

# 201

## VULNERABILIDAD DE LA OFERTA DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

### Ficha metodológica

Modelo de Deforestación en Putumayo:

Para el modelamiento de la pérdida de bosque, se utilizó un modelo de regresión logística binomial, siguiendo la metodología de Rosa et al. (2013), el cual predice la probabilidad de que una celda  $x$  sufra un evento de deforestación en un intervalo de tiempo. Es decir, el modelo parte de una entrada (variable dependiente) de carácter binario (deforestado-no deforestado) y la respuesta tiene como salida la probabilidad de que ocurra el evento de deforestación (Figura X1). Para comenzar, se

utilizaron las coberturas disponibles del SINCHI (escala 1:100.000) para 2014 y 2016 y se reclasificó el nivel 3 de coberturas a dos categorías de bosque (Bosque denso, abierto, fragmentado, de galería y ripario) y no bosque. Estas capas fueron convertidas a ráster de 100mx100m, de manera que el área de cada celda equivale a una hectárea. El cambio de cobertura fue medido en dos años, lo cual definió la velocidad a la cual se entrenó el modelo, la capa de deforestación y a la cual se realizaron las proyecciones.

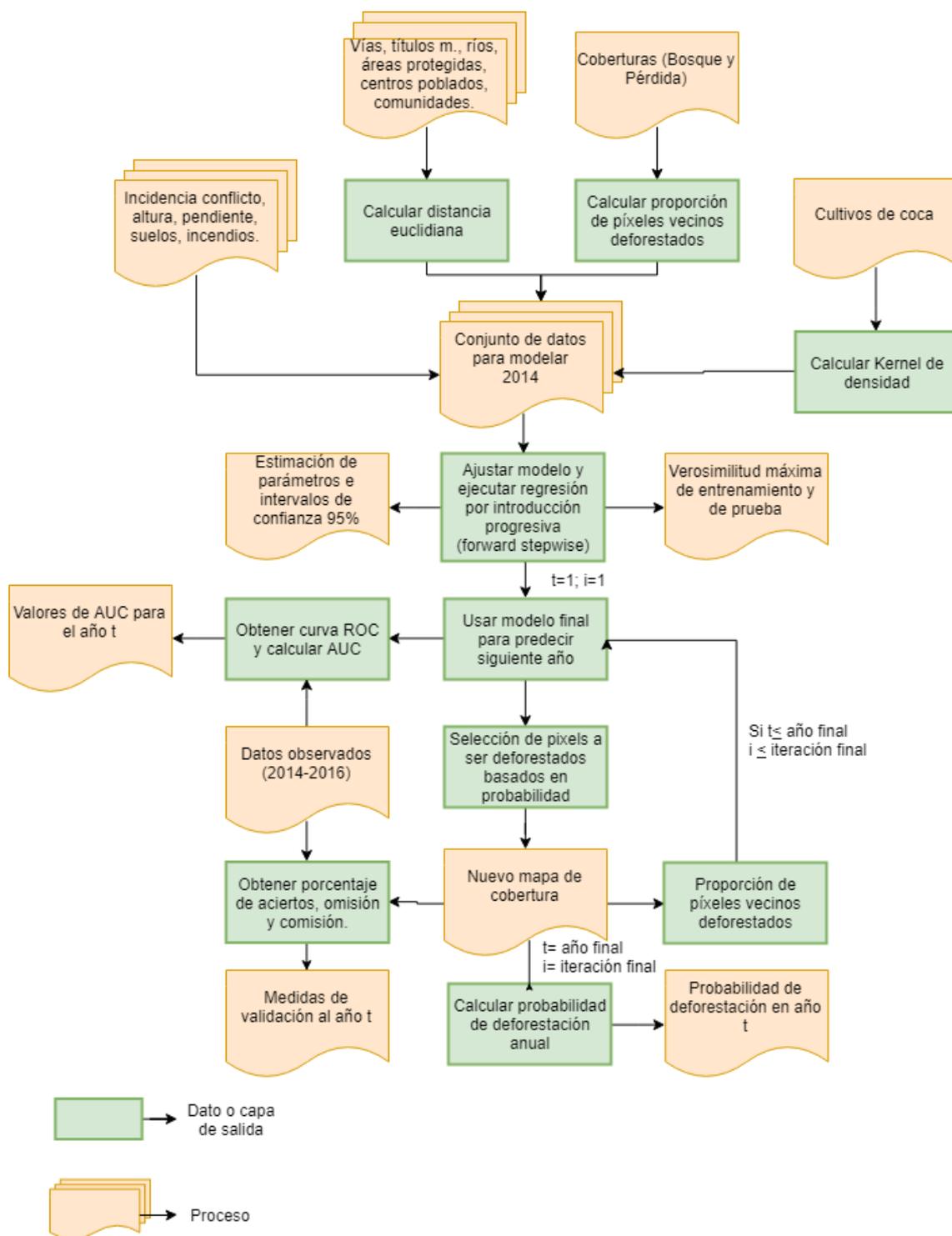


Figura X1. Diagrama de flujo para el proceso de modelamiento, modificado de Rosa et al. (2013).

Con relación a las variables de predicción del modelo se recopiló la información disponible sobre los motores de cambio potencialmente

relacionados con la pérdida de bosque. Al igual que con las capas de coberturas, estas capas se rasterizaron, en caso de no encontrarse en este formato, a una resolución espacial de 100mx100m. De manera similar a como se

generaron las capas de bosque- no bosque, se usaron las coberturas para generar dos capas de pastos- no pastos, cultivos- no cultivos. Para estas variables y las capas de vías, ríos (drenajes dobles), áreas protegidas, cabeceras municipales, resguardos indígenas, reservas campesinas y comunidades afrodescendientes, pozos petroleros y títulos mineros se calculó la distancia euclidiana al punto, línea o polígono como se muestra en el diagrama de flujo de la metodología empleada por Rosa et al. (2013) para modelar deforestación. Para las vías se contó con información de la capa del IGAC a 1:100.000 para el año 2016.

