

María Helena Olaya-Rodríguez

[molaya@humboldt.org.co](mailto:molaya@humboldt.org.co)

Investigadora. Programa de evaluación y monitoreo de la biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Jorge Velásquez-Tibatá

[jorge.velasquez@inc.org](mailto:jorge.velasquez@inc.org)

Investigador. Programa de evaluación y monitoreo de la biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Filiación actual: especialista en análisis espaciales del Programa de Conservación NASCA de The Nature Conservancy.

Lina María Estupiñán-Suárez

[linamaesu@gmail.com](mailto:linamaesu@gmail.com)

Investigadora. Programa de evaluación y monitoreo de la biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Filiación actual: Estudiante de doctorado. Instituto Max Planck de Biogeoquímica. Departamento de integración biogeoquímica. Jena, Alemania.



## **Integrando la información de sensores remotos con modelos de distribución de especies para el monitoreo de la biodiversidad. Caso de estudio para las especies *Zamia amazonum* y *Zamia chigua***

### **RESUMEN**

Las variables esenciales de la biodiversidad son un conjunto de atributos que se han propuesto desde el ámbito internacional para unificar y hacer más eficiente el monitoreo de la biodiversidad. Los sensores remotos son herramientas valiosas para esta tarea. Este trabajo busca describir una metodología para el monitoreo de la variable esencial de la biodiversidad *distribución de especies*, por medio de la integración de productos construidos a nivel nacional para el monitoreo de las coberturas de la Tierra y los modelos de distribución de especies disponibles a través de BioModelos. La metodología fue aplicada para dos especies del género *Zamia* para ilustrar el uso potencial de los resultados. Al intersectar los modelos de distribución de estas especies con las capas de cobertura de bosque para el período 1990-2015, fue posible analizar las causas de la variación del área de sus distribuciones, relacionadas principalmente con aspectos técnicos de los satélites usados y con las actividades antrópicas asociadas a la deforestación. Adicionalmente, se evaluó la variación en las distribuciones en escenarios de cambios de la cobertura boscosa para el 2030, evidenciando la necesidad de apoyar la adopción de ejercicios de planificación en los que se minimizara

las pérdidas de biodiversidad por deterioro y pérdida del hábitat. Finalmente, se identificó la presencia de dos núcleos de deforestación en las distribuciones de las especies que indican una fuerte amenaza para éstas en términos de pérdida del hábitat. Esta propuesta de monitoreo, que integra el conocimiento experto, el desarrollo de modelos de distribución de especies y productos de sensores remotos para el monitoreo de los cambios en la cobertura terrestre es un insumo importante para los procesos de evaluación de riesgo de extinción y el desarrollo de un sistema de alertas tempranas de pérdida de biodiversidad por deforestación a nivel nacional.

**Palabras clave:** Monitoreo. BioModelos. Preferencia de hábitat. Bosques y cobertura de la Tierra.

## ABSTRACT

The essential variables of biodiversity are a set of attributes that have been internationally proposed to unify and make more efficient the monitoring of biodiversity. Remote sensing are valuable tool for monitoring these variables. This work aims to describe a methodological framework to monitor the essential biodiversity variable “species distributions”, through the integration of national products of land cover and species distribution models, the last is available on the web application BioModelos. The proposed methodology was applied for two species of the genus *Zamia* to illustrate the potential use of the outcomes. By intersecting the distribution models of these species with forest cover geographic layers for the period 1990-2015, it was possible to analyze the extent of change in potential habitat for both species. It was found that such change is mainly related to technical features of remote sensing products and with anthropic activities associated with deforestation. Additionally, we assessed the expected extent of suitable habitat for both species in 2030 based on forest cover change scenarios, evidencing the need to support the adoption of planning exercises in which the loss of biodiversity due to deterioration and loss of habitat will be minimized. Finally, we identified the presence of two deforestation areas in the distributions of these two species that may represent an important threat to their persistence in the future. The methodology proposed here, which integrates expert knowledge, the development of species distribution models, and remote sensing products to monitor land cover change, is an important input to assess species extinction risk and to develop a system of early warnings therefore biodiversity loss may be estimated at national level.

**Key words:** Monitoring, BioModelos, habitat preference, forest, land cover.

## INTRODUCCIÓN

Las actividades humanas están acelerando la pérdida de diversidad biológica del planeta (Duro *et al.* 2007) ¿Cuánta de esta biodiversidad, y dónde se está perdiendo?,

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

METODOLOGÍA

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

RESUMEN	son dos grandes preguntas que se pueden resolver mediante un sistema de monitoreo, y es por esto que su consolidación se ha convertido en una prioridad en la agenda científica y política de los países (Vihervaara <i>et al.</i> 2017).
PALABRAS CLAVE	
ABSTRACT	
KEY WORDS	En un esfuerzo por optimizar las iniciativas de monitoreo, el grupo de observaciones de la Tierra en su red de observaciones de la biodiversidad (GEO BON, por sus siglas en inglés) ha desarrollado el concepto de Variables Esenciales de la Biodiversidad (VEB), considerado la base para construir programas de monitoreo eficientes y coordinados en todo el mundo, ya que su principal objetivo es identificar un conjunto mínimo de variables que puedan ser usadas para informar a los científicos, tomadores de decisiones y público en general sobre los cambios que ocurren en la biodiversidad a diferentes escalas, desde genes hasta ecosistemas (Pereira <i>et al.</i> 2013, Proença <i>et al.</i> 2017, Turak <i>et al.</i> 2016, Vihervaara <i>et al.</i> 2017).
INTRODUCCIÓN	
DESARROLLO	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
REFERENCIAS	
AGRADECIMIENTOS	
SOBRE LOS AUTORES	Algunas VEB pueden ser monitoreadas a través de sensores remotos, como son la distribución de especies y la extensión de ecosistemas (Kerr y Ostrovsky 2003, Gill <i>et al.</i> 2017). En el primer caso, los sensores remotos han sido empleados para derivar estimaciones indirectas de las poblaciones silvestres de especies de fauna y flora (Turner <i>et al.</i> 2003). Esto se hace mediante el acoplamiento de datos de campo (registros biológicos) con parámetros ambientales que pueden ser medidos a través de los sensores remotos (por ejemplo, elevación, precipitación y temperatura) por medio del modelamiento de distribución de especies (Franklin 2009, Peterson <i>et al.</i> 2011). Este tipo de modelos, nos permiten predecir dónde están potencialmente las especies en el territorio (Loucks y Leimgruber 2007).
	En el segundo caso, la VEB extensión de ecosistemas se refiere a la ubicación y distribución geográfica de estos en la superficie terrestre o en los océanos, y muchas veces se cuantifica a través de los mapas de cobertura de la Tierra, los cuales son derivados directamente de las imágenes de los sensores remotos (Sayre y Hansen 2017).
	En conjunto, ambas VEB pueden ser integradas mediante el concepto de hábitat, definido como el lugar donde se puede encontrar un organismo específico (McGarigal y Marks 1995). En este sentido, teniendo información sobre la distribución de las especies, sus requerimientos de hábitat (por ejemplo, especies de bosque, sabanas, humedales, etc.), y productos de monitoreo del cambio de la cobertura terrestre como sustitutos de los cambios en la extensión de los ecosistemas, es posible establecer un sistema de monitoreo de la VEB distribución de especies, donde las mediciones en las tendencias de los distintos tipos de hábitat o de su reducción, pueden ser usadas para generar un sistema de alertas tempranas por pérdida de hábitat y por disminución potencial de las poblaciones de una o varias especies (Loucks y Leimgruber 2007).
	Para el caso de Colombia, el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt ha desarrollado BioModelos ( <a href="http://biomodelos.humboldt.org.co">http://biomodelos.humboldt.org.co</a> ), una plataforma web para la generación colaborativa de mapas de distribu-

ción geográfica de especies, que nos permite documentar la distribución potencial de la fauna y flora en el territorio nacional (velásquez-Tibatá *et al.* 2018), así como los tipos de cobertura de la Tierra que se aproximan más a sus requerimientos de hábitat. Adicionalmente, el país cuenta con sistemas de monitoreo para propósitos específicos, como son la deforestación (<http://smbyc.ideam.gov.co>) y cambios en los usos de la tierra (Ideam *et al.* 2010), entre otros. Con esta información espacialmente explícita, el objetivo de este trabajo es proponer una metodología como insumo para el establecimiento de un sistema de monitoreo de la VEB distribución de especies, a partir de la integración de productos de sensores remotos disponibles para Colombia.

Esto es especialmente importante, si consideramos que la pérdida de hábitat es el factor de mayor relevancia frente a la extinción de especies (Anaya *et al.* 2017, Baillie *et al.* 2004) y, por tanto, su mapeo a escala regional o nacional puede ser una herramienta esencial en el monitoreo de las poblaciones de especies silvestres que aún persisten. Si bien esto no debe reemplazar los muestreos/monitoreos poblacionales sistemáticos en campo, los datos satelitales pueden aportar valiosa información para prevenir la degradación y pérdida de la diversidad biológica (Loucks y Leimgruber 2007).

Para ilustrar la implementación de la metodología se ha desarrollado un estudio de caso para dos especies de plantas: *Zamia amazonum* y *Zamia chigua*. La elección de estas especies se da porque actualmente cuentan con modelos de distribución validados por expertos en BioModelos y porque son especies asociadas a la cobertura de bosque.

