

MAPA DE ESTRUCTURA DE VEGETACIÓN 2007-2008 Y SERIES DE TIEMPO DE CAMBIO DE COBERTURA VEGETAL 2007-2010.

LÍNEA BASE PARA EL MONITOREO DE LA AMAZONÍA COLOMBIANA A ESCALA MEDIANA



MAPA DE ESTRUCTURA DE VEGETACIÓN 2007-2008 Y SERIES DE TIEMPO DE CAMBIO DE COBERTURA VEGETAL 2007-2010.

LÍNEA BASE PARA EL MONITOREO DE LA AMAZONÍA COLOMBIANA A ESCALA MEDIANA





AMAZON CONSERVATION TEAM (ACT)

Carolina Gil
Directora Programa Colombia

Brian Hettler
Director SIG y Nuevas Tecnologías

Santiago Palacios
Profesional SIG



SARVISION

Marcela Quiñones
Ecóloga e Ingeniera de Proyectos

AUTORES:

Marcela Quiñones, Martin Vissers (SarVision).
Santiago Palacios, Brian Hettler y Claudia Huertas
(ACT).

Cítese como / Citation: “Quiñones M.J.; Vissers M.H.;
Huertas C.; Palacios S.; Gil C.; Hettler B. “Mapa Base
de estructuras de Vegetación de la Amazonía Colom-
biana”. Publicación ACT-SarVision, 2017.

PRODUCCIÓN EDITORIAL

Álvaro David Gil
Diseño y diagramación.

Impresión

Printer Full Color
Bogotá, Colombia.
Agosto de 2017.



CONTENIDO

RESUMEN.....4

1. INTRODUCCIÓN.....6

2. METODOLOGÍA.....9

2.1 INSUMOS.....9

2.2 PROCESAMIENTO.....9

2.3 LEYENDA.....12

2.4 VALIDACIÓN.....14

3. RESULTADOS.....16

3.1. DISTRIBUCIÓN DE LOS
TIPOS DE VEGETACIÓN.....17

3.2 INDICADORES PARA
UNA LÍNEA BASE.....21

3.3 VALIDACIÓN: ESTIMACIÓN
DE LA EXACTITUD DEL PRODUCTOR.....30

4. CONCLUSIONES.....33

5. RECOMENDACIONES DE USO.....35

6. REFERENCIAS.....36



RESUMEN

Este documento acompaña al mapa de estructuras de vegetación de la Amazonía Colombiana 2007 a 2008, que se presenta como una línea base para monitoreo, además de tres mapas de cambio de cobertura vegetal, o series de tiempo para los años 2007 a 2008, 2008 a 2009 y 2009 a 2010. Los mapas están basados en imágenes de radar de banda L: Alos PALSAR a 25 m de resolución y publicados a escala 1:50.000.

La leyenda de los mapas integra información estructural de la vegetación, condiciones del terreno y patrones de inundación de la región amazónica colombiana. El Mapa muestra 17 clases estructurales de vegetación siguiendo el sistema de clasificación “Land Cover Classification System” (LCCS) de la FAO (Di Gregorio & Jansen, 2000). Los Mapas fueron creados en SarVision con la colaboración y la financiación de Amazon Conservation Team, Colombia (ACT). Los Mapas están disponibles en formato ráster GeoTIFF, para su consulta y uso. Se incluyen metadatos y matrices de validación.

Este documento incluye información sobre los procesos de creación del mapa, desarrollo de la leyenda y procedimientos y resultados de validación y algunos indicadores de cambio de cobertura de vegetación y extensión de inundaciones, derivados de estadísticas provenientes del análisis de las series de tiempo.

Una descripción detallada de la leyenda, muestra semejanzas con el mapa de Ecología del paisaje y ecosistemas, presentados para el medio Caquetá por Duivenvoorden & Lips (1993), estudio útil para análisis de biodiversidad. Además, se implementaron procedimientos de validación sobre los cuatro mapas, para el cálculo de la precisión y la confiabilidad del mapa, siguiendo los procedimientos de buena práctica definidos por (Olofsson et al., 2014). Se presenta una matriz de confusión que permite evaluar la precisión de la clasificación para las distintas clases.

Adicionalmente se calcularon estadísticas multi-temporales extraídas de las series de tiempo, en la búsqueda de indicadores de cambio de cobertura y de extensión de inundación, como línea base para un sistema de monitoreo de la Amazonía Colombiana que implementarán Amazon Conservation Team y SarVision en el marco de otros proyectos.

Palabras claves: estructura de vegetación, patrones de inundación, imágenes Alos PALSAR, Amazonía Colombiana, sistemas de monitoreo de cobertura vegetal.

ABSTRACT

This document accompanies the Structural Vegetation Map of the Colombian Amazon, 2007 to 2008, a baseline for water and deforestation monitoring, and three maps of vegetation cover change, as a time series for the periods 2007-2008, 2008-2009 and 2009-2010. The maps are based on L band ALOS PALSAR radar images at 25-meter resolution and are published at a scale of 1:50.000.

The unified legend for the maps integrates vegetation structure characteristics, terrain conditions and flooding patterns of the Colombian Amazon region. The map shows 17 classes of different vegetation structures following the Land Cover Classification System (LCCS) legend established by the FAO (Di Gregorio & Jansen, 2000). The maps were created by SarVision and the Amazon Conservation Team (ACT). The maps are available in raster GeoTIFF format for consultation and use, and include metadata and accuracy information.

This document includes information on the maps' creation, the development of the legend, validation procedures and results, and some indicators of cover change and flooding extension, derived from the change statistics calculated for the time series.

A detail description of the legend shows similarities with the legend developed for a landscape ecosystem map created for Colombia's middle

Caquetá River region (Duivenvoorden & Lips, 1993), useful for biodiversity assessments. Strict validation procedures were applied across the four maps, in order to calculate map accuracies and reliability following the good practice procedures developed by Pontus Olofsson and associates (Olofsson et al., 2014). A confusion matrix is presented to evaluate the classification accuracy for the different vegetation structural classes.