Los polígonos con la información de resguardos indígenas, reservas campesinas y territorios colectivos de comunidades afrodescendientes se unieron en una sola capa para representar la presencia de las comunidades en la zona. Para esta capa sólo se filtró la capa de resguardos indígenas de acuerdo al último año considerado en el modelo (2016), la cual presentaba algunos cambios entre años a diferencia de las otras dos. Por otro lado, la capa de pozos petroleros cuenta con información disponible de los pozos perforados hasta el 2018, por lo cual se realizó un filtro similar al anterior, considerando sólo los pozos presentes hasta el 2016. Con relación a las áreas protegidas, la capa disponible contaba con la fecha del acto administrativo de declaración de reserva a partir de 1984 en el área de interés hasta el 2017. Por tanto, se filtró esta capa poniendo como límite el año 2016 y se trabajó teniendo en cuenta esas diferencias para incluir la capa en el modelo. Para facilitar la

interpretación de coeficientes e igualar el peso de las distancias en el modelo se estandarizaron entre 0 y 1 todas las capas de distancias. La capa disponible de coca se calculó un kernel de densidad, el cual toma la densidad de la coca en cada punto y los pondera según su peso para realizar la extrapolación a lo largo del polígono.

Adicionalmente, se incluyó información de tipo de erosión de suelos, fuegos detectados por medio de MODIS, conflicto armado, elevación y pendiente. La información de incendios se sumó entre los años modelados y se remuestreó para obtener la capa usada a la resolución definida, ya que su resolución original es a 500m. Para el indicador del conflicto armado se utilizó la información disponible en el centro de memoria histórica, sobre once tipos de eventos de violencia, como acciones bélicas, asesinatos selectivos, ataques a poblaciones, atentados terroristas, daños a bienes, desaparición, masacres, minas antipersona, reclutamiento, secuestro y violencia sexual. A cada una de estas categorías se les asignó el mismo peso, y se tomó como referencia el valor más alto dentro de los municipios incluidos en el análisis para calcular una proporción, de manera que cada categoría presentó un valor entre 0 y 1. Por tanto, el máximo valor que puede tomar este indicador de conflicto armado será 11 para el municipio con la mayor cantidad de acciones de violencia y 0 para en caso que no se presentara algún caso de las 11 categorías. Este valor se espacializó asignando el indicador a cada municipio en un ráster de la resolución definida.