## MARCO CONCEPTUAL

Dentro del marco conceptual desarrollado por GEO BON para el monitoreo de las VEB a nivel de especies, se definen dos tipos de monitoreo: el monitoreo para vigilancia y el monitoreo dirigido (Nichols y Williams 2006). El primer tipo, está enfocado en obtener información base para responder preguntas sobre el estado de las poblaciones de una o varias especies en un lugar determinado, y se caracteriza porque dicha información puede ser usada para responder preguntas que se formulen incluso muchos años después de que el programa de monitoreo se inicie (Pereira *et al.* 2017). En contraste, el monitoreo dirigido responde a preguntas más específicas, como por ejemplo las respuestas que puede tener una o varias especies frente a algún motor de pérdida de biodiversidad (Pereira *et al.* 2017). Definir el tipo de monitoreo a través de estas dos categorías permite delimitar mejor las repuestas a las tres preguntas clave para diseñar un sistema de monitoreo de la VEB distribución de especies, que son: ¿por qué monitorear?, ¿qué monitorear?, y ¿cómo monitorear? (Yoccoz *et al.* 2001). Para este trabajo, el objeto de monitoreo (qué monitorear) es la distribución de especies, y se propone hacerlo a través de la integración de los modelos de distribución de especies con los productos de sensores remotos.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

METODOLOGÍA

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

RESUMEN	<b>Distribución de especies</b>
PALABRAS CLAVE	Las VEB se clasifican en seis clases: composición genética, poblaciones de especies, atributos de especies, composición de comunidades, función ecosistémica y estructura ecosistémica (Pereira <i>et al.</i> 2013). La VEB distribución de especies hace parte de la clase poblaciones de especies y la métrica más utilizada para su evaluación son los modelos de distribución de especies, los cuales tienen la capacidad de generar proyecciones espacialmente explícitas, a diferentes escalas, de los rangos de distribución de las especies y su respuesta a eventos como el cambio climático (Peterson <i>et al.</i> 2011) y cambios de uso de suelo (Jetz <i>et al.</i> 2007, Rondinini <i>et al.</i> 2011), a partir de registros biológicos tomados en campo (Pereira <i>et al.</i> 2017). En el marco de las VEB, la disponibilidad de actualizaciones anuales en la distribución de la cobertura boscosa mundial permite estimar los rangos de distribución de las especies dependientes de este tipo de hábitat a través del tiempo, lo cual podría dar lugar a un indicador a nivel nacional o regional del área total de hábitat idóneo para una o varias especies de interés (por ejemplo, especies amenazadas) (Pereira <i>et al.</i> 2017).
ABSTRACT	
KEY WORDS	
INTRODUCCIÓN	
MARCO CONCEPTUAL	
METODOLOGÍA	
RESULTADOS	
DISCUSIÓN	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
AGRADECIMIENTOS	En Colombia, BioModelos permite la consulta y descarga de información geográfica sobre las distribuciones de especies, la cual se genera de manera colaborativa entre investigadores expertos en el modelamiento estadístico y expertos en la ecología propia de los grupos taxonómicos. La integración de estos dos tipos de conocimiento se hace mediante un flujo de trabajo que da lugar a la información más actualizada y confiable sobre la distribución de la biodiversidad en el territorio nacional (Velásquez-Tibatá <i>et al.</i> 2018).
REFERENCIAS	
<a href="#">SOBRE LOS AUTORES</a>	

### Productos de sensores remotos y sistemas de monitoreo de la cobertura terrestre

Desde la década de los años 80, los sensores remotos se han convertido en una fuente muy importante de datos sobre la extensión (Nagendra *et al.* 2013), estructura (Bergen *et al.* 2009, Goetz *et al.* 2007, Lausch *et al.* 2015) y funcionamiento (Ustin y Gamon 2010) de los ecosistemas. Varios países cuentan con sistemas de satélites para evaluar la cobertura de la Tierra a través de sensores remotos, como son Brasil, Canadá, China, Francia, India, Japón, Rusia y Estados Unidos (Steininger y Horning 2007).

En el caso del mapeo de la cobertura terrestre, las imágenes comúnmente usadas provienen de sensores ópticos (que captan la luz que es emitida por el sol y reflejada por la superficie de la Tierra (Chuvieco 2006)). Dichas imágenes tomadas por los sensores tienen diferentes resoluciones espaciales (tamaño de la mínima unidad de información incluida en una imagen, también conocida como *píxel*) y temporales (periodicidad con que el sensor adquiere imágenes de la misma porción de la superficie terrestre), entre otros tipos de resolución, que dan lugar a una gran variedad de productos para el monitoreo de las coberturas de la Tierra (Tabla 1).

Nombre	Años		Resolución temporal (años)	Tipo de imagen	Escala o resolución espacial	Unidades espaciales
	Inicial	Final				
Global Land Cover 2002	1995	2001		SPOT Vegetation, ATSR-2, JERS-1, DMSP, GTOPO30	1 km	Pixel-Tipo de cobertura
World Land Use Land Cover 2002				Desconocido	1 km	Pixel-Tipo de cobertura
Global Land Cover Distribution, by Dominant Land Cover Type 2007	1995	2001		GLC2000, GLC categorization	9 km	Pixel-Tipo de cobertura
Global Land Cover by National Mapping Organizations	2003	2008	5	MODIS	1 km (2003) 500 m (2008)	Pixel-Tipo de cobertura
ESA-GlobCover	2004	2009	5	MERIS FR	300 m	Pixel-Tipo de cobertura
Climate Change Initiative-Land Cover	1998	2012	5	MERIS FR, MERIS RR, SPOT Vegetation	300 m	Pixel-Tipo de cobertura
Global Land Cover Dataset 2010	2008	2011	10	Landsat, HJ-1	30 m	Pixel-Tipo de cobertura
MODIS Global Land Cover	2001	2012	1	MODIS	500 m	Pixel-Tipo de cobertura
Global Land Cover SHARE 2013	1998	2012		Datos a nivel subnacional, nacional, regional o global. Globcover, MODIS VCF 2010 y bases de datos de cultivos 2012	1 km	Pixel-Tipo de cobertura
Global Land Cover Climatology 2014	2001	2010		MODIS	500 m	Pixel-Tipo de cobertura
Finer Resolution Observation and Monitoring of Global Land Cover Segmentation	1984	2011		Landsat TM/ETM+, MODIS EVI, variables bioclimáticas, DEM global, variables suelo-agua	30 m	Pixel-Tipo de cobertura
Finer Resolution Observation and Monitoring of Global Land Cover Aggregation	1984	2011		FROM-GLC FROM-GLC-seg	30 m	Pixel-Tipo de cobertura
Finer Resolution Observation and Monitoring of Global of Global Cropland	1984	2011		FROM-GLC, FROM-GLC-agg, Mapa de Probabilidad 250 m	30 m	Pixel-Tipo de cobertura

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

METODOLOGÍA

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

	Nombre	Años		Resolución temporal (años)	Tipo de imagen	Escala o resolución espacial	Unidades espaciales
		Inicial	Final				
RESUMEN							
PALABRAS CLAVE							
ABSTRACT	Finer Resolution Observation and Monitoring of Global Land Cover Hierarchy 250 m	1984	2011		FROM-GLC-agg, MODIS, GlobCover 2009	30 m	Pixel-Tipo de cobertura
KEY WORDS							
INTRODUCCIÓN							
MARCO CONCEPTUAL	Finer Resolution Observation and Monitoring of Global Land Cover Hierarchy 500 m	1984	2011		FROM-GLC-agg, MODIS, GlobCover 2009	30 m	Pixel-Tipo de cobertura
METODOLOGÍA	Finer Resolution Observation and Monitoring of Global Land Cover Hierarchy 1 km	1984	2011		FROM-GLC-agg, MODIS, GlobCover 2009	30 m	Pixel-Tipo de cobertura
RESULTADOS							
DISCUSIÓN	Intact Forest Landscapes 2000	1990	2000	13	Landsat TM y ETM+	1:100.000	Polígonos
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	Global Forest Change 2000	2000	2000	13	Landsat TM y ETM+	30 m	Pixel-Porcentajes de cobertura de árboles
AGRADECIMIENTOS	Vegetation Continuous Fields of Landsat 2000	2000	2005	5	Landsat TM o ETM+	30 m	Pixel-Porcentajes de cobertura de árboles
REFERENCIAS	Percent Tree Cover	2003	2008	5	MODIS	1 km (2003) 500 m (2008)	Pixel-Porcentajes de cobertura de árboles
<a href="#">SOBRE LOS AUTORES</a>	Forest / Non-Forest map	2007	2010	1	ALOS PALSAR	25 m	Pixel-Tipo de cobertura (Bosque - No Bosque)
	MODIS Vegetation Continuous Fields	2000	2010	1	MODIS	250 m	Pixel-Tipo de cobertura (Bosque- No Bosque)
	Mapa Nacional de Coberturas de la Tierra (Corine Land Cover)	2000	2009	7	Landsat, Spot, Cbers, Aster	1:100.000	Polígonos
	Mapa de Cobertura de Bosque no Bosque	1990	2016	2	Landsat	30 m	Pixel-Tipo de cobertura (Bosque- No Bosque)

Tabla 1. Productos de sensores remotos para la evaluación y monitoreo de las coberturas de la Tierra<sup>1</sup>.

Las imágenes provenientes de sensores ópticos poseen limitaciones técnicas a considerar. Solamente registran lo que puede ser visto desde arriba, es decir, que las características de la vegetación que están por debajo del dosel por lo general no son detectadas. Por otra parte, en el proceso de clasificación, los objetos que pertenecen a una clase particular deben tener un tamaño mayor que la resolución espacial de la imagen. Por ejemplo, un río que tiene 10 metros de ancho no pue-

<sup>1</sup> Esta tabla hace parte de los productos del contrato de prestación de servicios profesionales No. 14-14-0025-255PS entre el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Jorge Eduardo Paiba Alzate (Paiba-Alzate 2015).

de ser detectado por un sensor que tiene una resolución espacial de un kilómetro cuadrado. Por último, los fenómenos atmosféricos, los problemas mecánicos con el sensor y otros contratiempos pueden distorsionar las imágenes, y por tanto, los productos que se deriven de ella. La cobertura de nubes es por lo general el impedimento más común para observar la superficie terrestre con sensores ópticos y es particularmente problemático en regiones como los bosques húmedos (Steininger y Horning 2007).

