



Indicadores de impacto para el seguimiento de las obligaciones de compensación y planes de inversión del 1%

**Subdirección de Instrumentos Permisos y Trámites
Ambientales**

Elaboró: Instituto Alexander von Humboldt (IAvH)¹

Revisó y adaptó: Subdirección de instrumentos permisos y
trámites ambientales

Jhon Infante Betancour
Ricardo Alexis López
Sarulux Valbuena López
Martha del Pilar Moreno

**Subdirección de seguimiento de licencias
ambientales**

Yesenia Vásquez
Omar Velandia
Diego Arcila

Oficina asesora jurídica

Omar David Mosquera
José Vicente Azuero

Aprobó: **Rodrigo Suarez Castaño**
Director General ANLA
Carlos A. Rodríguez Pardo
Subdirector Instrumentos Permisos y
Trámites Ambientales ANLA

Fecha: Julio 2021

¹Elaborado en el marco del programa Riqueza Natural de USAID, Convenio específico (IQS-002-STO-04) para apoyar a la ANLA, derivado del Convenio marco entre Chemonics INC. y el Instituto Humboldt (NW-IQS-17-002).

Tabla de contenido

Introducción	3
1. Porcentaje de área a compensar del total del área aprobada.....	4
2. Riqueza de especies clave (amenazadas, endémicas) de flora	6
3. Representatividad del muestreo.....	9
4. Riqueza de especies clave (amenazadas, endémicas, migratoria) (fauna)	12
5. Tasa de mortalidad (vegetal).....	16
6. Tasa de Reclutamiento (vegetal).....	18
7. Área basal	21
8. Densidad de parches de coberturas naturales.....	24
9. Variación de la superficie de las coberturas de la tierra	27
10. Índice de proximidad.....	29
11 Índice de forma promedio para coberturas naturales.....	34
12. Índice de Conectividad de coberturas naturales.....	37
13. Variación del carbono almacenado en áreas de compensaciones o de la inversión forzosa de no menos del 1%	40

Introducción

A continuación, se presentan los indicadores mínimos a tener como referencia para el seguimiento y la evaluación de las compensaciones del componente biótico y la inversión forzosa de no menos del 1%, con énfasis en las acciones de preservación y restauración ecológica. Para la aplicación de estos indicadores se debe tener en cuenta lo establecido en las fichas metodológicas que hacen parte del presente documento. En la **Tabla 1** se presenta el esquema de organización de los indicadores y en las siguientes secciones se presentan las fichas metodológicas detalladas.

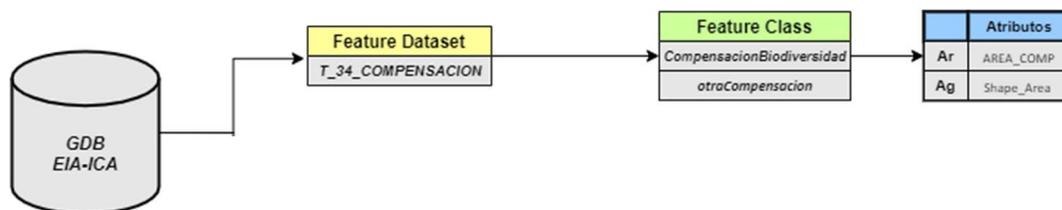
Tabla 1. Listado de indicadores de seguimiento para las compensaciones del componente biótico y la inversión forzosa de no menos del 1%

ID	Categoría	Indicador	Definición	Requerimiento aplicable	
				Compensación	Inversión 1%
Inv_cons_01	Gestión	Porcentaje de área a compensar del total del área aprobada	Área total de la compensación que está dentro del ecosistema equivalente	X	
Inv_cons_02	Composición de especies	Riqueza de especies clave (amenazadas, endémicas) de flora	Evalúa la presencia de especies clave de flora dentro de un área determinada	X	X
Inv_cons_03	Composición de especies	Representatividad del muestreo	Permite entender que tan fiable resultan los indicadores asociados a la composición de especies	X	
Inv_cons_04	Composición de especies	Riqueza de especies clave (amenazadas, endémicas, migratoria) (fauna)	Evalúa la presencia de especies clave de fauna dentro de un área determinada	X	
Inv_cons_05	Dinámica poblacional	Tasa de mortalidad (vegetal)	La cantidad o porcentaje de individuos que mueren después de un periodo de tiempo determinado	X	
Inv_cons_06	Dinámica poblacional	Tasa de reclutamiento (vegetal)	Está representado por el número de individuos que alcanzan el diámetro mínimo de registro a lo largo de un periodo	X	
Inv_cons_07	Estructura del ecosistema	Área basal	El área basal refleja de forma indirecta al estado de naturalidad de una cobertura particular	X	X
Inv_cons_08	Contexto Paisajístico	Densidad de parches de coberturas naturales	Describe qué tan fragmentado esta una clase de cobertura con respecto al área total del paisaje analizado	X	
Inv_cons_09	Contexto Paisajístico	Variación de la superficie de las coberturas de la tierra	Transiciones entre coberturas en un periodo de tiempo	X	
Inv_cons_10	Contexto Paisajístico	Índice de proximidad	Calcula la relación entre el área del parche y su cercanía a parches del mismo tipo de cobertura.	X	
Inv_cons_11	Contexto Paisajístico	Índice de forma promedio para coberturas naturales	Mide la relación que tendrán los fragmentos más complejos (en su forma) con los fragmentos menos complejos para los parches de un mismo tipo	X	
Inv_cons_12	Contexto Paisajístico	Índice de conectividad de coberturas naturales	Se refiere al grado en que el paisaje facilita o impide los flujos ecológicos	X	
Inv_cons_13	Servicios ecosistémicos	Variación del carbono almacenado en áreas de compensación y 1%	Indicador de mejora de la capacidad de almacenamiento del carbono	X	X

1. Porcentaje de área a compensar del total del área aprobada

Nombre del indicador	Porcentaje de área a compensar del total del área aprobada
Código indicador	Inv_cons_01
IDENTIFICACIÓN DEL INDICADOR	
Tipo de indicador (Eficiencia-Eficacia-Impacto)	Eficiencia
Uso Indicador	Cualquier interacción de las acciones de restauración para las compensaciones del componente biótico (general)
Periodicidad	Única vez (o según modificación del área de la compensación)
Temporalidad de aplicación	N/A
Escala geográfica cálculo del indicador (local-regional)	Área de compensación (local)
DESCRIPCIÓN DEL INDICADOR	
Definición	<p>Corresponde al área total de la compensación que está dentro del ecosistema equivalente siguiendo el “Cuánto” descrito en el manual de compensaciones del componente biótico (MADS, 2018) y que se establece formalmente en la resolución de aprobación de la licencia ambiental emitido por la ANLA.</p> <p>El cálculo se realiza a partir del área reportada por el solicitante en el atributo de la capa evaluada y se compara con el área de la geometría de los polígonos de la compensación establecidos en el plan de compensación.</p> <p>Se busca con este indicador comprobar el cumplimiento de los compromisos con respecto a la extensión en área de la compensación pactada con la autoridad.</p>
Fórmula de cálculo	<p>Acomp = (Ag/ Ar) x 100</p> <p>Acomp = Área compensada Ag = Área reportada en geometría Ar = Área reportada en documento</p>
Interpretación	<p>Acomp < 100%; el área de la geometría es menor al área del compromiso en la capa evaluada (<i>CompensacionBiodiversidad, otraCompensacion</i>)</p> <p>Acomp ≥ 100%; el área de la geometría es igual o mayor al área del compromiso en la capa evaluada (<i>(CompensacionBiodiversidad, otraCompensacion)</i>)</p>
FUENTES DE INFORMACIÓN (a partir del Modelo de Almacenamiento Geográfico Resolución 2182 de 2016)	
Diagrama Jerárquico información para el cálculo	

Importante: La información a la que se refiere este aparte está directamente relacionada con el Modelo de Almacenamiento Geográfico Resolución 2182 de 2016 o aquella que la modifique o sustituya. De igual forma el indicador puede ser usado con información que provenga de cualquier otra fuente.



OBSERVACIONES GENERALES

- Este indicador establece el porcentaje del área que se compensó dentro del ecosistema que fue afectado por las acciones del proyecto en cuestión, de acuerdo con lo establecido en la resolución de aprobación de la licencia ambiental y los polígonos de avance suministrados en el proceso de seguimiento. El valor reportado por el solicitante obedece a los cálculos realizados a partir de los factores de compensación, la aplicación de este factor a las áreas con vegetación secundaria y en los ecosistemas transformados. La veracidad de estos cálculos no compete a este indicador, sólo los valores numéricos presentados en las capas.

RUTINA EN LENGUAJE R EN LENGUAJE R PARA EL CÁLCULO (se adjunta el archivo. rmd (RStudio Team, 2019) con el mismo nombre del indicador)

BIBLIOGRAFÍA

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible -MADS. (2018). Manual de Compensaciones del Componente Biótico, Bogotá, D.C. Colombia

RStudio Team (2019). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>

2. Riqueza de especies clave (amenazadas, endémicas) de flora

Nombre del indicador	Riqueza de especies clave (amenazadas, endémicas) de flora
Código indicador	Inv_cons_02
IDENTIFICACIÓN DEL INDICADOR	
Tipo de indicador (Eficiencia-Eficacia-Impacto)	Impacto
Uso Indicador	Cualquier interacción (general)
Periodicidad	Cada 2 años o según lo aprobado en el plan de compensaciones del componente Biótico o en el Plan de inversión forzosa de no menos del 1%.
Escala temporal según el proyecto (≤ 3 años – >3años)	>3años
Escala geográfica cálculo del indicador (local-regional)	Área de compensación o de la inversión forzosa de no menos 1% (local)
DESCRIPCIÓN DEL INDICADOR	
Definición	<p>La riqueza ha sido, posiblemente, el indicador más común para referirse a la biodiversidad, ya que tiene en considera únicamente las especies presentes o registradas en un espacio (Moreno, 2001). Si bien, la riqueza de especies por sí sola no abarca los diversos aspectos de la biodiversidad, esta ha sido utilizada para referirse indirectamente a los procesos ecosistémicos (Hooper et al. 2005). En el caso de grupos taxonómicos o ecológicos (e.g. grupos funcionales) particulares, cambios en su riqueza podrían sugerir alteraciones en procesos ecológicos (e.g. aumento de regeneración natural de especies leñosas de densidad de madera alta), generando alertas tempranas de posibles transformaciones en los ecosistemas (The World Bank, 1998).</p> <p>Según SER (2004) se hace necesario la comparación con un escenario de referencia natural para evidenciar si se han alcanzado estados similares de sucesión. Para este fin se recomienda usar como escenario de referencia ya sea el ecosistema afectado por el proyecto, o uno en estado natural cerca o dentro del área de compensación.</p> <p>Las especies amenazadas se identificarán con base en las categorías EN, VU y CR de la IUCN tomando en consideración la categorización nacional para Colombia. Como especies endémicas se tomarán aquellas que tienen una distribución restringida a Colombia.</p>
Fórmula de cálculo	<p>Las especies claves que se usan para el cálculo de la riqueza son:</p> <p>SpA= Especies amenazadas SpE= Especies endémicas</p> <p>A partir de los muestreos en las áreas evaluadas se hace la sumatoria para las especies amenazadas y endémicas, donde:</p>

$\sum SpA$ = sumatoria de las especies amenazadas encontradas en el área evaluada
 $\sum SpE$ = sumatoria de las especies endémicas encontradas en el área evaluada

Entonces:

$$Scob = \sum \sum SpA, \sum SpE$$

$$Stot = \sum Scob1, Scob2, Scob3, \dots$$

Donde:

Scob = Riqueza de especies por cobertura

Stot = Riqueza de especies clave total

Metodología de cálculo

Según el tipo de muestreo (punto o transecto), identificar para cada uno, para cada cobertura, las especies clave (amenazadas, endémicas).

