolidación por ciclo y resultados numéricos.....	27
8.1	Objetivo.....	27
8.2	Asientos para consolidación (posteriores a la Sección 7).....	27
8.3	Claves y estructura de datos (por polígono/ciclo).....	27
8.4	Reglas de redondeo y presentación.....	27
8.5	Reconciliación y coherencia.....	28
8.6	Serialización e integridad.....	28

8.7	Resultados numéricos y archivos necesarios.....	28
8.8	Cierre del ciclo (listo para VVB y registro).....	29
8.9	Responsabilidades.....	29
9.	Paquete de verificación (VVB).....	30
9.1	Objetivo.....	30
9.2	Composición del dossier (por proyecto/ciclo).....	30
9.3	Criterios de aceptación de la VVB.....	31
9.4	Flujo y roles.....	31
9.5	Pruebas y formato.....	31
10.	Metadatos, control de versiones y trazabilidad.....	32
10.1	Objetivo.....	32
10.2	Claves e identificadores necesarios.....	32
10.3	Metadatos técnicos mínimos (por artefacto).....	32
10.4	Reglas de versionado (prospectivas).....	33
10.5	Registros y pista de auditoría.....	33
10.6	Integridad y seguridad.....	33
10.7	Publicación y duplicación	33
10.8	Responsabilidades	34
11.	Publicación y transparencia.....	35
11.1	Objetivo.....	35
11.2	¿Qué es público? (Resumen público – Carbonsat).....	35
11.3	Lo que no es público (confidencial).....	35
11.4	Reglas para las reclamaciones y el uso de resultados.....	36
Apéndice A — Factores y ecuaciones (normativas).....		37
I.	Alcance.....	37
II.	Requisitos reglamentarios.....	37
III.	Criterios de aceptación.....	37
IV.	Entregables mínimos.....	37
Apéndice B — Estratificación y máscaras (guía).....		39
I.	Alcance.....	39
II.	Requisitos reglamentarios.....	39
III.	Criterios de aceptación.....	39

IV. Entregables mínimos.....	39
Apéndice C — Control de calidad (referencia a GL-MS-012).....	40
I. Alcance.....	40
II. Requisitos reglamentarios.....	40
III. Criterios de aceptación.....	40
IV. Entregables mínimos.....	40
Apéndice D — Fugas (Gestión de fugas).....	41
I. Alcance.....	41
II. Requisitos reglamentarios.....	41
III. Criterios de aceptación.....	41
IV. Entregables mínimos.....	41
Apéndice E — Serialización y registro.....	42
I. Alcance.....	42
II. Requisitos reglamentarios.....	42
III. Criterios de aceptación.....	42
IV. Entregables mínimos.....	42
Apéndice F — FTC (Factor de Confianza Técnica): fórmula, parámetros y auditoría.....	43
I. Estructura y ponderaciones del índice.....	43
II. Cálculo de la puntuación por componente.....	44
III. Fórmula de la FTC	45
IV. Umbral normativo y efecto de gobernanza.....	45
V. Evidencia y auditoría (mínimo).....	45
VI. F.6 Actualización controlada (prospectiva).....	45

1. Introducción

1.1 Objetivo

Definir los procedimientos específicos para calcular y reportar el CO₂eT (Stock Equivalente de CO₂ Mantenido) para proyectos forestales preservados bajo el programa LULUCF (Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura) en el marco de Greenline Carbonsat, utilizando teledetección oficial y conversiones estandarizadas. GL-MC-004 no aborda la adicionalidad, la permanencia ni las fugas; estos elementos no se incluyen en la fórmula y se utilizan como insumos de gobernanza según GL-MS-002.

1.2 Ámbito de aplicación

- a) Proyectos de conservación REDD que adoptan GL-M-001 como metodología-madre.
- b) Unidad de análisis: polígono validado del proyecto; resultado obtenido por ciclo/vintage y consolidado en el registro.
- c) Fuentes elegibles: Series/productos aprobados por la NASA/ESA; los inventarios de campo no se aceptan para el cálculo (solo para uso comparativo).

1.3 Referencias normativas

Base normativa: PCC (ICVCM), Código de Buenas Prácticas de ICROA, CORSIA, ISO 14064-2.

Referencia técnica: IPCC 2006/2019 (conversiones y principios para la biomasa aérea).

Integraciones metodológicas: GL-M-001 (núcleo), GL-MC-004 (cálculo/informe), Anexo de fugas de GL-MC-004 (clase→puerta), GL-MS-012 (datos/QA/QC), GL-MS-011 (requisitos nacionales/Art. 6). (Solo conservamos la nota; los diagramas de conformidad se encuentran en un anexo informativo).

Nota normativa sobre equivalencia externa: GL -MC-004 se adhiere a los principios del IPCC (2006/2019), ISO 14064-2, Principios básicos del carbono de ICVCM y Código de buenas prácticas de ICROA.

El cumplimiento de esta metodología no implica la elegibilidad automática para los programas de mercado voluntarios. La compatibilidad o aceptación en estos programas depende de la acreditación específica de cada iniciativa.

1.4 Integración y referencias cruzadas

- GL-M-001: requiere la cuantificación a posteriori por stock con datos de la NASA/ESA y exige el uso de GL-MC-004 para bases, estratificación y fórmulas; también define la publicación/serialización en el registro. Referencia cruzada directa.
- GL-MS-002: adicionalidad, permanencia (β /fR/fP) y función de fuga como puerta de decisión (Emitir/Condicionar/Retener) y no ajustan CO₂eT. Remisión directa.
- Apéndice de fugas (GL-MC-004): diagnóstico y clasificación
Los datos verdes, amarillos y rojos se incluyen en el Anexo III de GL-MS-002 (registro con URI/hash y decisión). Remisión directa.
- Calidad de los datos/QA-QC: aplicar GL-MS-012 antes de consolidar CO₂eT (exclusiones técnicas, versiones, hashes). Referencia cruzada directa.

1.5 Principios aplicables al cálculo

- a) Ex post desde stock: emisión basada en CO₂eT validada en el ciclo; sin Línea de base contrafactual.
- b) Conservadurismo técnico: abordar las incertidumbres y exclusiones técnicas antes de... consolidación (p. ej., nube/sombra/fallos). c) Sin multiplicadores/amortiguadores en la fórmula: los riesgos y la permanencia son Gobernanza, no las matemáticas del CO₂eT.
- d) Trazabilidad y unicidad: resultado por polígono/ciclo con ID/versión/hash, publicación de metadatos/ agregados y prevención del doble conteo.

2. Límites, unidades de análisis e identificación de polígonos

2.1 Alcance

Defina, en SIG, los límites del proyecto y los polígonos válidos (bosque protegido) a partir de datos oficiales de teledetección; no se aceptan inventarios de campo para el cálculo de CO₂eT. En esta etapa, deben documentarse las capas, versiones y criterios de elegibilidad de las fuentes de la NASA/ESA.

2.2 Límites Espaciales (SSR)

Defina, en SIG, los límites del proyecto y los polígonos válidos (bosque protegido) a partir de datos oficiales de teledetección; no se aceptan inventarios de campo para el cálculo de CO₂eT. En esta etapa, deben documentarse las capas, versiones y criterios de elegibilidad de las fuentes de la NASA/ESA.

2.3 Unidad de análisis y condiciones de elegibilidad

- a) Unidad de análisis: polígono validado del proyecto. El cálculo de CO₂eT se determina por polígono y por ciclo (año) y luego se consolida para su emisión/registro.
- b) Requisitos legales y de tenencia de la tierra (conforme a GL-MS-007): cada polígono solo se incluye en el cálculo si se verifica su estatus legal, propiedad y licencias de acuerdo con GL-MS-007 (KYC/KYB, AML/ABC, titularidad de derechos de carbono). Esta verificación es un requisito previo para el ciclo y forma parte del punto de decisión definido en GL-MS-002.