En Colombia, existen productos específicos sobre el cambio de coberturas de la Tierra: ejemplos de ellos son el mapa de coberturas de la Tierra (período 2005-2009), el cual se realizó adaptando la metodología CORINE Land Cover para Colombia (Ideam *et al.* 2008) y los mapas de deforestación en Colombia (Galindo *et al.* 2014). Existe también un producto muy interesante sobre escenarios de cobertura forestal en Colombia para el año 2030 (Etter y Arévalo 2014) y el mapa de núcleos de deforestación (Ideam 2017).

## METODOLOGÍA

Para ilustrar la metodología propuesta (Figura 1), se seleccionaron dos especies que ya cuentan con modelos de distribución validados a través de BioModelos. Las especies son *Zamia amazonum* D.W.Stev. y *Zamia chigua* Seem. Ambas especies se caracterizan por ser especies cuyo hábitat predominante es el bosque húmedo tropical de la región Amazónica y de la región Pacífica, respectivamente (López-Gallego 2015) (Figura 2). En este sentido, la parte de la metodología que se aplicó para este trabajo hace referencia a especies de bosque.

En primer lugar se consultaron y descargaron los mapas de la distribución geográfica de *Zamia amazonum* (López-Gallego & Cárdenas 2016) y *Zamia chigua* (López-Gallego 2016) en formato ráster con resolución espacial de 1 km<sup>2</sup>.

Dentro de flujo de trabajo de BioModelos existe una etapa en la que los expertos en las especies pueden seleccionar las categorías del mapa de cobertura de la Tierra realizado con la metodología CORINE Land Cover (CLC) (Ideam *et al.* 2010) que más se aproximen a los tipos de hábitat de la especie de interés (en BioModelos se les llaman variables ecológicas) (Tabla 2). Con esta información, obtenida a través de los expertos del grupo “Zamias de Colombia” de BioModelos, se determinó que *Z. amazonum* y *Z. chigua* son especies que habitan en coberturas boscosas.

Para evaluar las distribuciones de estas especies, se realizó una intersección espacial de sus modelos de distribución con los productos de cobertura de bosque para los años 1990, 2005, 2010 y 2015 (Ideam 2017) y con los escenarios de cambio de cobertura de bosque para el año 2030 (Etter y Arévalo 2014), respectivamente. Esto permitió calcular el porcentaje de área de los modelos de distribución en las distintas fechas y escenarios de coberturas de bosque en Colombia.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

METODOLOGÍA

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

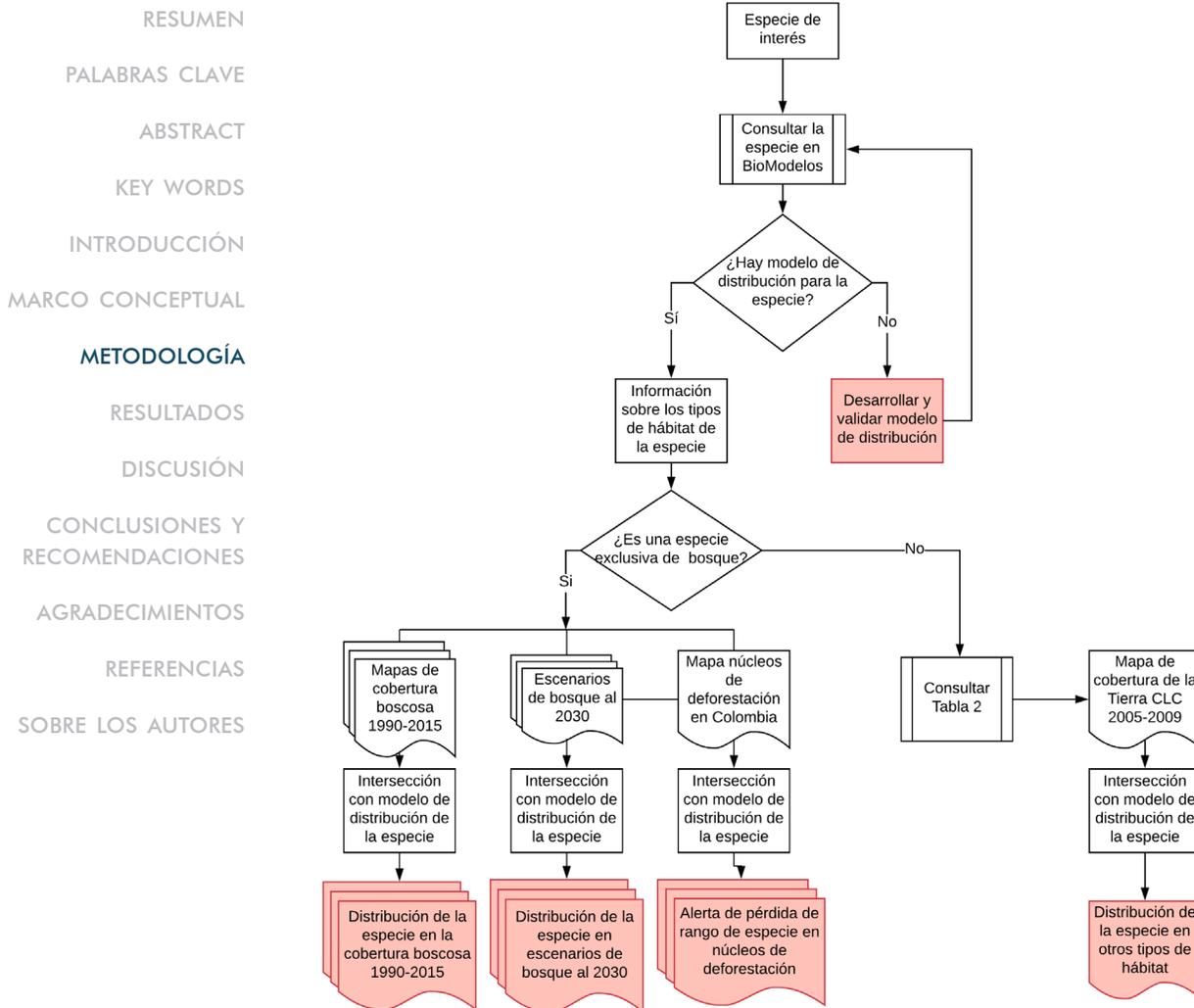
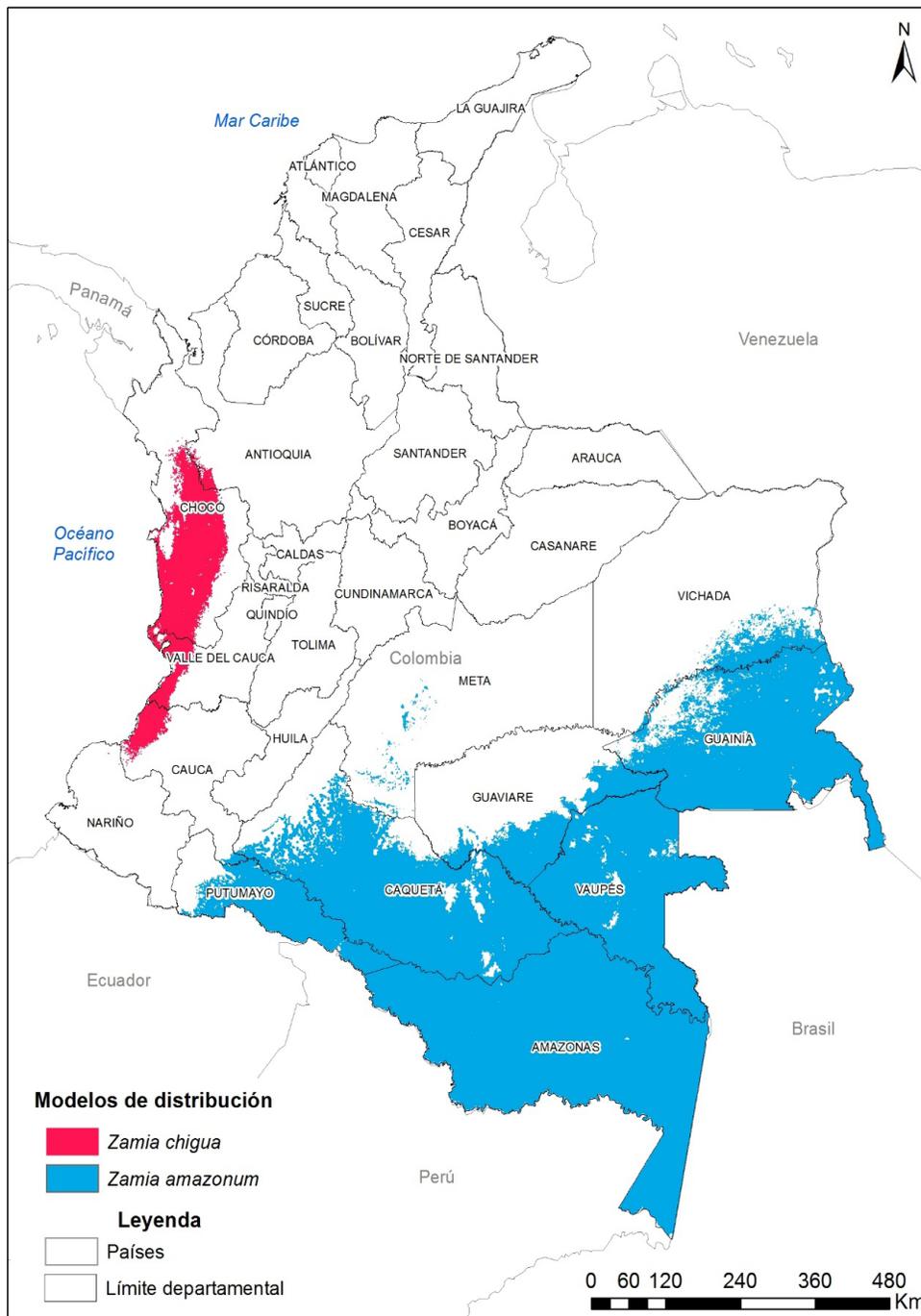


Figura 1. Propuesta metodológica para realizar el monitoreo de la VEB distribución de especies a partir de productos de sensores remotos.