	Cobertura1	Cobertura2	Cobertura3	Cobertura4
Punto/				
Punto/				
Punto/Transecto 3				
.....				
Total				

Interpretación

$$\Delta Scob = Scob - Scob_{t-1} / Scob_{t-1}$$

$$\Delta Stot = Stot - Stot_{t-1} / Stot_{t-1}$$

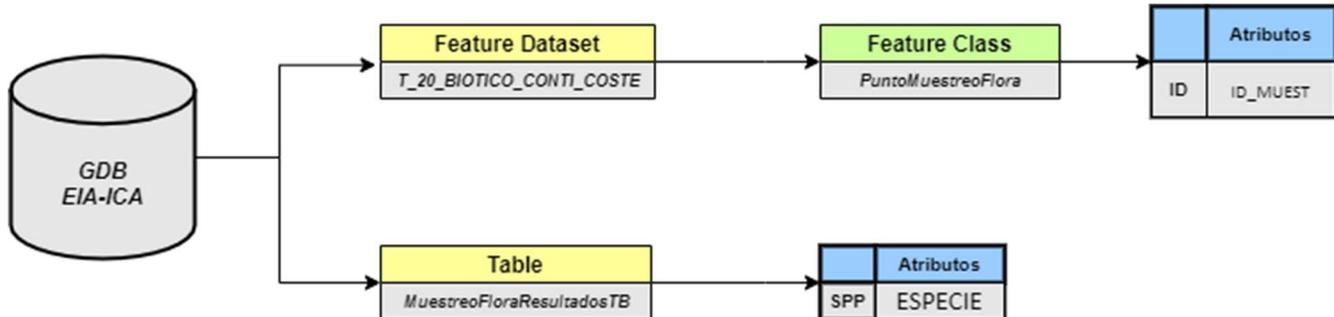
$\Delta Scob$ ó $\Delta Stot < 0$ La riqueza de especies vegetales disminuyó respecto a $t-1$

$\Delta Scob$ ó $\Delta Stot = 0$ La riqueza de especies vegetales se mantuvo respecto a $t-1$

$\Delta Scob$ ó $\Delta Stot > 0$ La riqueza de especies vegetales aumentó respecto a $t-1$

FUENTES DE INFORMACIÓN (a partir del Modelo de Almacenamiento Geográfico Resolución 2182 de 2016)

Importante: La información a la que se refiere este aparte está directamente relacionada con el Modelo de Almacenamiento Geográfico Resolución 2182 de 2016 o aquella que la modifique o sustituya. De igual forma el indicador puede ser usado con información que provenga de cualquier otra fuente.



OBSERVACIONES GENERALES

- Es importante que el solicitante cuente con una metodología para la selección de puntos para el inventario dentro del área que diferencia las diferentes Acciones-Modos/Mecanismos válidos de compensación e inversión forzosa de no menos del 1% para el cumplimiento de las obligaciones pactadas, esto para asegurar que los datos levantados con el inventario permitan tener una buena aproximación a los cambios logrados para toda el área de compensaciones e inversión forzosa de no menos del 1%.
- Es importante que los inventarios de flora incluyan categorías de tamaño y formas de vida de las especies que permitan evidenciar cambios derivados de las obligaciones pactadas (epifitas, helechos arborescentes, hierbas, plántulas y plántulas de especies forestales amenazadas de extinción, entre otros).

RUTINA EN LENGUAJE R PARA EL CÁLCULO (se adjunta el archivo. rmd (RStudio Team, 2019) con el mismo nombre del indicador)

BIBLIOGRAFÍA

Hooper, D.U., Chapin, F.S., III, Ewel, J.J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J.H., Lodge, D.M., Loreau, M., Naeem, S., Schmid, B., Setälä, H., Symstad, A.J., Vandermeer, J. and Wardle, D.A. (2005), EFFECTS OF BIODIVERSITY ON ECOSYSTEM FUNCTIONING: A CONSENSUS OF CURRENT KNOWLEDGE. Ecological Monographs, 75: 3-35. <https://doi.org/10.1890/04-0922>.

Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84 pp.

Society for Ecological Restoration (SER) International, Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas. 2004. Principios de SER International sobre la restauración ecológica. https://cdn.ymaws.com/www.ser.org/resource/resmgr/custompages/publications/SER_Primer/ser-primer-spanish.pdf

The World Bank. (1998). Guidelines for Monitoring and Evaluation for Biodiversity Projects. Springer Berlin Heidelberg. Retrieved from <http://siteresources.worldbank.org/INTBIODIVERSITY/214584-1110959186651/20611829/270310Guidlines0for0monitoring.pdf>

3. Representatividad del muestreo

Nombre del indicador	Representatividad del muestreo
Código indicador	Inv_cons_03
IDENTIFICACIÓN DEL INDICADOR	
Tipo de indicador (Eficiencia-Eficacia-Impacto)	Eficiencia
Periodicidad	Cada 1 año o según lo aprobado en el plan de compensaciones del componente Biótico o en el Plan de inversión forzosa de no menos del 1%.
Escala temporal según el proyecto (≤ 3años – >3años)	≤ 3años; >3años
Uso Indicador	Cualquier interacción (general)
Escala geográfica cálculo del indicador (local-regional)	Para el área donde se realizó la inversión forzosa de no menos del 1% (local)
DESCRIPCIÓN DEL INDICADOR	
Definición	<p>Las curvas de acumulación de especies y los índices de completitud construidos a partir de muestreos sistemáticos representan la forma más utilizada para medir la calidad de los inventarios de biodiversidad (Jiménez-Valverde & Hortal, 2003). Estas estimaciones, a través de los datos de composición y abundancia, permiten la obtención de valores de riqueza a través de variados estimadores estadísticos.</p> <p>Con el resultado de la estimación de riqueza, se propone el indicador de representatividad del muestreo que busca estimar qué tan completos son los muestreos realizados frente a una riqueza de especies estimada, permitiendo entender que tan fiables resultan los indicadores asociados a la composición de especies (Jiménez-Valverde & Hortal, 2003).</p>
Fórmula de cálculo	$\% \text{ Representatividad} = \frac{S_{obs}}{S_{est}} \times 100$ <p>Sobs= Riqueza observada</p> <p>Sest=Riqueza estimada</p>

Metodología de cálculo

Sobs= Riqueza observada corresponde al número de especies totales por grupo taxonómico registradas para el área de estudio a través de los muestreos realizados.

Sest=Riqueza estimada corresponde al número de especies estimadas por grupo taxonómico una vez se aplique uno de los siguientes métodos: 1) extrapolación de la curva de acumulación de especies, 2) estimadores paramétricos y 3) estimadores no paramétricos. El método seleccionado dependerá del tipo de datos que se tengan y al tipo de distribución que se ajusten. Para seleccionar el método de estimación recomendamos consultar:

- Magurran, A. E. (2003). *Measuring biological diversity*. John Wiley & Sons.

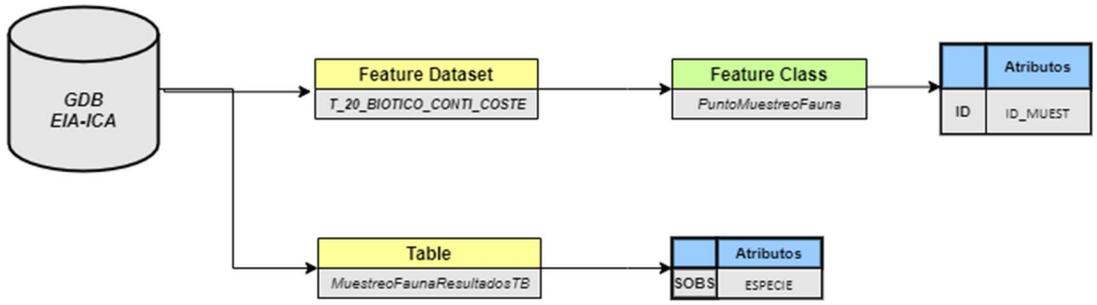
Interpretación

Un bajo valor del porcentaje de representatividad debe ser interpretado como una necesidad de ampliar el esfuerzo de muestreo o ajustar su método, pues quiere decir que los muestreos realizados no son suficientes o no han tenido los métodos adecuados para registrar un número suficiente de especies de un grupo taxonómico particular existente en el área de estudio, lo cual a su vez quiere decir que no tenemos certeza de los indicadores relacionados con la composición de especies.

Por el contrario, si el valor del porcentaje de representatividad es alto (esto depende del grupo taxonómico que se esté estudiando, pero generalmente se espera que el porcentaje supere el 80%) podemos tener confianza de que las muestras son representativas de las especies que en el área de estudio se encuentran, por lo tanto, se puede tener un mayor nivel de confianza en los indicadores relacionados con la composición de especies.

FUENTES DE LAS VARIABLES (a partir del Modelo de Almacenamiento Geográfico Resolución 2182 de 2016)

Importante: La información a la que se refiere este aparte está directamente relacionada con el Modelo de Almacenamiento Geográfico Resolución 2182 de 2016 o aquella que la modifique o sustituya. De igual forma el indicador puede ser usado con información que provenga de cualquier otra fuente.



Sest

No existen campos en GDB - Dependiendo del método de estimación de especies seleccionado se usa el número de individuos colectados en un evento de muestreo, o el número de eventos de muestreo realizado, relacionándolo con el número de especies observadas. Estos datos se encuentran en las bases de datos asociados a: PuntoMuestreoFauna, PuntoMuestreoFlora, TransectoFauna.

OBSERVACIONES GENERALES

- Los inventarios de biodiversidad sobre los cuales se calculará la representatividad del muestro son aquellos definidos en el apartado “Plan de monitoreo y seguimiento en función de la eficacia, eficiencia e impacto del programa de compensación” u otros que se definan en la implementación del plan de compensación.
- No existen campos relacionados en la GDB. Deben crearse campos relacionados al esfuerzo de muestreo para poder calcular la representatividad.

BIBLIOGRAFÍA

Jiménez-Valverde, A & Hortal, J., 2003. Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. Revista Ibérica de Aracnología.

