



# ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN DE ECOSISTEMAS Y BIODIVERSIDAD

## DOCUMENTO METODOLÓGICO Cuantificación de Créditos de Biodiversidad

BIOCARBON CERT<sup>®</sup>

VERSIÓN 4.0 | 27 de enero de 2025

© 2025 BIOCARBON CERT®. Todos los derechos reservados. Prohibida su reproducción total o parcial sin autorización expresa de BIOCARBON CERT.

BIOCARBON CERT®. 2025. ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN DE ECOSISTEMAS Y BIODIVERSIDAD. DOCUMENTO METODOLÓGICO. Cuantificación de Créditos de Biodiversidad. Versión 4.0. BIOCARBON CERT. 27 de enero de 2025. 55 p. ISBN 978-628-96808-2-9 (Digital). <https://biocarbonregistry.com/es/>

## Créditos

El Modelo matemático para el cálculo de los BioCréditos ha sido desarrollado con la colaboración de la Dra. Tania Oyuki Chang Martínez<sup>1</sup>, el Dr. Juan Felipe Charre Medellín<sup>2</sup> y MCI.A. Alfonso Chang Martínez<sup>3</sup>. Integrando su experiencia interdisciplinaria en ecología, conservación, modelación matemática y tecnología aplicada para la cuantificación de créditos de biodiversidad.

---

<sup>1</sup> Física-matemática y Geofísica. Especializada en modelización matemática y proyectos de ciencia espacial. Con experiencia en tecnologías avanzadas como radioastronomía, desarrollo de software para satélites y herramientas para la observación terrestre. Actualmente, trabaja en RAL Space, en el Reino Unido.

<sup>2</sup> Biólogo. Experto en conservación de la biodiversidad con más de 50 publicaciones científicas. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores de México. Su trabajo se centra en la conservación de la biodiversidad en México, especialmente en Guanajuato y Michoacán.

<sup>3</sup> Ingeniero Ambiental. Especialista en análisis de datos, con experiencia en aplicación de criterios e indicadores.

## Tabla de contenido

<b>1</b>	<b>Introducción</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Versión y vigencia</b> .....	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Alcance</b> .....	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>Condiciones de aplicabilidad</b> .....	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>Términos generales</b> .....	<b>12</b>
<b>7</b>	<b>Referencias normativas</b> .....	<b>12</b>
<b>8</b>	<b>Términos y definiciones</b> .....	<b>13</b>
<b>9</b>	<b>Marco general</b> .....	<b>18</b>
<b>10</b>	<b>Requisitos generales</b> .....	<b>18</b>
10.1	Límites geográficos de la iniciativa de conservación.....	18
10.2	Límites temporales y periodos de cuantificación .....	21
10.3	Línea base de biodiversidad .....	21
10.4	Caracterización de los impulsores de transformación y pérdida de biodiversidad .....	22
10.5	Análisis de adicionalidad .....	24
<b>11</b>	<b>Objetivos y actividades de conservación</b> .....	<b>24</b>
<b>12</b>	<b>Esfuerzo de muestreo</b> .....	<b>25</b>
<b>13</b>	<b>Métricas para la cuantificación de los BioCréditos</b> .....	<b>26</b>
13.1	Índice de diversidad alfa ( $\alpha$ ).....	27
13.1.1	Índices de riqueza .....	27
	Riqueza Específica (número de especies) .....	27
	Índice de diversidad de Margalef ( $DMG_j$ ) .....	28
	Alfa promedio ( $-aM$ ) .....	28

13.1.2	Índice de Diversidad beta ( $\beta$ ) .....	29
	Índice de Whittaker (índice de remplazo de especies).....	29
13.1.3	Índice gamma ( $\gamma$ ).....	30
	Índice gamma (Schluter y Ricklefs).....	30
13.2	Estructura .....	30
13.2.1	Abundancia proporcional .....	30
	Índice de Simpson ( $D_{si}$ ).....	30
	Índice de Dominancia Lambda ( $\lambda$ ).....	31
	Índice de equidad de Shannon-Wiener .....	32
	Índice de Pielou ( $J'$ ) .....	32
13.3	Otros indicadores de diversidad .....	33
13.3.1	Especies amenazadas (EA) .....	33
13.3.2	Altos Valores de Conservación (AVC).....	37
13.4	Diversidad del paisaje .....	39
13.4.1	Porcentaje de paisaje (PLAND) .....	40
13.4.2	Dimensión Fractal del Perímetro-Área (PAFRAC).....	40
13.4.3	Índice de Contagio (CONTAG) .....	41
13.4.4	Índice de área central (CAI).....	41
13.4.5	Índice de Simpson (SIDI) .....	42
<b>14</b>	<b>Cuantificación de los BioCréditos .....</b>	<b>43</b>
14.1	Métricas y rango de valores ajustados .....	43
14.2	Ajuste de los valores EA y AVC .....	44
14.2.1	Especies Amenazadas (EA) .....	44
14.2.2	Altos Valores de Conservación (AVC).....	44
14.3	Cálculo de los BioCréditos.....	45
14.3.1	Por periodo de monitoreo .....	45
14.3.2	Por unidad espacial mínima (UEM).....	45
<b>15</b>	<b>Plan de monitoreo.....</b>	<b>46</b>

16	<b>Gestión del riesgo</b> .....	47
17	<b>Manejo de la incertidumbre</b> .....	49
18	<b>Permanencia</b> .....	49
	<b>Anexo 1. Algunas referencias de información</b> .....	50
	<b>Anexo 2. Referencias para el análisis de incertidumbre</b> .....	53

## Listado de tablas

Tabla 1.	Impulsores de transformación y pérdida de biodiversidad.....	23
Tabla 2.	Causas subyacentes de pérdida de biodiversidad.....	23
Tabla 3.	Categorías de la Lista Roja de la UICN™ .....	34
Tabla 4.	Altos Valores de Conservación .....	37
Tabla 5.	Resumen de los límites mínimos y máximos a para cada una de las métricas .....	43
Tabla 6.	Especies amenazadas (EA) .....	44

## Listado de figuras

Figura 1.	Referente gráfico de: Ecosistema (A.), Paisaje (B.), Clase (C.) y Parche (D.). .....	17
Figura 2.	Resumen y diagrama del proceso para la obtención de BioCréditos.....	19
Figura 3.	Métricas para la estimación de los BioCréditos.....	27

## Siglas y acrónimos

AVC	Altos Valores de Conservación
BBS	Estándar Biodiversidad de BIOCARBON CERT (por su sigla en inglés)
CAI	Índice de Área Central
CDB	Convenio sobre diversidad biológica
CAI	Índice de área central (por su sigla en inglés)
CONTAG	Índice de Contagio
DMG	Índice de diversidad de Margalef
$D_{si}$	Índice de Simpson
EA	Especies Amenazadas
PAFRAC	Dimensión Fractal del Perímetro-Área
PLAND	Porcentaje de Paisaje (por su sigla en inglés)
SIDI	Índice de Simpson - Paisaje (por su sigla en inglés)
UEM	Unidad Espacial Mínima
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
VBC	Crédito de biodiversidad voluntario (por su sigla en inglés)

## 1 Introducción

Los ecosistemas y la biodiversidad desempeñan un papel esencial en la provisión de bienes y servicios para la vida en la Tierra. Entre sus múltiples funciones se destacan la captura y almacenamiento de carbono, la mitigación de fenómenos meteorológicos extremos y el sustento de medios de vida para innumerables comunidades. Sin embargo, la biodiversidad y los ecosistemas enfrentan una triple crisis planetaria: cambio climático, pérdida de la naturaleza y contaminación, siendo las actividades antrópicas la principal causa de esta crisis<sup>4</sup>.

En respuesta a estos desafíos globales y en consonancia con las metas globales de conservación<sup>5,6</sup>, BIOCARBON CERT® ha desarrollado el Estándar de Biodiversidad de BioCarbon (BBS, por sus siglas en inglés). Este estándar proporciona un enfoque completo e innovador para la emisión de créditos de biodiversidad, facilitando la capitalización de los resultados de iniciativas destinadas a mitigar las presiones sobre la diversidad biológica. Además, promueve la conservación, restauración y uso sostenible de los ecosistemas como una estrategia fundamental para su conservación a largo plazo.

El BBS adopta un enfoque basado en el paisaje como unidad integradora para el diseño de estrategias de conservación, restauración y uso sostenible. Este enfoque holístico toma en cuenta diversos niveles de organización de la biodiversidad—taxones, especies, poblaciones y comunidades—lo que permite abordar de manera integral las complejidades en la gestión de los ecosistemas. Los titulares de las iniciativas deben demostrar y cuantificar mejoras en la abundancia, diversidad, integridad y resiliencia de las especies, ecosistemas y procesos naturales.

Además, el BBS integra las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN), reconocidas como pieza clave en la acción climática y la conservación de la biodiversidad. Estas soluciones incluyen acciones para proteger, restaurar, utilizar y gestionar de manera sostenible los ecosistemas. A su vez, abordan de manera efectiva los desafíos sociales y ambientales, proporcionando beneficios como el bienestar humano, la mejora de los servicios ecosistémicos, y el aumento de la resiliencia y la biodiversidad<sup>7</sup>.

---

<sup>4</sup> WWF. (2024). Living Planet Report 2024 – A System in Peril. WWF, Gland, Switzerland. ISBN: 978-2-88085-319-8.

<sup>5</sup> <https://www.cbd.int/gbf>

<sup>6</sup> <https://www.naturepositive.org/>

<sup>7</sup> United Nations Environment Programme (2020). The Economics of Nature-based Solutions: Current Status and Future Priorities. United Nations Environment Programme Nairobi.



Este documento metodológico establece los lineamientos necesarios para la cuantificación y emisión de créditos de biodiversidad en el marco del BBS. Los titulares de iniciativas de conservación de la biodiversidad deben adherirse a estos lineamientos para garantizar la rigurosidad, transparencia y trazabilidad en la implementación de sus acciones. Su cumplimiento es fundamental para el registro y la certificación bajo el Estándar de BIOCARBON, asegurando así que las iniciativas contribuyan de manera efectiva a la conservación global de la biodiversidad.

## 2 Objetivos

Este documento metodológico (en adelante denominado esta METODOLOGÍA) aplica para la cuantificación de créditos de biodiversidad, con actividades desarrolladas en el marco de iniciativas de conservación de la biodiversidad (en adelante “iniciativas”).

En este contexto, esta metodología:

- (a) brinda los requisitos para la cuantificación de créditos de biodiversidad, atribuibles a actividades de preservación, restauración ecológica, y/o uso sostenible de la biodiversidad;
- (b) proporciona los requisitos metodológicos para la identificación de una línea base de biodiversidad (BBL por sus siglas en inglés) de las iniciativas de conservación de la biodiversidad;
- (c) provee las exigencias metodológicas para demostrar que las actividades de preservación, restauración o uso sostenible que proponen evitar la pérdida de biodiversidad son adicionales al identificar (una o más) acciones específicas;
- (d) establece los requisitos metodológicos para demostrar que la naturaleza y el alcance de las iniciativas son acciones voluntarias de preservación, conservación o del uso sostenible de la biodiversidad;
- (e) describe los requisitos para el monitoreo y seguimiento de las actividades de preservación, conservación o del uso sostenible de la biodiversidad con sus respectivas acciones específicas.

## 3 Versión y vigencia

Este documento constituye la Versión 4.0. 27 de enero de 2025.

La presente versión podrá ser actualizada periódicamente y los usuarios previstos deberán asegurarse de emplear la versión más reciente del documento, disponible en la página web de BIOCARBON<sup>8</sup>.

## 4 Alcance

Esta METODOLOGÍA corresponde a una metodología para:

- (a) definir los límites geográficos de las áreas de conservación de la biodiversidad;
- (b) identificar la línea base de biodiversidad;
- (c) caracterizar los impulsores de transformación del paisaje y la consecuente pérdida de biodiversidad;
- (d) demostrar la adicionalidad de las iniciativas de conservación de la biodiversidad;
- (e) seleccionar los objetivos de conservación, restauración y uso sostenible de la biodiversidad;
- (f) evaluar y aplicar variables y técnicas de valoración para cuantificar créditos de biodiversidad.

Esta METODOLOGÍA se limita a las siguientes actividades de conservación de biodiversidad:

### (a) *Preservación*

Acciones destinadas a mantener el estado natural de la biodiversidad y los ecosistemas, mediante la limitación o eliminación de la intervención humana.