Existen regiones del país con altos niveles de nubosidad como la región Pacífica, en donde la estimación de las áreas de bosque por sensores ópticos se hace más difícil. Dichas regiones se han incluido en la leyenda de los mapas de cobertura de bosque con la categoría "sin información".

Dado que estas áreas "sin información" se ubican mayormente en regiones de bosques tropicales, se decidió realizar dos cálculos sobre las distribuciones de las especies con los mapas de cobertura de bosque para los años 1990, 2005, 2010 y 2015 (Ideam 2017): (i) porcentaje de área máxima de las distribuciones de las especies asumiendo que las áreas "sin información" son áreas con bosque, y (ii) porcentaje de área mínima de las distribuciones de las especies asumiendo que las áreas "sin información" son áreas sin bosque.



- RESUMEN
- PALABRAS CLAVE
- ABSTRACT
- KEY WORDS
- INTRODUCCIÓN
- MARCO CONCEPTUAL
- METODOLOGÍA**
- RESULTADOS
- DISCUSIÓN
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- AGRADECIMIENTOS
- REFERENCIAS
- SOBRE LOS AUTORES

Figura 2. Áreas de distribución potencial de las especies *Z. amazonum* (López-Gallego y Cárdenas 2016) y *Z. chigua* (López-Gallego 2016).

Adicionalmente, se generó un mapa que integró la información de la distribución actual de las dos especies con el mapa de los núcleos de deforestación de Colombia (Ideam 2017), mediante una sobreposición de las dos capas.

RESUMEN  
 PALABRAS CLAVE  
 ABSTRACT  
 KEY WORDS  
 INTRODUCCIÓN  
 MARCO CONCEPTUAL  
 METODOLOGÍA  
 RESULTADOS  
 DISCUSIÓN  
 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES  
 AGRADECIMIENTOS  
 REFERENCIAS  
 SOBRE LOS AUTORES

Para el caso de especies no exclusivas de bosque, se debe tener un desarrollo adicional ya que no se cuenta por el momento con un sistema de monitoreo que reporte los cambios de estas coberturas en períodos de tiempo cortos y constantes. Por ejemplo, el mapa de coberturas de la tierra siguiendo la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia tiene una periodicidad aproximada de cinco años. Sin embargo, siguiendo la propuesta metodológica (Figura 1), sus distribuciones potenciales pueden ser monitoreadas al equiparar las categorías de cobertura de la tierra (Ideam *et al.* 2010) con los tipos de hábitat descritos por la IUCN (2012) (Tabla 2). Esto permite a los expertos determinar los tipos de hábitat de las especies que pueden ser mapeados mediante la intersección espacial de los modelos de distribución con las categorías de cobertura de la Tierra.

	Esquema de clasificación de hábitats de la IUCN (IUCN 2012)		Leyenda CLC adaptada para Colombia (Ideam <i>et al.</i> 2010)
	Nivel I	Nivel II	Nivel III
1. Bosques		1.6. Bosque tropical de tierras bajas	3.1.1. Bosque denso
		1.7. Bosque de manglar tropical/subtropical	3.1.2. Bosque abierto
		1.8. Bosque de pantano tropical/Subtropical	3.1.4. Bosque de galería y ripario
2. Sabanas		2.2. Sabana húmeda	3.2.1. Herbazal
3. Arbustales		3.6. Arbustal húmedo tropical/subtropical	3.2.2. Arbustal
4. Praderas nativas		4.6. Praderas con inundaciones temporales tropical/subtropical	3.2.1. Herbazal
5. Humedales		5.1. Ríos, arroyos permanentes	5.1.1. Ríos (50 m)
		5.2. Ríos, arroyos temporales	
		5.4. Ciénagas, marismas, pantanos, turberas	4.2.1. Pantanos costeros
		5.5. Lagos de agua dulce permanentes	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales
		5.6. Lagos de agua dulce temporales	4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
		5.11. Humedales alpinos	4.1.2. Turberas
		5.14. Lagos alcalinos o salados permanentes	
6. Áreas rocosas interiores			5.2.1. Lagunas costeras
			3.3.2. Afloramientos rocosos
8. Desiertos		8.1. Desierto caliente	
		8.3. Desierto frío	3.3.3. Tierras desnudas y degradadas
9. Marino-nerítico			5.2.2. Mares y océanos
10. Marino-oceánico			
12. Marino-interdital		12.2. Orilla arenosa	3.3.1. Zonas arenosas naturales

Esquema de clasificación de hábitats de la IUCN (IUCN 2012)		Legenda CLC adaptada para Colombia (Ideam <i>et al.</i> 2010)
12.3. Guijarros, grava o playa		4.2.3. Sedimentos expuestos en bajamar
12.5. Marismas saladas		5.2.2. Mares y océanos
14.1. Tierras de cultivo		2.4.1. Mosaico de cultivos
14. Terrestre-artificial	14.2. Tierras de pastos	2.3.1. Pastos limpios
		2.3.2. Pastos arbolados
		2.3.3. Pastos enmalezados
		2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales
		2.1.1. Otros cultivos transitorios
		2.1.2. Cereales
		2.1.3. Oleaginosas y leguminosas
		2.1.4. Hortalizas
		2.1.5. Tubérculos
	14.3. Plantaciones	2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos
		2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos
		2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos
		2.2.4. Cultivos agroforestales
		2.2.5. Cultivos confinados
		3.1.5. Plantación forestal
		2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos
14.4. Jardines rurales	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	
	2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales	
	1.1.1. Tejido urbano continuo	
	1.1.2. Tejido urbano discontinuo	
	1.2.1. Zonas industriales o comerciales	
	1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	
14.5. Áreas Urbanas	1.2.3. Zonas portuarias	
	1.2.4. Aeropuertos	
	1.3.2. Zona de disposición de residuos	
	1.4.1. Zonas verdes urbanas	
	1.4.2. Instalaciones recreativas	
14.6. Bosque tropical fuertemente degradado	3.1.3. Bosque fragmentado	
	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	
15. Acuáticos-artificiales	15.1. Aguas de almacenamiento	1.2.5. Obras hidráulicas

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

**METODOLOGÍA**

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

	Esquema de clasificación de hábitats de la IUCN (IUCN 2012)	Leyenda CLC adaptada para Colombia (Ideam <i>et al.</i> 2010)
RESUMEN		
PALABRAS CLAVE	15.2. Estanques	5.1.4. Cuerpos de agua artificiales
ABSTRACT	15.5. Excavaciones	1.3.1. Zonas de extracción minera
KEY WORDS	15.9. Diques y canales de drenaje	5.1.3. Canales
INTRODUCCIÓN		3.3.1. Zonas arenosas naturales
MARCO CONCEPTUAL	Otros	3.3.4. Zonas quemadas 3.3.5. Zonas glaciares y nivales 4.1.1. Zonas pantanosas

## METODOLOGÍA

**RESULTADOS** Tabla 2. Relación de los tipos de hábitat de la IUCN (2012) con la leyenda del mapa de cobertura de la Tierra CLC adaptada para Colombia (Ideam *et al.* 2010).<sup>2</sup>

## DISCUSIÓN

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Todas las operaciones de análisis espaciales fueron realizadas en el lenguaje de programación R (R Development Core Team 2012) y en el programa ArcGIS 10 (ESRI 2011). El código de R se encuentra disponible en GitHub (<https://github.com/LBAB-Humboldt/ModelsStatistics>).

## AGRADECIMIENTOS

## REFERENCIAS

## SOBRE LOS AUTORES

## RESULTADOS

Para *Z. amazonum*, los valores del porcentaje de área de distribución potencial disminuyen del año 1990 (93,7 %) al 2005 (90,7 %), 2010 (89,3 %) y aumenta ligeramente en 2015 (90,1 %) (Figura 2A), mientras que en el caso de *Z. chigua*, el porcentaje de área de distribución potencial aumenta del año 1990 (77,8 %) a 2005 (84,7 %), 2010 (89,7 %) y se observa que dicho valor decrece durante 2015 (84 %) (Figura 2B). Las variaciones de estos valores a través de los 4 años están relacionadas con la cobertura de nubes que se presentó para las imágenes de algunos años. Como se observa en la Figura 2C, para *Z. amazonum* que es una especie distribuida principalmente en la región Amazónica, la diferencia entre los valores del porcentaje de área de distribución potencial con nubes y sin nubes, es muy pequeña. En el año 2010 es cuando más se observa presencia de nubes en la imagen, y por tanto, se observa que de dicho año al 2015 hay un pequeño incremento en el porcentaje del área de distribución potencial.