Magurran, A. E. (2003). Measuring biological diversity. John Wiley & Sons. Oxford. 264p

4. Riqueza de especies clave (amenazadas, endémicas, migratoria) (fauna)

Nombre del indicador	Riqueza de especies clave (amenazadas, endémicas, migratoria) (fauna)
Código indicador	Inv_cons_04
IDENTIFICACIÓN DEL INDICADOR	
Tipo de indicador (Eficiencia-Eficacia-Impacto)	Impacto
Uso Indicador	Cualquier interacción (general)
Periodicidad	Cada 2 años o según lo aprobado en el plan de compensaciones del componente Biótico o en el Plan de inversión forzosa de no menos del 1%, teniendo en cuenta la estacionalidad de la región.
Escala temporal según el proyecto (≤ 3años – >3años)	>3años
Escala geográfica cálculo del indicador (local-regional)	Área de compensación o inversión forzosa de no menos 1% (local)
DESCRIPCIÓN DEL INDICADOR	
Definición	<p>La riqueza ha sido, posiblemente, el indicador más común para referirse a la biodiversidad, ya que tiene en considera únicamente las especies presentes o registradas en un espacio (Moreno, 2001). Si bien, la riqueza de especies por sí sola no abarca los diversos aspectos de la biodiversidad, esta ha sido utilizada para referirse indirectamente a los procesos ecosistémicos (Hooper et al. 2005). En el caso de grupos taxonómicos o ecológicos (e.g. gremios) particulares, cambios en su riqueza podrían sugerir alteraciones en procesos ecológicos (e.g. especies de importancia para la dispersión de semillas – Aves), generando alertas tempranas de posibles transformaciones en los ecosistemas (The World Bank, 1998).</p> <p>Identificar y monitorear las especies clave, que en este caso puntual incluye las especies amenazadas, endémicas y migratorias, permitirá en principio, evaluar el impacto de las medidas de compensación sobre estas especies que por sus características resultan ser más sensibles a cualquier alteración en su medio.</p> <p>Las especies amenazadas se identificarán con base en las categorías EN, VU y CR de la IUCN tomando en consideración la categorización nacional para Colombia. Las especies migratorias solamente podrán ser detectadas en una época del año, siendo recomendable que los muestreos de fauna tengan en cuenta esta consideración, y se consulte previamente modelos de distribución de especies (por ejemplo, las aves, que ya se encuentran disponibles en BioModelos del Instituto Alexander von Humboldt -IAvH-).</p>

Como especies endémicas se tomarán aquellas que tienen una distribución restringida a Colombia.

Fórmula de cálculo

Las especies claves que se usan para el cálculo de la riqueza son:

SpA= Especies amenazadas
 SpE= Especies endémicas
 SpM= Especies migratorias

A partir de los monitoreos en las áreas evaluadas se hace la sumatoria para las especies amenazadas, endémicas y migratorias, donde:

$\sum SpA$ = sumatoria de las especies amenazadas encontradas en el área evaluada
 $\sum SpE$ = sumatoria de las especies endémicas encontradas en el área evaluada
 $\sum SpM$ = sumatoria de las especies migratorias encontradas en el área evaluada

Entonces:

$$Scob = \sum \sum SpA, \sum SpE, \sum SpM$$

$$Stot = \sum Scob1, Scob2, Scob3, \dots$$

Donde:

Scob= Riqueza de especies de fauna clave por cobertura
 Stot= Riqueza de especies clave total

Metodología de cálculo

Según el tipo de muestreo (punto o transecto), identificar para cada uno, para cada cobertura, las especies clave (amenazadas, endémicas, migratorias).

	Cobertura	Amenazadas	Endémicas	Migratorias	Total
Punto/Transecto 1					
Punto/Transecto 2					
Punto/Transecto 3					
.....					
Total					

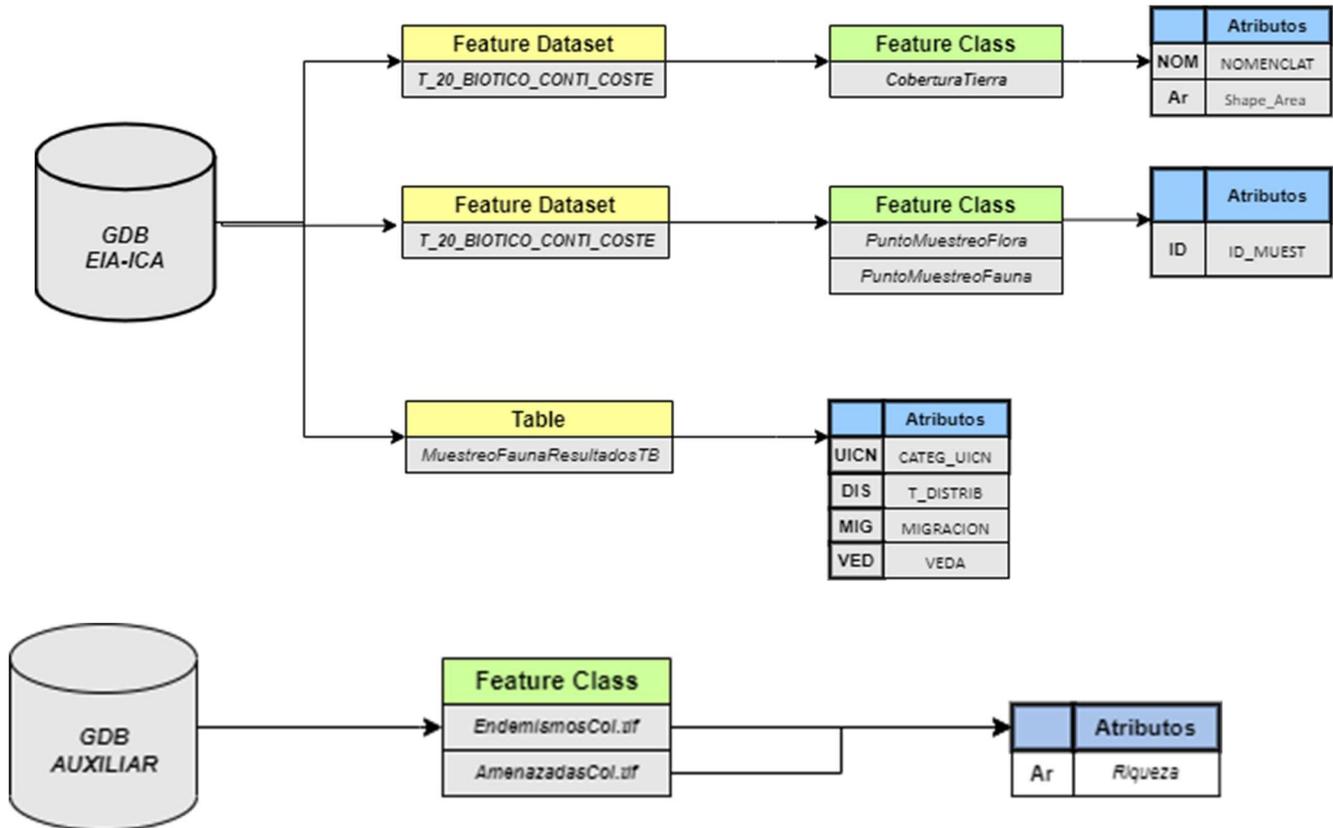
Interpretación

$\Delta Scob = Scob - Scob_{t-1} / Scob_{t-1}$
 $\Delta Stot = Stot - Stot_{t-1} / Stot_{t-1}$

$\Delta Scob$ ó $\Delta Stot < 0$ La presencia de especies clave disminuyó respecto a $t-1$
 $\Delta Scob$ ó $\Delta Stot = 0$ La presencia de especies clave se mantuvo respecto a $t-1$
 $\Delta Scob$ ó $\Delta Stot > 0$ La presencia de especies clave aumentó respecto a $t-1$

FUENTES DE LAS VARIABLES (a partir del Modelo de Almacenamiento Geográfico Resolución 2182 de 2016)

Importante: La información a la que se refiere este aparte está directamente relacionada con el Modelo de Almacenamiento Geográfico Resolución 2182 de 2016 o aquella que la modifique o sustituya. De igual forma el indicador puede ser usado con información que provenga de cualquier otra fuente.



OBSERVACIONES GENERALES

Se debe mantener la identidad de las especies seleccionadas desde el año 1 de monitoreo, independientemente de si su categoría de endemismo o de amenaza cambia.

Se recomienda realizar una consulta sobre la potencial presencia de las especies mediante la consulta de las especies amenazadas con los mapas de BioModelos o de la IUCN y de las listas de endémicas y migratorias (por ejemplo, en el caso de las aves) que se encuentran disponibles en BioModelos.

Es necesario hacer el reporte del método y esfuerzo de muestreo y la curva de acumulación de especies en caso de que el estudio lo incluya. Es necesario también que el muestreo sea suficientemente representativo de las condiciones ambientales en el área de estudio, que incluye temporadas secas y de lluvias, o represente las diferentes temporadas de migración boreal o austral.

RUTINA EN LENGUAJE R PARA EL CÁLCULO (se adjunta el archivo. rmd (RStudio Team, 2019) con el mismo nombre del indicador)

BIBLIOGRAFÍA

Hooper, D.U., Chapin, F.S., III, Ewel, J.J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J.H., Lodge, D.M., Loreau, M., Naeem, S., Schmid, B., Setälä, H., Symstad, A.J., Vandermeer, J. and Wardle, D.A. (2005), EFFECTS OF BIODIVERSITY ON ECOSYSTEM FUNCTIONING: A CONSENSUS OF CURRENT KNOWLEDGE. *Ecological Monographs*, 75: 3-35. <https://doi.org/10.1890/04-0922>

Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84 pp.

The World Bank. (1998). Guidelines for Monitoring and Evaluation for Biodiversity Projects. Springer Berlin Heidelberg. Retrieved from <http://siteresources.worldbank.org/INTBIODIVERSITY/214584-1110959186651/20611829/270310Guidlines0for0monitoring.pdf>

5. Tasa de mortalidad (vegetal)

Nombre del indicador	Tasa de mortalidad (vegetal)
Código indicador	Inv_cons_05
IDENTIFICACIÓN DEL INDICADOR	
Tipo de indicador (Eficiencia-Eficacia-Impacto)	Impacto
Uso Indicador	Específicos para Acción de Restauración (Restauración ecológica, Rehabilitación y Recuperación)
Periodicidad	Anual o según lo aprobado en plan de compensaciones del componente Biótico
Escala temporal según el proyecto (≤ 3años – >3años)	>3años
Escala geográfica cálculo del indicador (local-regional)	Área de compensación o inversión forzosa de no menos del 1% (local)
DESCRIPCIÓN DEL INDICADOR	
Definición	la mortalidad se expresa como la cantidad o porcentaje de individuos que mueren después de un periodo de tiempo determinado. (Tuezta <i>et al.</i> , 2018)
Fórmula de cálculo	$m = \left[\frac{\ln \left(\frac{N_0}{N_s} \right)}{t} \right]$ <p>Donde:</p> <p>m = tasa anual de mortalidad en % N₀ = Número de individuos al final del inventario N_s = Número de individuos sobrevivientes t = intervalo de tiempo ln = logaritmo natural</p> <p>se realiza el cálculo de la mortalidad para las especies usadas para la Revegetalización/reforestación según el PMA y se obtiene el promedio de mortalidad</p>
Interpretación	m = 0; La especie no sufrió mortalidad en el periodo de tiempo m > 0; la especie sufrió mortalidad de individuos

FUENTES DE INFORMACIÓN (a partir del Modelo de Almacenamiento Geográfico RES2182 de 2016)

Importante: la información a la que se refiere este aparte está directamente relacionada con el Modelo de Almacenamiento Geográfico Resolución 2182 de 2016 o aquella que la modifique o sustituya. De igual forma el indicador puede ser usado con información que provenga de cualquier otra fuente.

La información de mortalidad vegetal no se encuentra registrada dentro del modelo de almacenamiento geográfico. Se recomienda, para mantener la integridad de toda la batería de indicadores y facilitar su cálculo, incluir toda la información de los indicadores propuestos en un mismo.

OBSERVACIONES GENERALES

Las mortalidades debajo del 5% anual son consideradas “mortalidades de trasfondo” y no son consideradas que sean producto de fuertes perturbaciones, son normalmente causadas por eventos pequeños que ocasionan cambios graduales en el bosque (Quinto et al. 2009). Las “mortalidades catastróficas” son en generar mayores al 5% anuales y son producto de fuertes perturbaciones en el bosque. La mortalidad está relacionada con el reclutamiento y estos dos indicadores permiten dar un vistazo rápido del progreso hacia las metas de restauración/rehabilitación/recuperación para el área intervenida.