Estos datos tienen información disponible desde 1965 hasta el 2018, por lo que se utilizó un valor promedio para todos los años evaluados.

Adicionalmente, se alimentó el modelo con una variable que refleja el comportamiento de deforestación, la cual se construyó a partir del cálculo de la proporción de celdas vecinas deforestadas de acuerdo a la capa de bosque inicial. Esto hace parte del efecto de contagio de la deforestación según la metodología usada por Rosa et al. (2013), ya que usualmente se utiliza la distancia euclidiana a la celda deforestada más cercana, como se hizo para las otras variables. Sin embargo, esta distancia resulta en una expansión de la deforestación bastante rápida, pero difusa, debido a que una celda deforestada reduce la distancia entre todas las celdas de la región y los eventos de deforestación siguientes tienen efecto en cualquier punto de la región, mientras que con la proporción de celdas vecinas la deforestación en una celda distante no tendrá influencia directa en la deforestación local. Por tanto, al utilizar este método la deforestación local responde únicamente a las celdas vecinas, de manera que existirá una mayor probabilidad de deforestación en celdas cercanas a una deforestación previa. Luego de este procesamiento, se cuenta con el conjunto de datos para utilizar en el modelo.

Se realizó un análisis de correlación entre todas las variables del conjunto de datos, para tener una idea de la relación entre ellas y con variables como la cobertura de bosques y su pérdida. Además, este

análisis se realiza para tener en cuenta la correlación de las variables en caso de presentarse multicolinealidad en el modelo, es decir cuando las variables predictoras están muy correlacionadas entre sí, ya que esto genera problemas en la salida del modelo. Considerando lo anterior, se realizó un análisis del factor de inflación de la varianza (FIV), el cual permite identificar variables que producen este fenómeno, ocasionado por el efecto de multicolinealidad de las variables. Se tomó como punto de corte valores mayores a 5 y se eliminaron aquellas variables que tuvieran valores más altos.

Al realizar el análisis del FIV, se eliminaron del modelo las capas de títulos mineros y de minería ilegal, pues la variable distancia a pozos petroleros está altamente correlacionada con estas. Adicionalmente, como es de esperarse dado que la capa de pendientes se construye a partir de la capa de elevación, estas dos tienen una alta correlación, al igual que ocurre con las capas de bosque y la de deforestación vecina. El modelo se entrenó con un 70% de los datos y se evaluó con el 30% restante. Se calculó la probabilidad de deforestación a partir de 100 iteraciones. Posteriormente, se calculó una probabilidad acumulada, tomando como referencia los píxeles que tuvieron mayor probabilidad de deforestación para obtener una salida con un valor máximo de 100% en el caso que haya tenido la mayor suma de probabilidades y 0% si no presentó para alguna de las iteraciones algún evento de deforestación.

A continuación se presentan los métodos utilizados para espacializar desde un enfoque biofísico los servicios ecosistémicos de seis servicios ecosistémicos (almacenamiento de carbono, control de la erosión, oferta hídrica superficial, regulación hídrica, control de inundaciones y potencial de aviturismo) para el área de estudio delimitada con las unidades bióticas.

#### Almacenamiento de carbono

Para el mapeo del servicio de almacenaje de carbono, se emplearon los tipos de cobertura evaluados por Yepes et al., (2011) en donde a cada tipo de cobertura, ya sea natural o intervenida, se le calcula un valor de importancia por la cantidad de carbono que almacena en biomasa.

#### Control de la erosión

Este servicio se mapeo con base en la capa de erosión (SGC, 2015), la cual permite identificar diferentes niveles de este proceso. Considerando, por otra parte, la importancia de la cobertura vegetal para la oferta de este servicio, se determinó que la provisión de este se presenta en las zonas donde hay algún grado de erosión y coberturas naturales o semi-naturales.

#### Oferta hídrica superficial

La oferta hídrica es una variable que puede depender de la escorrentía y de la regulación que brinda la vegetación a dichos niveles en relación con su geología. Para desarrollar el cálculo de los servicios de oferta Hídrica y regulación hídrica se utilizó como insumo principal la capa de oferta hídrica nacional a escala 1:100.000 recortada para la

zona de estudio, generada de la metodología propuesta en el Estudio Nacional del Agua del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM 2015). La estimación de la oferta hídrica media anual se basa en el concepto de balance hídrico, así para cualquier masa de agua, en territorios extensos y por varios periodos de tiempo.