2.4 Ventana horaria y ciclo (vintage)

Cada resultado está vinculado al ciclo anual verificado (cosecha) y se publica en el paquete del ciclo del proyecto, siguiendo el flujo MRV/registro definido en GL-M-001.

2.5 Identificación y serialización

Cada polígono/ciclo debe identificarse mediante un ID único con una estructura mínima: [Proyecto]-[Polígono]-[Versión]-[Serie]-[Hash], lo que garantiza la unicidad y la trazabilidad en el registro Greenline Carbonsat.

2.6 Reglas de superposición y coherencia espacial

- a) Se prohíbe la superposición entre polígonos del mismo proyecto/ciclo.
- b) Si hay una intersección con áreas de terceros, ajuste los límites antes del cálculo para evitar el doble conteo, manteniendo la ruta de decisión (mapas/versiones).
- c) La unicidad en el registro es obligatoria.

2.7 Máscaras, capas y preprocesamiento

Aplicar máscaras (por ejemplo, de nubes/sombras/agua), estratificación por tipología forestal y otros procedimientos de preprocesamiento antes de la conversión AGB→C→CO₂e.

Las reglas y los parámetros deben estar alineados con los principios definidos en esta metodología.

2.8 Metadatos requeridos (por polígono/ciclo)

Registrar en el expediente técnico y en el paquete de verificación/registro: fuente/versión de datos (NASA/ESA), período de observación, procedimientos de preprocesamiento, URI de archivo interno, hash de integridad y versión del informe de cálculo.

2.9 Publicación y enlace al registro

El resultado por polígono/ciclo (CO₂eT) está vinculado al registro de Carbonsat con identificación digital y se publica de acuerdo con las reglas de transparencia de la metodología principal (metadatos y agregados).

Referencias cruzadas para evitar redundancias:

- Flujo de trabajo, publicación y plazos de MRV → GL-M-001.
- Datos/QA-QC (exclusiones técnicas y control de versiones) → GL-MS-012.
- Cumplimiento legal (KYC/KYB, AML/ABC, propiedad/licencias) → GL-MS-007 (requisito previo).

3. Fuentes de datos y criterios de elegibilidad

3.1 Lista positiva versionada

La cuantificación de CO₂eT debe utilizar exclusivamente productos oficiales de teledetección enumerados y versionados por Greenline Carbonsat en GL-GR-010.

(Guía de referencia de datos).

Ejemplos (a completar según la norma GL-GR-010 vigente):

- NASA GEDI — [versión aceptada]; uso: indicadores/estructuras para la biomasa aérea.
- ESA Sentinel-1/2/3 — [versiones aceptadas]; uso: cobertura, estratificación, detección de cambios.
- USGS Landsat 8/9 — [colección/versión aceptada]; uso: serie histórica y integridad.

Nota: Los inventarios de campo solo pueden citarse como material comparativo/de validación y no se incluyen en el cálculo de CO₂eT.

3.2 Política de actualización de versiones

- Posible sustitución: las nuevas versiones sustituyen a las anteriores solo para Ciclos futuros (no retroceden).
- Control de cambios: cada cambio de versión debe registrar el motivo y el impacto. Fecha prevista y fecha límite en el expediente del ciclo.
- Trazabilidad: cada fuente utilizada debe tener un URI interno, una versión oficial y un hash registrado (ver 3.3).

3.3 Metadatos requeridos por fuente y por polígono/ciclo

En el expediente técnico y el paquete de VVB/registro, incluya al menos lo siguiente:

- Fuente oficial (p. ej., NASA/ESA/USGS); producto; versión; fecha/periodo adquisición;
- Parámetros de procesamiento (nivel de producto, filtros, umbrales importante);
- URI interna (repositorio Greenline Carbonsat); hash de integridad; versión del informe de cálculo;
- Técnico responsable y fecha de procesamiento.

3.4 Preprocesamiento mínimo obligatorio (lista de verificación)

Aplicar antes de cualquier conversión AGB→C→CO₂e:

- Máscaras: nube, sombra, superficie de agua/no forestal;
- Estratificación: tipologías forestales aplicables y clases de LULUCF;
- Consistencia espacial: alineación geométrica de los conjuntos de datos;
- Integridad temporal: consistencia del período de observación por polígono/ciclo;
- Pruebas de calidad: indicadores SNR/QA para el producto, porcentaje de cobertura útil, verificación de artefactos.

3.5 Criterios operativos para la elegibilidad de los datos

Un conjunto de datos es elegible si cumple de forma acumulativa los siguientes criterios:

- Oficialidad y auditabilidad (organismos y documentación reconocidos público);
- Calidad mínima (parámetros definidos en GL-GR-010, por ejemplo, porcentaje máximo de nubes, resolución, intervalo de tiempo por bioma);
- Replicabilidad (procedimientos, scripts o parámetros claros archivado);
- Consistencia con el ciclo (fechas compatibles con la cosecha y las ventanas definido).

3.6 Inconsistencias, exclusiones técnicas y CAPA

- Cuando existan defectos/lagunas/incertidumbres materiales, el solicitante deberá solicitar la exclusión técnica o el reprocesamiento antes de consolidar el CO₂eT.
- Abrir un CAPA (Corrección/Prevención) que documente la causa raíz y la corrección aplicado y prevención para ciclos futuros.
- Referencias cruzadas obligatorias: los criterios de control de calidad, los umbrales de incertidumbre y los formatos de evidencia siguen a GL-MS-012.

3.7 Responsabilidades

- Proponente: seleccionar fuentes elegibles, aplicar el preprocesamiento, registrar metadatos y evidencia.
- VVB: verificar el cumplimiento de la lista positiva, versiones y criterios de calidad/trazabilidad.
- Greenline Carbonsat: validar la conformidad del paquete de datos, aprobar las versiones aceptadas en GL-GR-010 y registrar el conjunto de datos utilizado en el ciclo.

Leyenda de abreviaturas:

- AGB — Biomasa aérea (biomasa sobre el suelo)
- CAPA — Acción Correctiva y Preventiva
- CO₂eT — Reserva de dióxido de carbono equivalente conservado (toneladas)
- ESA — Agencia Espacial Europea
- GEDI — Investigación de la Dinámica de los Ecosistemas Globales (NASA)
- GLI — Instituto Greenline
- GL-GR-010 — Guía de referencia de datos de Greenline Carbonsat
- Hash — Firma criptográfica para la integridad de archivos (p. ej., SHA-256)
- LULUCF — Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (bosques)
- NASA — Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio
- SNR — Relación señal/ruido
- URI — Identificador uniforme de recursos (identificador de recursos digitales)
- USGS — Servicio Geológico de los Estados Unidos
- VVB — Organismo de Validación y Verificación (entidad de verificación independiente)

4. Estratificación, máscaras y preprocesamiento

4.1 Estratificación de las zonas forestales

El solicitante debe estratificar las áreas válidas en tipologías forestales LULUCF (por ejemplo, bosque denso, bosque abierto, bosque secundario), utilizando series oficiales de teledetección (NASA/ESA/USGS) y parámetros GL-GR-010.

- La estratificación debe documentarse con mapas y archivos shapefile auditables.
- Cada estrato debe estar vinculado a un polígono único (ID/vintage).
- Los cambios en la estratificación entre ciclos deben estar técnicamente justificados y registrados en los metadatos con URI y hash.

4.2 Aplicación obligatoria de mascarilla

Antes del cálculo, el solicitante deberá aplicarse las siguientes mascarillas:

- a) Nubes y sombras — utilizando algoritmos de origen nativo (por ejemplo, QA Banderas de Sentinel/Landsat).
- b) Agua y superficies no forestales: exclusión mediante clasificación espectral.
- c) Áreas no elegibles: se superponen con áreas sin título o legalmente inválidas (consulte GL-MS-007).

4.3 Preprocesamiento de datos

Los datos deben someterse a un procesamiento previo mínimo, que incluye:

- Corrección geométrica (coherencia de las proyecciones y alineación entre series).
- Corrección radiométrica (cuando corresponda).
- Consistencia temporal (uso de imágenes del mismo período de observación (por ciclo).
- Exclusión técnica de píxeles inconsistentes (según GL-MS QA/QC 012).