In addition, statistics derived from the time series maps were calculated, to inform the identification of environmental indicators with respect to land cover and flooding extension to be applied in a monitoring system. Calculations are presented in the document's appendix, and some will be used as the baseline for the vegetation cover observation system to be implemented by Amazon Conservation Team and SarVision in the framework of new projects.

Keywords: Vegetation structure; flooding patterns; radar ALOS PALSAR images; Colombian Amazon; land cover monitoring system.

1. INTRODUCCIÓN

Amazon Conservation Team (ACT) es una organización sin ánimo de lucro creada en 1998 con presencia en Brasil, Surinam y Colombia; cuya misión es la protección de los bosques tropicales y el fortalecimiento de las comunidades locales. En el desarrollo de su trabajo ha buscado integrar el conocimiento tradicional con el saber occidental para la protección del medio ambiente y el desarrollo sostenible; centrándose en proteger los territorios indígenas y de las comunidades locales y su diversidad cultural durante más de 20 años. Amazon Conservation Team, junto con SarVision, expertos en el manejo de imágenes de radar para el mapeo y detección de cambios en bosques tropicales a partir de la generación de mapas y análisis de series de tiempo, unieron sinergias para el desarrollo de una línea base para el monitoreo de la Amazonía Colombiana. La línea base está conformada por un mapa de tipos de vegetación y tres mapas de cambios de cobertura, indispensables para la actualización de la información del estado del bosque y el apoyo a comunidades en la gestión del territorio.

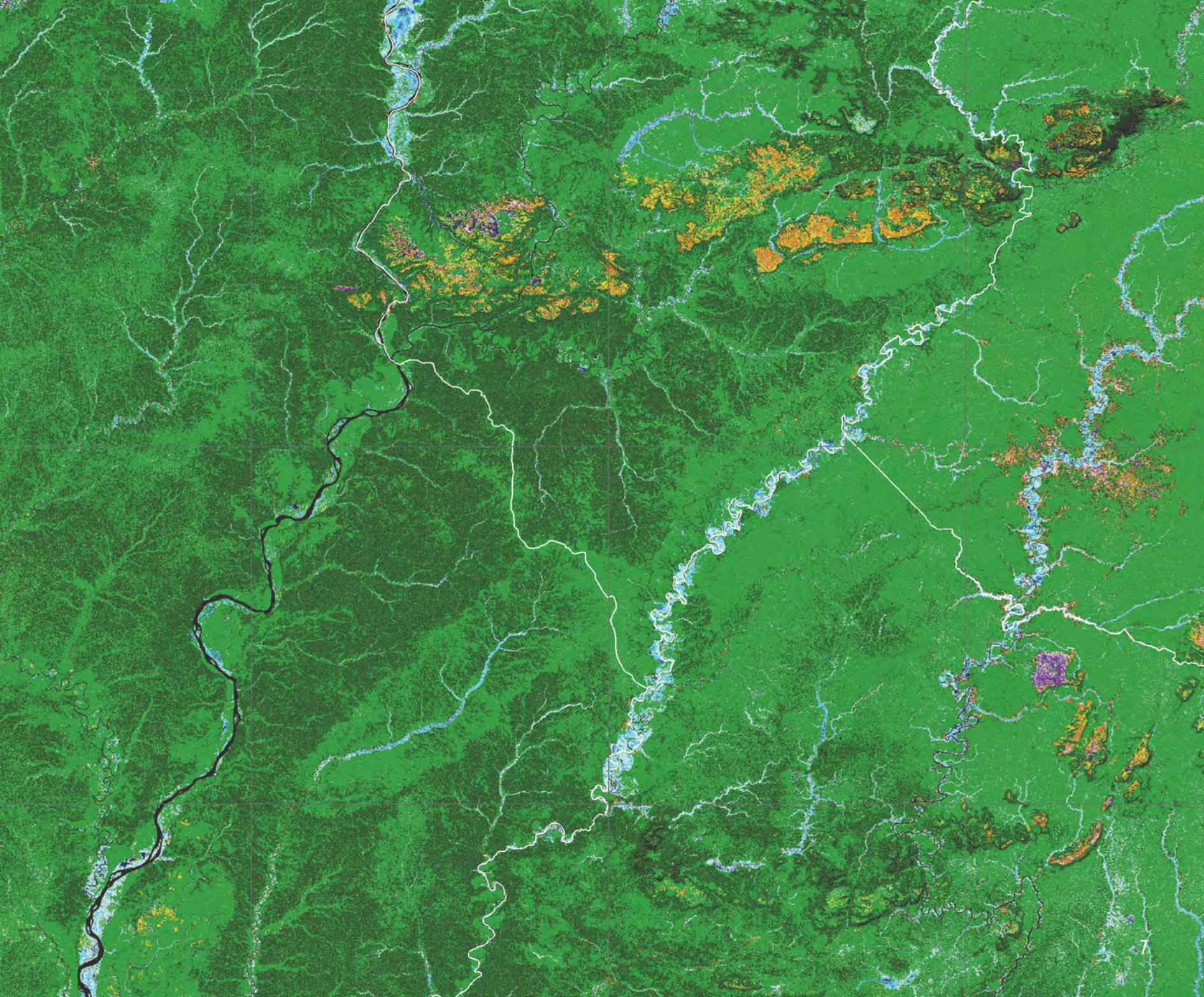
En la última década, la región amazónica colombiana ha sido ampliamente cartografiada tanto por organizaciones públicas como privadas en temas como: coberturas, ecosistemas y deforestación. Sin embargo, no se han hecho mapeos sobre estructuras vegetales ni patrones de inundación a nivel regional. Un mapa de tipos de vegetación es indispensable para proporcionar información, consistente y eficaz que sirva como línea base para la observación del estado del bosque como apoyo a la gobernanza del territorio.