<sup>2</sup> Este resultado hace parte de los productos del contrato de prestación de servicios profesionales No. 14-14-0025-255PS entre el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Jorge Eduardo Paiba Alzate (Paiba-Alzate 2015).

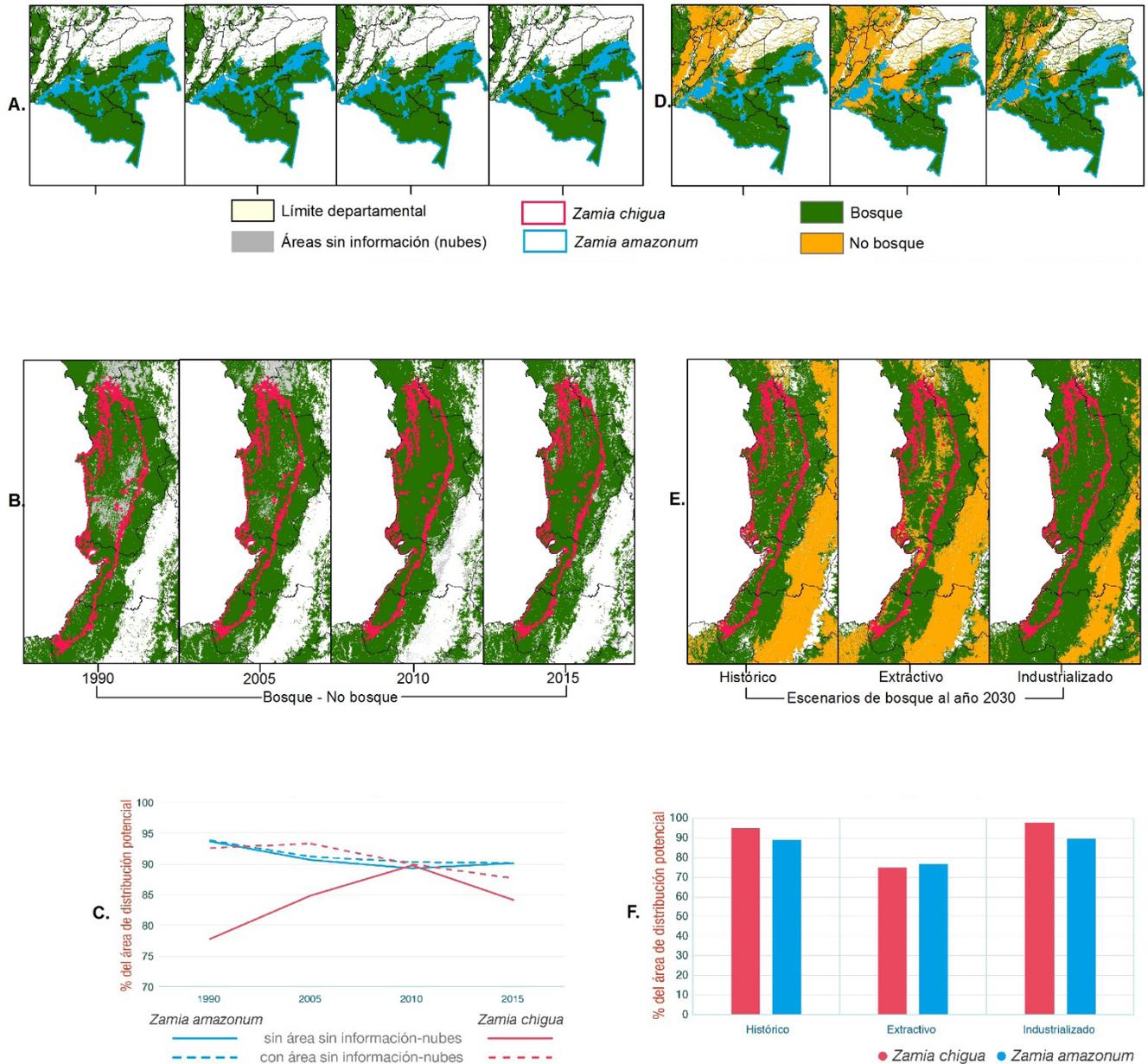
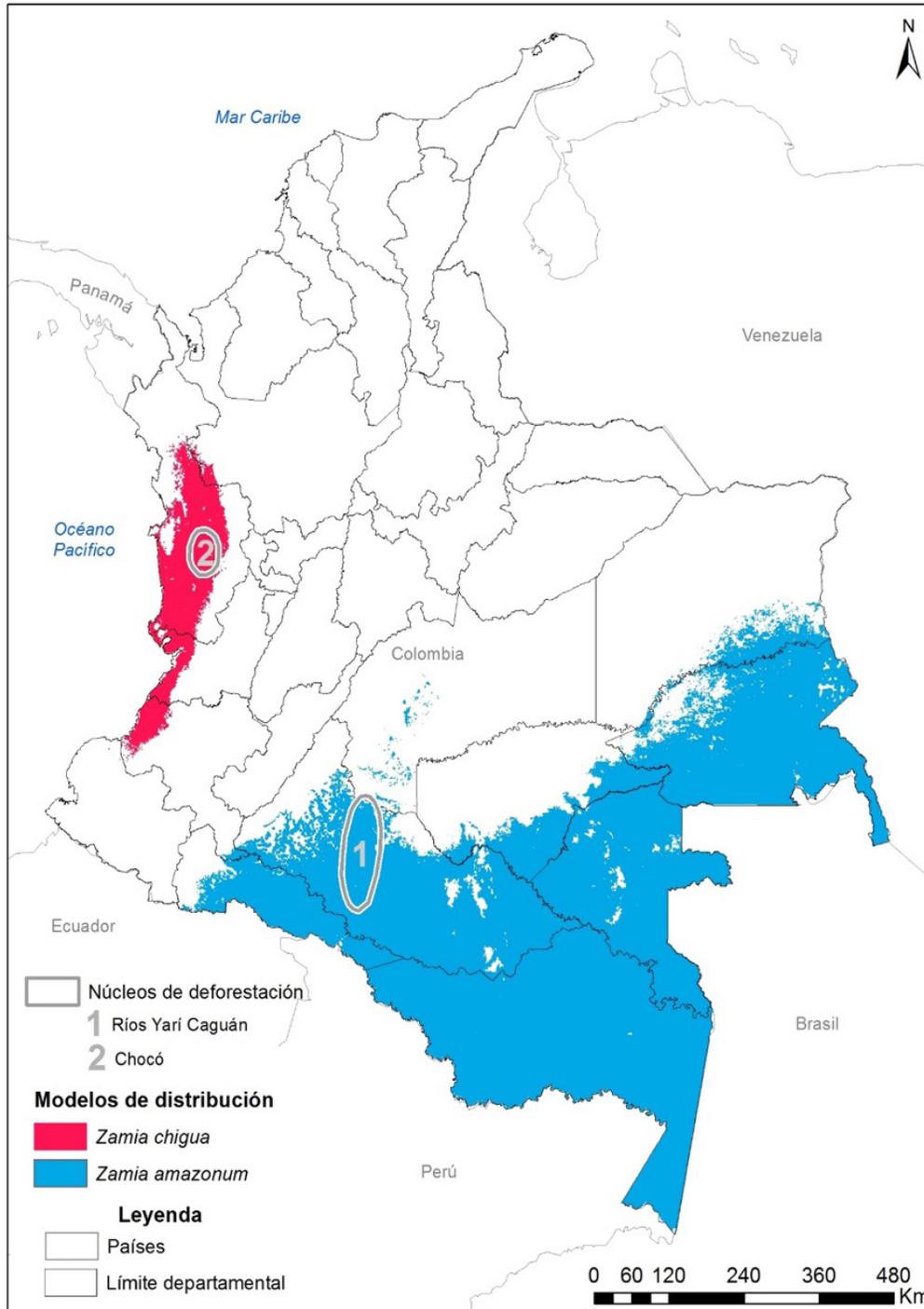


Figura 3. Cambios del porcentaje de área de distribución durante el período 1990-2005 para *Z. amazonum* (A.) y *Z. chigua* (B.); cambios del porcentaje de área de distribución en los tres escenarios de cobertura boscosa para 2030 para *Z. amazonum* (D.) y *Z. chigua* (E.); gráfica de los porcentajes de área de distribución de las especies en bosques potenciales (tomando en cuenta áreas “sin información”) y bosques observados (sin tomar en cuenta áreas “sin información”) (C.); gráfica de los porcentajes de área de distribución de las especies en los tres escenarios de cobertura forestal para el año 2030 (F.).

RESUMEN	Por su parte, <i>Z. chigua</i> presenta grandes diferencias entre los valores del porcentaje de distribución potencial con nubes y sin nubes. Esto está relacionado con la alta cobertura de nubes que se observó para las imágenes del año 1990 y 2005 en la región Pacífica del país. Esta área de cobertura de nubes fue menor dentro de la distribución de la especie para el año 2010, lo cual pudo dar lugar al reporte de un incremento del porcentaje de área de distribución de la especie en los bosques húmedos tropicales de la región Pacífica de Colombia, una zona que se ha caracterizado por su alta cobertura de nubes, que hace difícil el monitoreo de los bosques a través de sensores ópticos (Figura 3C).
PALABRAS CLAVE	
ABSTRACT	
KEY WORDS	
INTRODUCCIÓN	
MARCO CONCEPTUAL	
METODOLOGÍA	
RESULTADOS	En el caso de los escenarios de cobertura boscosa para el año 2030 (Etter y Arévalo 2014), se observa que el porcentaje del área de distribución potencial de <i>Z. amazonum</i> se verá reducido mayormente para economía extractivista y expansión de la frontera agrícola, seguido del panorama basado en tasas históricas de deforestación; mientras que en el de economía industrializada y estabilización de la frontera agrícola, habrá un incremento en dicho valor (Figura 3D). Para <i>Z. chigua</i> se observa el mismo patrón descrito para <i>Z. amazonum</i> , donde el escenario de una economía industrializada y de estabilización de la frontera agrícola ofrece mayores oportunidades para la conservación del hábitat de la especie.
DISCUSIÓN	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
AGRADECIMIENTOS	
REFERENCIAS	
SOBRE LOS AUTORES	

Para las dos especies, el escenario extractivista impactaría de manera negativa, en su mayoría, el hábitat de las especies y por tanto su distribución. Por su lado, el escenario industrializado y de estabilización de la frontera agrícola, será el que más favorezca la conservación y recuperación del hábitat para estas especies (Figura 3F).