4.4 Documentación y metadatos

Para cada paso de estratificación, enmascaramiento y preprocesamiento, el solicitante debe documentar:

- Datos de entrada (fuente, versión, URI, hash).
- Procedimientos aplicados (algoritmos, parámetros, software).
- Resultados intermedios (mapas estratificados, archivos shapefile, informes).
- Técnico responsable y fecha de ejecución.
- 4.5 Verificación y validación
- Proponente: realiza la estratificación, aplica máscaras y genera la documentación técnica.
- VVB: revisa la consistencia de las estratificaciones, la aplicación de máscaras y la trazabilidad de los pasos.
- Greenline Carbonsat: valida la conformidad metodológica del paquete de datos y confirma su publicación en el ciclo de registro correspondiente.

Leyenda de abreviaturas:

- GL-GR-010 — Guía de referencia de datos de Greenline Carbonsat
- GL-MS-007 — Cumplimiento legal para proyectos de carbono
- GL-MS-012 — Criterios de control de calidad y datos
- ID — Identificador único del polígono/ciclo
- LULUCF — Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura
- Aseguramiento/Control de Calidad — Garantía de Calidad / Control de Calidad
- URI — Identificador uniforme de recursos
- VVB — Organismo de Validación y Verificación

5. Conversiones y fórmulas (AGB → C → CO₂e)

5.1 Descripción general del oleoducto

Este capítulo define cómo calcular el CO₂eT (Costo de CO₂ Equivalente Conservado) a partir de las existencias ex post, utilizando únicamente la biomasa aérea (AGB) obtenida mediante teledetección. El cálculo se realiza por píxel/celda elegible, agregado al polígono y ciclo (cosecha).

Nota: los riesgos (permanencia), la adicionalidad y las fugas no se tienen en cuenta en los cálculos de CO₂eT; influyen en las decisiones sobre emisiones según otras normas.

5.2 Entradas obligatorias (por ciclo)

- a) Ráster/Grado AGB (unidades: Mg/ha o t/ha) para áreas válidas (post-máscaras y capas).
- b) Mapa de elegibilidad (binario) aplicado anteriormente (Secciones 2–4).
- c) Área por píxel (ha) consistente con el sistema de referencia.
- d) Parámetros y factores (Sección 5.3; Tablas en el Apéndice A – Factores y Ecuaciones).
- e) Metadatos: fuente/versión, período de observación, URI, hash, parte responsable técnico.

5.3 Parámetros y factores (definidos en el Anexo A)

- CF — fracción de carbono en la biomasa aérea (adoptar el valor/nivel correspondiente Apéndice A).
- pCO_2/C — factor estequiométrico 44/12 (C → CO₂).
- a_px — área (ha) de cada píxel/celda en el sistema cartográfico adoptado.
- AGB_px — biomasa aérea por hectárea en el píxel (Mg/ha).
- M — máscara de elegibilidad (1 = válido; 0 = no válido).
- S — estrato forestal (cuando existen parámetros específicos por estrato).

Notas:

- Solo se utiliza la biomasa aérea (AGB). Las raíces, la hojarasca, el suelo y la madera muerta no se incluyen en el cálculo.
- El CF puede variar según el bioma/estrato según el Anexo A; en ausencia de un factor específico, aplique el estándar conservador establecido en el Anexo.
- Anexo A – Factores y ecuaciones (normativo): contiene la tabla CF por bioma/estrato, ejemplos de unidades y conversiones, y validaciones de consistencia (comprobaciones rápidas) para auditoría.

5.4 Cálculo por píxel/celda (nivel micro)

Para cada píxel elegible i en el polígono P :

1. Aplicar un modelo científico basado en la interacción entre la radiación electromagnética y las propiedades biofísicas de la vegetación.
2. Considere que la radiación reflejada por la vegetación presenta firmas espectrales asociadas con la actividad fotosintética, el contenido de agua, la estructura celular, los pigmentos y la composición bioquímica, la temperatura y la energía superficial.
3. Combinar índices espectrales validados en la literatura científica, organizados en diez grupos funcionales que representan dimensiones complementarias de la vegetación: verdor, pigmentación, humedad, estructura, biomasa y estrés fisiológico.
4. Utilizar únicamente datos de fuentes públicas y verificables (NASA, ESA, USGS y agencias relacionadas), garantizando la trazabilidad, la auditabilidad y la transparencia.

Pasos en el proceso metodológico

5. Realizar el preprocesamiento de los datos de entrada:
 - a) Corrección atmosférica y radiométrica de productos de teledetección;
 - b) Aplicación de máscaras de nubes, sombras y agua (composiciones QA60, SCL y QA);
 - c) Remuestreo y normalización espacial entre sensores;
 - d) Ecuilización de reflectancia intersensorial (calibración cruzada).
6. Realice el cálculo de los índices espectrales:
 - a) Calcular índices multiespectrales e hiperespectrales derivados de los aprobados; sensores
 - b) Agrupar funcionalmente los índices en diez categorías temáticas;
 - c) Normalizar y estandarizar estadísticamente los valores (método de puntuación z).
7. Proceder con la integración de los datos estructurales:
 - e) Interpolar las huellas observadas ; biomasa
 - b) Referencia cruzada de variables espectrales a través de regresión y aprendizaje supervisado;
 - c) Generar modelos regionales calibrados por bioma y tipología forestal.

8. Realizar el modelado y la validación:
 - a) Entrenar el modelo GLVCI (Índice de Carbono de la Vegetación de Greenline) con parcelas de biomasa reales (t/ha);
 - b) Realizar validación cruzada (k-fold) y muestreo espacial estratificado;
 - c) Obtener un coeficiente de correlación promedio (R^2) $\geq 0,90$ entre la biomasa observada y la estimada;
 - d) Controlar el error estándar por clase de cobertura vegetal.

9. Realizar la conversión e integración final:
 - a) Convertir biomasa en carbono utilizando un coeficiente de 0,47 (IPCC 2006);
 - b) Convertir el carbono a equivalente de CO₂ utilizando el factor 3,667;
 - c) Integrar los resultados espacial y temporalmente para determinar el stock conservado y el incremento anual (tCO₂ e/ha/año);
 - d) Emitir un informe georreferenciado y verificable con trazabilidad completa de los metadatos.

10. Garantizar la gobernanza, la trazabilidad y la confidencialidad técnica del modelo, reconociendo que los algoritmos, las ponderaciones y los parámetros internos constituyen la propiedad intelectual de Greenline Carbonsat, protegida por controles de confidencialidad y acceso.

11. Cabe señalar que el modelo y la metodología de cálculo de Greenline Carbonsat fueron auditados y validados por Bureau Veritas a través de la "Declaración de Validación Greenline 2024", que da fe de la credibilidad técnica, la trazabilidad de los procesos y la conformidad científica de la metodología de cálculo de carbono, garantizando la integridad y la transparencia de los resultados presentados.

Fuente: Bureau Veritas, Declaración de validación de Greenline 2024 (ENG).