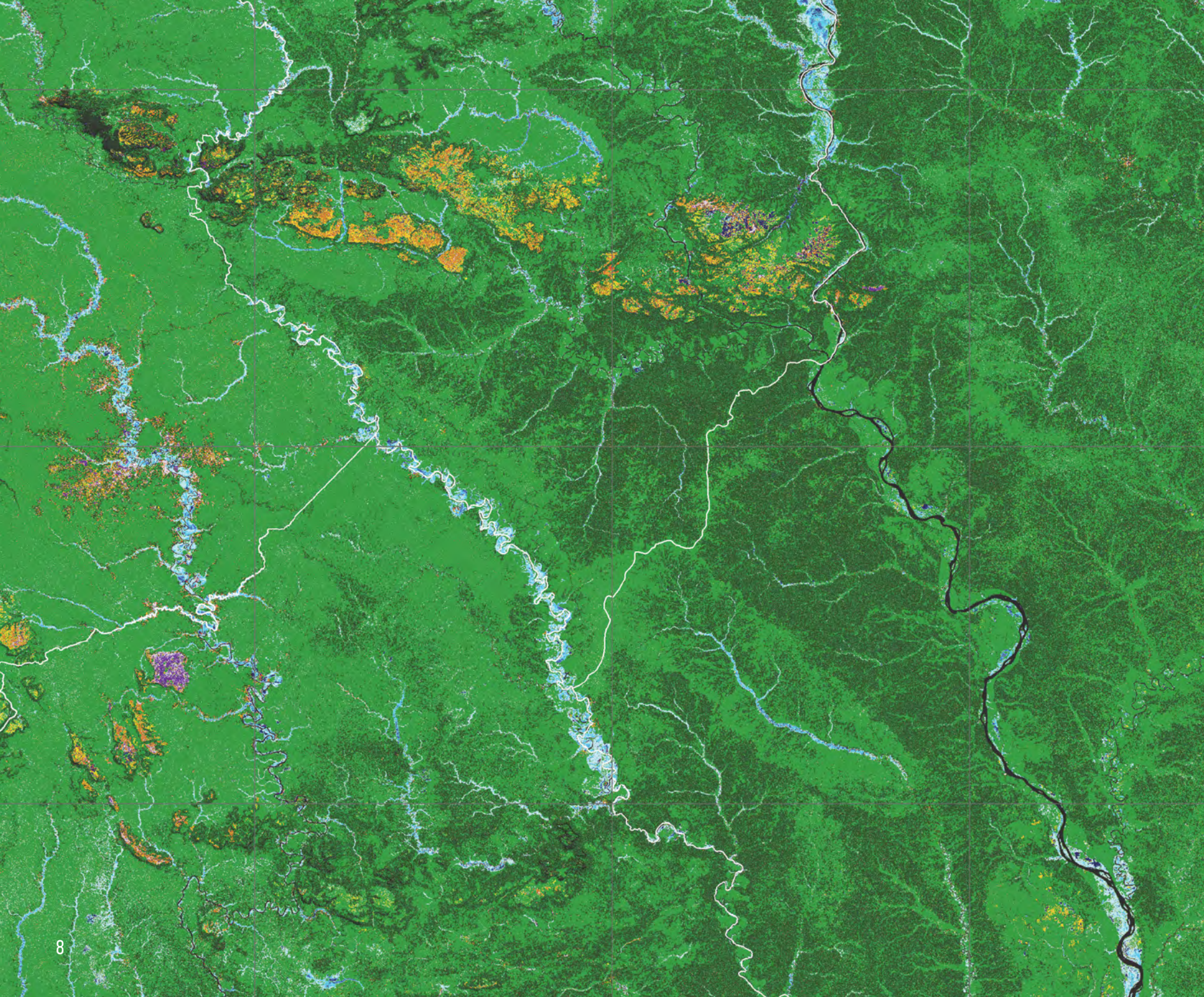
El uso e integración de esta información por parte de los actores locales, permitirá apoyar las estrategias de manejo del espacio ancestral, defensa del territorio y monitoreo de actividades ilegales para promover la conservación y el buen uso de los recursos naturales.

Del mismo modo, la generación de esta línea base se enmarca en una idea más amplia como lo es, la generación de un sistema de monitoreo a largo plazo, basado en imágenes de radar, cubriendo toda la Amazonía Colombiana, que

permita una observación consistente y válida, a través del tiempo, de cambios naturales y los inducidos por el hombre. Este sistema de monitoreo utilizaría imágenes de sensores remotos gratuitos y libres, como son la información procedente de la agencia espacial JAXA de sus satélites: Alos-PALSAR 1 y Alos-PALSAR 2 y las imágenes Sentinel-1 de la Agencia espacial europea (ESA).

La implementación de un sistema de observación permanente o sistema de monitoreo, permitirá generar información actualizada, cada 3-6 meses sobre el estado ambiental del territorio, a través de alarmas tempranas para ventanas seleccionadas, que contribuyan al manejo y conservación del bosque. Esta información de acceso libre, servirá a cualquier organización, grupo o individuo que necesite conocer el estado del bosque amazónico colombiano.





2. METODOLOGÍA

2.1 INSUMOS

Los productos se basaron en mosaicos de radar (SAR) de la plataforma ALOS-1 operada por la agencia espacial japonesa (JAXA), activa del 15 de mayo de 2006 hasta el 12 mayo de 2011 (Kramer, 2002). El sistema Alos PALSAR consta de un sensor activo de radar de apertura sintética de banda L. Se empleó la modalidad de onda fina o Fine Beam (FB), procesado a una resolución espacial de 25 m, una polarización dual HH+HV y una extensión de 70 km. (JAXA, 2008). Estas imágenes son de libre distribución.