Entonces:

$r - m < 0$; la población de la especie(s) se está reduciendo en número de individuos

$r - m = 0$; la población de la especie(s) se mantiene en el tiempo

$r - m > 0$; la población de la especie(s) aumentando en número de individuos

Teniendo en cuenta que el levantamiento del 100% de las áreas puede requerir grandes esfuerzos logísticos y financieros, es fundamental que el solicitante cuente con una adecuada metodología para la selección de puntos para el inventario dentro de las áreas de compensación e inversión del 1%, esto con el fin de asegurar que los datos levantados con el inventario permitan tener una buena aproximación a los avances en la implementación de las acciones de restauración

BIBLIOGRAFÍA

Tuezta, J.G. y Rodriguez, C.R. (2018) Mortalidad y reclutamiento de árboles en un bosque secundario tardío del valle de Chanchamayo, Perú. Revista Forestal del Perú. 33 (1). pp 42 – 51. Lima

Quinto, H; Rengifo, R y Ramos, Y. 2009. Mortalidad y reclutamiento de árboles en un bosque pluvial tropical de Chocó (Colombia). Revista Facultad Nacional de Agronomía. (62)1. Pp 4855-4868. Medellín

6. Tasa de Reclutamiento (vegetal)

Nombre del indicador	Tasa de Reclutamiento (vegetal)
Código indicador	Inv_cons_06
IDENTIFICACIÓN DEL INDICADOR	
Tipo de indicador (Eficiencia-Eficacia-Impacto)	Impacto
Uso Indicador	Específicos para Acción de Restauración
Periodicidad	Anual o según lo aprobado en plan de compensaciones del componente Biótico o en el Plan de inversión forzosa de no menos del 1%
Escala temporal según el proyecto (≤ 3años – >3años)	>3años
Escala geográfica cálculo del indicador (local-regional)	Área de compensación o de la inversión forzosa de no menos del 1% (local)
DESCRIPCIÓN DEL INDICADOR	
Definición	El reclutamiento en un bosque está representado por el número de individuos que alcanzan el diámetro mínimo de registro (DAP ≥ 10 cm) a lo largo de un periodo intercensal. Además, se considera como una manifestación de la fecundidad de las especies, al expresar el crecimiento y sobrevivencia de los juveniles de una población forestal (Tuezta y Rodríguez, 2018)
Fórmula de cálculo	$r = \left[\frac{\ln \left(\frac{N_f}{N_s} \right)}{t} \right]$ <p>Donde:</p> <p>r = tasa de reclutamiento en %</p> <p>N_f = Número de individuos al final del inventario</p>

	N_s = Número de individuos sobrevivientes t = intervalo de tiempo \ln = logaritmo natural Se realiza el cálculo del reclutamiento para todas las especies usadas para la Revegetalización/reforestación según el PMA y se obtiene el promedio del reclutamiento para toda el área de compensación o de la inversión forzosa de no menos del 1%.
--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Interpretación	$r \leq 0$; No hay reclutamiento y la especie está perdiendo individuos $r > 0$; Hay reclutamiento y la especie está ganando individuos
-----------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

FUENTES DE INFORMACIÓN (a partir del Modelo de Almacenamiento Geográfico Resolución 2182 de 2016)

Importante: La información a la que se refiere este aparte está directamente relacionada con el Modelo de Almacenamiento Geográfico Resolución 2182 de 2016 o aquella que la modifique o sustituya. De igual forma el indicador puede ser usado con información que provenga de cualquier otra fuente.

La información de reclutamiento vegetal no se encuentra registrada dentro del modelo de almacenamiento geográfico. Se recomienda, para mantener la integridad de toda la batería de indicadores y facilitar su cálculo, incluir toda la información de los indicadores propuestos en un mismo.

OBSERVACIONES GENERALES

La tasa de reclutamiento está muy relacionada con la tasa de mortalidad, y permite encontrar cuál es el tiempo de duplicación de los individuos de una especie.

Entonces:

$r - m < 0$; la población de la especie(s) se está reduciendo en número de individuos

$r - m = 0$; la población de la especie(s) se mantiene en el tiempo

$r - m > 0$; la población de la especie(s) está aumentando en número de individuos

Teniendo en cuenta que el levantamiento del 100% de las áreas puede requerir grandes esfuerzos logísticos y financieros, es fundamental que el solicitante cuente con una adecuada metodología para la selección de puntos para el inventario dentro de las áreas de compensación e inversión del 1%, con el fin de asegurar que los datos levantados con el inventario permitan tener una buena aproximación a los avances en la implementación de las acciones de restauración.

BIBLIOGRAFÍA

Tuezta, J.G. y Rodriguez, C.R. (2018) Mortalidad y reclutamiento de árboles en un bosque secundario tardío del valle de Chanchamayo, Perú. *Revista Forestal del Perú*. 33 (1). pp 42 – 51. Lima

7. Área basal

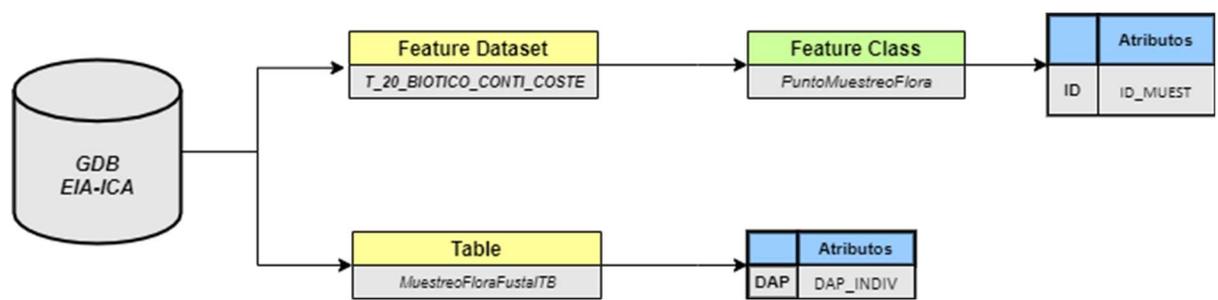
Nombre del indicador	Área basal
Código indicador	Inv_cons_07
IDENTIFICACIÓN DEL INDICADOR	
Tipo de indicador (Eficiencia-Eficacia-Impacto)	Impacto
Uso Indicador	Cualquier interacción (general)
Periodicidad	Cada 2 años o según lo aprobado en el plan de compensaciones del componente Biótico o inversión forzosa de no menos del 1%
Escala temporal según el proyecto (≤ 3años – >3años)	>3 años
Escala geográfica cálculo del indicador (local-regional)	Área de compensación o inversión forzosa de no menos 1% (local)
DESCRIPCIÓN DEL INDICADOR	
Definición	González-M <i>et al.</i> (2015) aconsejan para el monitoreo de procesos de restauración, aunque también puede funcionar para procesos de preservación, hacer seguimiento a distintos componentes de la biodiversidad. Uno de estos se relaciona con el área basal, el cual se usa para la evaluación de la estructura de una comunidad vegetal. El área basal refleja de forma indirecta al estado de naturalidad de una cobertura particular. Se espera que, a medida que una cobertura recupera su estructura boscosa natural, la sumatoria de área basal de los individuos mayores o iguales a 10 cm de DAP debe aumentar. Igualmente, la sumatoria del área basal de los individuos de una cobertura boscosa tiende a disminuir si esta última presenta tala selectiva o deterioro.
Fórmula de cálculo	<p>Área basal por hectárea (G)</p> $G = \sum g \quad g = (\pi \times DAP^2) / 4$ <p>g = Área basal (m²) de cada individuo >= 10cm DAP; DAP = Diámetro a la altura del pecho (m).</p>
Metodología de cálculo	Para el cálculo de este índice se deben tomar los datos de DAP de todos los individuos con DAP >= 10 cm dentro de la parcela de muestreo. Las áreas de muestreo se deben mantener a lo largo de todos los monitoreos que se realicen durante el periodo de seguimiento de las compensaciones y las inversiones forzosas de no menos del 1%.

<p>Interpretación</p>	$\Delta G = G_t - G_{t-1} / G_{t-1}$ <p> $\Delta G < 0$ el área basal de la comunidad vegetal disminuyó respecto a $t-1$ $\Delta G \approx 0$ el área basal de la comunidad vegetal se mantuvo respecto a $t-1$ $\Delta G > 0$ el área basal de la comunidad vegetal aumentó respecto a $t-1$ </p> <p>Según SER (2004), se hace necesario la comparación con un escenario de referencia natural para evidenciar si se han alcanzado estados similares de sucesión. Para este fin se recomienda usar como escenario de referencia, ya sea el ecosistema o cobertura (si el proyecto tiene escala local) afectado por el POA, cercanos al área de compensación del componente biótico o a las áreas de inversión forzosa de no menos del 1%.</p>
------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

FUENTES DE INFORMACIÓN (a partir del Modelo de Almacenamiento Geográfico Resolución 2182 de 2016)

Diagrama Jerárquico información para el cálculo

Importante: La información a la que se refiere este aparte está directamente relacionada con el Modelo de Almacenamiento Geográfico Resolución 2182 de 2016 o aquella que la modifique o sustituya. De igual forma el indicador puede ser usado con información que provenga de cualquier otra fuente.



OBSERVACIONES GENERALES

Es importante que el solicitante cuente con una metodología para la selección de puntos para el inventario dentro del área que diferencia las diferentes Acciones-Modos válidos de compensación e inversión **forzosa de no menos del 1%** para el cumplimiento de las obligaciones pactadas, esto para asegurar que los datos levantados con el inventario permitan tener una buena aproximación a los cambios logrados para toda el área de compensaciones e inversión **forzosa de no menos del 1%**.

Para las acciones de preservación se espera que la tasa de cambio del área basal dentro de la unidad de muestreo (1 hectárea) se mantenga iguales a 0 o que tenga un aumento muy pequeño.

Para las acciones de restauración (en cualquiera de sus tres modalidades) se espera que la tasa de cambio del área basal dentro de la unidad de muestreo (1 hectárea) aumente significativamente los primeros años y se acerque a 0 en años posteriores.

RUTINA EN LENGUAJE R PARA EL CÁLCULO (se adjunta el archivo. rmd (RStudio Team, 2019) con el mismo nombre del indicador)

BIBLIOGRAFÍA

González-M, R., Avella, A., Díaz-Triana, J. 2015. Plataformas de monitoreo para vegetación: toma y análisis de datos, en Aguilar-Garavito, M. & Ramírez, W (eds). 2015. Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D.C. – Colombia.

RStudio Team (2019). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.