Las acciones específicas de conservación pueden incluir: a) aislamiento de áreas/establecimiento de barreras ecológicas; b) aislamiento de fragmentos de bosque; c) programas de vigilancia y control; d) reducción de las actividades de caza y pesca.

---

<sup>8</sup> [www.biocarbonstandard.com](http://www.biocarbonstandard.com)

### **(b) Restauración**

Procesos de gestión y manejo para recuperar los ecosistemas degradados y prevenir futuros daños.

Las acciones específicas de restauración pueden incluir: a) restablecimiento de un área degradada en cuanto a su función, estructura o composición; b) rehabilitación de la productividad y/o servicios ecosistémicos del ecosistema original; c) recuperación del uso del ecosistema y/o servicios ecosistémicos diferentes a los del ecosistema original; d) eliminación de los agentes causantes de la degradación del ecosistema.

### **(c) Uso sostenible**

Actividades que incluyen el uso de componentes de la diversidad biológica de un modo y a un ritmo que no ocasione su disminución a largo plazo.

Las acciones específicas de uso sostenible pueden incluir: a) vedas y otros esfuerzos de control; b) limitación de la entrada y/o acciones del público/turistas a un paisaje o ecosistema; c) limitación de maquinaria pesadas o destructivas y/u otras formas de tecnología que puedan causar daños colaterales a otros elementos del paisaje o ecosistema; d) reciclaje/rotación de nutrientes del suelo; e) compostaje; f) agricultura sostenible; g) limitación de agroquímicos o fertilizantes.

Esta METODOLOGÍA debe ser empleada por los titulares de las iniciativas de conservación de biodiversidad para certificar y registrar con BIOCARBON en el marco del BBS.

## **5 Condiciones de aplicabilidad**

Esta METODOLOGÍA es aplicable bajo las siguientes condiciones.

El titular de la iniciativa de conservación:

- a) se propone fomentar el uso sostenible, la restauración, o la preservación de las “*condiciones in situ*” de la biodiversidad (estado en un momento definido), evitando así, pérdidas irreversibles de biodiversidad;
- b) demuestra que la conservación in situ es el objetivo en el cual se basan las actividades y acciones específicas de la iniciativa de conservación de la biodiversidad;

Las actividades de conservación:

- c) previenen la pérdida parcial o total de un ecosistema, o cambios de uso del suelo;
- d) previenen la pérdida (directa o indirecta) de un taxón, las poblaciones o especies;
- e) previenen la extinción de una población o especie endémica de valor científico, ecológico o cultural;
- f) evitan la pérdida neta de diversidad a nivel de taxón, de especie o de ecosistema;
- g) previenen la alteración de sistemas naturales, ecosistemas naturales o biotopos únicos;
- h) evitan la extinción de taxón, especies o poblaciones; o la disminución de su viabilidad en niveles que aumenten su riesgo de extinción;
- i) se dirigen a más de una especie y hábitat, y están diseñadas para apoyar objetivos de conservación del ecosistema, a escala de paisaje. Esto, sin poner en riesgo dicho ecosistema o paisaje, ni alguno de sus componentes biológicos;
- j) se desarrollan en ecosistemas terrestres y algunos ecosistemas acuáticos, como los humedales continentales y los manglares.

## 6 Términos generales

Los siguientes términos generales, aplican para esta METODOLOGÍA:

- (a) “Debe” se usa para indicar que debe cumplirse con el requerimiento;
- (b) “Debería” se usa para indicar que, entre varias posibilidades, un curso de acción es recomendado como particularmente adecuado;
- (c) “Puede” se usa para indicar que es permitido.

## 7 Referencias normativas

Las siguientes referencias son indispensables para la aplicación de esta METODOLOGÍA:

- (a) Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB). Naciones Unidas (1992);

- (b) Políticas y planes de acción nacionales vigentes, relacionadas con el uso y manejo de la diversidad biológica, o aquellas que las modifiquen o actualicen;
- (c) La legislación ambiental vigente, que dicta normas sobre la gestión de la diversidad biológica, o aquella que la modifique o actualice;
- (d) El BBS en su versión más reciente;
- (e) Las directrices, otras orientaciones y/o guías que defina BIOCARBON CERT™, en el ámbito de las iniciativas de conservación de biodiversidad.

## 8 Términos y definiciones

### **Adicionalidad**

Las actividades de la iniciativa de conservación generan cambios en los atributos y valores relacionados con biodiversidad, adicionales a cualquier valor existente, es decir, los resultados de conservación no se habrían producido sin las actividades de la iniciativa de conservación.

### **Biodiversidad (Diversidad biológica)**

Variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otras cosas, los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas<sup>9</sup>.

### **Causa subyacente**

Las causas subyacentes son factores que refuerzan las causas directas de los cambios a los ecosistemas. Agrupan variables sociales, políticas, económicas, tecnológicas y culturales, que constituyen las condiciones iniciales en las relaciones estructurales existentes entre sistemas humanos y naturales. Estos factores influyen en las decisiones tomadas por los agentes y ayudan a explicar por qué se presenta el fenómeno de cambios en el uso del suelo, con la consecuente pérdida de biodiversidad.

---

<sup>9</sup> Convenio sobre la diversidad biológica CDB (1992). Disponible en: <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>

## **Clase**

Se refiere a las categorías que describen el tipo de superficie en un paisaje (p. ej. bosques, pastizales, áreas agrícolas, zonas urbanas, cuerpos de agua, etc.). Cada clase representa un tipo de cobertura con propiedades ecológicas específicas. Cada clase dentro del paisaje puede estar compuesta por uno o más parches de la misma clase (ver Figura 1C).

## **Condiciones in situ**

Las condiciones en que existen recursos genéticos dentro de ecosistemas y hábitats naturales y, en el caso de las especies domesticadas o cultivadas, en los entornos en que hayan desarrollado sus propiedades específicas<sup>10</sup>.

## **Conservación in situ**

La conservación de los ecosistemas y los hábitats naturales y el mantenimiento y recuperación de poblaciones viables de especies en sus entornos naturales y, en el caso de las especies domesticadas y cultivadas, en los entornos en que hayan desarrollado sus propiedades específicas<sup>11</sup>.

## **Crédito de Biodiversidad (BioCrédito)**

Corresponde a una unidad certificada, que representa un resultado positivo, duradero y adicional en la conservación de la biodiversidad, que no habría ocurrido en ausencia de la iniciativa proyecto. Se mide en función de la reducción efectiva de amenazas a la biodiversidad, la prevención de pérdidas anticipadas o el incremento de la diversidad biológica mediante acciones específicas diseñadas para mejorar la resiliencia de los ecosistemas<sup>12</sup>.

En el contexto del BBS, los créditos de biodiversidad se denominan BioCréditos. El término BioCrédito es aceptado como sinónimo de un crédito de biodiversidad voluntario (VBC por sus siglas en inglés)<sup>13</sup>. Es una unidad mensurable, trazable y comercializable, que representa la unidad de medida relacionada con la conservación de la biodiversidad y se cuantifican mediante la aplicación del conjunto de métricas

---

<sup>10</sup> CDB op. Cit, p. 3

<sup>11</sup> CDB op. Cit, p. 3

<sup>12</sup> Biodiversity Credit Alliance (2024). Definition of a Biodiversity Credit. Disponible en: <https://www.biodiversitycreditalliance.org/wp-content/uploads/2024/05/Definition-of-a-Biodiversity-Credit-Rev-220524.pdf#page=5.99>

<sup>13</sup> <https://www.iied.org/sites/default/files/pdfs/2022-11/212161IED.pdf>

establecidas en la sección 12 de este documento.<sup>14</sup>

### **Ecosistema**

Conjunto de comunidades biológicas (p. ej. plantas, animales y microorganismos) que interactúan entre sí y con los componentes físicos del entorno y abióticas (p. ej. suelo, agua, aire), formando un sistema dinámico de flujos energía, ciclos de nutrientes y procesos ecológicos<sup>15</sup>. Un ecosistema incluye Paisaje.

Para la aplicación de esta metodología, los ecosistemas elegibles son los ecosistemas terrestres y algunos ecosistemas acuáticos, como los humedales continentales y los manglares (**ver** Figura 1A)<sup>16</sup>.

### **Especie**

Las especies son grupos de individuos o poblaciones naturales que se entrecruzan real o potencialmente, reproductivamente aisladas de otros grupos similares por sus propiedades fisiológicas (produciendo incompatibilidad entre los padres o esterilidad de los híbridos, o ambas).

### **Hábitat**

El lugar o tipo de ambiente en el que existen naturalmente un organismo o una población.<sup>17</sup>

### **Impulsor directo**

Las causas directas de pérdida de biodiversidad se relacionan con actividades humanas que afectan directamente los ecosistemas. Agrupan los factores que operan a escala local, diferentes a las condiciones iniciales estructurales o sistémicas, los cuales se originan en el uso de la tierra y que afectan la cobertura vegetal mediante cambios en el uso del suelo<sup>18</sup>.

---

<sup>14</sup> International Advisory Panel on Biodiversity Credits (2024). Framework for high integrity biodiversity credit markets. Disponible en: <https://www.iapbiocredits.org/framework>

<sup>15</sup> CDB op. Cit, p. 4

<sup>16</sup> Esta metodología excluye los demás ecosistemas marinos. Tales como los océanos, mares, estuarios, arrecifes, marismas y lagunas costeras, entre otros.

<sup>17</sup> CDB op. Cit, p. 4

<sup>18</sup> El término “impulsor”, “causa directa” equivale al concepto de “motor” o “driver” de cambios en la biodiversidad.

## **Iniciativa de conservación de biodiversidad**

Actividades de conservación dedicadas expresamente a cumplir un objetivo particular, relacionado con la conservación de la biodiversidad. Estas actividades deben conducir a la reducción de presiones directas sobre la diversidad biológica y, a su vez, contribuir a la conservación de ecosistemas.

## **Línea base de biodiversidad**

La línea base de biodiversidad corresponde a la evaluación completa de las condiciones existentes en los límites geográficos de la iniciativa de conservación. Evaluado antes del inicio de las actividades de conservación. La línea base de biodiversidad debe establecerse con base en la extensión de las coberturas presentes en los límites de la iniciativa, en conjunto con la evaluación de los componentes físicos y bióticos.

## **Monitoreo**

El monitoreo corresponde a la recopilación, administración y archivo de la data requerida para aplicar las métricas de cuantificación de los BioCréditos. El monitoreo debe describirse en un plan de monitoreo.

## **Objetos de conservación (ODC)**

Los objetos de conservación son los componentes de la biodiversidad considerados en las actividades de conservación y, por tanto, incluidos en el cálculo de los BioCréditos. Esto abarca especies o taxones como plantas vasculares o no vasculares, aves, anfibios, reptiles y mamíferos. También pueden formar parte de ellos los taxones funcionales, como grandes herbívoros o invertebrados presentes en el suelo. Estos pueden variar según los objetivos de conservación, que deben estar justificados por su relevancia ecológica y funcional. Al elegir su(s) ODC, deben tenerse en cuenta las prioridades y características especiales, como su estado de vulnerabilidad y valor cultural, para asegurar que su conservación contribuya al mantenimiento y la resiliencia de los ecosistemas.

La identificación de los Objeto de Conservación debe basarse en el diagnóstico de los componentes funcional, físico, y biótico del ecosistema, junto con un análisis de la línea base, considerando el contexto local y regional. Además, debe incluirse información que permita garantizar la estabilidad de los ecosistemas, asegurando la provisión continua de bienes y servicios y medioambientales.



## Paisaje

Unidad espacial heterogénea, contenida dentro del ecosistema, y que determina los límites geográficos de la iniciativa, en la cual se identifican diversos tipos de clase (hábitats y/o usos de suelo) (ver Figura 1B).

## Parche

Son los fragmentos que componen una clase dentro de un paisaje y que se diferencian claramente de su entorno, en términos de sus características físicas y ecológicas. Los parches pueden estar conectados o aislados en el paisaje y su forma y tamaño pueden variar (ver Figura 1D).



Figura 1. Referente gráfico de: Ecosistema (A.), Paisaje (B.), Clase (C.) y Parche (D.).

## Población

Se denomina población a un grupo de individuos que pertenece a una misma especie porque ocupa un área geográfica específica. Las poblaciones interactúan con otras poblaciones de su mismo tipo, con poblaciones de otras especies y con aspectos físicos de su territorio.

NOTA: Este término es utilizado en un sentido específico en los criterios de la Lista Roja. “Población se define como el número total de individuos del taxón. Dentro del contexto de una evaluación regional, puede ser aconsejable usar el término población global. En las Directrices de la UICN, el término población es utilizado por razones de

conveniencia, cuando se hace referencia a un grupo de individuos de un taxón determinado que puede o no intercambiar propágulos con otras de esas entidades”<sup>19</sup>.