El radar es un sistema de sensor remoto activo, que envía ondas electromagnéticas de diferentes longitudes de onda, que interactúan con el terreno y que parte de ellas retornan al radar para generar la imagen. Las ventajas del uso de imágenes de radar en zonas tropicales son muy interesantes ya que no están afectadas por las nubes o sus sombras. Adicionalmente el radar es capaz de penetrar en el dosel del bosque y de observar las inundaciones bajo dosel muy consistentemente. Estas características permiten el monitoreo consistente de deforestación y de inundaciones. La **figura 1** muestra la comparación entre imágenes ópticas y las de radar, para la zona del Inírida.

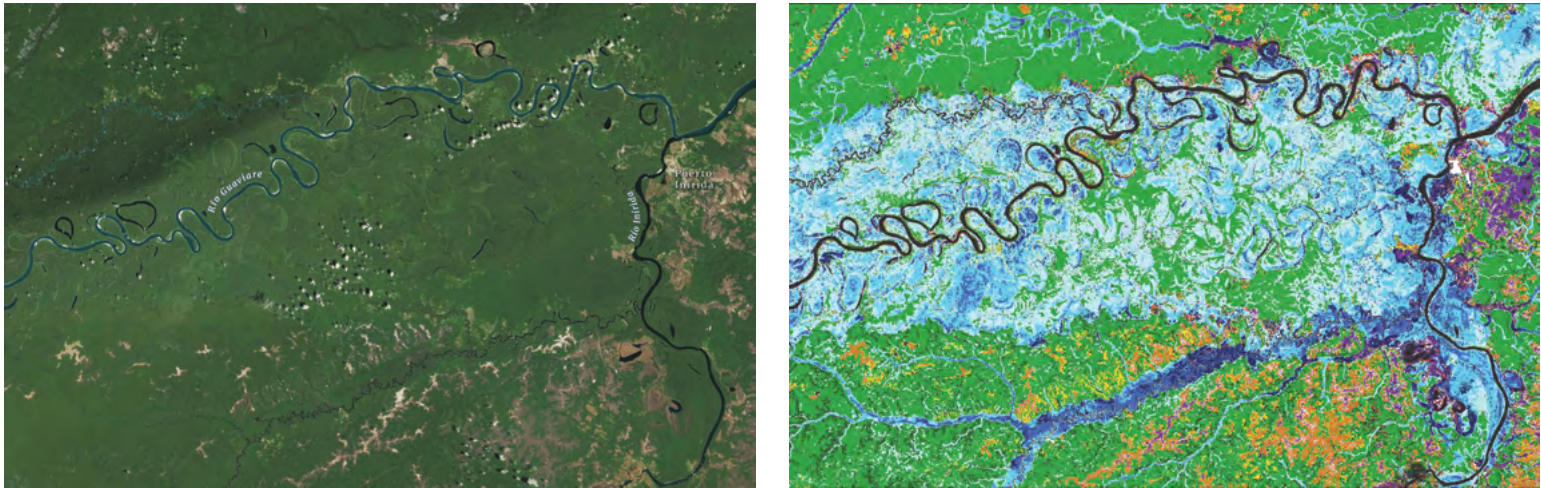
2.2 PROCESAMIENTO

En el procesamiento de imágenes se empleó el software: GAMMA SAR and Interferometry®. Software comercial desarrollado por la corporación suiza Aktiengesellschaft (<http://www.gamma-rs.ch/>). Con este software se orto-rectifican, geo-referencian y corrigen las deficiencias radiométricas de las imágenes de radar además de que se corrigen los efectos de relieve, con gran precisión. Los procesos de corrección geográfica y radiométrica, se realizan utilizando el modelo digital de terreno (MDT), de acceso libre de la Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) comandada por la NASA, que tiene 30 m de resolución espacial. Una vez corregidas las imágenes, se fusionaron en mosaicos con valores de retorno del radar expresados en valores Gamma (en decibeles - dB).

Posteriormente, se generaron los compuestos de color (RGB), que está conformado por tres bandas o imágenes con una resolución espacial de 25 m. El compuesto RGB se generó para la primera banda con la polarización HV del segundo año, la segunda banda correspondiente al verde se efectuó con la polarización HV del primer año y la tercera banda asignada al azul se generó con el promedio de las polarizaciones HH para ambos años. Esta combinación de polarizaciones permite calcular la diferencia entre los valores de retorno de los años estudiados, con el fin de detectar las áreas donde el retorno del radar cambia drásticamente la cual se puede identificar como deforestado, inundado o degradado según la interpretación de los mecanismos de interacción para cada polarización.



FIGURA 1.
COMPARACIÓN ENTRE IMÁGENES ÓPTICAS Y LAS DE RADAR, PARA LA ZONA DEL INÍRIDA.