Society for Ecological Restoration (SER) International, Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas. 2004. Principios de SER International sobre la restauración ecológica. https://cdn.ymaws.com/www.ser.org/resource/resmgr/custompages/publications/SER_Primer/ser-primer-spanish.pdf

8. Densidad de parches de coberturas naturales

Nombre del indicador	Densidad de parches de coberturas naturales
Código indicador	Inv_cons_08
IDENTIFICACIÓN DEL INDICADOR	
Tipo de indicador (Eficiencia-Eficacia-Impacto)	Impacto
Periodicidad	Cada 2 años o según lo aprobado en el plan de compensaciones del componente Biótico o en el Plan de inversión forzosa de no menos del 1%
Escala temporal según el proyecto (≤ 3años – >3años)	≤ 3años; >3años
Escala geográfica cálculo del indicador (local-regional)	Para el área de influencia del proyecto (local) o bioma IAvH donde el proyecto se encuentra ubicado (regional)
Uso Indicador	Cualquier interacción (general)
DESCRIPCIÓN DEL INDICADOR	
Definición	Describe qué tan fragmentada están las coberturas naturales, con respecto al área total del paisaje analizado. Esta métrica permite hacer comparaciones entre diferentes paisajes, o momentos en el tiempo del mismo paisaje, ya que está estandarizado el resultado.
Fórmula de cálculo	<p>Se usará la fórmula de cálculo para la densidad de parches propuesta por McGarigal et al. (2012) la cual señala que:</p> $DP = \frac{n_i}{A} * 10000 * 100$ <p>Donde: n_i = el número de parches de coberturas naturales A = el área total del paisaje en metros cuadrados 10000 = Valor de una hectárea en m^2 100 = El valor del indicador está dado por cada 100 hectáreas</p> <p><i>Entonces se calcula la DP para tres momentos:</i></p> <p>DP_0 = densidad de parche sin proyecto DP_1 = densidad de parche con proyecto DP_2 = densidad de parche con medidas de compensación o áreas con inversión forzosa de no menos del 1% (proyectadas)</p> <p>Los tipos de coberturas, naturales, secundarias y transformadas se construyen con base en la capa de Coberturas de la Tierra Corine Land Cover y según Leyenda Nacional de</p>

Coberturas de la Tierra (IDEAM, 2012) (usando los niveles Naturales para este indicador) siguiendo la siguiente estructura con base en la codificación hasta nivel 3:

Natural: 311, 314, 321, 322, 331, 332, 335, 4, 511:513, 521:522

Interpretación

A mayor número de parches de las coberturas naturales, mayor será la fragmentación, lo que indica un deterioro del ecosistema. Este indicador no aporta información relevante sobre la configuración de la clase ni de su composición solo sobre la cantidad de parches con respecto a un área determinada.

Entonces:

$DP_0 = DP_1$ la densidad de parches se mantuvo igual en AI o bioma IAvH con proyecto

$DP_0 > DP_1$ la densidad de parches disminuyó igual en AI o bioma IAvH con proyecto

$DP_0 < DP_1$ la densidad de parches aumentó igual en AI o bioma IAvH con proyecto

$DP_1 = DP_2$ la densidad de parches se mantuvo igual en AI o bioma IAvH con acciones de compensación

$DP_1 > DP_2$ la densidad de parches disminuyó igual en AI o bioma IAvH con acciones de compensación

$DP_1 < DP_2$ la densidad de parches aumentó igual en AI o bioma IAvH con acciones de compensación

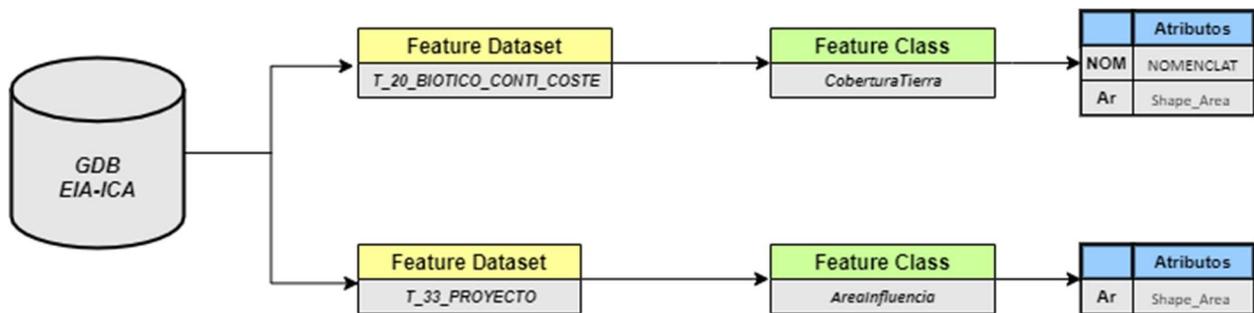
$DP_0 = DP_2$ la densidad de parches se mantuvo igual en AI, bioma IAvH zona o sub-zona hidrográfica con acciones de inversión forzosa de no menos de 1%

$DP_0 > DP_2$ la densidad de parches disminuyó igual en AI, bioma IAvH zona o sub-zona hidrográfica con acciones de inversión forzosa de no menos de 1%

$DP_0 < DP_2$ la densidad de parches aumentó igual en AI, bioma IAvH zona o sub-zona hidrográfica con acciones de inversión forzosa de no menos de 1%

FUENTES DE INFORMACIÓN (a partir del Modelo de Almacenamiento Geográfico Resolución 2182 de 2016)

Importante: La información a la que se refiere este aparte está directamente relacionada con el Modelo de Almacenamiento Geográfico Resolución 2182 de 2016 o aquella que la modifique o sustituya. De igual forma el indicador puede ser usado con información que provenga de cualquier otra fuente.



OBSERVACIONES GENERALES

- Este indicador puede ser usado en acciones de Preservación para escoger el lugar donde la densidad de parches sea lo más cercana al escenario sin proyecto. Cuando se use en las medidas de Restaurar (sin detrimento de las compensaciones del componente biótico o de las inversiones forzosas del 1% que tengan lugar) se debe comparar el resultado con los efectos sobre el número de parches que se llevó a cabo con la acción de Restauración. Si esta acción logró reducir el número de parches (ejm. conectando 2 o más parches) se puede concluir que las acciones contribuyen a la No Pérdida Neta de Biodiversidad y a la Adicionalidad; y a la recuperación o conservación de la cuenca, de la subzona o de la zona hidrográfica.

BIBLIOGRAFÍA

IDEAM, 2010. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., 72p.

McGarigal, K., SA Cushman, and E Ene. 2012. FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.htm>

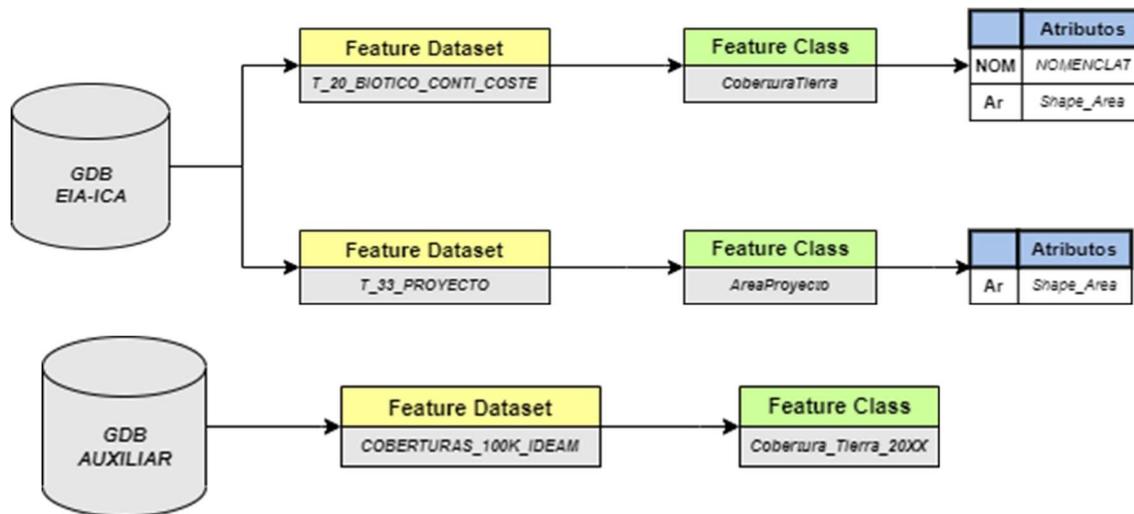
9. Variación de la superficie de las coberturas de la tierra

Nombre del indicador	Variación de la superficie de las coberturas de la tierra																																																												
Código indicador	Inv_cons_09																																																												
IDENTIFICACIÓN DEL INDICADOR																																																													
Tipo de indicador (Eficiencia-Eficacia-Impacto)	Impacto																																																												
Uso Indicador	Cualquier interacción (general)																																																												
Periodicidad	Cada 2 años para cálculos a nivel de proyecto.																																																												
Escala temporal según el proyecto (≤ 3 años – >3 años)	≤ 3 años; >3 años																																																												
Escala geográfica cálculo del indicador (local-regional)	Para el área de influencia del proyecto (local) o bioma IAvH donde el proyecto se encuentra ubicado (regional)																																																												
DESCRIPCIÓN DEL INDICADOR																																																													
Definición	Transiciones entre coberturas en un periodo de tiempo. Una transición constituye el cambio de una cobertura a otro en el periodo de análisis. La cuantificación del cambio (en área o porcentaje) es útil para ver procesos de transformación de coberturas naturales a antrópicas o viceversa.																																																												
Fórmula de cálculo	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="6">Año 2 (j)</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>Cobertura (C)</th> <th>C_{1j}</th> <th>C_{2j}</th> <th>C_{3j}</th> <th>...</th> <th>C_{nj}</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th rowspan="7">Año 1 (i)</th> <th>C_{1i}</th> <td>C_{1i1j}</td> <td>C_{1i2j}</td> <td>C_{1i3j}</td> <td>...</td> <td>C_{1inj}</td> <td>C_{1i}</td> </tr> <tr> <th>C_{2i}</th> <td>C_{2i1j}</td> <td>C_{2i2j}</td> <td>C_{2i3j}</td> <td>...</td> <td>C_{2inj}</td> <td>C_{2i}</td> </tr> <tr> <th>C_{3i}</th> <td>C_{3i1j}</td> <td>C_{3i2j}</td> <td>C_{3i3j}</td> <td>...</td> <td>C_{3inj}</td> <td>C_{3i}</td> </tr> <tr> <th>...</th> <td>...</td> <td>...</td> <td>...</td> <td>...</td> <td>...</td> <td>...</td> </tr> <tr> <th>C_{ni}</th> <td>C_{ni1j}</td> <td>C_{ni2j}</td> <td>C_{ni3j}</td> <td>...</td> <td>C_{ninj}</td> <td>C_{ni}</td> </tr> <tr> <th>Total</th> <td>$C_{.1j}$</td> <td>$C_{.2j}$</td> <td>$C_{.3j}$</td> <td>...</td> <td>$C_{.nj}$</td> <td>$C_{..}$</td> </tr> </tbody> </table>			Año 2 (j)								Cobertura (C)	C_{1j}	C_{2j}	C_{3j}	...	C_{nj}	Total	Año 1 (i)	C_{1i}	C_{1i1j}	C_{1i2j}	C_{1i3j}	...	C_{1inj}	C_{1i}	C_{2i}	C_{2i1j}	C_{2i2j}	C_{2i3j}	...	C_{2inj}	C_{2i}	C_{3i}	C_{3i1j}	C_{3i2j}	C_{3i3j}	...	C_{3inj}	C_{3i}	C_{ni}	C_{ni1j}	C_{ni2j}	C_{ni3j}	...	C_{ninj}	C_{ni}	Total	$C_{.1j}$	$C_{.2j}$	$C_{.3j}$...	$C_{.nj}$	$C_{..}$
		Año 2 (j)																																																											
		Cobertura (C)	C_{1j}	C_{2j}	C_{3j}	...	C_{nj}	Total																																																					
Año 1 (i)	C_{1i}	C_{1i1j}	C_{1i2j}	C_{1i3j}	...	C_{1inj}	C_{1i}																																																						
	C_{2i}	C_{2i1j}	C_{2i2j}	C_{2i3j}	...	C_{2inj}	C_{2i}																																																						
	C_{3i}	C_{3i1j}	C_{3i2j}	C_{3i3j}	...	C_{3inj}	C_{3i}																																																						
																																																						
	C_{ni}	C_{ni1j}	C_{ni2j}	C_{ni3j}	...	C_{ninj}	C_{ni}																																																						
	Total	$C_{.1j}$	$C_{.2j}$	$C_{.3j}$...	$C_{.nj}$	$C_{..}$																																																						
	Metodología de cálculo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar una tabulación cruzada espacial con las coberturas del año 1 (i) y el año 2 (j). 2. Calcular la proporción de cambio de coberturas naturales a transformadas. 3. Calcular la proporción de cambio de coberturas transformadas a naturales. 																																																											
Interpretación	<ul style="list-style-type: none"> • El valor de cada celda en la tabla corresponde al área de cambio de cada Cobertura en el año 1, hacia cada Cobertura en el año 2 ($C_{1...ni1...nj}$). 																																																												

- La diagonal de la matriz corresponde al área remanente de cada cobertura ($C_{1i1j}, C_{2i2j}, C_{3i3j}, \dots, C_{nijnj}$) en el periodo de tiempo.
- El valor del área de cada celda sobre el total de cada cobertura en el año 1 ($C_{1i}, C_{2i}, C_{3i}, \dots, C_{ni}$) corresponde a la proporción de cambio de cada cobertura del año 1 (i) hacia cada cobertura en el año 2 (j).
- El valor del área de cada celda sobre el total de cada cobertura en el año 2 ($C_{1j}, C_{2j}, C_{3j}, \dots, C_{nj}$) corresponde a la proporción de cada cobertura del año 1 (i) de la cual se compone cada cobertura en el año 2 (j).