#### Regulación hídrica

Una vez obtenida la oferta hídrica, se realiza el cálculo de la regulación hídrica para lo cual se consideró además, la geología, la pendiente, la capacidad de drenaje del suelo, zonas de humedales y cobertura de la tierra, de acuerdo al método propuesto por Kennessey (1993) y actualizado sucesivamente por varios autores para estudios específicos en zonas de montaña (Colombetti & Mattioli 1991, Bauducco et al. 1992). Para la geología, se tuvo en cuenta el valor de permeabilidad del material parental, lo que permite determinar la porosidad del suelo y que tanto se retiene de la oferta. En el caso de la pendiente, a mayor pendiente, mayor el escurrimiento y en las zonas planas se presenta mayor retención; por lo tanto se clasifico en valores de Muy alto: <3.5%, Alto: 3.5% < a >10%, Medio: 10%< a >35% y Bajo: > 35%.

La capacidad de drenaje se reclasificó en valores de 1: para zonas urbanas, 2: Para drenaje pobre y bueno, 3: para drenaje bueno y pobre, 4: para drenaje bueno e imperfecto, 5: drenaje bueno y 6 Cuerpos de agua. Así mismo la variable de humedales se incluyó teniendo en cuenta que este tipo de áreas permiten una mejor

regulación hídrica, ya que de acuerdo a su potencialidad puede retener mayor agua y por tanto hacerla más disponible. De este modo se asignaron valores según la potencialidad, 0: para zonas que no son humedales, 1: para zonas con potencial bajo; 2: Potencial medio, 3: Humedal temporal y 4: Humedal permanente abierto o bajo dosel.

#### Control de inundaciones

Para espacializar el servicio de control de inundaciones se tuvieron

en cuenta dos variables, la primera corresponde a la información de susceptibilidad a la inundación (IDEAM, 2010), y la segunda la capa de coberturas del Instituto Sinchi (2016), relacionada con áreas de bosque principalmente. La combinación de estas dos capas da como resultados zonas con presencia de bosque en las cuales se presenta un control de inundaciones, zonas desprovistas de bosque con susceptibilidad a la inundación y zonas sin bosque que no son susceptibles a la inundación.

## FUENTE DE DATOS UTILIZADOS

Información utilizada para alimentar el modelo.

#	Capa	Resolución	Fuente	Año
1	Pozos petroleros	-	ANH	1948-2018
2	Coberturas de la tierra	1:100.000	SINCHI	2014,2016
3	Indicador de Conflicto armado	-	Centro de Memoria Histórica	1965-2016
4	Vías	1:100.000	IGAC	2016
5	Áreas mineras y minería ilegal	1:100.000	ANM	2017
6	Ríos (Drenajes dobles)	1:100.000	IGAC	2016
7	Áreas protegidas	1:100.000	RUNAP	Declaradas hasta 2017
8	Altura	30m	SRTM-DEM	-

9	Tipo de suelos	1:100.000	IGAC	2014
10	Cabeceras municipales	1:100.000	IGAC	2016
11	Resguardos indígenas	1:100.000	Gran Tierra Energy	2019
12	Reservas campesinas	1:100.000	Gran Tierra Energy	2019
13	Comunidades afrodescendientes	1:100.000	Gran Tierra Energy	2019
14	Plantaciones de coca	1Km	SIMCI	2016
15	Incendios	500m	MCD64A1:MODIS	2014-2016

### USOS Y USUARIOS RECOMENDADOS

La ficha está dirigida al público en general. En especial es un insumo útil para funcionarios de entidades del estado y ONGs involucradas en conservación, consultores independientes en gestión territorial.

Para la comunidad científica en general y estudiantes enfocados en la ecología del paisaje y la planificación espacial para la conservación.

### Cítese como:

Citación de ficha sugerida: Díaz Timote, J., Isaacs Cubides, P. & Arce, M.I. (2020). Vulnerabilidad de la oferta de servicios ecosistémicos. En: Moreno, L. A. & Andrade, G. I. (Eds.). Biodiversidad 2019. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia. Bogotá, D. C., Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 92p.