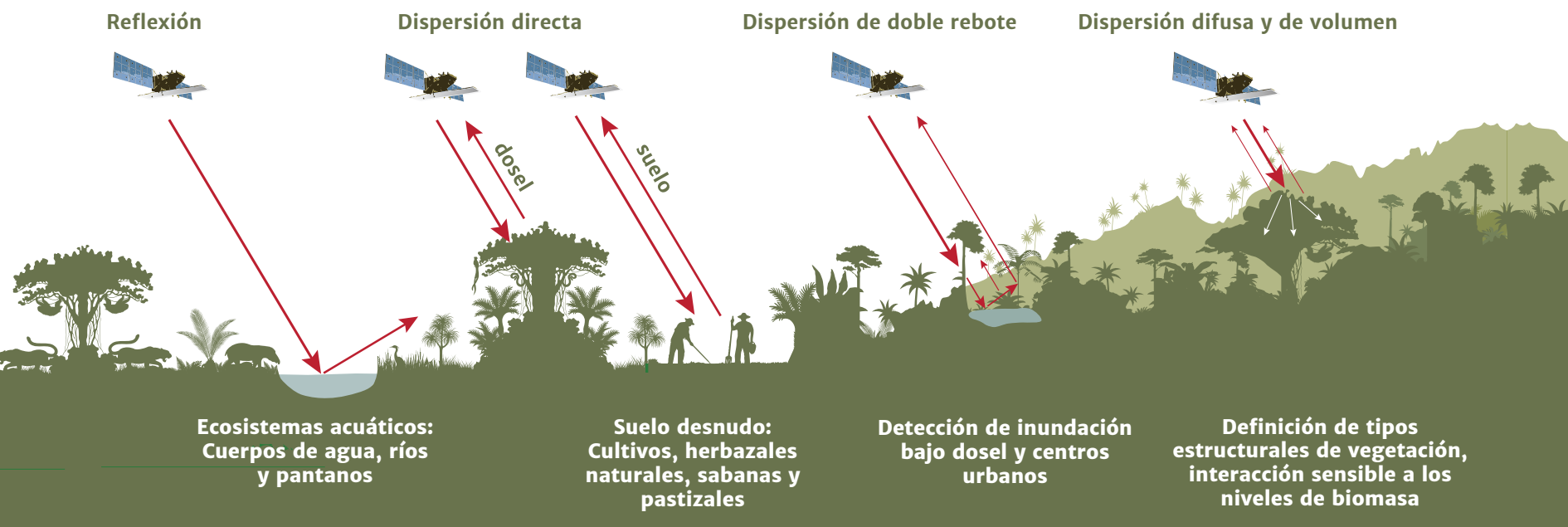
En la clasificación se empleó el software IDL/ENVI, con la implementación de algunos algoritmos desarrollados internamente en SarVision. Se empleó una fusión entre clasificación no supervisada y supervisada de tipo temática, empleando el algoritmo paramétrico de máxima probabilidad (maximum likelihood), donde cada pixel es agregado a una clase de acuerdo a su matriz de covarianza estadística. El resultado es una clasificación donde las clases de la leyenda están separadas por distancias estadísticas, formando clústeres. La distancia calculada entre clústeres es información que se utiliza en la generación de la leyenda final del mapa.

En el proceso de clasificación se incluyó la detección de las áreas inundadas a cielo abierto y bajo dosel, de vital importancia en el mapeo de la vegetación y los ecosistemas amazónicos. Se mapearon las frecuencias de inundación para cada tipo de vegetación para un periodo de 4 años usando los mosaicos de Polarización HH. Como se tiene una serie supra-anual de tiempo se puede estudiar el pulso de la inundación, es decir la extensión cuando la zona se inunda y se seca a través del año y la distribución de esa inundación en los distintos lugares. En todo el proceso de clasificación, se realizó un cuidadoso estudio de las señales de radar para poder diferenciar los

tipos estructurales de vegetación no inundadas de las raramente, frecuentemente o permanentemente inundadas esencial para la definición de la leyenda final.

Se presenta en la **figura 2** los mecanismos de interacción física entre las ondas de radar y el terreno. Dos de estos mecanismos son claves en la capacidad de radar para detectar tipos de vegetación, la deforestación y la inundación bajo dosel. Los tipos de vegetación y la deforestación se pueden mapear con radar gracias al mecanismo de interacción por volumen, mientras que la detección de inundación bajo dosel se hace gracias al mecanismo de doble rebote.

FIGURA 2.
MECANISMOS DE INTERACCIÓN FÍSICA ENTRE LAS ONDAS DE RADAR Y EL TERRENO.



Es necesario precisar que el periodo de estudio corresponde a los años en los que ocurrió los fenómenos del Niño y la Niña y por ende se puede asumir como un periodo de línea base en este tipo de observación.

Asimismo, se aplicaron procedimientos post clasificación adicionales como aplicación de filtros para mejoramientos del efecto del 'speckle'. El speckle es un "ruido" granular que es inherente al radar de apertura sintética (SAR) que degrada la calidad de la imagen y que se evidencia en las clasificaciones finales.

Además, se realizó un proceso de corrección de errores para dar consistencia a las series de tiempo, usando criterios basados en los procesos de sucesión ecológica de la vegetación. Para ilustrar, si en el año 2010 una determinada área se detecta como bosque, es muy probable que en los años anteriores esta zona haya sido cubierta con bosque también.

Finalmente se cortaron los mapas usando el límite generado por el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI), límite que incorpora la extensión bio-geográfica,

hidrográfica y política administrativa. Según (Murcia et al., 2009) este demarcación incorpora el límite de la cuenca hidrográfica en el sector occidental, el área que debe ser ocupada por bosques en el sector norte, y las fronteras políticas internacionales en los sectores sur y oriente.

Todo el proceso que incluye pre-procesamiento, procesamiento y clasificación de imágenes hasta lograr un producto final, tuvo una duración de tres meses.

2.3 LEYENDA

El desarrollo de la leyenda se basó en la información extraída de los valores de retorno promedio del radar y de las distancias estadísticas calculadas para los diferentes tipos estructurales de vegetación. Se incluyó además información y descripciones de mapas publicados (Duivenvoorden and Lips, 1993), información de campo directa y el resultado de observaciones en otro tipo de imágenes de satélite de alta resolución. Se utilizó el programa LCCS (Land Cover Classification System) para asegurarse que la nomenclatura estuviera conforme con los parámetros definidos por la FAO (Di Gregorio & Jansen, 2000), obteniendo la definición de la leyenda y el cálculo del código LCCS para cada una de las clases. Esta leyenda es de tipo estructural, basada fundamentalmente en información de la estructura de la vegetación, pero a diferencia de los mapas de vegetación clásicos incluye frecuencias de inundación, basadas exclusivamente en lo que el radar puede detectar, además se incluyen clases que no tienen vegetación como: los cuerpos de agua, pendientes y áreas urbanas.