### **Restauración ecológica**

De acuerdo con la Sociedad para la Restauración Ecológica (SER), la restauración ecológica es el proceso de apoyar la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido.<sup>20</sup> Este proceso busca restablecer la salud, integridad y sostenibilidad del ecosistema, promoviendo su capacidad para mantenerse de forma autosuficiente a lo largo del tiempo. Las acciones realizadas en el marco de la restauración ecológica garantizan la conservación de las especies y la provisión continua de bienes y servicios.

### **Taxón**

Un taxón corresponde a los organismos a los que, una vez descritos, se les ha asignado un nombre científico (o nombre en latín)<sup>21</sup>.

## **9 Marco general**

Esta METODOLOGÍA forma parte del Programa de Biodiversidad de BIOCARBON, junto con el Estándar de Biodiversidad<sup>22</sup>. La cuantificación y emisión de créditos de biodiversidad se resumen en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

## **10 Requisitos generales**

### **10.1 Límites geográficos de la iniciativa de conservación**

Los límites geográficos de la iniciativa de conservación se componen de los sitios en los cuales se llevan a cabo las actividades de conservación de la biodiversidad. La Unidad Espacial Mínima (UEM) está representada en términos de superficie y corresponde a 1 hectárea (10.000 m<sup>2</sup>).

---

<sup>19</sup> <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/RL-2012-002-Es.pdf>

<sup>20</sup> <https://www.ser.org/>

<sup>21</sup> Rodríguez-Melo, M. 2022

<sup>22</sup> [https://biocarbonstandard.com/wp-content/uploads/BCR\\_Estandar-Biodiversidad.pdf](https://biocarbonstandard.com/wp-content/uploads/BCR_Estandar-Biodiversidad.pdf)

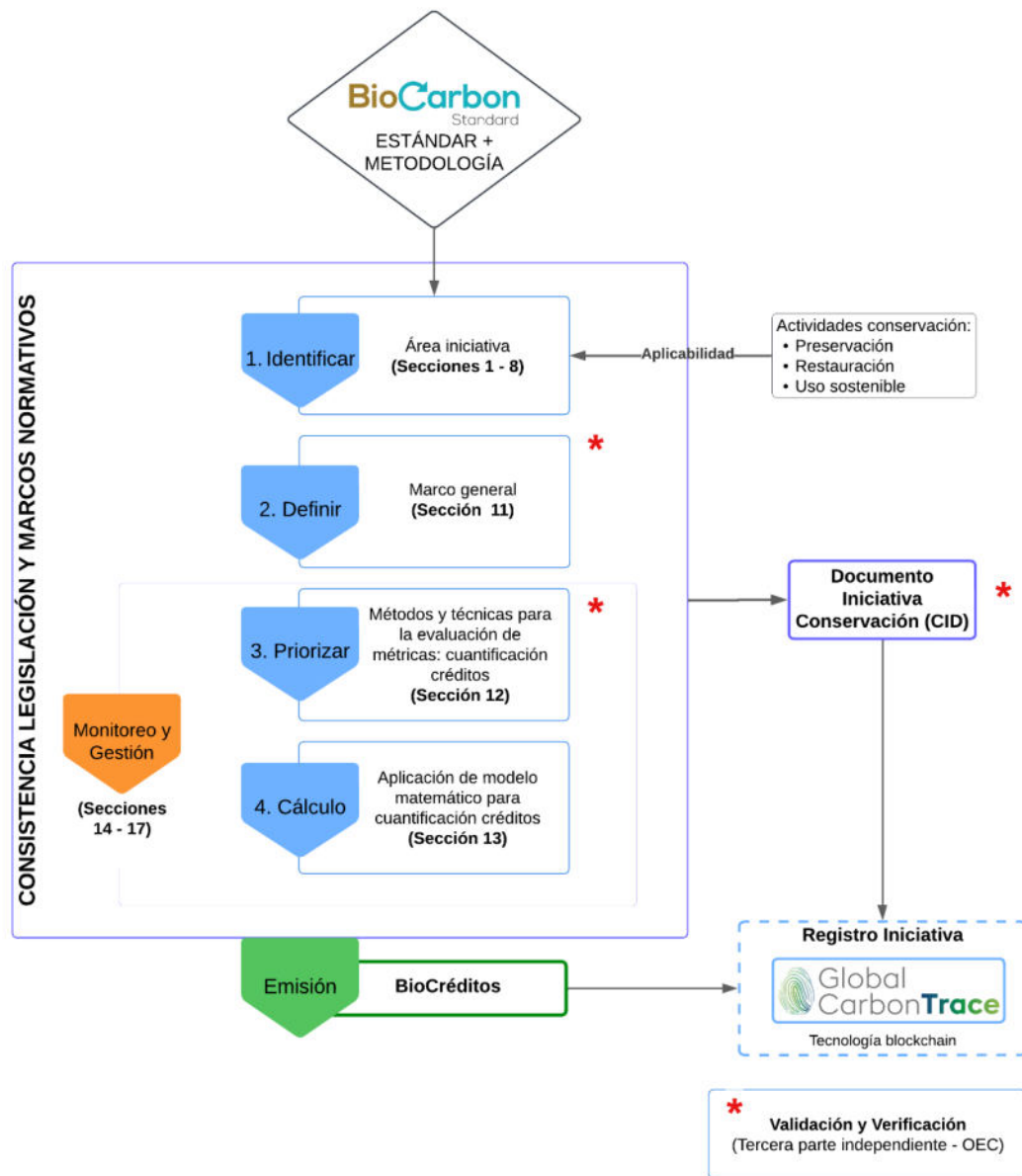


Figura 2. Resumen y diagrama del proceso para la obtención de BioCréditos

El titular de la iniciativa de conservación de la biodiversidad debe demostrar que las áreas en tales límites geográficos corresponden con las categorías que para la vegetación o coberturas considera el sistema de identificación de cobertura y usos del suelo aplicable al país en el cual se desarrollan las actividades de la iniciativa de

conservación<sup>23</sup>. La identificación de coberturas y usos del suelo deben llevarse a cabo en escala 1:10.000 o superior.

Toda la información geográfica relacionada con los límites de la iniciativa debe representarse en un Sistema de Información Geográfica (SIG) durante toda la duración del proyecto. Esto debe seguir metodologías adecuadas para el manejo de datos espaciales y análisis de coberturas, cumpliendo estándares de calidad de la ISO 19111:2019(en)<sup>24</sup>, que establece los requisitos para la referenciación geoespacial, los datos mínimos necesarios para definir los sistemas de referencia por coordenadas y la información descriptiva adicional (metadatos del sistema de referencia de coordenadas).

El titular de la iniciativa debe proveer evidencia verificable que demuestre que el área en los límites de la iniciativa es elegible. Esto incluye:

- i. La definición de los límites geográficos de la iniciativa de conservación de la biodiversidad;
- ii. Especificar la extensión y la localización de las áreas, clasificadas según los tipos de cobertura y/o de uso del suelo;
- iii. El estado de conservación y la biodiversidad en términos de composición, estructura y función del ecosistema.

Para demostrar las referidas condiciones, los titulares de las iniciativas deben suministrar una de las siguientes alternativas de información verificable:

- i. Imágenes y cartografía: fotografías aéreas o imágenes de satélite complementadas con información cartográfica de referencias tomadas en campo, mediante metodologías validadas; o,
- ii. Estudios de campo y registros oficiales: permisos o concesiones de uso del suelo, planes de uso del suelo o información de registros locales como catastro, registro de propietarios, registros de uso o manejo del suelo; o,

---

<sup>23</sup> Tales como CORINE Land Cover.

<sup>24</sup> <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:19111:ed-3:v1:en>

- iii. Evaluación participativa: En ausencia de las opciones anteriores, se acepta un testimonio escrito, elaborado mediante metodologías de evaluación rural participativa.

## **10.2 Límites temporales y periodos de cuantificación**

Los límites temporales de las iniciativas de conservación de la biodiversidad abarcan el periodo durante el cual las actividades de conservación evitan la pérdida parcial o total de un ecosistema, especie, población en el área establecida dentro de los límites geográficos de la iniciativa.

Los límites temporales de las iniciativas de biodiversidad deben definirse considerando:

- (a) La fecha de inicio: momento en que comienzan las actividades que conducen a evitar la pérdida de biodiversidad;
- (b) El periodo de cuantificación: tiempo durante el cual se monitorean o mide la conservación de la biodiversidad; y,
- (c) Los periodos de monitoreo: Intervalos regulares para evaluar la conservación de la biodiversidad.

Las iniciativas de conservación de la biodiversidad pueden cuantificar BioCréditos por un periodo de 10 años. El titular de la iniciativa podrá ampliar el periodo de la iniciativa de conservación por otros 10 años, justificando los motivos, objetivos y resultados esperados. El titular de la iniciativa deberá evaluar las condiciones de línea base, la adicionalidad u otras condiciones de aplicabilidad establecidas por BIOCARBON y otras regulaciones aplicables.

## **10.3 Línea base de biodiversidad**

La línea base de biodiversidad se determina mediante una evaluación de la estructura y composición del ecosistema. Esto debe incluir la evaluación de los aspectos físicos y bióticos, así como la información relacionada con clima y otros elementos determinantes de las condiciones de biodiversidad y paisaje. Esta evaluación debe realizarse en todos los tipos de cobertura y/o uso del suelo identificados dentro de los límites geográficos de la iniciativa. La línea base permite establecer el marco de referencia de las condiciones o estado del área de la iniciativa previo a la implementación de acciones de conservación de biodiversidad.

Se recomienda utilizar preferiblemente información primaria, soportada en metodologías de campo válidas. En caso de emplear información secundaria, ésta debe provenir de fuentes oficiales.

La caracterización de la línea base debe incluir:

- i. Evaluaciones detalladas de la estructura y composición del ecosistema para todas las categorías de cobertura y/o uso del suelo, antes del inicio de las actividades de la iniciativa de conservación;
- ii. Mapas que delimitan las áreas según los tipos de coberturas y usos del suelo presentes;
- iii. Evaluación de los Altos Valores de Conservación (AVC), utilizando metodologías como Landscape Species Approach<sup>25</sup>, u otras metodologías apropiadas.

Para establecer la línea base de biodiversidad pueden emplearse las siguientes fuentes de información:

- i. Fotografías aéreas, imágenes satelitales;
- ii. Cartografía básica, mapas topográficos, cartografía temática, mapas geológicos, mapas de suelos;
- iii. Documentos bibliográficos de trabajos específicos desarrollados en el área o zona donde se localiza la iniciativa de conservación de biodiversidad;
- iv. Modelos basados en mediciones en campo.

## **10.4 Caracterización de los impulsores de transformación y pérdida de biodiversidad**

Los titulares de las iniciativas de conservación deben evaluar todos los impulsores de transformación del paisaje (drivers) y la subsecuente pérdida de biodiversidad. En general, los principales impulsores de transformación y disminución de biodiversidad son los cambios en estructura y composición del ecosistema, asociados a la degradación

---

<sup>25</sup> Wildlife Conservation Society (WCS) y Living landscape program.

del hábitat. Otros impulsores de transformación y pérdida pueden incluir: deforestación, la tala de bosques, la conversión a otros usos del suelo, la sobreexplotación de recursos, las actividades mineras y la construcción de infraestructuras y vías, entre otros.

Para la caracterización de los impulsores directos de transformación y las causas subyacentes, debe emplearse una matriz de calificación cualitativa (Tabla 1) la cual indica la extensión y la frecuencia con que se han presentado los factores que impulsan la pérdida de biodiversidad.

Tabla 1. Impulsores de transformación y pérdida de biodiversidad

Impulsor directo	Extensión			Frecuencia		
	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja
1						
2						
3						
....						
n						

En el caso de las causas subyacentes, el titular de la iniciativa debe categorizar cualitativamente (Tabla 2) la intensidad y la frecuencia con que, estima, han estado presentes las causas subyacentes de pérdida de biodiversidad.