FUENTES DE INFORMACIÓN (a partir del Modelo de Almacenamiento Geográfico Resolución 2182 de 2016)

Importante: La información a la que se refiere este aparte está directamente relacionada con el Modelo de Almacenamiento Geográfico Resolución 2182 de 2016 o aquella que la modifique o sustituya. De igual forma el indicador puede ser usado con información que provenga de cualquier otra fuente.



OBSERVACIONES GENERALES

- Para que este indicador tenga relevancia para el área de las compensaciones del proyecto, la escala de interpretación debe ser detallada (1:25.000 o menos) para lograr captar los efectos de las acciones realizadas en el territorio.
- El análisis se realizará a partir de la capa de coberturas presentada en el EIA y las subsecuentes solicitadas por la autoridad ambiental en los ICAs.
- El indicador se calculará de acuerdo con la periodicidad de las coberturas Corine Land Cover disponibles a nivel regional (SIAT) o nacional (SIAC) si el área de compensación o de la inversión forzosa de no menos del 1% está fuera del área de influencia definida para el proyecto.

RUTINA EN LENGUAJE R PARA EL CÁLCULO (se adjunta el archivo. rmd (RStudio Team, 2019) con el mismo nombre del indicador)

BIBLIOGRAFÍA

RStudio Team (2019). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.

10. Índice de proximidad

Nombre del indicador	Índice de proximidad
Código indicador	Inv_cons_10
IDENTIFICACIÓN DEL INDICADOR	
Tipo de indicador (Eficiencia-Eficacia-Impacto)	Impacto
Uso Indicador	Específicos para Acciones de restauración
Periodicidad	Cada 2 años para cálculos a nivel de proyecto.
Escala temporal según el proyecto (≤ 3años – >3años)	≤ 3años; >3años
Escala geográfica del cálculo del indicador (local-regional)	Área de compensación o inversión forzosa de no menos del 1% (local)
DESCRIPCIÓN DEL INDICADOR	
Definición	El índice de proximidad considera el tamaño y la proximidad de todos los parches cuyos bordes se encuentran dentro de un radio de búsqueda específico del parche focal. Calcula la relación entre el área del parche y su cercanía a parches del mismo tipo de cobertura. (Gustafson & Parker 1992, 1994; McGarigal <i>et al.</i> 2012).
Fórmula de cálculo	<p>El índice de proximidad (PX) es igual a la proporción del área del parche (a_{ij}), dividida por la distancia de borde a borde del parche de la misma cobertura más cercano (d_{ij}). El cálculo se realiza para los parches de todas las coberturas, y el radio de búsqueda del parche más cercano debe abarcar la distancia máxima lineal entre dos puntos del paisaje (local, regional o nacional). El valor del índice para cada cobertura (j), corresponde a la sumatoria del valor del índice para todos los parches (i) de la cobertura correspondiente. Si la cobertura tiene un único parche en el paisaje el valor de la distancia es igual a 1.</p> $PX_j = \sum_{i=1}^n \frac{a_{ij}}{d_{ij}}$ <p>Es ideal calcular el índice de proximidad en un área mayor a la del proyecto, con el fin de obtener un contexto paisajístico del efecto de las acciones de compensación sobre el área de influencia del proyecto. Así, el área del paisaje a evaluar (el área del proyecto más su</p>

área de influencia) se define de acuerdo con la relación directa entre la extensión del paisaje y su conectividad. Entre mayor sea el área del paisaje, la conectividad aumenta, pero solo lo hace hasta un punto crítico, donde ésta no sigue incrementando significativamente. Esta relación sigue una función logística, y el punto donde la curva se estabiliza se considera el punto de percolación (Keitt *et al.* 1997).

Entonces, la extensión del paisaje (*ep*) para el cálculo del índice de proximidad es producto de la estimación de un factor multiplicador (*fm*) y el área de compensación (*ac*). El factor multiplicador (*fm*) se obtiene a partir de la aplicación de una función logística al área de compensación (*ac*) en km². Finalmente, en términos prácticos, se estima la distancia del área de influencia (*dai*) en metros que se debe aplicar al área de compensación (*ac*) de acuerdo con la extensión del paisaje estimada (*ep*) en metros cuadrados. La extensión del paisaje se asume como una circunferencia para la obtención de la distancia del área de influencia (*dai*).

$$fm = \frac{1}{1 + e^{-a \text{ km}^2}}$$

$$ep = ac * (1 + fm),$$

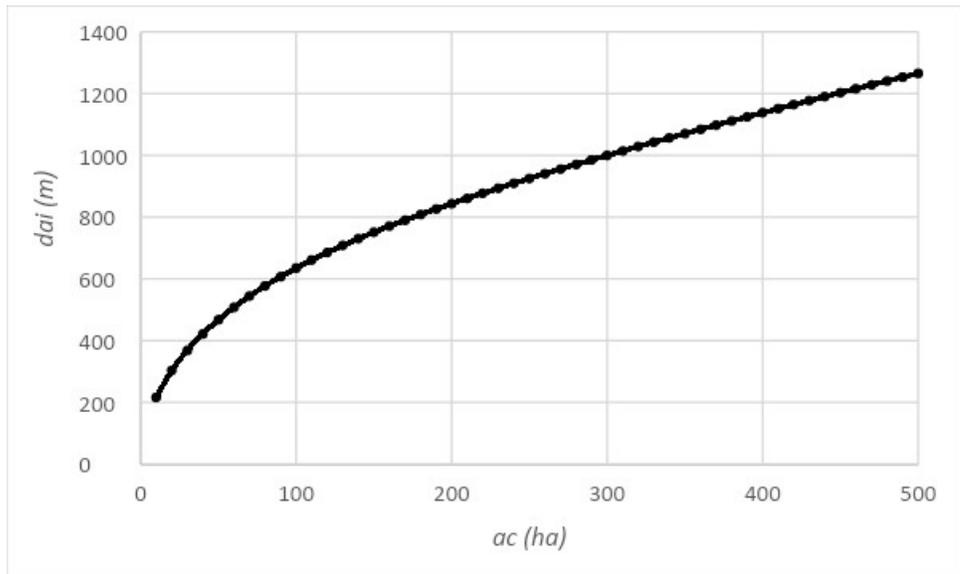
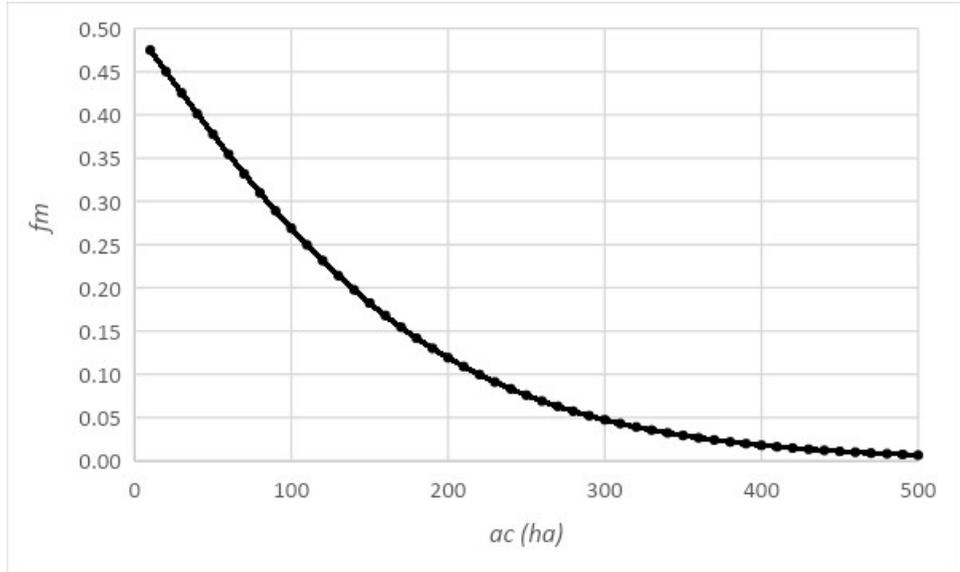
$$dai = \sqrt{\frac{epm^2}{\pi}}$$

A continuación, se presenta un ejemplo de la estimación de cada uno de los parámetros descritos:

Área de compensación (ha)	Factor multiplicador	Área del paisaje para evaluar conectividad (ha)	Distancia para el cálculo del área de influencia (m)
10	48%	14.75	216.68
20	45%	29.00	303.84
30	43%	42.77	368.96
40	40%	56.05	422.40
50	38%	68.88	468.23
60	35%	81.26	508.59
70	33%	93.23	544.75
80	31%	104.80	577.58
90	29%	116.01	607.69
100	27%	126.89	635.54
110	25%	137.47	661.50
120	23%	147.78	685.85
130	21%	157.84	708.82

		140	20%	167.69	730.61
		150	18%	177.36	751.38
		160	17%	186.88	771.26
		170	15%	196.26	790.39
		180	14%	205.53	808.85
		190	13%	214.72	826.73
		200	12%	223.84	844.10
		210	11%	232.91	861.03
		220	10%	241.95	877.57
		230	9%	250.96	893.77
		240	8%	259.96	909.66
		250	8%	268.96	925.28
		260	7%	277.98	940.65
		270	6%	287.00	955.80
		280	6%	296.05	970.75
		290	5%	305.12	985.52
		300	5%	314.23	1000.11
		310	4%	323.36	1014.54
		320	4%	332.53	1028.83
		330	4%	341.74	1042.97
		340	3%	350.98	1056.98
		350	3%	360.26	1070.86
		360	3%	369.57	1084.62
		370	2%	378.93	1098.25
		380	2%	388.31	1111.78
		390	2%	397.74	1125.18
		400	2%	407.19	1138.48
		410	2%	416.68	1151.67
		420	1%	426.21	1164.75
		430	1%	435.76	1177.73
		440	1%	445.34	1190.61
		450	1%	454.94	1203.38
		460	1%	464.58	1216.06
		470	1%	474.24	1228.63

480	1%	483.92	1241.11
490	1%	493.62	1253.49
500	1%	503.35	1265.78



Metodología de cálculo

1. Calcular la distancia del área de influencia para el área del proyecto de compensación.
2. Construir el área de influencia para el área del proyecto de compensación.
3. Calcular el índice de proximidad de cada parche de cobertura natural.
4. Calcular el índice de proximidad de cada clase de cobertura natural.