Esta leyenda no contiene ningún tipo de información florística ya que el radar no es capaz de diferenciar especies a las resoluciones estudiadas. Sin embargo, se hizo referencia a la información contenida en el mapa de ecología del paisaje de (Duivenvoorden & Lips, 1993), lo que conlleva a que las dos metodologías tengan una alta correspondencia, ya que incorporan información estructural de vegetación, frecuencias de inundación, drenaje y niveles de biomasa en diferentes formaciones geomorfológicas. Particularmente, la información geomorfológica para esta metodología se derivó del modelo digital del terreno SRTM a 30 m de resolución. **La Tabla 1** muestra la leyenda final del Mapa de tipos estructurales de vegetación. El **Anexo 1** (<https://amazonteam.org/maps/estructura-vegetacion-amazonia-colombiana>) muestra detalles de la leyenda, ampliados.



TABLA 1.
LEYENDA DEL MAPA DE VEGETACIÓN DEL PERIODO 2007 A 2008.

SÍMBOLO	TIPO DE VEGETACIÓN
0	Sabanas naturales o herbazales.
1	Arboladas amazónicas.
2	Plantaciones o agricultura o herbazales.
3	Bosque degradado o bosque de dosel abierto.
4	Arbustales altos o bosque secundario.
5	Deforestado 2007-2008.
6	Bosque alto amazónico.
7	Bosque medio en superficies de denudación amazónica.
8	Bosque alto de varzea inundado ocasionalmente.
9	Arboladas bajas y abiertas.
10	Bosque alto en pendiente andina o pendiente muy disectada en región amazónica.
11	Pantanos con vegetación baja arbustiva inundada.
12	Arbustales bajos abiertos o degradados.
13	Agua y ríos.
14	Borde.
15	Bosque inundado frecuentemente.
16	Arbolada inundada casi permanentemente.
17	Vegetación abierta baja permanente inundada.
18	Áreas urbanas.

La leyenda de los mapas de tipos de vegetación en series de tiempo, es más simple en comparación con la del mapa de vegetación, componiéndose de tan solo doce (12) clases que permitirán apreciar la dinámica de las coberturas, en particular la pérdida de bosque (Tabla 2).

TABLA 2.
LEYENDA DE LOS MAPAS DE SERIES DE TIEMPO.

CLASE	LEYENDA
0	Borde.
1	Bosque alto.
2	Bosque inundado.
3	Bosque en pendientes.
4	Bosque degradado.
5	Arboladas.
6	Arbustales altos o bosque secundario.
7	Arbustales bajos.
8	Sabanas.
9	Deforestado.
10	Aguas y ríos.
11	Área urbana.



2.4 VALIDACIÓN

La validación proporciona la forma de evaluar la calidad de los mapas y la clasificación a partir de un indicador de exactitud que permite determinar si un ítem está correctamente clasificado con respecto al universo en cuestión. Para este proyecto se utilizó un método indirecto de evaluación de la calidad de los datos geográficos, basado en estimaciones con fuentes consistentes, representativas y distintas a los propios datos, como lo son las imágenes de sensores ópticos: Landsat y WordView-2.

Se evaluó la exactitud temática en el subelemento clasificación, que describe el grado de fidelidad de los valores de los atributos asignados a los elementos en su verdadera característica representadas en el mundo real (ISO, 2003). Esta evaluación se realizó bajo un diseño de muestreo

estratificado de polígonos o bloques, que permite verificar el acierto y error de la clasificación, siguiendo la metodología de (Cochran, 1977; Olofsson et al., 2014; Olofsson, et al. 2013), obteniendo un indicador de validación estimado por área y diferencial según el número total de polígonos por clase.

Para evaluar la conformidad y reportar la calidad de los datos espaciales, se emplearon las plantillas de las matrices de confusión generadas por la Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital - Gerencia IDECA, siguiendo las indicaciones de la norma ISO 19114 (ISO, 2003) y NTC 5660 (ICONTEC, 2010). Se estableció como límite de aprobación 90% de porcentaje de acuerdo (Pa) para todos los mapas.





A satellite map of a forested area, likely a tropical rainforest, showing dense green vegetation and a network of rivers and streams. A large white circle is superimposed on the map, containing the title and a paragraph of text.

3. RESULTADOS

Todos los mapas cumplieron con el umbral de Porcentaje de acierto (Pa) de la validación, definido como la probabilidad de un polígono de estar bien clasificado (ICONTEC, 2010). El mapa con mayor Pa, fue la serie 2009 a 2010 con un 98,8%, seguido de la serie 2008 a 2009 con un 97,5%, la serie de 2007 a 2008 con un 96,5% y finalmente el mapa de vegetación 2007 a 2008 con un 92,7%. Se evaluaron otros indicadores como el índice de Kappa (K), indicador que elimina la parte que se atribuye al azar del porcentaje de acuerdo y el índice de Tau en el que se estima la exactitud de la clasificación en relación con el ajuste aleatorio de los bloques para las clases. Los dos indicadores superaron el 90%, teniendo un rango entre los mapas de 90,5% a 95,2% en Kappa y de 92,3% a 96,2% en Tau (T).

3.1. DISTRIBUCIÓN DE LOS TIPOS DE VEGETACIÓN

La Amazonía Colombiana, con un área aproximada de 483.829,0 km², es decir el 52% del territorio emergido, está conformado por 17 tipos estructurales de vegetación, áreas urbanas y aguas a cielo abierto. En el mapa de estructuras de vegetación 2007-2008, el bosque alto amazónico es el más representativo en superficie cubriendo un 56,6%, le sigue en importancia los bosques medios en superficies de denudación amazónica con el 20,1% y los bosques altos de varzea inundado ocasionalmente con 5,0%. Los menos representativos son las áreas urbanas con el 0,02% y Vegetación abierta baja y dosel abierto permanente inundada con 0,1% (Tabla 3).

TABLA 3.