Tabla 2. Causas subyacentes de pérdida de biodiversidad

Causa sub- yacente	Extensión			Frecuencia		
	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja
1						
2						
3						
....						
n						

## 10.5 Análisis de adicionalidad

A través del análisis de adicionalidad, el titular de la iniciativa debe demostrar que las actividades de conservación conducen a la protección del ecosistema y de los atributos de biodiversidad que no se habrían producido sin la implementación de dicha iniciativa. En consecuencia, se consideran adicionales:

- i. Actividades que involucran intervenciones intencionadas y directas sobre el paisaje;
- ii. Alternativas de uso del suelo que no representan el uso y/o cobertura relacionada con una actividad habitual;

Las actividades de conservación y sus acciones específicas deben dirigirse a más de una especie nativa, y estar diseñadas para apoyar los objetivos de conservación a escala de paisaje de los ecosistemas o paisajes originales. Esto, sin poner en potencial riesgo dicho ecosistema o paisaje, ni ninguno de sus componentes biológicos. Por tanto, es requisito que el titular de la iniciativa de conservación establezca los atributos de biodiversidad, medibles y basados en criterios e indicadores confiables y creíbles, sobre cada componente de la biodiversidad.

## 11 Objetivos y actividades de conservación

A partir de la información registrada en las secciones 10 de este documento, el titular de la iniciativa de conservación debe establecer y justificar los objetivos de conservación, para llevar a cabo las actividades de preservación, restauración, o uso sostenible, así como sus acciones específicas para cada uno.

Los objetivos de conservación deben estar directamente relacionados con los Altos Valores de Conservación (AVC), dentro de los límites geográficos de la iniciativa. Se recomienda el uso de la *Teoría del Cambio* (TOC por su sigla en inglés) que permite tener una secuencia lógica de las condiciones y los factores necesarios para lograr el impacto esperado. Con variables que permitan representar adecuadamente las conexiones entre las medidas de conservación y la conservación de la biodiversidad.



El titular de la iniciativa de conservación puede emplear la Guía FSC para la Demostración de Impactos en los Servicios del Ecosistema<sup>26</sup> que incluye elementos básicos de una teoría del cambio y una lista de control de calidad.

Adicionalmente, otras guías podrían ser implementadas. Las consultas y entrevistas con las partes interesadas también son cruciales para identificar las necesidades específicas de las comunidades locales y los pueblos indígenas, en cuanto a las actividades de conservación de los ecosistemas y su biodiversidad. Esto es aplicable en los casos en que en los límites geográficos de la iniciativa habiten comunidades locales y/o pueblos indígenas.

## 12 Esfuerzo de muestreo

El esfuerzo de muestreo corresponde al tamaño de las unidades de muestreo, para representar la biodiversidad. El esfuerzo máximo de muestreo relaciona el tamaño requerido por la muestra para que sea representada, adecuadamente, la composición de especies de una comunidad.

El esfuerzo máximo de muestreo está relacionado con las curvas de acumulación de especies, que grafican el número de especies observadas (eje vertical, eje Y) frente al área o esfuerzo acumulado (eje horizontal, eje X). El área mínima está relacionada con la superficie en la cual esta curva comienza a ser horizontal.

En este sentido, estas curvas alcanzan una asíntota cuando se ha logrado una representación suficiente de la biodiversidad presente, y su estabilización indica el área mínima necesaria para obtener resultados confiables.

El titular de la iniciativa de biodiversidad debe demostrar que alcanzó al esfuerzo máximo de muestreo y aplicar técnicas e instrumentos apropiados, para minimizar errores y garantizar la precisión de los datos recolectados. Por ejemplo, puede usarse el método descrito por Del Valle A.<sup>27</sup>

---

<sup>26</sup> FSC-GUI-30-006 V1-0 ES. Forest Stewardship Council® (FSC, 2018). FSC®Fo00100.

<sup>27</sup>Del Valle A, J. 1996. La asíntota de la curva especies-área como expresión de la riqueza biológica. *Crónica Forestal y de Medio Ambiente*. Diciembre, vol. 11, número 1. Universidad Nacional de Colombia. Colombia. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/113/1131106.pdf>

## 13 Métricas para la cuantificación de los BioCréditos

Esta METODOLOGÍA presenta un modelo integral para evaluar y cuantificar, con un conjunto de métricas, el estado de la biodiversidad. Esto, mediante un cálculo secuencial que integra índices de valoración, tanto de las características de las comunidades biológicas como de las dinámicas del paisaje.

La evaluación de las comunidades biológicas, y de las características del paisaje, permite establecer indicadores clave para estimar los créditos de biodiversidad, mediante una valoración asociada a dichos indicadores. Los BioCréditos pueden estimarse considerando actividades de conservación de ecosistemas terrestres y algunos ecosistemas acuáticos, como los humedales continentales y los manglares. Este proceso se basa en técnicas de análisis que valoran la biodiversidad, así como la calidad y el estado del paisaje.

La estimación de los créditos de biodiversidad se basa en un modelo multicriterio que, mediante una evaluación multimétrica, tiene en cuenta elementos de la biodiversidad, como las comunidades biológicas y de paisaje.

Cada una de las métricas debe calcularse de acuerdo con el plan de monitoreo (sección 14). La combinación de estas métricas interrelacionadas, pero no redundantes<sup>28</sup>, permite identificar cambios en la biodiversidad de manera más sensible y precisa que los métodos univariantes. Cada métrica proporciona información específica sobre el estado, la función ecológica y la resiliencia de los ecosistemas. Todas ellas deben calcularse para cada periodo de monitoreo, en el que pueda demostrarse, y cuantificar, la conservación de la biodiversidad y el paisaje (Anexo 1).

La aplicación de esta evaluación multicriterio reconoce la interconexión entre los diversos elementos del paisaje y las condiciones de conservación de la biodiversidad. De este modo, la METODOLOGÍA asegura una cuantificación rigurosa y verificable de los créditos de conservación de biodiversidad, de acuerdo con las mejores prácticas establecidas para la evaluación de la conservación del paisaje y la biodiversidad (Figura 3).

---

<sup>28</sup> Dos variables son redundantes cuando, de forma indirecta, aportan la misma información

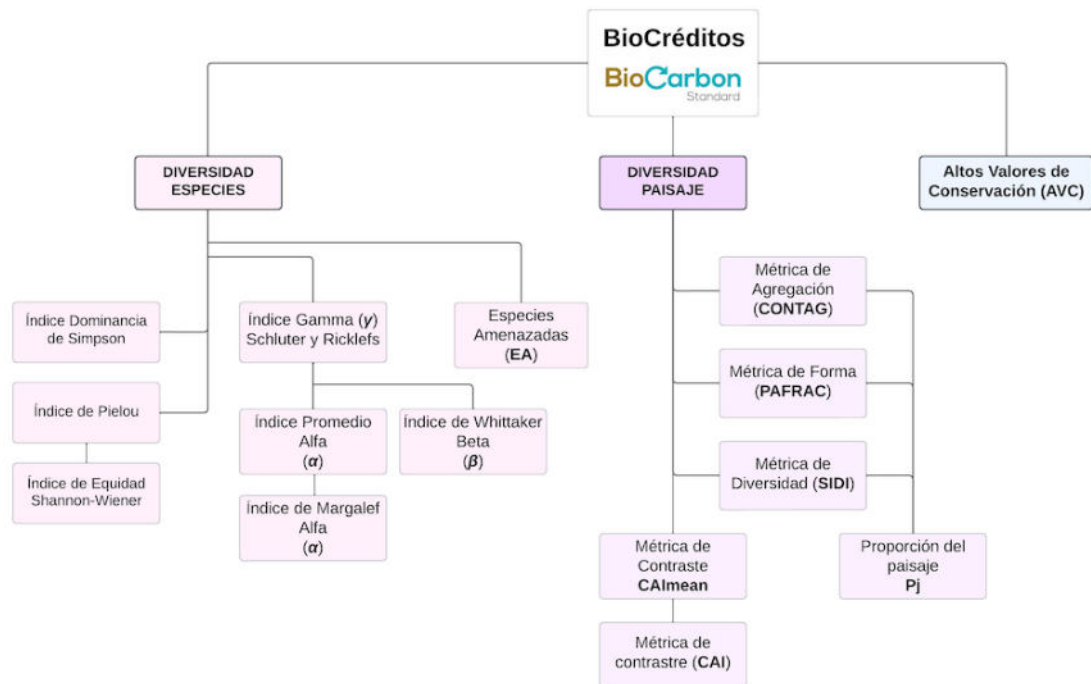


Figura 3. Métricas para la estimación de los BioCréditos

### 13.1 Índice de diversidad alfa ( $\alpha$ )

La diversidad alfa es la riqueza de especies en una comunidad que se considera homogénea, lo cual representa la riqueza a nivel local. En el marco de esta metodología, la evaluación debe hacerse a nivel de una “unidad de paisaje” (de acuerdo con las definiciones en la sección 12.4).

Para medir la diversidad alfa existen diversos índices relacionados con número de especies (riqueza) o con datos estructurales, como abundancias y dominancias.

#### 13.1.1 Índices de riqueza

*Riqueza Específica (número de especies)*

La forma más sencilla para determinar riqueza es el número de especies por sitio de muestreo. La riqueza específica se usa para determinar la cantidad de especies presentes en el ecosistema. Se refiere al número total de especies en un área, sin tener en cuenta la abundancia de cada especie. Se calcula con la Ecuación 1.

$$D_{riqueza} = S \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$$\begin{aligned} D_{riqueza} &= \text{Riqueza específica} \\ S &= \text{Número total de especies identificadas} \end{aligned}$$

### Índice de diversidad de Margalef ( $D_{MG_j}$ )

Es una medida de la diversidad específica. Relaciona el número de especies con el número total de individuos. En general, valores inferiores a 2,0 representan áreas con baja biodiversidad; valores superiores a 5,0 son considerados como indicativos de alta biodiversidad.

Este índice se basa en el número de especies y sus abundancias, observadas en las diferentes clases presentes en el paisaje. Las clases se refiere a las diferentes categorías que describen el tipo de superficie en un paisaje (p. ej. bosques, pastizales, áreas agrícolas, zonas urbanas, cuerpos de agua, etc.). El índice de diversidad se calcula con la Ecuación 2.

$$D_{MG_j} = \frac{S - 1}{\ln(N)} = \alpha_{M_j} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

$$\begin{aligned} D_{MG_j} &= \text{Índice de diversidad de Margalef en la clase } j \\ S &= \text{Número total de especies} \\ N &= \text{Número de individuos} \\ \bar{\alpha}_M &= \text{Alfa promedio de todo el paisaje (numérico)} \end{aligned}$$

### Alfa promedio ( $\bar{\alpha}_M$ )

Con el resultado del Índice de Margalef para las clases  $j$  ( $\alpha_{M_j}$ ), se define la biodiversidad alfa a nivel paisaje como Alfa promedio ( $\bar{\alpha}_M$ ). Se estima generando un promedio de los Índices de Margalef obtenidos por cada clase  $j$ . El alfa promedio se calcula con la Ecuación 3.

$$\bar{\alpha}_M = \sum_{j=1}^{NC} \frac{\alpha_{Mj}}{NC}$$

Ecuación 3

Donde:

- $\bar{\alpha}_M$  = Alfa promedio de todo el paisaje (numérico)
- $\alpha_{Mj}$  = Índice de Margalef por clase  $j$
- NC = Número total de clases

### 13.1.2 Índice de Diversidad beta ( $\beta$ )

El grado de recambio de especies se evalúa principalmente considerando proporciones o diferencias. Las proporciones pueden determinarse con ayuda de índices y/o coeficientes que indican cuán similares o disimiles son dos comunidades o muestras.

La similitud o disimilitud expresa el grado de semejanza en composición de especies y sus abundancias en dos muestras.

Entonces, la diversidad beta es una medida que se utiliza para evaluar la variación en la composición de especies entre diferentes paisajes o clases. Este índice se basa en la relación entre la diversidad de especies en una clase y la diversidad total de especies en un paisaje. Un valor alto indica que hay una mayor diferencia en la composición de especies entre las clases comparadas, mientras que un índice bajo sugiere que las comunidades son más similares.

*Índice de Whittaker (índice de remplazo de especies)*

El índice de Whittaker es una medida que se utiliza para evaluar la diversidad beta, es decir, la variación en la composición de especies entre diferentes clases. Este índice se basa en la relación entre la diversidad de especies en un sitio específico y la diversidad total de especies en dentro del paisaje. Se calcula mediante la Ecuación 4.

$$\beta = \frac{S}{\bar{\alpha}_M - 1}$$

Ecuación 4

Donde:

- $\beta$  = Diversidad Beta
- $S$  = Número total de especies
- $\bar{\alpha}_M$  = Alfa promedio del todo el paisaje

### 13.1.3 Índice gamma ( $\gamma$ )

Es una medida relacionada con la diversidad de especies. Se usa para evaluar la diversidad total en el paisaje, tomando como parámetros tanto la diversidad alfa ( $\alpha$ ) como la diversidad beta ( $\beta$ ), riqueza total de especies existente en un área mayor. La diversidad gamma es la sumatoria de la diversidad alfa en todas las unidades de paisaje dentro de los límites geográficos de la iniciativa.