Disponible en:

<https://www.bureauveritas.com.br/sites/g/files/zyyfnx206/files/media/document/Declaracion%20de%20Validacion%20de%20Carbono%20de%20Greenline%202024%20ENG.pdf>

Línea verde 202024 ENG.pdf

5.5 Agregación de polígonos y ciclos (nivel meso)

Para un polígono P en el ciclo t:

1. Defina el polígono P como la unidad de referencia geoespacial, resultante de la suma de los píxeles elegibles que conforman el área de interés del proyecto.
2. Considere que cada píxel tiene una lectura individual asociada con el tiempo orbital y la disponibilidad de pasos por los sensores utilizados.
3. Realizar lecturas espectrales periódicas de acuerdo con el calendario orbital de cada satélite, con una actualización promedio cada 4 (cuatro) días, asegurando la continuidad temporal y la trazabilidad de cada observación.
4. Tras obtener las lecturas espectrales y los resultados intermedios, sume...
Valores de todos los píxeles del polígono P para el ciclo t.
5. Divida la suma por el número total de observaciones válidas dentro del ciclo.
Monitoreo, obtención del valor promedio ponderado de las lecturas y resultados.
6. Aplique correcciones de consistencia y elimine los valores atípicos identificados.
en el proceso de control de calidad, de acuerdo con los criterios GL-MS-012.
7. Generar el valor agregado de $CO_2eT_{P,t}$, que representa el stock de carbono promedio conservado en el polígono P durante el ciclo t.
8. Registre el resultado con tres decimales y consolide los metadatos con la identificación completa del ciclo (proyecto-polígono-vintage-hash).
9. Mantenga un registro de las lecturas originales, los promedios intermedios y los filtros.
aplicado, garantizando la reproducibilidad de los cálculos y la trazabilidad completa del historial.

5.6 Consolidación de los resultados del ciclo (nivel macro)

1. Consolidar los cálculos para todos los polígonos del proyecto.
2. Aplicar control de calidad final (verificaciones de integridad, conciliación total, consistencia de metadatos).
3. Generar el informe de cálculo del ciclo con: versión de datos, parámetros, fecha cortar y picar.
4. Serializar el resultado (Proyecto-Polígono-Vintage-Serie-Hash) y publicar los metadatos en el registro.

5.7 Precisión, redondeo y decimales

- Nivel de píxel: mantener ≥ 3 decimales (tCO₂e).
- Agregación de polígonos: mantener ≥ 2 decimales.
- Divulgación/registro: redondear el total por polígono/ciclo a tCO₂e entero (regla de redondeo del banco; documentar en el informe).
- Nunca redondees antes de sumar cantidades.

5.8 Tratamiento de la incertidumbre (antes del número final)

- La incertidumbre material (por ejemplo, baja calidad, gran porcentaje de exclusión debido a nubes/sombras) debe corregirse mediante reprocesamiento o exclusión técnica antes de consolidar los cálculos.
- Si persiste la incertidumbre material sin resolver, el resultado será "Condicional" en el paquete del ciclo (puerta de gobernanza fuera de esta metodología).
- La cuantificación no aplica multiplicadores ni descuentos por incertidumbre; El tratamiento es precontable (GL-MS-012).

5.9 Guiones, rejugabilidad y pistas

- Almacenar scripts/cuadernos, parámetros, versiones de bibliotecas, URI y Hash de entrada y salida.
- Vincule todos los archivos al ID de Carbonsat del ciclo.
- Greenline Carbonsat valida el cumplimiento metodológico del paquete de datos y del procedimiento de cálculo antes de que se publique el ciclo.

5.10 Salidas mínimas por capítulo (por polígono/ciclo)

- Tabla de parámetros utilizados (CF, 44/12, área de píxeles, etc.)
- Informe de cálculo (PDF/hoja de cálculo) con fórmulas, versiones, URI y hash
- Forma ráster y polígono AGB posterior a la máscara (versiones y hashes)
- Archivo de consolidación con cálculos y claves de serialización

Leyenda de abreviaturas:

- AGB — Biomasa aérea (biomasa sobre el suelo)
- CF — Fracción de carbono (fracción de carbono de la biomasa)
- CO₂eT — Reserva de dióxido de carbono equivalente conservado (t)
- GL-GR-010 — Guía de referencia de datos de Greenline Carbonsat
- Hash — Firma criptográfica para garantizar la integridad (p. ej., SHA-256)
- LULUCF — Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura
- URI — Identificador uniforme de recursos
- VVB — Organismo de Validación y Verificación

Apéndice A – Factores y ecuaciones (normativo): contiene la tabla CF por bioma/estrato, ejemplos de unidades y conversiones, y validaciones de consistencia (comprobaciones rápidas) para auditoría.

6. Factor de Confianza Técnica (FCT)

6.1 Objetivo

Establecer el índice de confianza técnica para el cálculo de CO₂eT por polígono y por ciclo, consolidando la calidad de los datos y las métricas de procesamiento según GL-MC-004. El FTC expresa, en una escala de 0 a 1 (o de 0 a 100%), el grado de fiabilidad del resultado sin alterar la fórmula de CO₂eT.

6.2 Alcance

Esto se aplica a todos los proyectos/ciclos presentados mediante esta metodología. El FTC es obligatorio y debe acompañar al resultado de CO₂eT en el paquete del ciclo y en el Resumen Público.

6.3 Naturaleza y efecto

El FTC no está incluido en el cálculo de CO₂eT (Sección 5).

- Los resultados \geq FTC_min son elegibles para el flujo de emisión normal.
- Los resultados $<$ FTC_min se marcan como “condicionales” y están sujetos a la puerta de decisión prevista en GL-MS-002, junto con otras entradas de gobernanza (por ejemplo, fugas).
- El FTC_min es normativo y está definido en el Anexo F; puede ajustarse prospectivamente (ciclos futuros) según criterios técnicos.

6.4 Nota normativa — FTC_min (estándar Greenline Carbonsat)

El FTC mínimo aplicable es 0,65. Los resultados \geq 0,80 se aceptan sin condiciones; $0,65 \leq$ FTC $<$ 0,80 deben estar condicionados (con medidas correctivas o de remediación); FTC $<$ 0,65 se retienen hasta su revisión y reprocesamiento.

Estos umbrales son armónicos con la Puerta de Emisión (GL-MS-002) y con el QA/QC (GL-MS-012), y solo deben revisarse prospectivamente para ciclos futuros (Anexo F).

6.5 Entradas de la FTC

El FTC consolida, como mínimo, las dimensiones que se indican a continuación (con los pesos definidos en el Anexo F):

- a) Cobertura de datos útiles en el polígono/ciclo (% de área efectivamente analizada después del enmascaramiento).
- b) Exclusiones técnicas (nubes/sombras/artefactos) y tratamiento adecuado (reprocesamiento o eliminación).
- c) Consistencia temporal (ventanas coherentes por bioma y por ciclo).
- d) Consistencia espacial (alineación/reproyección geométrica, ausencia de distorsiones).
- e) Cumplimiento de las versiones aprobadas en GL-GR-010 (datos/productos y sus respectivas versiones).
- f) Registro documental de control de calidad (evidencia de las verificaciones y conciliaciones requeridas en GL-MS-012).

6.6 Cálculo y evidencia

El FTC se calcula de acuerdo con el Anexo F, en base a puntuaciones (0–1) por componente y ponderaciones (que suman 1,00).

- $FTC = \sum (\text{peso}_k \times \text{puntuación}_k)$.
- Cada componente debe tener evidencia verificable (URI, versiones, hashes, informes, scripts, impresiones de indicadores de control de calidad) adjunta al expediente del ciclo.
- 6.6 Publicación y verificación
- Publicación: revelar el FTC (%) en el Resumen público del ciclo (metadatos), junto con las principales fuentes/versiones y la fecha límite.
- Verificación (VVB): comprobar el cálculo del FTC, la evidencia y el cumplimiento del Anexo F y GL-MS-012.
- Validación metodológica: Greenline Carbonsat valida el paquete de datos, el método y el cálculo (incluido el FTC) antes de publicar el ciclo en el registro.
- Actualización: Los ajustes de peso/umbral/fórmula de la FTC deben ser prospectivos, con fecha límite, versión del archivo adjunto y hash archivados.

Leyenda de abreviaturas:

- COVER — Acción Correctiva y Preventiva
- CO₂eT — Reserva equivalente de dióxido de carbono conservada
- FTC — Factor de Confianza Técnica
- Hash — Firma criptográfica de integridad (p. ej., SHA-256)
- VVB — Organismo de Validación y Verificación

7. Gestión de la incertidumbre y las exclusiones técnicas (preconsolidación)

7.1 Objetivo

Defina cuándo y cómo abordar las incertidumbres materiales y aplicar exclusiones técnicas antes de consolidar el CO₂eT por polígono/ciclo, respetando el principio de no utilizar multiplicadores/descuentos en la fórmula. El resultado se obtiene únicamente tras la consolidación y la correspondiente depuración documentada.