La tendencia en la pérdida de cobertura boscosa en el primer trimestre del año 2017 ha dado lugar al mapa de núcleos de deforestación de Colombia (Ideam 2017). Al sobreponer este con los mapas de las distribuciones de *Z. chigua* y *Z. amazonum*, se observa que hay dos grandes núcleos que podrían afectar las especies de manera negativa, al reducir su hábitat (Figura 4), estos corresponden al núcleo de los ríos Yarí Cagúan, para el caso de *Z. amazonum*, y al núcleo del Chocó para *Z. chigua*. Esto es especialmente importante si se tiene en cuenta que *Z. chigua* ha sido categorizada recientemente como una especie en peligro (EN) y *Z. amazonum* como una especie vulnerable (VU), de acuerdo con la evaluación realizada por López-Gallego (2015).



RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

METODOLOGÍA

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

Figura 4. Distribuciones de las especies *Z. amazonum* y *Z. chigua* y los núcleos de deforestación en Colombia que las afectan (Ideam 2017).

RESUMEN **DISCUSIÓN**

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

METODOLOGÍA

RESULTADOS

**DISCUSIÓN**

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

El uso de los productos de sensores remotos y modelos de distribución de especies permite analizar los cambios que pueden estar sufriendo las poblaciones de especies como consecuencia de las modificaciones en los hábitats, o cómo dichas poblaciones se pueden ver afectadas en escenarios futuros por determinadas amenazas.

En el contexto de nuestro caso de estudio, desde un sistema de monitoreo de vigilancia se podrían dar insumos para responder a la pregunta ¿cuál es el estado de la distribución de *Z. amazonum* y *Z. chigua* en el pasado reciente y la actualidad?, esto a través de los resultados de la variación del porcentaje del rango de distribución, respecto a las capas de cobertura de bosque entre los años 1990 y 2015. Para ello, se deben tener en cuenta dos elementos: por un lado, la presencia de nubes o áreas sin información en las imágenes de los diferentes años, y por otro, la tendencia observada desde el año 2010, cuando había una gran disminución de dichas áreas. En el primer caso, se observó que antes del año 2010 hubo variaciones que sugerían un incremento en el área de distribución de la especie *Z. chigua*. Esto se debió a que la presencia de nubosidad en las imágenes Landsat usadas en la construcción de las capas de bosque era alta en la región del Pacífico para el año 1990 y 2000 (Renjifo *et al.* 2016). En las capas producidas en años posteriores se tuvo mayor corrección sobre este tipo de error. En el caso de *Z. amazonum*, una especie en su mayoría distribuida en la región Amazónica, se observó el mismo patrón de incremento del porcentaje de área de distribución de 2010 a 2015, debido a que en el primer año hubo un incremento en el área de nubes de la imagen, que disminuyó para el siguiente año. Estos resultados evidenciaron la necesidad de que el análisis de las capas de cobertura de bosque incluyera una evaluación previa que informe acerca de la presencia de nubes en las imágenes procesadas, para así informar apropiadamente el grado de incertidumbre en las estimaciones de tamaño de rango geográfico de ambas especies a través del tiempo.

Es necesario entonces incorporar las áreas sin información (nubes) dentro de este tipo de análisis para tener una aproximación al nivel de incertidumbre que contiene los productos de sensores remotos y así mismo, de la información que se genere a partir de ellos (Armenteras *et al.* 2017), como es el caso de los porcentajes de área de distribución potencial de las especies. También se recomienda la integración de estos productos con sensores activos como radar y Lidar que pueden dar insumos más detallados de la estructura de los bosques, a pesar de la presencia de nubes (Reiche *et al.* 2015, Tsui *et al.* 2012). Teniendo en cuenta estas recomendaciones sobre el manejo de las áreas “sin información” en las imágenes satelitales, es posible identificar con mayor certeza el estado de las distribuciones de las especies en el tiempo, para así reconocer los patrones de pérdida, recuperación o mantenimiento de sus poblaciones en el pasado reciente y el presente.

Al observar la variación del porcentaje del rango de distribución de las especies, y a la vez considerando las áreas “sin información”, se evidencia una disminución en

dicho atributo. Esto se relaciona con los procesos de deforestación registrados para Colombia desde 1990. Para el período 1990-2005, la tasa de deforestación reportada fue de 0,62 % (Armenteras *et al.* 2013) y fue asociada principalmente a variables biofísicas, demográficas y de cambios en el uso del suelo a una escala nacional (Armenteras y Rodríguez 2014). Sin embargo, a una escala regional, se ha observado que los patrones y los impulsores de la deforestación están muy lejos de ser homogéneos; Armenteras y colaboradores (2013) explican que la Amazonia se encuentra en un proceso activo de colonización asociado a la deforestación para la expansión de la frontera agropecuaria, y que, por su parte, la región Pacífica ha experimentado procesos de tala selectiva de bosque húmedo tropical por décadas, acompañados de fuertes presiones por proyectos de explotación de hidrocarburos y minería en los últimos diez años. Estos impulsores son la causa de la disminución en el porcentaje de la distribución de las especies, y por tanto, representan una fuerte amenaza para su persistencia.

En el caso de un monitoreo dirigido, los insumos de esta metodología pueden ayudar a responder preguntas de manejo específicas como, por ejemplo, ¿cuál es la tendencia de la distribución de las especies en escenarios futuros de cambios de cobertura forestal en el país? y ¿dónde se puede ver afectada la distribución de las especies por eventos de pérdida de hábitat por deforestación? Para la primera pregunta, los resultados de la variación del porcentaje del rango de distribución potencial de las especies en escenarios futuros de cobertura boscosa, muestran como la disminución y restauración de su hábitat puede estar afectando a sus poblaciones silvestres en los tres tipos de escenarios propuestos por Etter y Arévalo (2014). Sin duda, el escenario más favorable para estas especies es el de una economía industrializada y de estabilización de la frontera agrícola, en el que la deforestación proyectada a 2030 alcanzará un valor aproximado de 5,6 % (Etter y Arévalo 2014). Este mismo resultado puede ser parte del argumento para promover este escenario a futuro a nivel de políticas nacionales, considerando que los bosques son de una gran importancia ecológica como hábitat para plantas y animales (Walz 2015). Por su parte, los escenarios de economía extractivista y expansión de la frontera agrícola, y el que está basado en tasas históricas de deforestación muestran una reducción de los porcentajes de área de distribución potencial de las especies. Especialmente en el caso del primer escenario, se observa que la especie más afectada sería *Z. amazonum*, posiblemente por las actividades de deforestación para expansión de la frontera agrícola de la región del piedemonte de la cordillera Oriental, hacia la región Amazónica (Rodríguez-Eraso *et al.* 2013, Etter y Arévalo 2014). No obstante, estos escenarios fueron formulados antes del posconflicto, por lo cual es relevante realizar posteriormente estos análisis cuando existan nuevos modelos de deforestación que incluyan el contexto nacional actual.

En el caso de la segunda pregunta, se puede afirmar que *Z. chigua* y *Z. amazonum* están siendo afectadas de manera negativa en su distribución por la presencia de dos núcleos de deforestación (Chocó, y ríos Yarí y Caguán, respectivamente) como lo

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

METODOLOGÍA

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

RESUMEN	muestran los datos. Esta información es especialmente importante, ya que, en general para las especies de bosque, dentro de los motores de pérdida de biodiversidad, la deforestación está ocurriendo a una tasa alarmantemente alta (Rodríguez-Eraso <i>et al.</i> 2013, Keenan <i>et al.</i> 2015, Mukul y Herbohn 2016), y esto puede estar impactando con mayor fuerza a aquellos organismos con rangos de distribución restringidos y con categorías de amenaza, como es el caso de <i>Z. chigua</i> (endémica de Colombia) y <i>Z. amazonum</i> , reafirmando así que la principal amenaza para las poblaciones de zamias es la destrucción del hábitat en áreas donde se incrementa la frontera agrícola como el Pacífico y la Amazonia (López-Gallego 2015).
PALABRAS CLAVE	
ABSTRACT	
KEY WORDS	
INTRODUCCIÓN	
MARCO CONCEPTUAL	
METODOLOGÍA	
RESULTADOS	Siguiendo estos resultados, se considera que para monitorear la VEB distribuciones de especies, es necesario integrar tres tipos de conocimiento: el conocimiento generado a partir de los modelos de distribución de especies, el conocimiento de los expertos sobre las preferencias de hábitat de las especies, traducido al lenguaje de las leyendas de los productos de cobertura de la Tierra a partir de sensores remotos; y el conocimiento generado a partir de la integración de estos dos últimos. Consideramos que los resultados de este trabajo, en conjunto con sistemas de monitoreo <i>in situ</i> de las especies, pueden llegar a apoyar de manera más eficiente y robusta las propuestas de conservación y manejo de la VEB distribución de especies en Colombia.
DISCUSIÓN	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
AGRADECIMIENTOS	
REFERENCIAS	
SOBRE LOS AUTORES	Nuestra propuesta metodológica se puede replicar para cualquier especie que cuente con información espacialmente explícita de su distribución y del tipo de hábitat en el que comúnmente se encuentra. También puede ser útil en el desarrollo de evaluaciones de riesgo de extinción de acuerdo con la metodología de la IUCN (IUCN 2013). Específicamente, bajo el criterio A “reducción del tamaño poblacional”, el área de distribución de una especie puede considerarse como un <i>proxy</i> del tamaño poblacional, y en ese sentido, tanto los cambios en áreas del pasado como los esperados en el futuro, son un insumo clave para informar la aplicación de este criterio. Igualmente, para las especies que cuentan con estimaciones de densidad, la información de área de distribución a través del tiempo puede llevarse a número de individuos para inferir la tendencia poblacional de las especies y aplicar el criterio C “tamaño de población pequeño y en disminución”. Evaluaciones recientes de riesgo de extinción de aves en Colombia (Renjifo <i>et al.</i> 2016) y el amazonas (Bird <i>et al.</i> 2011) han aplicado esta metodología exitosamente.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Monitorear la VEB distribución de especies es factible si se integra el conocimiento de los expertos con los modelos de distribución de especies y productos de sensores remotos que se puedan relacionar en su leyenda con las preferencias de hábitat de las especies. Adicionalmente, contar con productos multitemporales a nivel nacional, que permitan el monitoreo de ciertas coberturas que representen hábitats de gran importancia para plantas y animales, como lo son los bosques, es un insumo muy fundamental para medir la variación de las áreas de distribución potencial de las