*Índice gamma (Schluter y Ricklefs)*

El índice gamma ( $\gamma$ ) es una medida que se utiliza para evaluar la diversidad total en el paisaje, tomando como parámetros tanto a la diversidad alfa (alfa promedio) como la diversidad beta ( $\beta$ ). Es decir, el índice gamma representa la diversidad total de especies en un conjunto de clases o bien, en el paisaje. Se calcula mediante la Ecuación 5.

$$\gamma = \left( \bar{\alpha}_M \right) (\beta) (NC) \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

$\gamma$	=	Índice Gamma
$\beta$	=	Diversidad beta ( $\alpha$ ) (resultado de Ecuación 4)
$\bar{\alpha}_M$	=	Alfa promedio de toda la muestra (ver ecuación 3)
NC	=	Número total de clases en el paisaje

## 13.2 Estructura

### 13.2.1 Abundancia proporcional

Clasificados como índices de dominancia y equidad ya que toman en cuenta el número de individuos por especie.

*Índice de Simpson ( $D_{si}$ )*

Este índice permite medir la riqueza de organismos en las unidades de paisaje. Es útil para evaluar cómo la dominancia de ciertas especies afecta el estado de la biodiversidad en un área. El índice de Simpson toma como parámetro el número de individuos por especie, en el paisaje. Se calcula mediante la Ecuación 6.

$$D_{si} = \sum_{i=1}^S \left( \frac{n_i^2 - n_i}{N^2 - N} \right)$$

Ecuación 6

Donde:

- $D_{si}$  = Índice de Simpson
- $n_i$  = Número de individuos de la misma especie
- $N$  = Número total de individuos en el paisaje
- $S$  = Número total de especies

El índice de diversidad de Simpson determina la probabilidad de que dos individuos tomados al azar, de una muestra, sean de la misma especie. Por lo tanto, este es un valor de probabilidad. Su rango va de 0 a 1. Un valor alto (cercano a 1) indica que la comunidad está dominada por una o pocas especies. Mientras que un valor bajo de (cercano a 0) sugiere que las especies están distribuidas de manera equitativa. Los valores cercanos a cero representan mayor diversidad, y los valores cercanos a 1 representan menor diversidad.

#### *Índice de Dominancia Lambda ( $\lambda$ )*

El Índice de Dominancia Lambda ( $\lambda$ ) es una métrica que cuantifica el nivel de dominancia en una comunidad, basándose en la proporción de individuos de cada especie respecto al total de especies.

Este índice es útil para detectar la desigualdad en la distribución de abundancias entre especies, destacando la preeminencia de especies dominantes. Es conceptualmente equivalente al Índice de Simpson ( $D$ ). Sin embargo, algunas interpretaciones distinguen el uso de  $\lambda$  específicamente para resaltar dominancia, mientras que  $D$  puede interpretarse como una métrica más general de diversidad. El rango de valores es de 0 a 1 donde un valor más cercano a 1 refleja mayor equidad y diversidad, mientras que valores cercanos a 0 indican menor diversidad. Se calcula con mediante la Ecuación 7.

$$D_{\lambda} = 1 - D_{si}$$

Ecuación 7

Donde:

- $D_{\lambda}$  = Índice de Dominancia lambda
- $D_{si}$  = Índice de Simpson

### Índice de equidad de Shannon-Wiener

El índice de equidad de Shannon-Weiner, también conocido como Índice de diversidad de Shannon es una medida que se utiliza para cuantificar la diversidad de especies en el paisaje.

Este índice estima la abundancia de las especies bajo el supuesto que todas las especies están representadas en las muestras y que todos los individuos fueron muestreados al azar. Este índice no solo considera el número de especies presentes (riqueza), sino también la distribución de individuos entre esas especies (equidad). Este se calcula mediante la Ecuación 8.

$$H' = - \sum_{i=1}^S ((p_i)(\ln p_i)) \quad \text{Ecuación 8}$$

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

Donde:

- $H'$  = Índice de Shannon-Wiener
- $p_i$  = Abundancia proporcional, es decir, al número de individuos de la especie entre el total de individuos del paisaje.
- $S$  = Número total de individuos en el paisaje
- $n_i$  = Número total de individuos de la misma especie por paisaje
- $N$  = Número total de individuos por paisaje

### Índice de Pielou ( $J'$ )

El índice de Pielou, también conocido como índice de equidad de Pielou ( $J'$ ) es una medida que se utiliza para evaluar la equidad en la distribución de individuos, entre las especies en una clase.

Este índice se basa en el índice de diversidad de Shannon-Wiener y proporciona una forma de entender cómo se distribuyen los individuos entre las diferentes especies. Es decir, con base en los valores del índice de Shannon-Wiener, el índice de Pielou representa una relación entre la diversidad observada y el máximo valor de diversidad esperado.

Expresa la equidad como la proporción de la diversidad observada, en relación con la máxima diversidad esperada. Toma valores entre 0 y 1. Los valores cercanos a 0 indican



una distribución desigual en la abundancia de especies, con una o pocas especies dominando la comunidad. Mientras que valores cercanos a 1 indican una distribución muy equitativa de individuos entre las especies. Se calcula con la Ecuación 9.

$$J' = -\frac{H'}{H'_{max}} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$H'_{max} = \ln S$$

Donde:

- J' = Índice de Pielou (equidad)
- H' = Índice de diversidad Shannon-Wiener
- H<sub>max</sub> = Valor máximo del índice de Shannon
- S = Número total de especies

### 13.3 Otros indicadores de diversidad

La presencia de especies amenazadas y Altos Valores de Conservación (AVC) complementan la valoración de los índices de diversidad (composición y estructura), calculados en los límites geográficos de la iniciativa de conservación (paisaje).

#### 13.3.1 Especies amenazadas (EA)

El titular de la iniciativa demuestra que en sus límites geográficos hay presencia de especies amenazadas a nivel mundial (según la Lista Roja de la UICN™)<sup>29</sup> y que desarrolla acciones tendientes a la conservación de dichas especies.

*“La Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN™ (o la Lista Roja de la UICN) es el inventario más reconocido mundialmente sobre el estado de conservación de las especies de plantas, animales y hongos. Se basa en un sistema objetivo para evaluar el riesgo de extinción de una especie si no se adoptaran medidas de conservación”*<sup>30</sup>.

De acuerdo con UICN<sup>31</sup> *“Más de 41,000 especies están amenazadas de extinción. Es decir, el 28% del total de las especies evaluadas hasta hoy están amenazadas”*. En consecuencia,

<sup>29</sup> <https://www.iucnredlist.org/>

<sup>30</sup> UICN. (2001). Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN: Versión 3.1. Comisión de Supervivencia de Especies de la UICN. UICN, Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido. ii + 33 pp. Disponible en: <https://portals.iucn.org/library/node/10316>

<sup>31</sup> <https://www.iucnredlist.org/es/>

determinar si en los límites geográficos de las iniciativas de conservación de biodiversidad se encuentran especies sometidas a algún grado de amenaza, permite vincular las acciones de conservación con la disminución de las presiones sobre las especies para prevenir procesos de extinción.

Las categorías definidas por la UICN relacionan el riesgo de extinción, como un determinado grado de amenaza (Tabla 3).

La presencia de especies en esta categoría se pondera de acuerdo de acuerdo con la categoría, siendo los valores más altos, los de mayor amenaza. Asignar valores de ponderación a las categorías de riesgo de extinción de la UICN es una práctica crucial en estudios ecológicos y estrategias de conservación, ya que permite integrar el estado de conservación de las especies en análisis cuantitativos.

En este sentido, asignar valores de ponderación a las categorías de riesgo de extinción refleja la urgencia de conservación, permite comparaciones estandarizadas e incorporar el valor Ecológico de las especies. Asimismo, promueve la conservación basada en evidencia y facilita la toma de decisiones. Esta práctica asegura que las estrategias de conservación sean más efectivas, alineadas con las necesidades ecológicas y sociales, y adaptadas a los desafíos globales de pérdida de biodiversidad.

Tabla 3. Categorías de la Lista Roja de la UICN™

Categoría de riesgo de extinción	Acrónimo	Definición UICN
EN PELIGRO CRÍTICO	CR	Un taxón está En Peligro Crítico cuando la mejor evidencia disponible indica que cumple cualquiera de los criterios “A” a “E” para En Peligro Crítico (véase Sección V) y, por consiguiente, se considera que se está enfrentando a un riesgo de extinción extremadamente alto en estado de vida silvestre.
EN PELIGRO	EN	Un taxón está En Peligro cuando la mejor evidencia disponible indica que cumple cualquiera de los criterios “A” a “E” para En Peligro (véase Sección V) y, por consiguiente, se considera que se está enfrentando a un riesgo de extinción muy alto en estado de vida silvestre.
VULNERABLE	VU	Un taxón es Vulnerable cuando la mejor evidencia disponible indica que cumple cualquiera de los criterios “A” a “E” para Vulnerable (véase Sección V) y, por consiguiente, se considera que se está enfrentando a un riesgo de extinción alto en estado de vida silvestre.

Categoría de riesgo de extinción	Acrónimo	Definición UICN
CASI AMENAZADO	NT	Un taxón está Casi Amenazado cuando ha sido evaluado según los criterios y no satisface, actualmente, los criterios para En Peligro Crítico, En Peligro o Vulnerable, pero está próximo a satisfacer los criterios, o posiblemente los satisfaga, en un futuro cercano.
PREOCUPACION MENOR	LC	Un taxón se considera de Preocupación Menor cuando, habiendo sido evaluado, no cumple ninguno de los criterios que definen las categorías de En Peligro Crítico, En Peligro, Vulnerable o Casi Amenazado. Se incluyen en esta categoría taxones abundantes y de amplia distribución.
DATOS INSUFICIENTES	DD	Un taxón se incluye en la categoría de Datos Insuficientes cuando no hay información adecuada para hacer una evaluación, directa o indirecta, de su riesgo de extinción basándose en la distribución y/o condición de la población. Un taxón en esta categoría puede estar bien estudiado, y su biología ser bien conocida, pero carecer de los datos apropiados sobre su abundancia y/o distribución. Datos Insuficientes no es por lo tanto una categoría de amenaza. Al incluir un taxón en esta categoría se indica que se requiere más información y se reconoce la posibilidad de que investigaciones futuras demuestren apropiada una clasificación de amenazada. Es importante hacer un uso efectivo de cualquier información disponible. En muchos casos habrá que tener mucho cuidado en elegir entre Datos Insuficientes y una condición de amenaza. Si se sospecha que la distribución de un taxón está relativamente circunscrita, y si ha transcurrido un período considerable de tiempo desde el último registro del taxón, la condición de amenazado puede estar bien justificada.
NO EVALUADO	NE	Un taxón se considera No Evaluado cuando todavía no ha sido clasificado en relación con estos criterios.

Fuente: BioCarbon, 2025<sup>32</sup>

En el documento de la UICN se encuentra la descripción sobre la naturaleza de las categorías, así:

*“La extinción es un proceso estocástico. Así, adjudicar a un taxón una categoría de alto riesgo de extinción implica una expectativa más alta de extinción y, dentro del margen de tiempo considerado, en una categoría de mayor amenaza es de esperar que se extingan un mayor número de taxones, que en una categoría de menor amenaza (en ausencia de*

---

<sup>32</sup> Basado en las CATEGORÍAS Y CRITERIOS DE LA LISTA ROJA DE LA UICN <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/RL-2001-001-2nd-Es.pdf>

actividades efectivas de conservación). Sin embargo, la persistencia de algún taxón de alto riesgo no significa necesariamente que su evaluación inicial fuera incorrecta. Todos los taxones clasificados como En Peligro Crítico cumplen los requisitos de En Peligro y Vulnerable, y todos aquellos clasificados como En Peligro cumplen igualmente los requisitos de Vulnerable. En conjunto, los taxones que se encuentran en estas tres categorías se describen como ‘amenazados’. Las categorías de taxones amenazados forman una parte del esquema general. El sistema permite incluir cualquier taxón en alguna de las categorías definidas”.