7.2 Desencadenantes del tratamiento

El tratamiento debe iniciarse cuando se produzca lo siguiente, ya sea de forma aislada o acumulativa:

- a) Cobertura post-máscara útil insuficiente (por ejemplo, nubes/sombras/agua) en el polígono/ciclo;
- b) Inconsistencia temporal (ventanas no compatibles con el período del ciclo/bioma);
- c) Inconsistencia espacial/geométrica (desalineación entre conjuntos de datos/polígono);
- d) Versiones no aprobadas (no incluidas en la lista positiva/GL-GR-010) o metadatos incompletos;
- e) Artefactos/errores de preprocesamiento detectados en QA/QC;
- f) FTC (Sección 6) que indica una confianza inferior a los objetivos internos (incluso que \geq FTC_{min}).

7.3 Opciones de saneamiento (orden de preferencia)

1. Reprocesar con los parámetros/versiones correctos (misma fuente oficial);
2. Reemplace el conjunto de datos con la versión aprobada equivalente (GL-GR-010). fecha límite de grabación;
3. Interpolación temporalmente dentro de la ventana del ciclo (cuando lo permita GL-GR-010);
4. Excluir técnicamente los píxeles/celdas/sectores irrecuperables, siempre que:
 - (i) Se documenta la causa;
 - (ii) Se cuantifica la zona excluida;
 - (iii) Se mantiene trazabilidad;Nunca extrapole ni asigne valores para rellenar huecos.

7.4 Criterios objetivos para la exclusión técnica

La exclusión es obligatoria cuando:

- Las alertas de control de calidad procedentes de la fuente indican una calidad inaceptable;
- Cobertura útil < umbral mínimo definido para el bioma (GL-GR-010);
- La alineación geométrica no alcanza el error máximo permitido;
- El intervalo de tiempo no cumple con los requisitos del ciclo y no es posible el reprocesamiento.

7.5 Registro CAPA (Corrección y Prevención)

Para cada caso atendido, emita una hoja de presentación que contenga:

- Causa raíz, acción correctiva (reprocesamiento/reemplazo/eliminación) y acción preventivo;
- Tablas que muestran el porcentaje de área afectada, los impactos esperados en la FTC y referencias. (URI/hash);
- Responsable técnico, fechas y verificación interna.

7.6 Tratamiento, alta y derivación

- Si se resuelve: proceda a la consolidación (Sección 8).
- Si persisten incertidumbres materiales: el polígono/ciclo continúa "condicionalmente" para la decisión de gobernanza (GL-MS-002).
- El FTC se recalcula después de la limpieza; si es < FTC_min, entra en la categoría condicional (Sección 6).

7.7 Documentos y pruebas mínimas

- Informe de control de calidad con capturas de pantalla/indicadores, métricas de cobertura útiles y mapas. de exclusión;
- Registro de reprocesamiento actualizado (parámetros, versiones, scripts, software);
- URI y hashes de entradas, datos intermedios y salidas de postprocesamiento;
- Portada firmada por el director técnico y revisada por Greenline Carbono saturado.

7.8 Funciones y responsabilidades

- Proponente: realizar la remediación, emitir CAPA, actualizar los metadatos y rehacer el FTC;
- VVB: verificar si se aplicaron los criterios de esta sección antes de consolidación;
- Greenline Carbonsat: validar el cumplimiento metodológico del paquete de Datos posteriores al tratamiento y autorización para avanzar a la Sección 8.
- GLI: no aplicable (solo actúa sobre beneficios conjuntos/GL-MS-003).

Leyenda de abreviaturas:

- COVER — Acción Correctiva y Preventiva
- CO_eT — Reserva de CO_e equivalente conservado
- FTC / FTC_{min} — Factor de confianza técnica / Umbral normativo mínimo
- GL-GR-010 — Guía de referencia de datos de Greenline Carbonsat
- GLI — Instituto Greenline
- Aseguramiento/Control de Calidad — Garantía de Calidad / Control de Calidad
- URI / Hash — Identificador de recurso / firma de integridad
- VVB — Organismo de Validación y Verificación

8. Consolidación por ciclo y resultados numéricos

8.1 Objetivo

Definir cómo consolidar el resultado de CO₂eT por polígono y por ciclo (cosecha), estandarizando las claves de identificación, las reglas de redondeo, la conciliación y la serialización de las salidas que alimentan el registro Greenline Carbonsat.

8.2 Asientos para consolidación (posterior a la Sección 7)

- Resultado del cálculo mediante el polígono P en el ciclo t (tras la sanitización/QA-QC).
- FTC recalculado y actual (Sección 6).
- Metadatos mínimos consolidados (fuentes/versiones, período, parámetros).
- Registros CAPA (si los hubiera) y evidencia de exclusiones técnicas.

8.3 Claves y estructura de datos (por polígono/ciclo)

Cada registro debe contener, como mínimo:

- ID del proyecto; ID del polígono; Vintage; Serie (incremental);
- CO₂eT (t) — valor numérico final del polígono en el ciclo; • FTC (%) — valor del ciclo (para el polígono); • Clase de fuga (resultado del apéndice de fugas de esta metodología); • URI de los artefactos (raster/forma/informe); hashes correspondientes; • Sello de versión (metodología/apéndices/GL-GR-010) y fecha límite.

8.4 Reglas de redondeo y presentación • Nivel de

polígono: almacenar con dos decimales; mostrar en el registro en toneladas enteras (redondeo bancario). • Nivel de proyecto (suma de polígonos): mostrar en toneladas enteras. • Nunca redondear antes de realizar sumas y conciliaciones.

8.5 Conciliación y coherencia

Antes de cerrar el círculo:

- a) Suma de polígonos = total del proyecto (diferencia máxima por redondeo $\leq 0,5$ t por polígono).
- b) Verificación cruzada de versiones (datos, parámetros, scripts) vs. Metadatos declarados.
- c) Coherencia temporal (todas las fechas dentro del período del ciclo) y coherencia espacial (polígonos no superpuestos).
- d) FTC: confirmar si cumple o no con el FTC_min (estado del registro “elegible” o “condicional”).

8.6 Serialización e integridad

- Generar series secuenciales por polígono/vintage: [Proyecto]-[Polígono]-[Vintage]-[Serie].
- Vincular el hash al Informe de Cálculo y a los artefactos clave (rasters/formas).

- Cualquier reprocesamiento genera una nueva serie, manteniendo el historial (series anteriores). (Permanecen archivados, no reemplazados).

8.7 Salidas numéricas y archivos necesarios

- Archivo de consolidación (tabla) con un registro por polígono/ciclo y campos de 8.3.

- Informe de cálculo del ciclo (PDF/hoja de cálculo) con fórmulas, parámetros, fuentes/versiones, fecha límite y hash.
- Rásteres AGB posteriores a la máscara y formas de polígonos/estratos (con URI y hashes).
- Hoja de cálculo/informe de la FTC (componentes, ponderaciones, puntuación final).
- Resumen de la fuga (clasificación por polígono/ciclo y evidencia mínima).

8.8 Cierre de ciclo (listo para VVB y registro)

La consolidación se considera completa cuando:

1. Todos los polígonos del ciclo tienen el Resultado del Cálculo, FTC y clase. fuga;
2. Las conciliaciones de la sección 8.5 son correctas;
3. Los artefactos y los metadatos tienen un URI y un hash;
4. La serie y la versión son consistentes;
5. El expediente cumple con los requisitos mínimos de contenido (Sección 9) y procede a VVB y validación. Enfoque metodológico de Greenline Carbonsat.

8.9 Responsabilidades

- Proponente: compilar la tabla de consolidación, aplicar las reglas de redondeo, verificar las conciliaciones y generar la serie.
- VVB: verificar la integridad de los resultados, las conciliaciones y el cumplimiento de reglas de esta sección.
- Greenline Carbonsat: validar el método, los datos y el cumplimiento de la consolidación para la autorización de publicación del ciclo.
- GLI: no aplicable (solo se aplica a los beneficios colaterales).