ÁREAS CUBIERTAS POR LAS CLASES DEL MAPA DE ESTRUCTURAS DE VEGETACIÓN DE LA AMAZONÍA COLOMBIANA 2007 A 2008.

CÓDIGO	TIPO DE VEGETACIÓN	CATEGORÍA	ÁREA (HA)	ÁREA (%)
0	Sabanas naturales o herbazales.	Herbazales o vegetación baja.	1.349.890,30	2,79
1	Arboladas amazónicas.	Arboladas y arbustales.	275.426,11	0,57
2	Plantaciones o agricultura o herbazales.	Vegetación transformada.	817.144,38	1,69
3	Bosque degradado o bosque de dosel abierto.	Bosques.	207.849,07	0,43
4	Arbustales altos o bosque secundario.	Arboladas y arbustales.	1.084.328,66	2,24
5	Deforestado 2007-2008.	Vegetación transformada.	320.320,71	0,66
6	Bosque alto amazónico.	Bosques.	27.377.629,09	56,59
7	Bosque medio en superficies de denudación amazónica.	Bosques.	9.714.237,66	20,08
8	Bosque alto de varzea inundado ocasionalmente.	Bosques.	2.431.193,08	5,02
9	Arboladas bajas y abiertas.	Arboladas y arbustales.	359.788,63	0,74
10	Bosque alto en pendiente andina o pendiente muy disectada en región amazonas.	Bosques.	2.163.749,73	4,47
11	Pantanos y vegetación baja arbustiva inundada.	Arboladas y arbustales.	345.069,50	0,71
12	Arbustales bajos abiertos o degradados.	Arboladas y arbustales.	317.187,88	0,66
13	Agua y ríos.	Cuerpos de agua.	492.182,02	1,02
15	Bosque inundado frecuentemente.	Bosques.	907.194,40	1,88
16	Arbolada inundada casi permanentemente.	Arboladas y arbustales.	182.640,69	0,38
17	Vegetación abierta baja permanente inundada.	Arboladas y arbustales.	26.457,96	0,05
18	Áreas urbanas.	Vegetación transformada.	10.594,07	0,02
TOTAL			48.382.895,50	100,00

Los tipos de vegetación naturales ocupan el 94,8% de la Amazonía Colombiana, agrupándose en tres categorías según su estructura en: bosques, arboledas, arbustales y cuerpos de agua.

BOSQUES

Esta categoría es la de mayor representatividad en la Amazonía Colombiana con el 88,5% de la superficie total, está conformada por seis clases y se caracterizan por presentar una altura de dosel mayor o igual a 20 m, con coberturas cerradas mayores al 50% y con una producción en biomasa de alta a muy alta que está catalogada entre

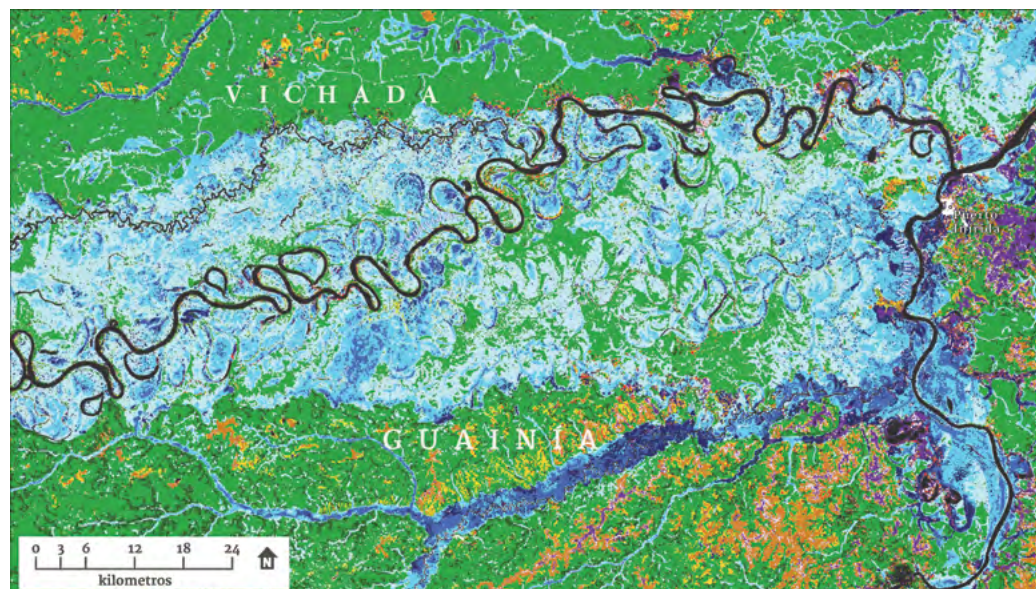
los 190–340 ton/ha, se encuentran en suelos bien drenados. El tipo más representativo en superficie es Bosque alto amazónico (56,6%) y el Bosque medio en superficies de denudación amazónica (20,1%), bosque alto en pendiente andina o pendiente muy disecada en región amazónica (4.47%) y bosque degradado o bosque de dosel abierto (0.43%).

La categoría bosque inundado se pueden subdividir a su vez en dos tipos, bosque alto de varzea inundado ocasionalmente (5,0%) y bosque inundado frecuentemente (1.8%) localizados en las unidades geomorfológicas de llanura aluvial de ríos andinos y amazónicos.

FIGURA 3.

TIPOS DE VEGETACIÓN INUNDADAS, ILUSTRADAS EN DIFERENTES TONOS DE AZUL.

EN LA ESTRELLA FLUVIAL DEL INÍRIDA CONFLUYEN LOS RÍOS: GUAVIARE, ATABAPO E INÍRIDA.



Las características específicas de cada uno de los tipos de vegetación se pueden consultar en el **Anexo 1**: Leyenda ampliada de tipos de vegetación (<https://amazonteam.org/maps/estructura-vegetacion-amazonia-colombiana>).