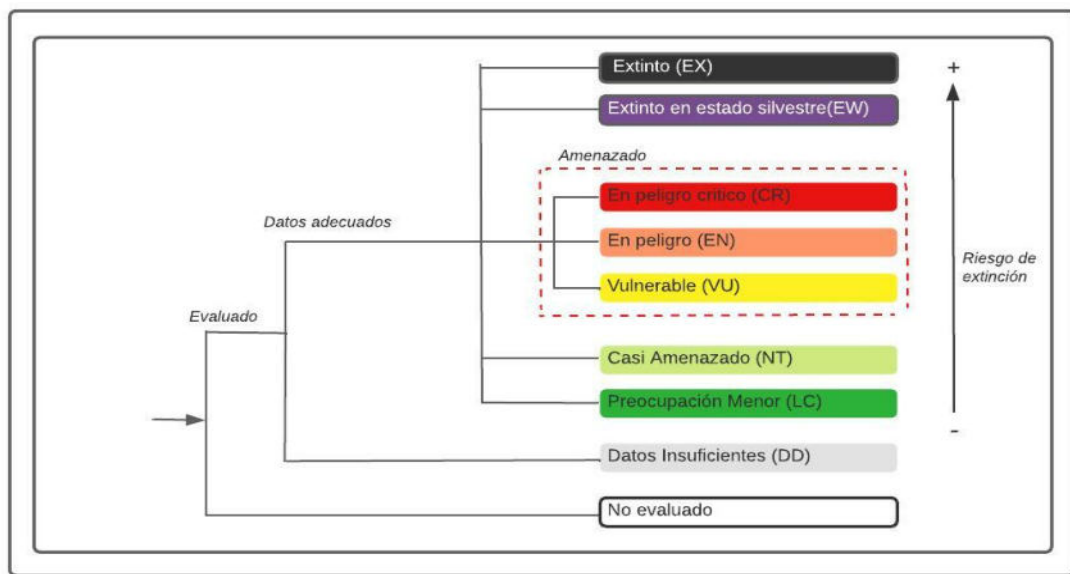


Figura 1. Estructura de las categorías y criterios de amenaza de la Lista Roja de especies. Fuente UICN<sup>33</sup>.

El resultado de la evaluación sobre las especies amenazadas, debe ser un listado de especies presentes dentro de los límites geográficos de la iniciativa de conservación, donde se establezca la categoría de riesgo.

En caso de que una especie no se encuentre en la Lista Roja de la UICN, se pueden utilizar otras bases de datos nacionales, regionales o locales haciendo mención a las fuentes de información utilizados para definir los criterios de amenaza de las especies.

Para el cálculo de las especies amenazadas, debe considerarse el valor correspondiente a cada categoría de riesgo según la Tabla 3, y se realiza la sumatoria de los valores de las

<sup>33</sup> Op. Cit. p. 5

categorías de riesgo para las que se tenga al menos una especie registrada en el paisaje o límites geográficos de la iniciativa. En la ecuación para la obtención de créditos, éstos se representan con la sigla EA (Especies Amenazadas).

### 13.3.2 Altos Valores de Conservación (AVC)

El titular de la iniciativa de conservación debe demostrar que en los límites geográficos del área de la iniciativa se encuentran Altos Valores de Conservación (AVC por su sigla en inglés)<sup>34</sup>. Según la red HCV “*un AVC es un valor biológico, ecológico, social o cultural excepcionalmente significativo o de importancia crítica*”.

Los titulares de las iniciativas de conservación de biodiversidad deben presentar una evaluación rigurosa de los AVC, interpretando los resultados con base en el principio de precaución<sup>35</sup>. Para llevar a cabo la evaluación sobre los AVC se recomienda emplear lo descrito en el Estándar FSC versión 5.0 (Principio 9: altos valores de conservación)<sup>36</sup>.

La identificación de los AVC consiste en interpretar lo que las definiciones de AVC significan en el área de la iniciativa de conservación, y demostrar cuales están representadas en los sitios de la iniciativa de conservación (Tabla 4).

Tabla 4. Altos Valores de Conservación

Categoría AVC	Definición
AVC 1	Diversidad de especies Concentraciones de diversidad biológica que contengan especies endémicas o especies raras, amenazadas o en peligro de extinción, y que son de importancia significativa a escala global, regional o nacional.
AVC 2	Ecosistemas y mosaicos a escala de paisaje Ecosistemas y mosaicos de ecosistemas de gran tamaño a escala de paisaje e importantes a escala global, regional o nacional, y que contienen poblaciones viables de la gran mayoría de las especies presentes de manera natural bajo patrones naturales de distribución y abundancia.
AVC 3	Ecosistemas y hábitats Ecosistemas, hábitats o refugios raros, amenazados o en peligro.

<sup>34</sup> El concepto de Alto Valor de Conservación (AVC) fue definido por el Forest Stewardship Council -FSC (1996) sus Principios y Criterios. Actualmente, los AVC se basan en los criterios definidos por la red High Conservation Value (HCV). <https://www.hcvnetwork.org/>

<sup>35</sup> Principio 15. Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Disponible en: <https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/riodeclaration.htm>

<sup>36</sup> <https://connect.fsc.org/document-centre/documents/resource/392>

Categoría AVC	Definición
AVC 4	Servicios ecosistémicos Servicios básicos del ecosistema en situaciones críticas, como la protección de áreas de captación de agua y el control de la erosión de suelos y laderas vulnerables.
AVC 5	Necesidades de las comunidades Sitios y recursos fundamentales para satisfacer las necesidades básicas de las comunidades locales o grupos indígenas (para sus medios de vida, la salud, la nutrición, el agua, etc.), identificados mediante el diálogo con dichas comunidades o pueblos indígenas.
AVC 6	Valores culturales: Sitios, recursos, hábitats y paisajes significativos por razones culturales, históricas o arqueológicas a escala global o nacional, o de importancia cultural, ecológica, económica, o religiosa o sagrada crítica para la cultura tradicional de las comunidades locales o pueblos indígenas.

Fuente: BioCarbon, 2025<sup>37</sup>

Todo esto se hace a través de una evaluación de AVC, que consiste en una consulta a las partes interesadas, el análisis de la información existente y la recopilación de información adicional cuando sea necesario.

Las evaluaciones de AVC deberían dar lugar a un informe claro de la presencia o ausencia de valores, su ubicación, estatus y condición, y en la medida de lo posible deberían proporcionar información sobre las áreas de hábitat, los recursos clave y las áreas críticas que mantienen dichos valores. Todo esto se utilizará para desarrollar recomendaciones de manejo que aseguren que los AVC se mantengan o incluso se mejoren.

Para obtener el valor de AVC se realiza la sumatoria del o las categorías identificadas asignando el Valor (Tabla 4) identificado dentro del ecosistema. Se calcula mediante la Ecuación 10.

$$AVC_{total} = \sum AVC \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

AVC = Categorías Altos Valores de Conservación (AVC)

---

<sup>37</sup> Con base en FSC. Disponible en: <https://connect.fsc.org/document-centre/documents/resource/392>

### 13.4 Diversidad del paisaje<sup>38</sup>

La ecología del paisaje aborda las interacciones entre los patrones espaciales de los ecosistemas y los procesos ecológicos que se producen en ellos. Este enfoque evalúa cómo la estructura y la composición del paisaje influyen en la distribución y abundancia de las especies, así como en las dinámicas de los ecosistemas.

Un concepto clave, en esta evaluación, es el de los *parches del paisaje*, que hace referencia a la combinación de diferentes tipos de hábitats y ecosistemas presentes en un área. Estos parches incluyen bosques, praderas, cuerpos de agua, áreas urbanas y otros tipos de coberturas. La disposición y conectividad de estos elementos determinan la movilidad de las especies, la disponibilidad de recursos y, en general, la funcionalidad ecológica del paisaje.

La ecología del paisaje también se ocupa de los efectos de las actividades humanas, como la agricultura, la urbanización y la deforestación, sobre la estructura y composición de los paisajes naturales. Estos cambios pueden fragmentar los hábitats, reducir la biodiversidad y alterar procesos ecológicos clave.

En este contexto, la evaluación de la diversidad del paisaje resulta fundamental para comprender cómo los diferentes componentes interactúan entre sí y cómo estas interacciones afectan la biodiversidad y la integridad de los ecosistemas.

La diversidad del paisaje debe ser calculada a partir de un mapa de coberturas y usos del suelo, clasificando cada tipo de cobertura o uso dentro del área de la iniciativa de conservación. Para estimar los índices de paisaje, se recomienda el uso de herramientas de modelación espacial como FragScape, Fragstat, GRASS GIS, Patch Analyst, V-Late u otros modelos adecuados que permitan cuantificar métricas de paisaje.

Al analizar la diversidad del paisaje, deben considerarse los siguientes aspectos:

- (a) **Composición del Paisaje:** Se refiere a la variedad y abundancia de las clases, parches y ecosistemas presentes en el paisaje. Este componente se enfoca en identificar cuáles elementos están presentes y en qué proporción relativa (Figura 1).

---

<sup>38</sup> Descripciones y ecuaciones basadas y modificadas de Fragstats. Disponible en: <https://www.fragstats.org/index.php/documentation>

- (b) Estructura del Paisaje: Hace referencia a la organización espacial de los parches y categorías de cobertura dentro del paisaje, así como las relaciones espaciales entre ellos. La estructura incluye métricas como la conectividad, la forma y el tamaño de los parches, al igual que las distancias entre ellos y su configuración en el espacio.

La comprensión y el monitoreo de la diversidad del paisaje permiten identificar áreas clave para la conservación, evaluar los impactos de actividades humanas y diseñar estrategias para mantener o restaurar la funcionalidad ecológica de los ecosistemas en el contexto de las iniciativas de conservación.

### 13.4.1 Porcentaje de paisaje (PLAND)

El porcentaje de paisaje cuantifica la abundancia proporcional de cada tipo de parche en un área determinada. Al igual que el área total de clase, esta medida es crucial para entender la composición del paisaje en diversas aplicaciones ecológicas. Sin embargo, dado que PLAND es una medida relativa, resulta más apropiada para comparar la composición del paisaje entre áreas de diferentes tamaños que el área de clase.

PLAND se acerca a 0 cuando la clase correspondiente se vuelve progresivamente escaso en el paisaje. PLAND = 100 cuando todo el paisaje está compuesto por un solo tipo de parche; es decir, cuando se presenta una única clase. Se calcula mediante la Ecuación 11.

$$PLAND = P_j = \frac{\sum_{k=1}^{NP} (a_{kj})}{lnA} \tag{Ecuación 11}$$

Donde:

- $P_j$  = Porción de paisaje ocupado por la clase  $j$  (decimales)
- $a_{kj}$  = Área del parche  $k$  de la clase  $j$  (m<sup>2</sup>)
- $A$  = Área total del paisaje (m<sup>2</sup>)

### 13.4.2 Dimensión Fractal del Perímetro-Área (PAFRAC)

Es una métrica que describe la complejidad de las formas de los parches en un paisaje, evaluando la relación entre el perímetro y el área de un parche. Esta métrica permite dar información sobre la heterogeneidad del paisaje y sobre dinámicas ecológicas, como la fragmentación del hábitat y la conectividad entre parches. Se calcula con la Ecuación 12.