especies a través del tiempo (pasado, presente y futuro). Para generar información de calidad, esta metodología propone tener en cuenta las áreas “sin información” de los mapas de bosques de Colombia, especialmente para el período 1990-2005 en zonas caracterizadas por presentar altas concentraciones de nubes. Adicionalmente, contar con estos insumos permite cuantificar la pérdida de hábitat para especies con algún interés particular (por ejemplo, especies endémicas, amenazadas o de interés comercial), por procesos de deforestación que están asociados con diferentes tipos de impulsores, como son la colonización para ampliación de la frontera agropecuaria, la tala selectiva y los proyectos de extracción de hidrocarburos y minería.

El caso de estudio aquí presentado con las especies *Z. amazonum* y *Z. chigua*, ilustra la aplicación de la metodología propuesta y también permite hacer un análisis de los resultados obtenidos. En este sentido, se evidencia como la deforestación es una importante causa de pérdida de hábitat para las especies asociadas a bosque, que amenaza la supervivencia de las poblaciones, tanto en el pasado reciente como en el presente y el futuro si no se adoptan medidas de ordenamiento territorial y uso de los recursos naturales que propendan a la conservación de la biodiversidad.

Estos resultados son insumos muy importantes para los procesos de evaluaciones de riesgo de extinción de especies, la consolidación de un sistema de alertas tempranas por pérdida de biodiversidad y la evaluación de los cambios en la distribución de las especies en escenarios futuros, al integrarse en una metodología clara y reproducible.

## AGRADECIMIENTOS

Al grupo de expertos de Zamias de Colombia, en especial a su moderadora Cristina López Gallego por su disposición para el desarrollo de los modelos colaborativos de ese trabajo. Al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) por facilitar los insumos derivados de sensores remotos para este trabajo. Al Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y al Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible por financiar la plataforma BioModelos y la realización de este trabajo a través de su presupuesto de inversión.

## REFERENCIAS

- Anaya, J. A., L. O. Anderson, y B. Mora. 2017. Pp: 100-109. Drivers of biodiversity loss. En: GOF-C-GOLD & GEO BON (eds.). A Sourcebook of Methods and Procedures for Monitoring Essential Biodiversity Variables in Tropical Forests with Remote Sensing. GOF-C-GOLD Land Cover Project Office, Wageningen.
- Armenteras, D., E. Cabrera, N. Rodríguez y J. Retana,. 2013. National and regional determinants of tropical deforestation in Colombia. *Regional Environmental Change* 13 (6): 1181-1193.
- Armenteras, D., y N. Rodríguez Eraso. 2014. Dinámicas y causas de deforestación en bosques de Latinoamérica: una revisión desde 1990. *Colombia Forestal* 17 (2): 233-246.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

METODOLOGÍA

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

- RESUMEN Armenteras, D., J. M. Espelta, N. Rodríguez y J. Retana. 2017. Deforestation dynamics and drivers in different forest types in Latin America: Three decades of studies (1980-2010). *Global Environmental Change* 46: 139-147.
- PALABRAS CLAVE
- ABSTRACT Baillie, J., C. Hilton-Taylor y S. N. Stuart. 2004. 2004 IUCN red list of threatened species: a global species assessment. Earth.
- KEY WORDS Bergen, K. M., S. J. Goetz, R. O. Dubayah, G. M. Henebry, C. T. Hunsaker, M. L. Imhoff, R. F. Nelson, G. G. Parker, y V. C. Radeloff. 2009. Remote sensing of vegetation 3-D structure for biodiversity and habitat: Review and implications for lidar and radar spaceborne missions. *Journal of Geophysical Research* 114: G00E06.
- INTRODUCCIÓN
- MARCO CONCEPTUAL Bird, J. P., G. M. Buchanan, A. C. Lees, R. P. Clay, P. F. Develey, I. Yépez y S. H. M. Butchard. 2012. Integrating spatially explicit habitat projections into extinction risk assessments: A reassessment of Amazonian avifauna incorporating projected deforestation. *Diversity and Distributions* 18: 273-281.
- METODOLOGÍA
- RESULTADOS
- DISCUSIÓN Chuvieco, E. 2006. Teledetección ambiental. Editorial Ariel. Barcelona, 449 pp.
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES Duro, D. C., N. C. Coops, M. A. Wulder y T. Han. 2007. Development of a large area biodiversity monitoring system driven by remote sensing. *Progress in Physical Geography* 31 (3): 235-260.
- AGRADECIMIENTOS
- REFERENCIAS ESRI. 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- SOBRE LOS AUTORES Etter, A. y P. Arévalo. 2014. Escenarios futuros de la cobertura forestal en Colombia. En: Bello, J. C., M. Báez, M. F. Gómez, O. Orrego y L. Nägele (eds.). Biodiversidad 2014. Estado y tendencias de la biodiversidad continental en Colombia (ficha 210).
- Franklin, J. 2009. Chapter 3 - Ecological understanding of species distributions. En: Franklin, J (ed.), Mapping Species Distribution-Spatial Inference and Prediction. Pp. 34-52.
- Galindo, G., O. J. Espejo., J. C. Rubiano, L. K. Vergara y E. Cabrera. 2014. Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia. V. 2.0. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) Bogotá D.C., 56 pp.
- Gill, M., R. H. G. Jongman, B. Mora y M. Paganini. 2017. Introduction. En: GOF-C-GOLD & GEO BON (Eds.), A Sourcebook of Methods and Procedures for Monitoring Essential Biodiversity Variables in Tropical Forests with Remote Sensing Pp. 9-21.
- Goetz, S., D. Steinberg, R. Dubayah, y B. Blair. 2007. Laser remote sensing of canopy habitat heterogeneity as a predictor of bird species richness in an eastern temperate forest, USA. *Remote Sensing of Environment* 108 (3): 254-263.
- Ideam, IGAC y Cormagdalena. 2008. Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Corporación Autónoma Regional del río Grande de La Magdalena. Bogotá, D.C. 200 pp.
- Ideam, IGAC, Cormagdalena, Sinchi, y Parques Nacionales. 2010. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover, adaptada para Colombia Escala 1:100.000. 72 pp.
- Ideam. 2017. Décimo boletín de alertas tempranas de deforestación (AT-D). Primer trimestre 2017. Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono-SMBYC. Bogotá, D.C.