Leyenda de abreviaturas:

- COVER — Acción Correctiva y Preventiva
- CO_eT — Reserva de CO_e equivalente conservado
- FTC / FTC_{min} — Factor de confianza técnica / Umbral normativo mínimo
- Hash — Firma criptográfica de integridad
- ID — Identificador único
- URI — Identificador uniforme de recursos
- VVB — Organismo de Validación y Verificación
- Vintage — Ciclo/año de emisión de referencia

9. Paquete de verificación (VVB)

El paquete de verificación es consumido directamente por los módulos GL-MS-002 . (Decisión de emisión) y GL-MS-005 (verificación independiente). Todos los artefactos entregados a VVB deben mantener la integridad del hash y la versión según GL-GR-010.

9.1 Objetivo

Definir el expediente mínimo que permita la verificación independiente (VVB) del cálculo de CO₂eT y la validación metodológica por parte de Greenline Carbonsat antes de la publicación del ciclo en el registro.

9.2 Composición del expediente (por proyecto/ciclo)

1. Informe de cálculo del ciclo
 - La descripción del pipeline aplica fórmulas/parametrizaciones efectivas. (Secciones 2–8) y
 - Tablas por polígono: Proyecto–Polígono–Año–Serie–CO₂eT–FTC–Fuga–Hash.
 - Fecha límite y reglas de redondeo.
2. Entradas e intermedios versionados
 - Rásteres AGB post-enmascarados ; formas de polígonos/capas.
 - una lista positiva de fuentes/versiones (según GL-GR-010), con URI y picadillo.
 - Registros de preprocesamiento (estratificación, máscaras, alineamientos) geométrico/temporal).
3. Control de calidad (GL-MS-012)
 - La lista de verificación completa; métricas de cobertura útiles y exclusiones técnicas;
 - Evidencia de consistencia temporal/espacial;
 - CAPA (cuando corresponda), con causa, corrección y prevención.
4. FTC — Factor de Confianza Técnica (Sección 6 / Anexo F)
 - El código de la hoja de cálculo/cálculo, componentes/pesos, FTC (%) y comparación con FTC_min.
5. Fugas — Anexo de fugas GL-MC-004
 - Diagnóstico , límites del análisis y clase (Verde/Amarillo/Rojo), con pruebas mínimas.
6. Elegibilidad de terrenos legales (GL-MS-007)
 - Resumen por polígono de las pruebas de propiedad/licencias (sin documentos confidenciales), con referencias internas.
7. Reproducibilidad
 - Scripts /cuadernos, parámetros y versiones de la biblioteca; instrucciones para Ejecución; URI/hashe de entradas/salidas.

9.3 Criterios de aceptación de VVB •

Consistencia entre entradas → procesamiento → salidas; •
 Cumplimiento de las secciones 2–8, GL-MS-012 (QA/QC) y GL-GR-010 (fuentes/
 versiones); • FTC
 calculado \geq FTC_min (o condicional si $<$ FTC_min); • Adjunto de fugas
 completo (clase definida); • Serialización y trazabilidad
 completas (IDs, Series, URIs/ hashes).

9.4 Flujo y roles

• Proponente: compila el expediente y garantiza la trazabilidad y la coherencia. • VVB: verifica la conformidad metodológica y la reproducibilidad. • Greenline Carbonsat: valida el paquete de datos, los métodos y la aplicabilidad de la metodología, y autoriza la publicación del ciclo en el registro.

9.5 Evidencia y formato

- Formatos aceptados: PDF (informes), CSV/Parquet (tablas), GeoTIFF/COG (rásteres), GeoPackage/GeoJSON (vectores).
- Todas las pruebas deben tener un URI y un hash; los scripts/cuadernos deben abrirse y ejecutarse con las versiones declaradas.
- Los elementos confidenciales (por ejemplo, documentos legales) se mencionan, no se incluyen en el texto. adjunto al expediente público.

Leyenda de abreviaturas:

- AGB — Biomasa aérea
- COVER — Acción Correctiva y Preventiva
- CO_eT — Stock de CO_e equivalente conservado • FTC /
 FTC_min — Factor de confianza técnica / Umbral mínimo • GL-GR-010 — Guía
 de referencia de datos de Greenline Carbonsat • GL-MS-007 — Cumplimiento legal
 para proyectos de carbono • GL-MS-012 — Datos/QA/QC • Hash — Firma
 de integridad criptográfica • ID / Número
 de serie — Identificador único / Número secuencial de ciclo
- URI — Identificador uniforme de recursos • VVB — Cuerpo de validación
 y verificación

10. Metadatos, control de versiones y trazabilidad

10.1 Objetivo

Estandarizar qué metadatos acompañan el cálculo de CO₂eT y cómo garantizar la unicidad, integridad y trazabilidad de los artefactos del ciclo (datos, scripts, informes), asegurando la reproducibilidad y evitando el doble conteo.

10.2 Claves e identificadores necesarios

Para cada polígono/ciclo, registre al menos:

- ID del proyecto • ID del polígono • Vintage (año/ciclo) • Serie (incremental).
- Ciclo Carbonsat-ID (registro).
- Metodología: Versión GL-MC-004 (por ejemplo, v3.0).
- Anexos actuales: Anexo F (FTC) versión; Anexo Fuga versión.
- Se aplicó la versión GL-GR-010 (Guía de datos).
- Estado del polígono en el ciclo: elegible / condicional (según las Secciones 6–7).

Las claves deben permanecer idénticas entre GL-MS-002, GL-MS-005 y GL-GR-010, formando el identificador universal [Proyecto–Polígono–Año–Serie–[Hash]]. Las discrepancias de versión deben registrarse en el registro de cambios del ciclo.

10.3 Metadatos técnicos mínimos (por artefacto)

Para cada ráster, vector, tabla, informe y script:

- Título/Tipo (p. ej., Raster AGB, Polígonos de forma, Tabla de consolidación, Informe de cálculo).
- Fuente/Producto/Versión (p. ej., NASA GEDI vX; Sentinel-2 L2A vY; Landsat CZO).
- Período de observación (fechas de adquisición).
- Parámetros de procesamiento relevantes (máscaras, umbrales, proyección, resoluciones).
- URI interna (repositorio oficial) y hash de integridad (SHA-256).
- Técnico responsable, fecha/hora de generación y software/bibliotecas (con versiones).
- Nota: Los metadatos de control de calidad (verificaciones y acciones correctivas y preventivas) siguen las directrices de GL-MS-012 y debe estar vinculado mediante URI/hash.

10.4 Reglas de control de versiones (prospectivas)

- Inmutabilidad de la serie: una vez publicada, una serie de polígonos/ciclos no se modifica. Cualquier reprocesamiento genera una nueva serie (manteniendo el historial).
- Actualizaciones de fuente/método: los cambios en GL-GR-010, Apéndice F (FTC), Apéndice Fuga o configuración de parámetros solo son válidos para ciclos futuros (fecha límite documentada).
- Seguimiento de cambios: cada actualización debe registrar qué cambió, por qué, fecha límite, impacto previsto, URI y hashes.

10.5 Registros y pista de auditoría

- Registro de cambios del ciclo: lista cronológica (marca de tiempo) de eventos relevantes (importación de datos, preprocesamiento, ejecuciones, reprocesamiento, emisiones CAPA).
- Ejecución reproducible: scripts/cuadernos versionados; archivo de entorno (requisitos/archivo de bloqueo) con versiones de biblioteca.
- Interconexión: cada resultado apunta a una o varias entradas y
Los intermediarios se gestionan mediante URI/hash; cada artefacto enumera las salidas que dependen de él.

10.6 Integridad y seguridad

- Hash SHA-256 para todos los artefactos normativos.
- Almacenamiento en un repositorio institucional con copia de seguridad y control de Acceso (solo lectura para las versiones publicadas).
- Comprobaciones automáticas de integridad antes de la publicación del ciclo.