Ecuación 12



*PAFRAC*

$$= \frac{2 \left[ NP \sum_{j=1}^{NC} \sum_{k=1}^{NP} (\ln(p_{kj})) (\ln(a_{kj})) \right] - \left[ \sum_{j=1}^{NC} \sum_{k=1}^{NP} (\ln(p_{kj})) \right] \left[ \sum_{j=1}^{NC} \sum_{k=1}^{NP} (\ln(a_{kj})) \right]}{\left( \sum_{k=1}^{NP} (\ln(p_{kj})) \right)^2 - \left( \sum_{k=1}^{NP} (\ln(a_{kj})) \right)^2}$$

Donde:

- PAFRAC* = Dimensión fractal de perímetro-área
- $a_{kj}$  = Área del parche k de la clase j (m<sup>2</sup>)
- $p_{kj}$  = Perímetro del parche k de la clase j (m)
- NP* = Número total de parches en el paisaje
- NC* = Número total de clases en el paisaje

### 13.4.3 Índice de Contagio (CONTAG)

El Índice de Contagio es una medida utilizada en ecología y planificación del paisaje para evaluar la distribución espacial de los tipos de parches dentro de un paisaje. Este índice indica la tendencia de un tipo de parche a estar asociado con otros parches de la misma clase. Un valor alto, sugiere que los parches del mismo tipo están agrupados, lo que puede tener implicaciones para la conectividad del hábitat y la diversidad biológica. Por el contrario, un valor bajo, indica una mayor dispersión de los parches, lo que puede afectar la dinámica de las especies y la resiliencia del ecosistema. Se calcula con la Ecuación 13.

$$CONTAG = 1 + \frac{\sum_{m=1}^{NC} \sum_{n=1}^{NC} \left[ P_j \left( \frac{g_{mn}}{\sum_{j=1}^{NC} g_{mj}} \right) \right] \left[ \ln P_j \left( \frac{g_{mn}}{\sum_{j=1}^{NC} g_{mj}} \right) \right]}{2 \ln NC} \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

- CONTAG* = Índice de contagio
- $P_j$  = Porción del paisaje ocupado por la clase (ecuación 14)
- $g_{mn}$  = Número de adyacencias entre parches m y n
- NC* = Número total de clases en el paisaje

### 13.4.4 Índice de área central (CAI)

Es una medida utilizada para describir la calidad y la integridad de un hábitat en una determinada área o parche de paisaje. Este índice ayuda a evaluar la cantidad de “área central” dentro de un parche, que generalmente se considera la parte del hábitat que es

menos susceptible a los efectos negativos de los bordes (como la invasión de especies no nativas, el aumento de la depredación o las fluctuaciones de temperatura más extremas). El CAI a nivel de parche se calcula con la Ecuación 14.

$$CAI_k = \frac{a_{kj}^{core}}{a_{kj}}(100) \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

- $CAI$  = Índice de área central (porcentaje)
- $a_{kj}^{core}$  = Área central del parche k de la clase j (m<sup>2</sup>). Core corresponde al área central (núcleo ó centro) y k (parche) de las clases j
- $a_{kj}$  = Área del parche k de la clase j (m<sup>2</sup>)

Una vez determinado los valores a nivel parche se procederá a realizar el cálculo mediante **promedio del índice de área central** ( $CAI_{mean}$ ), el cual es una medida que describe la cantidad promedio de área central dentro de un conjunto de parches o fragmentos de hábitat en un paisaje. En otras palabras, es el valor promedio del porcentaje de área central de varios parches cuando se calcula el índice de área central (CAI) para cada uno de ellos. Se calcula con la Ecuación 15.

$$CAI_{mean} = PromCAI_k \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

- $CAI_{mean}$  = Promedio del Índice de área central (nivel paisaje)
- $CAI_k$  = Índice de área central (nivel parche)

#### 13.4.5 Índice de Simpson (SIDI)

Este índice se centra en la proporción de diferentes tipos de parches y es menos sensible a la presencia de tipos poco comunes parches, lo que lo convierte en una opción útil cuando se desea evaluar la diversidad general sin que los tipos raros influyan demasiado en el resultado.

El valor del índice de Simpson representa la probabilidad de que, al seleccionar dos píxeles al azar de un paisaje determinado, estos correspondan a diferentes tipos de clases. Un valor más alto indica una mayor diversidad, lo que sugiere una variedad más rica de clases en el paisaje, mientras que un valor más bajo sugiere que el paisaje está dominado por pocos. Se calcula con la Ecuación 16.

$$SIDI = \sum_{j=1}^{NC} P_j^2$$

Ecuación 16

Donde:

$SIDI$  = Índice de Simpson

$P_j$  = Proporción del paisaje ocupado por la clase  $j$  (decimales)

El índice de diversidad de Simpson tiene un rango de valores que varía entre 0 y 1, en este caso se presenta en forma invertida ( $D = 1 -$  índice de Simpson) para facilitar la interpretación.

## 14 Cuantificación de los BioCréditos

El titular de la iniciativa debe demostrar y cuantificar los resultados de conservación de la biodiversidad utilizando las métricas descritas en la sección 12 (diversidad especies y paisaje). Estos cálculos deben reflejar la mejora o mantenimiento sostenido de la diversidad biológica, así como la resiliencia y la salud de los ecosistemas dentro de los límites geográficos de la iniciativa de conservación.

### 14.1 Métricas y rango de valores ajustados

Una vez obtenidos los valores de los indicadores previamente descritos, éstos deben ajustarse para que se encuentren dentro de los rangos establecidos para cada métrica (Tabla 5).

Tabla 5. Resumen de los límites mínimos y máximos a para cada una de las métricas

Indicador	Límites	Ajuste	Límites ajustados
Índice gamma ( $\gamma$ )	$0 < \gamma < \infty$	Sin ajuste	$0 < \gamma < \infty$
Dominancia de lambda ( $D_\lambda$ )	$0 < D_\lambda < 1$	Sin ajuste	$0 < D_\lambda < 1$
Índice de Pielou ( $J'$ )	$0 < J' < 1$	Sin ajuste	$0 < J' < 1$
Dimensión fractal de perímetro-área (PAFRAC)	$1 < PAFRAC < 2$	$PAFRAC - 1$	$0 < PAFRAC < 1$
Índice de contagio (CONTAG)	$0 < CONTAG < 100$	$\frac{contag}{100}$	$0 < CONTAG < 1$

Indicador	Límites	Ajuste	Límites ajustados
Promedio del índice de área central $CAI_{mean}$	$0 < CAI_{mean} < 100$	$\frac{CAI_{mean}}{100}$	$0 < CAI_{mean} < 1$
Índice de Simpson (SIDI)	$0 < SIDI < 1$	Sin ajuste	$0 < SIDI < 1$

Fuente: BioCarbon, 2025

## 14.2 Ajuste de los valores EA y AVC

Para los valores designados para las Especies Amenazadas (EA) y los Altos Valores de Conservación se utilizan las siguientes tablas.

### 14.2.1 Especies Amenazadas (EA)

Para las Especies Amenazadas (EA), se aplica la sumatoria de las diferentes categorías presentes en el ecosistema (Tabla 6).

Tabla 6. Especies amenazadas (EA)

Categoría	Símbolo	Valor
En Peligro Crítico	EN	5
Vulnerable	VU	4
Casi Amenazada	NT	3
Preocupación Menor	LC	2
Datos Insuficientes	DD	1
No Evaluado	NE	1

### 14.2.2 Altos Valores de Conservación (AVC)

Para los Altos Valores de Conservación (AVC) (numeral 12.3.2), se consideran las seis categorías de AVC (Tabla 4) con ajuste por medio de un valor de dos (2) para todas las categorías. Si se identifican una o más categorías, presentes dentro del ecosistema, se suman.

## 14.3 Cálculo de los BioCréditos

### 14.3.1 Por periodo de monitoreo

Los créditos de biodiversidad, por periodo de monitoreo, se calculan utilizando la Ecuación 17.

$$BioCréditos = \frac{\left[ \sum_{ODC=1}^{ODC=n} \frac{(\gamma)[EA]}{1 - \left(\frac{D_\lambda + J'}{2}\right)} \right] [AVC_{total}]}{1 - \left(\frac{PAFRAC + CONTAG + CAI_{mean} + SIDI}{4}\right)} \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

<i>BioCréditos</i>	=	Créditos de biodiversidad voluntarios
$\gamma$	=	Índice gamma
<i>EA</i>	=	Especies amenazadas
$D_\lambda$	=	Dominancia de lambda
$J'$	=	Índice de Pielou
<i>AVC</i>	=	Altos Valores de Conservación
<i>PAFRAC</i>	=	Dimensión fractal de perímetro-área
<i>CONTAG</i>	=	Índice de contagio
$CAI_{mean}$	=	Promedio del índice de área central
<i>SIDI</i>	=	Índice de Simpson (paisaje)
<i>ODC</i>	=	Objeto de Conservación

### 14.3.2 Por unidad espacial mínima (UEM)

Los BioCréditos calculados durante el periodo de monitoreo, por Unidad Espacial Mínima, se calculan mediante la Ecuación 18.

$$BioCréditos_{UEM} = \frac{Biocréditos_{pm}}{A} \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde:

$BioCréditos_{UEM}$	=	BioCréditos, por unidad espacial mínima; ha
$BioCréditos_{pm}$	=	BioCréditos, por periodo de monitoreo; sin dimensión
<i>A</i>	=	Área de la iniciativa de conservación; ha

## 15 Plan de monitoreo

Como parte del documento iniciativa de conservación (CID por sus siglas en inglés), los titulares de las iniciativas deben presentar un plan de monitoreo que, como mínimo, contenga lo siguiente:

- (a) los datos y la información necesaria para calcular los créditos de biodiversidad;
- (b) los datos y la información complementaria para determinar la línea base de biodiversidad;
- (c) la información relacionada con la evaluación y gestión de riesgos;
- (d) los procedimientos establecidos para la gestión de los resultados de los créditos de biodiversidad y lo relacionado con el control de calidad para las actividades de monitoreo;
- (e) descripción de los procedimientos definidos para el cálculo periódico de los créditos de biodiversidad;
- (f) la asignación de roles y de responsabilidades del monitoreo y reporte de las variables relevantes para la estimación de los créditos de biodiversidad
- (g) los procedimientos relacionados con la evaluación sobre la contribución de la iniciativa de conservación de biodiversidad a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS);
- (h) los procedimientos necesarios para hacer seguimiento a las estrategias de adaptación al cambio climático;
- (i) los criterios e indicadores relacionados con el aporte de la iniciativa a los objetivos de desarrollo sostenible, aplicables a las actividades propuestas por el titular de la iniciativa;

El plan de monitoreo debe estructurarse adecuadamente y de conformidad con:

- (a) las circunstancias nacionales y el contexto de la iniciativa de conservación de biodiversidad;
- (b) las buenas prácticas de monitoreo, adecuadas para el seguimiento y control de las actividades de la iniciativa de conservación de biodiversidad;

- (c) los procedimientos para asegurar la calidad de los datos.

Adicionalmente, el plan de monitoreo debe prever la recopilación de todos los datos relevantes necesarios para:

- (a) verificar que se han cumplido las condiciones de aplicabilidad enumeradas en la sección 5 de este documento;
- (b) comprobar los cambios con respecto a las condiciones de línea base, asociados a las actividades de la iniciativa de conservación;
- (c) hacer seguimiento a los riesgos identificados y a la debida gestión de los mismos;
- (d) la contribución de la iniciativa de conservación de biodiversidad a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS);
- (e) el cumplimiento de las Salvaguardas de Desarrollo Sostenible (SDS);
- (f) hacer seguimiento a las estrategias de adaptación al cambio climático.

El plan de monitoreo debe incluir el seguimiento a los indicadores cualitativos y cuantitativos asociados a la estructura, composición y funcionalidad de los ecosistemas, y las demás variables de análisis, incluyendo la descripción del indicador, la unidad de medida, así como la periodicidad y el responsable de la medición.

Los indicadores propuestos deben ser consistentes con el levantamiento de información de la línea base, cuyo objetivo es el monitoreo de los resultados de las actividades de conservación, así como la evaluación de las actividades de conservación y las estrategias de adaptación propuestas.

El titular de la iniciativa de conservación de la biodiversidad puede determinar la periodicidad de los monitoreos, teniendo en cuenta su(s) Objetivos de Conservación y el diseño para la aplicación de las métricas de cuantificación. Sin embargo, los periodos de monitoreo nunca deben mayores de cinco (5) años, o menores de 1 año.

## **16 Gestión del riesgo**

Los titulares de las iniciativas de conservación de biodiversidad deben evaluar los riesgos relacionados con la implementación de las actividades de conservación, en los ámbitos ambiental, financiero y social.

De acuerdo con la identificación de riesgos en estas tres dimensiones, el titular de la iniciativa debe diseñar medidas para gestionar los riesgos, de modo la cuantificación de los créditos de biodiversidad se mantenga similares o superiores durante y después de la duración de las actividades de conservación de la iniciativa.

En este sentido, el titular de la iniciativa de conservación de biodiversidad debe:

- (a) determinar el contexto, definiendo el alcance y los criterios requeridos para la gestión del riesgo;
- (b) identificar los posibles riesgos naturales y antrópicos a que pueden verse enfrentadas las acciones de conservación y determinar las medidas necesarias para mitigar tales riesgos;
- (c) identificar los posibles riesgos financieros relacionados con costos e inversiones previstos, así como los flujos de caja de la iniciativa de conservación y definir las medidas necesarias para mitigar los riesgos financieros;
- (d) determinar, a mediano y corto plazo, los riesgos asociados a la participación de las comunidades locales y las partes interesadas en las actividades propuestas en la iniciativa de conservación de biodiversidad;
- (e) cuantificar el riesgo, en cada uno de los componentes antes descritos.