Interpretación

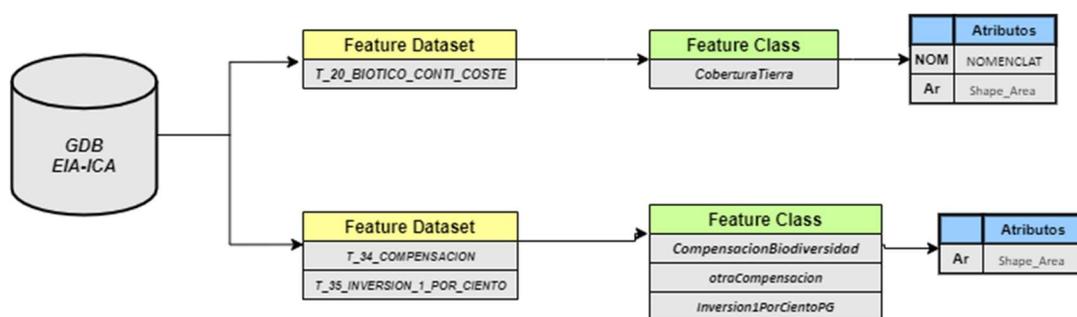
El índice de proximidad va desde 0 sin valor del límite superior. Será mayor cuando existan parches más grandes y cercanos en el paisaje, y será menor cuando los parches están

aislados y sean de menor tamaño. El índice no tiene dimensiones (es decir, no tiene unidades) y, por lo tanto, el valor absoluto del índice tiene poco valor interpretativo; en su lugar, se utiliza como un índice comparativo, y en este caso debe estimarse siempre sobre el mismo paisaje. Este índice es entonces una medida del nivel de fragmentación-conectividad, y de la calidad de hábitat los parches (asumiendo que parches más grandes tienen una mayor calidad de hábitat) (Gustafson & Parker 1992, 1994; McGarigal *et al.* 2012).

FUENTES DE INFORMACIÓN (a partir del Modelo de Almacenamiento Geográfico Resolución 2182 de 2016)

Diagrama Jerárquico información para el cálculo

Importante: La información a la que se refiere este aparte está directamente relacionada con el Modelo de Almacenamiento Geográfico Resolución 2182 de 2016 o aquella que la modifique o sustituya. De igual forma el indicador puede ser usado con información que provenga de cualquier otra fuente.



Coberturas nacionales Corine Land Cover SIAT o SIAC – SMByC.

OBSERVACIONES GENERALES

- El análisis se realiza a partir de la capa de coberturas presentada en el EIA y las subsecuentes solicitadas por la autoridad ambiental en los Informes de Cumplimiento Ambiental ICA-, de acuerdo con la periodicidad de las coberturas *Corine Land Cover* disponibles a nivel regional (SIAT) o nacional (SIAC - SMByC) si el área de compensación o de la inversión forzosa de no menos del 1% está fuera del área de influencia definida para el proyecto.

RUTINA EN LENGUAJE R PARA EL CÁLCULO (se adjunta el archivo. rmd (RStudio Team, 2019) con el mismo nombre del indicador)

BIBLIOGRAFÍA

Gustafson, E.J. & Parker, G.R. (1992). Relationships between landcover proportion and indices of landscape spatial pattern. *Landsc. Ecol.*, 7, 101–110.

Gustafson, E.J. & Parker, G.R. (1994). Using an index of habitat patch proximity for landscape design. *Landsc. Urban Plan.*, 29, 117–130.

Keitt, T.H., Urban, D.L. & Milne, B.T. (1997). Detecting Critical Scales in Fragmented Landscapes. *Conserv. Ecol.*, 1.

McGarigal, K., Cushman, S.A., Neel, M.C. & Ene., E. (2012). FRAGSTATS v4.2: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps.

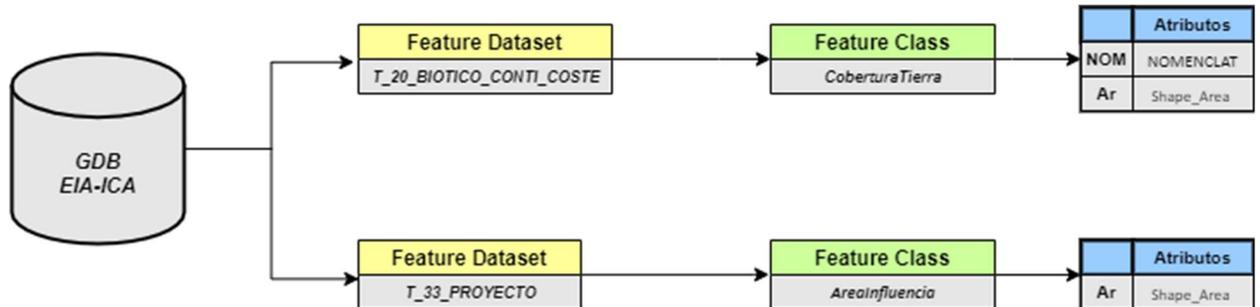
11 Índice de forma promedio para coberturas naturales

Nombre del indicador	Índice de forma promedio para coberturas naturales
Código indicador	Inv_cons_11
IDENTIFICACIÓN DEL INDICADOR	
Tipo de indicador (Eficiencia-Eficacia-Impacto)	Impacto
Periodicidad	Cada 2 años o según lo aprobado en el plan de compensaciones del componente Biótico o en el Plan de inversión forzosa de no menos del 1%
Escala temporal según el proyecto (≤ 3años – >3años)	≤ 3años; >3años
Escala geográfica del cálculo del indicador (local-regional)	Para el área de influencia del proyecto(local) o bioma IAvH donde el proyecto se encuentra ubicado (regional)
Uso Indicador	Cualquier interacción (general)
DESCRIPCIÓN DEL INDICADOR	
Definición	<p>El índice de forma es una métrica que aporta información de la complejidad geométrica de los fragmentos; y mide la relación que tendrán los fragmentos más complejos (en su forma) con los fragmentos menos complejos para los parches de un mismo tipo (Benavente, 2010)</p> <p>Las áreas naturales con baja o ninguna intervención antrópica presentan por lo general parches con formas muy irregulares producto de disturbios naturales (inundaciones, sequías, competencia interespecífica, etc.) a diferencia de las coberturas con alto grado de intervención las cuales presentan formas más regulares por efecto de la intervención antrópica (infraestructura, parcelación del territorio, cultivos, etc.).</p>
Fórmula de cálculo	<p>Se usará la fórmula de cálculo para índice de forma propuesta por McGarigal et al. (2012) la cual señala que:</p> $F_i = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{(0.25 p_{ij})}{\sqrt{a_{ij}}}}{n}$

	<p>Donde: (F) = índice de forma (p_j) = perímetro del parche (a_j) = área del parche (i) = tipo de cobertura (n) = número total de parches de la cobertura natural</p> <p>Entonces,</p> <p>F_0 = índice de forma sin proyecto (línea base del EIA) F_1 = índice de forma con proyecto (con intervención en el territorio) F_2 = índice de forma con acciones de compensación o con acciones de la obligación de la inversión forzosa de no menos del 1% (proyectadas)</p>
<p>Interpretación</p>	<p>El índice de forma está en el rango entre 1 e infinito. El índice de forma es igual a 1 cuando el parche es cuadrado y aumenta sin límite a medida que la forma del parche se vuelve más irregular. Parches de cobertura natural más irregulares indican procesos de transformación de mayor tiempo y más complejos, favoreciendo el efecto de borde. El efecto de borde impacta de manera distinta a procesos y especies de los ecosistemas, imponiendo condiciones extremas de cambio en muchos casos.</p> <p>Las coberturas naturales con índice de forma más regular se pueden interpretar como parches con procesos de transformación antrópicos recientes.</p> <p>$F_0 = F_1$ el índice de forma se mantuvo igual en AI o bioma IAvH con proyecto $F_0 > F_1$ el índice de forma disminuyó en AI o bioma IAvH con proyecto $F_0 < F_1$ el índice de forma aumentó en AI o bioma IAvH con proyecto</p> <p>$F_1 = F_2$ el índice de forma se mantuvo igual en AI o bioma IAvH con acciones de compensación $F_1 > F_2$ el índice de forma disminuyó en AI o bioma IAvH con acciones de compensación $F_1 < F_2$ el índice de forma aumentó en AI o bioma IAvH con acciones de compensación</p> <p>$F_0 = F_2$ el índice de forma se mantuvo igual en AI, bioma IAvH zona o subzona hidrográfica con acciones de inversión forzosa de no menos de 1% $F_0 > F_2$ el índice de forma disminuyó en AI, bioma IAvH zona o subzona hidrográfica con acciones de inversión forzosa de no menos de 1% $F_0 < F_2$ el índice de forma aumentó en AI, bioma IAvH zona o subzona hidrográfica con acciones de inversión forzosa de no menos de 1%</p>

FUENTES DE INFORMACIÓN (a partir del Modelo de Almacenamiento Geográfico Resolución 2182 de 2016)

Importante: La información a la que se refiere este aparte está directamente relacionada con el Modelo de Almacenamiento Geográfico Resolución 2182 de 2016 o aquella que la modifique o sustituya. De igual forma el indicador puede ser usado con información que provenga de cualquier otra fuente.



OBSERVACIONES GENERALES

- La clasificación de cobertura natural se construye con base en la capa de Coberturas de la Tierra Corine Land Cover (usando los niveles Naturales para este indicador) siguiendo la siguiente estructura con base en la codificación hasta nivel 3:

Natural: 311:314, 321, 322, 331, 332, 335, 4, 511:513, 521:522

BIBLIOGRAFÍA

Benavente, F., A. 2010. Using landscape metrics to analyse urban spatial patterns in the Metropolitan area of Granada. Anales de Geografía. Madrid. 30 (2) , 9-29p

McGarigal, K., SA Cushman, and E Ene. 2012. FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.htm>

12. Índice de Conectividad de coberturas naturales

Nombre del indicador	Índice de Conectividad de coberturas naturales
Código indicador	Inv_cons_12
IDENTIFICACIÓN DEL INDICADOR	
Tipo de indicador (Eficiencia-Eficacia-Impacto)	Impacto
Uso Indicador	Específicos para Acciones de preservación
Periodicidad	Cada 2 años o según lo aprobado en el plan de compensaciones del componente Biótico o en el Plan de inversión forzosa de no menos del 1%
Escala geográfica cálculo del indicador (local-regional)	Para el área de influencia del proyecto(local) o bioma IAvH donde el proyecto se encuentra ubicado (regional)
Escala temporal según el proyecto (≤ 3años – >3años)	>3años
DESCRIPCIÓN DEL INDICADOR	
Definición	La conectividad se refiere al grado en que el paisaje facilita o impide los flujos ecológicos. Un cambio abrupto en la conectividad del paisaje puede interferir en el éxito de la dispersión de una especie, fraccionando su población, aislándola en poblaciones más pequeñas. Esta fragmentación de la población puede conllevar cambio en la ocupación de los parches y llevar a la extinción de la población en todo el paisaje. Existen muchas técnicas para calcular la conectividad, usando capas de resistencia, (pueden ser barreras naturales o artificiales o cambios en la cobertura que dificulta el tránsito) y adjudicándole valores a estas resistencias. Una forma simple de calcular la conectividad para las coberturas naturales es asumiendo una distancia máxima en la que la conectividad se puede realizar y contando el número de parches que están dentro de ese rango de distancia definido.
Fórmula de cálculo	<p>Se usará la fórmula de cálculo para la Conectividad propuesta por McGarigal et al. (2012) la cual señala que:</p> $CONNECT = \left[\frac{\sum_{j=k}^n c_{ijk}}{n_i (n_i - 1)} \right] (100)$ <p>Donde:</p> <p>c_{ijk} = la conectividad del J y K dentro del umbral (distancia) establecido para la clase i</p> <p>n_i = el número de parches de la clase evaluada dentro del área Evaluada</p>

Entonces se calcula la CONNECT para tres momentos:

CONNECT₀ = conectividad sin proyecto
 CONNECT₁ = conectividad con proyecto
 CONNECT₂ = conectividad con medidas de compensación o con ejecución de la inversión forzosa de no menos del 1%(proyectada)

El umbral para para la definición de áreas conectadas será de 500 m.