10.7 Publicación y duplicación

- El registro Greenline Carbonsat publica metadatos y agregados (campos mínimos: 10,2 + CO₂eT, FTC (%), clase de fuga).
- Los artefactos completos permanecen en el repositorio oficial; el registro refleja como URI y hashes (sin duplicar archivos).

10.8 Responsabilidades

- Proponente: mantener metadatos completos, generar hashes, actualizar el registro de cambios y garantizar la trazabilidad de extremo a extremo.
- VVB: Auditar la coherencia y consistencia de los metadatos entre los artefactos.

Hashes–Series.

- Greenline Carbonsat: validar el cumplimiento metodológico del paquete (metadatos/ versiones/registros) y autorizar su publicación en el registro.

Leyenda de abreviaturas:

- COVER — Acción Correctiva y Preventiva
- CO₂eT — Reserva de CO₂ equivalente conservado
- FTC — Factor de Confianza Técnica
- GL-GR-010 — Guía de referencia de datos de Greenline Carbonsat
- Hash (SHA-256) — Firma de integridad criptográfica
- ID / Serie — Identificador único / número de ciclo secuencial
- URI — Identificador uniforme de recursos
- VVB — Organismo de Validación y Verificación
- Vintage — Ciclo/año de emisión de referencia

11. Publicación y transparencia

11.1 Objetivo

Definir el alcance de la divulgación pública de los resultados de GL-MC-004, preservando la privacidad operativa de los proponentes y evitando afirmaciones excesivas, de acuerdo con GL-M-001 (Resumen público sobre Carbonsat).

11.2 ¿Qué es público? (Resumen público – Carbonsat)

Para cada ciclo, se publicará lo siguiente:

- ID del proyecto e ID del polígono (anonimizados según la política de Carbonsat).
- Vintage y Series (incremental).
- CO₂eT consolidado por polígono (tCO₂e, redondeado a números enteros).
- FTC (%) del polígono/ciclo.
- Clase de fuga (Verde/Amarillo/Rojo).
- Versiones principales: metodología (GL-MC-004), anexos (FTC/Leakage), GL-GR-010.
- Fecha límite del ciclo y hash del informe consolidado.

11.3 Lo que no es público (confidencial)

- Los rásteres, archivos shapefile, scripts e informes detallados permanecen en un repositorio institucional, accesible únicamente para el proponente, VVB y Greenline Carbonsat.
- Datos de elegibilidad legal y de tenencia de la tierra — procesados por GL-MS-007; solo se puede publicar el estado (elegible / condicional).
- Los documentos de control de calidad (QA/QC) y acciones correctivas y preventivas (CAPA) siguen restringidos, pero con referencia pública (URI/hash).

11.4 Reglas de reclamación y uso de resultados.

- El solicitante solo podrá utilizar los números publicados en Carbonsat en comunicaciones externas.
- Está prohibido inferir equivalencia con otras normas (Verra, GS, ART, Cercarbono) a menos que exista una acreditación formal.
- Las afirmaciones comerciales deben incluir un enlace al sitio web oficial Carbonsat.com.
Resumen público.
- 11.5 Responsabilidades
- Proponente: garantizar la coherencia entre lo que se informa a Carbonsat y lo que se comunica externamente.
- VVB: certificar que los datos publicados reflejan fielmente el expediente.
Verificado.
- Greenline Carbonsat: publicar y mantener un resumen público actualizado, garantizando la trazabilidad y evitando el doble conteo.

Leyenda de abreviaturas:

- COVER — Acción Correctiva y Preventiva
- CO_eT — Reserva de CO_e equivalente conservado
- FTC — Factor de Confianza Técnica
- GL-GR-010 — Guía de referencia de datos de Greenline Carbonsat
- URI — Identificador uniforme de recursos
- VVB — Organismo de Validación y Verificación

Apéndice A — Factores y ecuaciones (normativas)

I. Alcance

Definir unidades, factores y orden de operaciones para la conversión de AGB → C → CO₂e en proyectos de conservación de bosques mediante LULUCF.

II. Requisitos reglamentarios

1. Unidades: AGB en Mg/ha (t/ha); resultado en tCO₂e.
2. Fracción de carbono (CF): aplicar el valor normativo por bioma/estrato (Nivel 1) según la Tabla A.1 de GL-MC-004; si se aprueba un Nivel superior en GL-GR-010, aplicar prospectivamente.
3. Conversión C→CO₂ : factor estequiométrico 44/12.
4. Orden de operaciones: AGB → C (=AGB×CF) → CO₂e (=C×44/12) → máscara de elegibilidad → agregación por polígono/ciclo.
5. Redondeo: reglas de la Sección 5 y la Sección 8.

III. Criterios de aceptación

- Uso estricto de la Tabla A.1 actual.
- Coherencia de unidades y agregaciones.
- Validación de que no existen valores AGB negativos o valores nulos.

IV. Entregables mínimos

- Tabla A.1 (CF por bioma/estrato, versión y fecha límite).
- Informe consolidado con referencias a CF y factor 44/12.

Tabla A.1 — Fracción de carbono (FC) por bioma/estrato (valores normativos)
- Ejemplo

Bioma / Estrato LULUCF CF (fracción)	Fuente / Nivel		Observaciones regulatorias
Amazonía — Bosque denso 0.47		IPCC 2006, Vol. 4, T1 Valor p	predeterminado hasta la aprobación del Nivel 2
Cerrado — Sabana arbolada 0.47		IPCC 2006, Vol. 4, T1 Valor	estándar conservador
Otros biomás (LULUCF) 0,47		IPCC 2006, Vol. 4, T1 Aplicar	valor predeterminado hasta que exista un nivel específico

Nota normativa:

1. Todos los valores de la Tabla A.1 son conservadores de Nivel 1 (IPCC 2006, Vol. 4).
2. Cuando se aprueban los valores de nivel 2/3 o regionales en GL-GR-010, estos sustituyen prospectivamente el valor predeterminado (0,47).
3. Los cambios en el CF (Formulario Central) no se aplican retroactivamente a los ciclos anteriores; solo se aplican a los ciclos futuros, con un registro de la fecha límite, URI y hash.
4. Todos los cálculos expresados en CO₂e asumen un PCA de 100 años (AR5/IPCC). Otros gases de efecto invernadero no se tienen en cuenta en esta metodología, a menos que se actualice en el futuro.

Apéndice B — Estratificación y máscaras (guía)

I. Alcance

Definir las clases de estratificación y las máscaras obligatorias que se aplicarán antes del cálculo.

II. Requisitos reglamentarios

1. Estratificación LULUCF: Adoptar clases mínimas por bioma (por ejemplo, bosque). denso, abierto, secundario).
2. Máscaras obligatorias: nube, sombra, agua y no bosque, obtenidas de Banderas oficiales de las fuentes.
3. Consistencia: Aplicar en un CRS uniforme y en una ventana de tiempo de ciclo.
4. Cambio de estrato: únicamente con una justificación técnica documentada.

III. Criterios de aceptación

- Máscaras aplicadas al 100% de los polígonos/ciclos.
- Estratificación sin clases superpuestas.
- Registro de versiones y fechas para cada capa.

IV. Entregables mínimos

- Lista de clases LULUCF y sus códigos.
- Declaración de las máscaras aplicadas con fuente/versión.

Apéndice C — Control de calidad (referencia a GL-MS-012)

I. Alcance:

Consolidar la aplicación obligatoria de GL-MS-012 como referencia de calidad de datos, sin duplicar detalles.

II. Requisitos reglamentarios

1. Aplique completamente los procedimientos de GL-MS-012.
2. Emitir un CAPA en todos los casos de incertidumbre material (según la Sección 7).
3. Completar el control de calidad antes del cálculo final del FTC (Sección 6).

III. Criterios de aceptación

- Prueba documental de que se han abordado todas las no conformidades.
- Identificación de la versión GL-MS-012 utilizada en el ciclo.