El titular de la iniciativa de conservación debe emplear metodologías apropiadas para llevar a cabo la evaluación de los riesgos previstos (directos e indirectos) y considerar medidas de mitigación, en el marco de una gestión adaptativa.

La gestión adaptativa es un proceso mediante el cual, las actividades de conservación y sus acciones específicas pueden adaptarse a las condiciones futuras para garantizar el logro de los objetivos propuestos. Es un proceso estructurado de toma de decisiones, que considera las variables de incidencia con el objetivo de reducir la incertidumbre sobre los resultados.

El titular de la iniciativa de conservación debe incluir un resumen de los riesgos y las medidas de gestión en un esquema de matriz/tabla, haciendo referencia a un plan o procedimiento específicos del plan de acción de la iniciativa.



## 17 Manejo de la incertidumbre

El titular de la iniciativa de conservación debe tener en cuenta la incertidumbre, documentando las fuentes de la información, la consistencia y pertinencia de los datos y los resultados relacionados con la cuantificación de los créditos de biodiversidad.

Debe llevarse a cabo un análisis de incertidumbre mediante un modelo apropiado y justificando la elección de las variables relacionadas con dicha evaluación (Anexo 2).

## 18 Permanencia

En el marco del cumplimiento de los objetivos y actividades de conservación y acciones específicas propuestas, el titular de la iniciativa debe demostrar que la ejecución de la iniciativa cuenta con una base jurídica y financiera que garantiza su ejecución a mediano y largo plazo.

El apropiado manejo de los elementos que componen la viabilidad a largo plazo de las iniciativas de conservación comprende, entre otros, lo siguiente:

- (a) Marcos legales e institucionales (al igual que el cumplimiento de los mismos), como instrumentos adecuados para la minimización de riesgos asociados a la permanencia de las actividades de la iniciativa de conservación;
- (b) Roles y responsabilidades definidos para la ejecución y el seguimiento a las actividades de conservación;
- (c) Marco legal que incluye acuerdos rigurosos que garanticen el reconocimiento de los derechos sobre los créditos de biodiversidad;
- (d) Rigurosidad, exigencia y aseguramiento de la calidad durante el proceso de registro y emisión de los créditos de biodiversidad;
- (e) Supervisión, seguimiento y manejo de las actividades de la iniciativa de conservación de biodiversidad.

## Anexo 1. Algunas referencias de información

Se proporcionan guías, no exclusivas, sobre métodos y técnicas para recopilación de información sobre biodiversidad y paisaje. La naturaleza de la ciencia y los enfoques metodológicos requiere que los métodos y técnicas utilizados se actualicen y adapten conforme evolucionen las herramientas y el conocimiento disponible. Por lo tanto, es esencial mantener flexibilidad y adecuar las estrategias a las necesidades específicas de las iniciativas y los avances científicos.

Si el titular de la iniciativa cuenta equipos o técnicas de mayor precisión, estos también son válidos, siempre que se utilicen de forma consistente y sistemática durante los periodos de monitoreo. Aquí se incluyen algunos referentes de técnicas y métodos de monitoreo de la biodiversidad y paisaje.

<b>Monitoreo de biodiversidad</b>	Hill, D.; Fasham M., Tucker G., Shewry M, Shaw P. (2005). <i>Handbook of biodiversity methods: Survey, evaluation and monitoring</i> . Cambridge University Press.
	Nicholson, E.; Watermeyer, KE.; Rowland, JA.; Sato, CF.; Stevenson, SL.; Andrade, A.; Brooks, TM.; Burgess, ND.; Cheng, ST.; Grantham, HS.; Hill, SL.; Keith, DA.; Maron, M.; Metzke, D.; Murray, NJ.; Nelson, CR.; Obura, D.; Plumptre, A.; Skowno, AL.; Watson, JEM. (2021). Scientific foundations for an ecosystem goal, milestones and indicators for the post-2020 global biodiversity framework. <i>Nat Ecol Evol</i> 5(10), 1338-1349. <a href="https://doi.org/10.1038/s41559-021-01538-5">https://doi.org/10.1038/s41559-021-01538-5</a>
	Czúcz, B.; Keith, H.; Driver, A.; Jackson, B.; Nicholson, E.; Maes, J. (2021). A common typology for ecosystem characteristics and ecosystem condition variables. <i>One Ecosystem</i> 6: e58218. <a href="https://doi.org/10.3897/oneeco.6.e58218">https://doi.org/10.3897/oneeco.6.e58218</a>
	Sánchez-Clavijo, et al. (2024). Monitoreo de la biodiversidad colombiana. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 1 edición. - Bogotá, D.C. 356 p. ISBN digital: 978-628-7721-33-3.
	UNEP-WCMC (on behalf of the Aligning Biodiversity Measures for Business initiative). (2019). Discussion Paper 1 for the Technical Workshop on Aligning Biodiversity Measures for Business: Identifying common ground between corporate biodiversity measurement approaches. <a href="https://www2.unep-">https://www2.unep-</a>

	<p>wcmc.org//system/comfy/cms/files/files/ooo/001/608/original/1_Aligning_Biodiversity_Measures_for_Business_Brazil_Workshop_DiscussionPa....pdf#page=1.13</p>
	<p>Navarro, LM.; Fernández, N.; Guerra, C.; Guralnick, R.; Kissling, WD.; Londoño, MC.; ... &amp; Pereira, HM. (2017). Monitoring biodiversity change through effective global coordination. <i>Current opinion in environmental sustainability</i>, 29, 158-169. <a href="https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.02.005">https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.02.005</a></p>
	<p>Jungmeier, M. and Arpa, NY. (2022). Guidelines for biodiversity monitoring. Ankara, FAO and MAF. <a href="https://doi.org/10.4060/cb8370en">https://doi.org/10.4060/cb8370en</a></p>
<p><b>Evaluación paisaje</b></p>	<p>Venter, O.; Sanderson, EW.; Magrath, A.; Allan, JR.; Beher, J.; Jones, KR.; Possingham, HP.; Laurance, WF.; Wood, P.; Fekete, BM.; Levy, MA.; Watson, JE. (2016). Sixteen years of change in the global terrestrial human footprint and implications for biodiversity conservation. <i>Nat Commun</i> 7, 12558. <a href="https://doi.org/10.1038/ncomms12558">https://doi.org/10.1038/ncomms12558</a></p>
	<p>Schipper, AM.; Hilbers, JP.; Meijer, JR.; Antão, LH.; Benítez-López, A.; de Jonge, MMJ.; Leemans, LH.; Scheper, E.; Alkemade, R.; Doelman, JC.; Mylius, S.; Stehfest, E.; van Vuuren, DP.; van Zeist, WJ.; Huijbregts, MAJ. (2020). Projecting terrestrial biodiversity intactness with GLOBIO 4. <i>Glob Chang Biol</i>. 26(2):760-771. <a href="https://doi.org/10.1111/gcb.14848">https://doi.org/10.1111/gcb.14848</a></p>
	<p>Hill, S. L.; Harrison, M. L. K.; Maney, C.; Fajardo, J.; Harris, M.; Ash, N.; ... &amp; Burgess, N. (2023). The ecosystem integrity index: A novel measure of terrestrial ecosystem integrity. <i>BioRxiv</i>, 2022-08. <a href="https://doi.org/10.1101/2022.08.21.504707">https://doi.org/10.1101/2022.08.21.504707</a></p>
	<p>Maes, J.; Bruzón, A.G.; Barredo, J.I. <i>et al.</i> (2023). Accounting for forest condition in Europe based on an international statistical standard. <i>Nat Commun</i> 14, 3723. <a href="https://doi.org/10.1038/s41467-023-39434-0">https://doi.org/10.1038/s41467-023-39434-0</a></p>

La aplicación de métodos y técnicas para la recopilación de información deben considerar lo siguiente:

- a) Planificación previa: Identificar zonas de muestreo según representatividad del ecosistema, el acceso logístico y objetivos del proyecto;

- b) Capacitación: asegurar que el personal cuente con la formación necesaria para el muestreo, identificación y manejo de muestras;
- c) Ética y minimización del impacto: evitar el daño innecesario sobre las especies y ecosistemas durante las actividades de campo;
- d) Registro: Documentar metadatos (fecha, hora, coordenadas, condiciones climáticas) junto con evidencia (pe. fotográfica, bioacústica o de videos);
- e) Permisos Ambientales: garantizar la autorización legal para realizar actividades de recolección y manejo de muestras según la normatividad vigente.

## Anexo 2. Referencias para el análisis de incertidumbre

<b>Modelos ecológicos</b>	Banos-Gonzalez, I.; Martínez-Fernández, J.; Esteve-Selma, M. -Á.; & Esteve-Guirao, P. (2018). Sensitivity Analysis in Socio-Ecological Models as a Tool in Environmental Policy for Sustainability. <i>Sustainability</i> , 10(8), 2928. <a href="https://doi.org/10.3390/su10082928">https://doi.org/10.3390/su10082928</a>
	Agudelo, C. A. R., Bustos, S. L. H., & Moreno, C. A. P. (2020). Modeling interactions among multiple ecosystem services. A critical review. <i>Ecological Modelling</i> , 429, 109103. <a href="https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109103">https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109103</a>
<b>Intervalos de confianza y desviación estándar</b>	Bolker, B. M. (2008). <i>Ecological models and data in R</i> (Vol. 396). Princeton University Press.
	EPA. (2009). Guidance on the Development, Evaluation, and Application of Environmental Models. <a href="https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockkey=P1003E4R.PDF">https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockkey=P1003E4R.PDF</a>
	Conroy, M. J., & Peterson, J. T. (2013). Decision making in natural resource management: a structured, adaptive approach. John Wiley & Sons. <a href="https://doi.org/10.1002/9781118506196">https://doi.org/10.1002/9781118506196</a>
<b>Análisis de sensibilidad para modelos ecológicos</b>	Wattenbach, M., Gottschalk, P., Hatterman, C., Rachimow, C., Flechsig, M., & Smith, P. (2006). A framework for assessing uncertainty in ecosystem models. <i>International Congress on Environmental Modeling and Software</i> . <a href="https://scholarsarchive.byu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3613&amp;context=iemssconference">https://scholarsarchive.byu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3613&amp;context=iemssconference</a>
	Saltelli, A., et al. (2008). <i>Global Sensitivity Analysis: The Primer</i> . John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA.
	Jankowski, P.; Ligmann-Zielińska, A.; Zwoliński, Z. and Najwer, A. An Integrated Uncertainty and Sensitivity Analysis for Spatial Multicriteria Models (Short Paper). In 12th International Conference on Geographic Information Science (GIScience 2023). Leibniz International Proceedings in Informatics (LIPIcs), Volume 277, pp. 42:1-42:6, Schloss Dagstuhl – Leibniz-Zentrum für Informatik (2023) <a href="https://doi.org/10.4230/LIPIcs.GIScience.2023.42">https://doi.org/10.4230/LIPIcs.GIScience.2023.42</a>
<b>Evaluación de la calidad de los datos de monitoreo</b>	Yoccoz, N. G., Nichols, J. D., & Boulinier, T. (2001). Monitoring of biological diversity in space and time. <i>Trends in ecology &amp;</i>

	<i>evolution</i> , 16(8), 446-453. <a href="https://doi.org/10.1016/S0169-5347(01)02205-4">https://doi.org/10.1016/S0169-5347(01)02205-4</a>
<p><b>Precisión en imágenes satelitales y mapas de uso del suelo</b></p>	<p>Foody, G. M. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. <i>Remote sensing of environment</i>, 80(1), 185-201. <a href="https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00295-4">https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00295-4</a></p>
	<p>Song, X. P. (2023). The future of global land change monitoring. <i>International Journal of Digital Earth</i>, 16(1), 2279-2300. <a href="https://doi.org/10.1080/17538947.2023.2224586">https://doi.org/10.1080/17538947.2023.2224586</a></p>

*Historial del documento*

Tipo de documento. **Documento Metodológico.**

Versión	Fecha	Naturaleza del documento
Documento para consulta pública	21 de noviembre de 2022	Versión inicial – Documento sometido a consulta pública
Versión 1.0	9 de enero de 2023	Documento actualizado Algunas aclaraciones y cambios editoriales menores
Versión 2.0	24 de febrero de 2024	Documento actualizado Periodo de cuantificación Actividades elegibles Periodos de monitoreo
Versión 3.0	23 de agosto de 2024	Documento actualizado Ecuaciones y factor multiplicador ajustados
Versión 4.0	27 de enero de 2025	Documento actualizado Algunas definiciones Modelo matemático para cuantificación de BioCréditos Referencias para consulta