- IUCN. 2012. Habitats Classification Scheme (Version 3.1). International Union for Conservation of Nature, 14 pp.
- Jetz, W., D. S. Wilcove y A. P. Dobson. 2007. Projected impacts of climate and land-use change on the global diversity of birds. *PLoS Biology* 5: e157.
- Keenan, R. J., G. A. Reams, F. Achard, J. V. de Freitas, A. Grainger y E. Lindquist, 2015. Dynamics of global forest area: Results from the FAO Global Forest Resources Assessment 2015. *Forest Ecology and Management* 357 (7): 9-20.
- Kerr, J. T. y M. Ostrovsky. 2003. From space to species: Ecological applications for remote sensing. *Trends in Ecology and Evolution* 18 (6): 299-305.
- Lausch, A., T. Blaschke, D. Haase, F. Herzog, R. U. Syrbe, L. Tischendorf, y Walz, U. 2015. Understanding and quantifying landscape structure - A review on relevant process characteristics, data models and landscape metrics. *Ecological Modelling* 295: 31-41.
- López-Gallego, M. C. 2015. Plan de acción para la conservación de las zamias de Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia y Universidad de Antioquia. Bogotá D.C., 162 pp.
- López-Gallego C. 2016. Modelo de distribución de *Zamia chigua*. Instituto Alexander von Humboldt. Recuperado de: [http://biomodelos.humboldt.org.co/species/visor?species\\_id=6873](http://biomodelos.humboldt.org.co/species/visor?species_id=6873).
- López-Gallego C. & Cardenas D. 2016. Modelo de distribución de *Zamia amazonum*. Instituto Alexander von Humboldt. Recuperado de: [http://biomodelos.humboldt.org.co/species/visor?species\\_id=6871](http://biomodelos.humboldt.org.co/species/visor?species_id=6871).
- Loucks, C., y P. Leimgruber. 2007. Capítulo 8. Trends in Species Populations. En: Strand, H., R. Höft, J. Stritholt, L. Miles, N. Horning, E. Fosnight, y W. Turner (eds.). Sourcebook on Remote Sensing and Biodiversity Indicators. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal. Pp. 119-128
- McGarigal, K., y B. J. Marks. 1995. FRAGSTATS : Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure. Oregon State University Corvallis (Vol. Gen. Tech.). U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
- Mukul, S. A., y J. Herbohn. 2016. The impacts of shifting cultivation on secondary forests dynamics in tropics: A synthesis of the key findings and spatio temporal distribution of research. *Environmental Science and Policy* 55: 167-177.
- Nagendra, H., R. Lucas, J. P. Honrado, R. H. G. Jongman, C. Tarantino, M. Adamo, y P. Mairota. 2013. Remote sensing for conservation monitoring: Assessing protected areas, habitat extent, habitat condition, species diversity, and threats. *Ecological Indicators* 33: 45-59.
- Nichols, J. D., y B. K. Williams. 2006. Monitoring for conservation. *Trends in Ecology & Evolution* 21: 668-673.
- Paiba-Alzate, J. E. 2015. Informe Técnico. Propuesta metodológica para el mapeo y monitoreo de las coberturas asociadas con la distribución de las especies a partir de la intersección de productos de sensores remotos y modelos de distribución de especies. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D.C. 27 pp.
- Pereira, H. M., S. Ferreir, M. Walters, G. N. Geller, R. H. G. Jongman, R. J. Scholes, M. W. Bruford, N. Brummit, S. H. M. Butchart, A. C., Cardoso, N. C. Coops, E. Dulloo, D. P. Faith, J. Freyhof, R. D. Gregory, C. Heip, R. G. Hof, W. Jetz, D. S. Karp, M. A McGeoch, D. Obura, Y. Onoda, N. Pettorelli, B. Reyers, R. Sayre, J. P. W. Scharlemann, S. N. Stuart,

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

METODOLOGÍA

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

- RESUMEN E. Turak, M. Walpole y M. Wegmann. 2013. Essential Biodiversity Variables. *Science* 339: 277-278.
- PALABRAS CLAVE Pereira, H. M., J. Belnap, M. Böhm, N. Brummitt, J. García-Moreno, R. Gregory, L. Martin, C. Peng, V. Proença, D. Schmeller y C. van Swaay. 2017. Monitoring Essential Biodiversity Variables at the Species Level Pp: 79-105. En: Walters, M. y R. J. Scholes (eds.). The GEO Handbook on Biodiversity Observation Networks. Springer Nature. Gewerbestrasse.
- ABSTRACT
- KEY WORDS
- INTRODUCCIÓN Peterson, A. T., J. Soberón, R. G. Pearson, R. P. Anderson, E. Martínez-Meyer, M. Nakamura y M. Bastos Araujo. 2011. Ecological niches and geographic distributions. Princeton University Press. New Jersey, 316 pp.
- MARCO CONCEPTUAL
- METODOLOGÍA Proença, V., L. J. Martin, H. M. Pereira, M. Fernandez, L. Mcrae, J. Belnap, M. Böhm, N. Brummitt, J. García-Moreno, R. D. Gregory, J. P. Honrado, N. Jürgens, M. Opige, D. S. Schmeller, P. Tiago y C. A. M van Swaay. 2017. Global biodiversity monitoring: From data sources to Essential Biodiversity Variables. *Biological Conservation* 213: 256-263.
- RESULTADOS
- DISCUSIÓN R Development Core Team. 2012. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES Reiche, J., J. Verbesselt, D. Hoekman, y M. Herold. 2015. Fusing Landsat and SAR time series to detect deforestation in the tropics. *Remote Sensing of Environment* 156: 276-293.
- AGRADECIMIENTOS Renjifo, L. M., Á. M. Amaya-Villarreal, J. Burbano-Girón, y J. Velásquez-Tibatá. 2016. Libro rojo de aves de Colombia Volumen II: Ecosistemas abiertos, secos, insulares, acuáticos continentales, marinos, tierras altas del Darién y Sierra Nevada de Santa Marta y bosques húmedos del centro, norte y oriente del país. Pontificia Universidad Javeriana e Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D.C. 563 pp.
- REFERENCIAS Rodríguez-Eraso, N., D. Armenteras-Pascual y J. R. Alumbrosos. 2013. Land use and land cover change in the Colombian Andes: Dynamics and future scenarios. *Journal of Land Use Science* 8: 154-174.
- SOBRE LOS AUTORES Rondinini, C., M. D. Marco, F. Chiozza, G. Santulli, D. Baisero, P. Visconti, M. Hoffmann, J. Schipper, S. N. Stuart, M. F. Tognelli, G. Amori, A. Falcucci, L. Maiorano y L. Boitani. 2011. Global habitat suitability models of terrestrial mammals. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 366: 2633-2641.
- Sayre, R. y Hansen, M. 2017. Ecosystem extent and fragmentation. Pp. 60-66. En: GOF-C-GOLD & GEO BON (Eds.). A Sourcebook of Methods and Procedures for Monitoring Essential Biodiversity Variables in Tropical Forests with Remote Sensing. GOF-C-GOLD Land Cover Project Office. Wageningen.
- Steininger, M., y N. Horning. 2007. The Basics of Remote Sensing. Pp. 23-34. En: Strand, H., R. Höft, J. Stritholt, L. Miles, N. Horning, E. Fosnight, y W. Turner (eds.). Sourcebook on Remote Sensing and Biodiversity Indicators. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, NASA-NGO Biodiversity Working Group, World Conservation Monitoring Centre of the United Nations Environment Programme. Montreal.
- Tsui, O. W., N. C. Coops, M. A. Wulder, P. L. Marshall y A. McCardle. 2012. Using multi-frequency radar and discrete-return LiDAR measurements to estimate above-ground biomass and biomass components in a coastal temperate forest. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 69: 121-133.

- Turak, E., J. Brazill-boast, T. Cooney, M. Drielsma, J. Delacruz, G. Dunkerley, M. Fernandez, S. Ferrier, M. Gill, H. Jones, T. Koen, J. Leys, M. McGeich, J. B. Mihoub, P. Scanes, D. Schmeller y K. Williams. 2016. Using the essential biodiversity variables framework to measure biodiversity change at national scale. *Biological Conservation* 213 (Part B): 264-271.
- Turner, W., S. Spector, N. Gardiner, M. Fladeland, E. Sterling y M. Steininger. 2003. Remote sensing for biodiversity science and conservation. *Trends in Ecology and Evolution* 18 (6): 306-314.
- Ustin, S. L. y J. A. Gamon. 2010. Remote sensing of plant functional types. *The New Phytologist* 186 (4): 795-816.
- Velásquez-Tibatá, J., M. H. Olaya-Rodríguez, D. López-Lozano, C. Gutiérrez, I. González y M. C. Londoño-Murcia. 2018. BioModelos: a collaborative system to map species distribution. bioRxiv preprint.
- Vihervaara, P., A. P. Auvinen, L., Mononen, M. Törmä, P. Ahlroth, S. Anttila, K. Böttcher, M. Forsius, J. Heino, J. Heliölä, M. Koskelainen, M. Kuussaari, K. Meissner, O. Ojala, S. Tuominen, M. Viitasalo y R. Virkkala. 2017. How Essential Biodiversity Variables and remote sensing can help national biodiversity monitoring. *Global Ecology and Conservation* 10: 43-59.
- Walz, U. 2015. Indicators to monitor the structural diversity of landscapes. *Ecological Modelling* 295: 88-106.
- Yoccoz, N. G., J. D. Nichols y T. Boulinier. 2001. Monitoring of biological diversity in space and time. *Trends in Ecology & Evolution* 16: 446-453.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

METODOLOGÍA

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

## SOBRE LOS AUTORES

### María Helena Olaya Rodríguez:

Bióloga de la Universidad Javeriana y estudiante de la maestría en Geomática de la Universidad Nacional de Colombia. Desde el Instituto Humboldt trabaja como investigadora en el Laboratorio de Biogeografía aplicada del Programa de Evaluación y Monitoreo de la Biodiversidad y hace parte del equipo coordinador de BioModelos.

### Jorge Velásquez-Tibatá:

Biólogo de la Universidad Nacional con doctorado en Ecología y Evolución de State University of New York. Su experiencia de investigación se centra en el estudio de los patrones geográficos de la biodiversidad y sus respuestas al cambio ambiental global. Actualmente se desempeña como especialista en análisis espaciales del Programa de Conservación NASCA de The Nature Conservancy.

RESUMEN **Lina María Estupiñán-Suárez:**

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

METODOLOGÍA

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

Bióloga de la Universidad Nacional de Colombia con maestría en Ciencias de Observación de la Tierra, Modelamiento y Manejo Ambiental de la Universidad de Lund e ITC, Universidad de Twente. Actualmente es estudiante de doctorado en el Instituto Max Planck para Biogeoquímica en Jena, Alemania. Lina ha participado desde el Instituto Humboldt en procesos de restauración, estudios de humedales, generación de insumos para análisis a escala nacional, y principalmente con datos de teledetección (series de tiempo) para estudiar la dinámica de los ecosistemas.

Citación sugerida

Olaya-Rodríguez M. H., J. Velásquez-Tibatá y L. M. Estupiñán-Suárez. 2018. Integrando la información de sensores remotos con modelos de distribución de especies para el monitoreo de la biodiversidad. Caso de estudio para las especies *Zamia amazonum* y *Zamia chigua*. *Biodiversidad en la Práctica* 3 (1): 74-98.