Interpretación

Los valores del índice de conectividad están entre 0 y 100 en porcentaje donde:

CONNECT = 0; la clase evaluado consiste en un único parche o no hay parches que puedan conectarse a partir de la distancia establecida

CONNECT = 100; todos los parches dentro del área de estudio están en rango y pueden conectarse

Entonces;

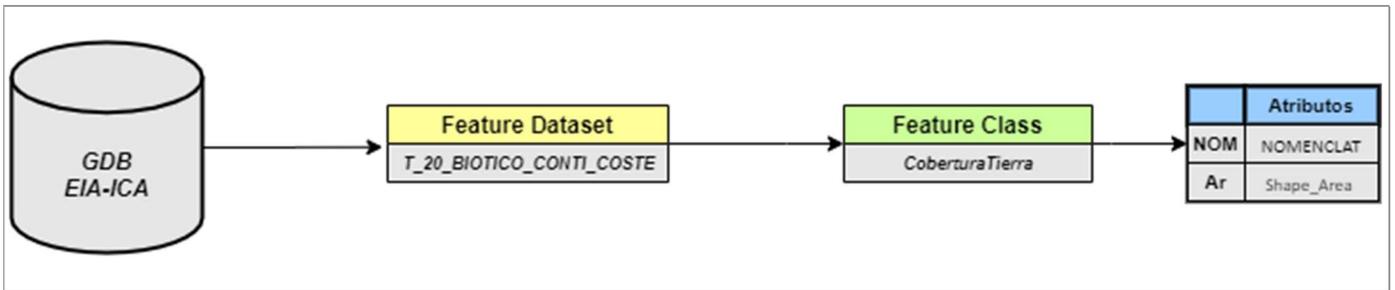
CONNECT₀ = CONNECT₁ la conectividad se mantuvo igual en AI o bioma IAvH con PROYECTO
 CONNECT₀ > CONNECT₁ la conectividad disminuyó dentro en AI o bioma IAvH con PROYECTO
 CONNECT₀ < CONNECT₁ la conectividad aumentó en AI o bioma IAvH con PROYECTO

CONNECT₁ = CONNECT₂ la conectividad se mantuvo igual en AI o bioma IAvH con acciones de compensación
 CONNECT₁ > CONNECT₂ la conectividad disminuyó en AI o bioma IAvH con acciones de compensación
 CONNECT₁ < CONNECT₂ la conectividad aumentó en AI o bioma IAvH acciones de compensación

CONNECT₀ = CONNECT₂ la conectividad se mantuvo igual en AI, bioma IAvH zona o sub-zona hidrográfica con acciones de inversión forzosa de no menos de 1%
 CONNECT₀ > CONNECT₂ la conectividad disminuyó en AI, bioma IAvH zona o sub-zona hidrográfica con acciones de inversión forzosa de no menos de 1%
 CONNECT₀ < CONNECT₂ la conectividad aumentó en AI, bioma IAvH zona o sub-zona hidrográfica con acciones de inversión forzosa de no menos de 1%

FUENTES DE INFORMACIÓN (a partir del Modelo de Almacenamiento Geográfico Resolución 2182 de 2016)

Importante: La información a la que se refiere este aparte está directamente relacionada con el Modelo de Almacenamiento Geográfico Resolución 2182 de 2016 o aquella que la modifique o sustituya. De igual forma el indicador puede ser usado con información que provenga de cualquier otra fuente.



OBSERVACIONES GENERALES

Este indicador permite dar un valor numérico de la capacidad que tienen las parches o relictos de un tipo de cobertura (según CLC o alguna reclasificación en natural/secundaria o transformada) de conectarse entre sí y generar corredores que permitan el tránsito normal de las especies, mejorando los flujos ecosistémicos.

En los casos donde el área de compensación esté dentro del área de influencia del proyecto, se recomienda calcular la conectividad para esta área y no para el Bioma lavH.

BIBLIOGRAFÍA

McGarigal, K., SA Cushman, and E Ene. 2012. FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. Available at the following web site: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>

13. Variación del carbono almacenado en áreas de compensaciones o de la inversión forzosa de no menos del 1%

Nombre del indicador	Variación del carbono almacenado en áreas de compensaciones o de la inversión forzosa de no menos del 1%
Código indicador	Inv_cons_13
IDENTIFICACIÓN DEL INDICADOR	
Tipo de indicador (Eficiencia-Eficacia-Impacto)	Impacto
Uso Indicador	Cualquier interacción (general)
Periodicidad	Anual o según lo aprobado en plan de compensaciones del componente Biótico o el Plan de inversión forzosa de no menos del 1%
Escala temporal según el proyecto (≤ 3 años – >3 años)	>3 años
Escala geográfica cálculo del indicador (local-regional)	Área de compensación o de la inversión forzosa de no menos del 1% (local)
DESCRIPCIÓN DEL INDICADOR	
Definición	<p>Los bosques tropicales contienen cerca del 80% del carbono almacenado en toda la vegetación terrestre, y juegan un papel importante en el ciclo global de este elemento y en la regulación del clima del planeta. La degradación y conversión de los bosques, por su parte, conlleva a la liberación de estos reservorios de carbono almacenados en la biomasa hacia la atmósfera (Phillips <i>et al.</i> 2011).</p> <p>Como lo establecen Phillips y colaboradores (2011), resulta indispensable estimar las reservas o contenidos de carbono y su posterior monitoreo, en los bosques naturales dentro del área de influencia de los proyectos.</p> <p>En la mayoría de los estudios en los cuales se trata el tema de almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de los bosques tropicales, se asume que el contenido de carbono corresponde al 50% de la biomasa de los árboles vivos, por lo que se sugiere usar el factor de 0,5 para transformar la biomasa aérea a contenido de carbono (Phillips <i>et al.</i> 2011).</p> <p>Para una mayor profundidad en la metodología de medición de carbono, se recomienda la revisión de las metodologías de estimación de biomasa en Yepes <i>et al.</i>,(2011) y en Hurtado</p>

et al. (2017), donde se recomienda el modelo IPCC (2005) para la estimación de la biomasa aérea.

Fórmula de cálculo

Se calcula la sumatoria del carbono almacenado por especie

C_{sp} = Carbono por especie

Entonces:

$$C_{almEco} = \sum C_{sp1}, C_{sp2}, C_{sp3}, \dots$$

Donde:

C_{almEco} = Carbono almacenado total para cada ecosistema donde se realizan compensaciones o la inversión forzosa de no menos del 1%

El carbono de cada ecosistema dentro del área de compensaciones o inversión forzosa del 1% se totaliza:

$$C_{almTotal} = \sum C_{almEco1}, C_{almEco2}, C_{almEco3}, \dots$$

Donde:

$C_{almTotal}$ = Carbono almacenado total para el área de compensación o de la inversión forzosa de no menos del 1%, resultado de la sumatoria del carbono almacenado en cada ecosistema.

Interpretación

$$\Delta C_{almEco} = C_{almEco} - C_{almEco\ t-1} / C_{almEco\ t-1}$$

$$\Delta C_{almTotal} = C_{almTotal} - C_{almTotal\ t-1} / C_{almTotal\ t-1}$$

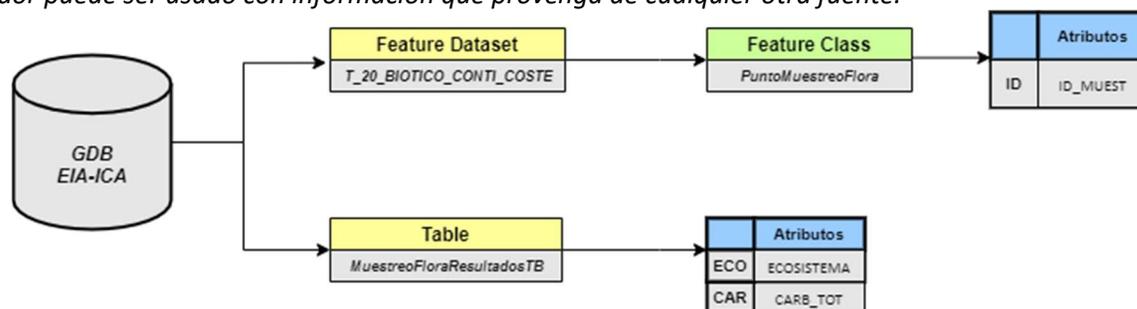
ΔC_{almEco} ó $\Delta C_{almTotal} < 0$ El carbono almacenado disminuyó respecto a $t-1$

ΔC_{almEco} ó $\Delta C_{almTotal} = 0$ El carbono almacenado se mantuvo respecto a $t-1$

ΔC_{almEco} ó $\Delta C_{almTotal} > 0$ El carbono almacenado aumentó respecto a $t-1$

FUENTES DE INFORMACIÓN (a partir del Modelo de Almacenamiento Geográfico Resolución 2182 de 2016)

Importante: La información a la que se refiere este aparte está directamente relacionada con el Modelo de Almacenamiento Geográfico Resolución 2182 de 2016 o aquella que la modifique o sustituya. De igual forma el indicador puede ser usado con información que provenga de cualquier otra fuente.



OBSERVACIONES GENERALES

- Es importante que el solicitante cuente con una metodología para la selección de puntos para el inventario dentro del área que diferencia las diferentes Acciones-Modos válidos de compensación e inversión forzosa de no menos del 1% para el cumplimiento de las obligaciones pactadas, para asegurar que los datos levantados con el inventario permitan tener una buena aproximación a los cambios logrados para toda el área de compensaciones e inversión forzosa de no menos del 1%.

RUTINA EN LENGUAJE R PARA EL CÁLCULO (se adjunta el archivo. rmd (RStudio Team, 2019) con el mismo nombre del indicador)

BIBLIOGRAFÍA

Hurtado C, C., Corte, C.H., Triana M. A. 2017. Estimación del carbono almacenado en el bosque natural en la cuenca media - baja. Municipio de Río Quito, Chocó, Colombia. Ingeniería e Innovación. Bogotá D.C. Colombia Vol. 5:(1). Pp 32-42

Phillips J.F., Duque A.J., Yepes A.P., Cabrera K.R., García M.C., Navarrete D.A., Álvarez E., Cárdenas D. 2011. Estimación de las reservas actuales (2010) de carbono almacenadas en la biomasa aérea en bosques naturales de Colombia. Estratificación, alometría y métodos analíticos. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales -IDEAM-. Bogotá D.C., Colombia. 68 pp.

Yepes A.P., Navarrete D.A., Duque A.J., Phillips J.F., Cabrera K.R., Álvarez, E., García, M.C., Ordoñez, M.F. 2011. Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa - carbono en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM-. Bogotá D.C., Colombia. 162 p.