IV. Entregables mínimos

- Declaración de conformidad con GL-MS-012.
- Lista de acciones correctivas y preventivas (CAPA) emitidas (con identificadores y estado).

Apéndice D — Fugas (Gestión de fugas)

I. Alcance:

Estandarizar el resultado de las fugas como un insumo de gobernanza, sin alterar el CO₂eT.

II. Requisitos reglamentarios

1. Límite de análisis: anillo de influencia de 10 km (estándar), ajustable con justificación técnica versionada.

2. Indicadores mínimos:

Variación de la cubierta forestal en el anillo (últimos 36 meses).

Puntos críticos de represión en bases oficiales .

3. Clasificación final (por polígono/ciclo): Verde / Amarillo / Rojo, con umbrales objetivo aprobados por Greenline Carbonsat.

Clase	Criterio objetivo	Efecto normativo
Verde	Variación $\leq 0,5\%$ de la superficie forestal del anillo	El proyecto sigue siendo elegible
Variación amarilla	Variación $> 0,5\%$ y $\leq 2\%$	Proyecto marcado como "condicional" en la puerta. (GL-MS-002)
Variación de rojo	Variación $> 2\%$	Emissiones suspendidas hasta que se resuelva la remediación/mitigación.

4. Inscripción: solo se publica la clase final en el Resumen Público (Sección 11).

III. Criterios de aceptación

- Existencia de una clase final por polígono/ciclo.
- Consistencia entre el límite, la ventana y los indicadores utilizados.
- Registro de la versión de la guía de fugas aplicada.

IV. Entregables mínimos

- Tabla que muestra la clase de fuga por polígono/ciclo.
- Referencia a la versión del Anexo D utilizada.

Apéndice E — Serialización y registro

I. Alcance:

Definir las claves y campos requeridos para la presentación al registro Greenline Carbonsat.

II. Requisitos reglamentarios

1. Serie única por polígono/vintage: [Proyecto]-[Polígono]-[Vintage]-[Serie].

2. Campos obligatorios (por polígono/ciclo):

ID de proyecto , ID de polígono, Vintage, Serie;

o CO₂eT (t), FTC (%), Clase de fuga;

Versiones aplicables : GL-MC-004, Apéndice F (FTC), Apéndice D (Fuga), GL-GR-010;

URI y hash del Informe de Cálculo consolidado; fecha límite.

3. Inmutabilidad: Las series publicadas no se alteran; el reprocesamiento genera una nueva Serie.

III. Criterios de aceptación

- Todos los campos obligatorios están completos y son coherentes.
- Hash válido, conciliado con el informe.
- Los totales por ciclo son consistentes con la Sección 8.

IV. Entregables mínimos

- Archivo de envío (CSV/JSON) según la plantilla de registro.
- Informe con hashes y URI de los artefactos vinculados.

Apéndice F — FTC (Factor de Confianza Técnica): fórmula, parámetros y auditoría

I. Estructura y ponderaciones del índice

El FTC es un promedio ponderado de componentes técnicos. Las ponderaciones pueden variar según el bioma/estrato (GL-GR-010), siempre que la suma sea 1,00 y se respeten las reglas que se indican a continuación.

Componente (k)	Descripción	Peso estándar*
Cobertura útil de F1	Porcentaje de área válida analizada después de aplicar las máscaras (nubes/sombras/agua):	0,30
F2 Exclusiones técnicas % de área	área excluida + tratamiento CAPA (reprocesamiento/descarte)	0,20
F3 Consistencia temporal: Ventanas/periodicidad	consistente con el bioma y el ciclo.	0.15
F4 Consistencia espacial: Coherencia	geométrica entre conjuntos de datos y polígonos	0.15
Versiones aprobadas por F5. Cumplimiento	de las versiones aceptadas en GL-GR-010.	0.10
F6 Documentación y conciliaciones requeridas	para control de calidad/aseguramiento de la calidad (GL-MS-012)	0.10
Total		1.00

* Los pesos estándar son la referencia; los ajustes por bioma/estrato deben ser aprobados y versionados en el expediente del ciclo (prospectivo).

* Los cambios en los pesos, rangos o umbrales de la FTC tienen un efecto prospectivo, con un número de versión (vX.Y), hash, fecha de vigencia y URI del expediente.

II. Cálculo de la puntuación por componente

Cada componente recibe una puntuación_k [0,1] de acuerdo con los rangos objetivos.

Ejemplo de reglas (estándar):

F1 Cobertura útil (% de área válida después de las

máscaras) • $\geq 90\%$

→ 1,00 • $80 < 90\%$ →

0,90 • $70 < 80\%$ → 0,75

• $60 < 70\%$ → 0,60 • <

60% → 0,30

Exclusiones técnicas F2 (% de área excluida + CAPA) • \leq

5% y CAPA no aplicable → 1,00 • 5–10%

con CAPA completado → 0,85 • 10–20% con

CAPA completado → 0,70 • 20% (incluso con

CAPA) → 0,40

F3 Consistencia temporal (ventanas/periodicidad)

• Periodo totalmente consistente por polígono/ciclo → 1,00 • Asimetría

justificada pequeña (≤ 15 días) → 0,85 • Asimetría justificada

relevante (> 15 y ≤ 45 días) → 0,70 • Asimetría injustificada → 0,40

F4 Consistencia espacial (coherencia geométrica)

• Sin desplazamientos; RMS/ER controlado → 1,00 • Ajustes

menores con evidencia → 0,85 • Ajustes

significativos con evidencia → 0,70 • Fallas sin

evidencia → 0,40

Versiones aprobadas F5 (GL-GR-010) • 100 %

en versiones aceptadas → 1,00 • $\geq 90\%$

aceptadas + residual justificado → 0,85 • $70 < 90\%$

aceptadas con justificación → 0,70 • $< 70\%$

aceptadas → 0,40

F6 Control de calidad/Aseguramiento de la calidad del documental (GL-MS-012)

- Lista de verificación completa + evidencia/URI/hasheos → 1,00
- Pequeños huecos rellenados → 0,85
- Brechas relevantes cubiertas → 0,70
- Falta de saneamiento → 0,40

III. Fórmula de la FTC

$$FTC = \sum_{k=1}^6 (\text{peso}_k \times \text{score}_k)$$

Indique el FTC en valores de 0 a 1 y en porcentaje (por ejemplo, 0,86 → 86%). Guarde la hoja de cálculo/código y las entradas en el expediente del ciclo (URI + hasheos).

IV. Umbral normativo y efecto de gobernanza

- FTC_min (predeterminado): 0,80 (80%).
- Si $FTC < FTC_min$ → se condiciona en el paquete de ciclo y se reenvía a la puerta (GL-MS-002) junto con otras entradas (por ejemplo, clase de fuga).
- Los programas/clientes pueden requerir un FTC_min más alto (prospectivo, por contrato); regístrelo en el expediente.

V. Evidencia y auditoría (mínimo)

- Métricas F1–F6 documentadas (tablas y capturas de pantalla).
- URI y hasheos de rásteres, formas, informes y scripts.
- Registros CAPA (causa, corrección, prevención) cuando corresponda.
- Registro de la versión de este Anexo F y del GL-GR-010 utilizado, con la fecha de corte.

VI. F.6 Actualización controlada (prospectiva)

Cualquier cambio en los pesos, rangos, umbrales o cálculo de la FTC:

- Deben estar versionados (Anexo F vX.Y), con fecha límite y hash.
archivado.
- No afectan retroactivamente a los ciclos anteriores.
- Entrarán en vigor a partir del próximo ciclo tras su aprobación y publicación.
Por Greenline Carbonsat.

Leyenda de abreviaturas:

-
- COVER — Acción Correctiva y Preventiva
 - FTC_min — Umbral mínimo de FTC
 - Hash — Firma criptográfica de integridad
 - RMS/ER — Raíz cuadrática media / Error de registro (geométrico)
 - URI — Identificador uniforme de recursos