ARBOLADAS Y ARBUSTALES

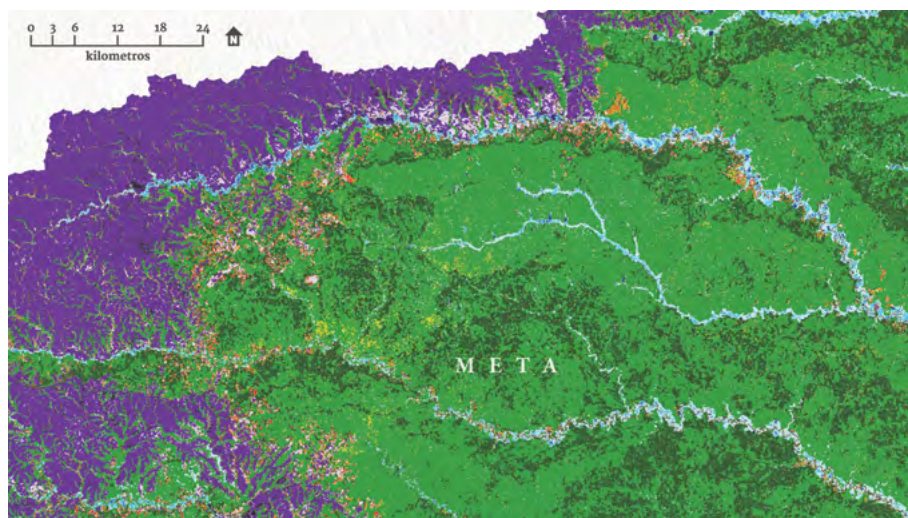
La categoría arboladas y arbustales está conformada por siete tipos de vegetación, que tienen como rasgos generales una altura mayor o igual a 6 m y menor a 20 m, y una cobertura semi-abierta (30-50%) o abierta (10-30%), exceptuando el tipo arbustales altos o bosque secundario que puede tener un cubrimiento mayor del 30%. En su mayoría son tipos de vegetación que se encuentran asociados a la llanura aluvial de ríos andinos o amazónico, algunos se encuentran exclusivamente en planos de inundación como las clases: Pantanos, vegetación baja arbustiva inundada y vegetación abierta baja permanente inundada. Otros se pueden encontrar en formaciones de rocas y mesetas de areniscas como las arboladas amazónicas y arboladas bajas y abiertas.

El tipo de vegetación más representativo en cuanto a superficie es: Arbustales altos o bosque secundario que ocupa el 2,2% de la Amazonía Colombiana, seguido de las arboladas bajas y abiertas con 0,74%. El tipo que cubre menor superficie es la vegetación abierta baja permanente inundada con el 0,05%. Este tipo se caracteriza por estar en suelos mal drenados como las turberas, produciendo una biomasa entre los 20–150 ton/ha.

HERBAZALES O VEGETACIÓN BAJA

Los herbazales o vegetación baja están constituidos por elementos herbáceos cubriendo extensiones amplias, con una producción de biomasa muy baja entre el 5-20 ton/ha. Esta cobertura puede estar inundada ocasionalmente, pero en la mayoría de los casos es bien drenada. Puede desarrollarse en formaciones de roca dura o areniscas. Esta categoría en el mapa está representada singularmente por el tipo de vegetación: Sabanas naturales o herbazales que ocupa el 2,8% del área total de la Amazonía Colombiana.

FIGURA 4.
TRANSICIÓN ENTRE BOSQUE ALTO AMAZÓNICO EN COLOR VERDE Y LAS SABANAS DE LA ORINOQUÍA EN COLOR VIOLETA, ENTRE LOS LÍMITES DEL DEPARTAMENTO DE META Y VICHADA.



VEGETACIÓN TRANSFORMADA

En la categoría transformados se clasificaron tres tipos de vegetación, que de mayor a menor representación en superficie de área son: Plantaciones, agricultura o herbazales (1,7%), Áreas abiertas por deforestación (0,7%) y Áreas urbanas (0,02%). La clase deforestación se pudo obtener a partir del análisis de cambio de los mosaicos de 2007 a 2008 y de las series de tiempo. Estos tipos se originan por procesos de degradación de suelos, con cambios importantes en la humedad del suelo y la compactación gradual, resultante de procesos de transformación antrópica.

CUERPOS DE AGUA

Esta unidad es la de menor extensión en la Amazonía Colombiana ocupando el 1,0% de la superficie total y está conformada por una sola clase: Agua y Ríos, incluye todos los ríos de origen andino y amazónico con cauces permanentes, intermitentes y estacionales. El análisis de las frecuencias de inundación permite la detección de la estacionalidad e intermitencia de los cuerpos de agua y ríos. En este tipo se abarcan tanto los cuerpos de agua en movimiento como las lagunas, lagos, depósitos y estanques naturales o artificiales.



3.2 INDICADORES PARA UNA LÍNEA BASE

En busca de indicadores de cambio ambiental, sencillos, de fácil cálculo y fácil comprensión al público, se calcularon algunas estadísticas sobre el Mapa de Estructuras de Vegetación y sobre las series de tiempo para la conformación de línea base. Estas estadísticas y valores no pretenden ser comparadas con estimativos oficiales u otras fuentes, lo que se pretende es tener una base sobre la cual se puedan hacer comparaciones consistentes a lo largo del tiempo, en el marco del sistema de monitoreo a ser implementado por ACT & SarVision en proyectos en curso. Presentamos en este documento algunos de los indicadores escogidos. Las estadísticas completas pueden ser consultadas en el **anexo 2** (<https://amazonteam.org/maps/estructura-vegetacion-amazonia-colombiana>).

TABLA 4.
ÁREAS CUBIERTAS POR LAS CLASES DEL MAPA DE ESTRUCTURAS DE VEGETACIÓN DE LA AMAZONÍA COLOMBIANA 2007 A 2008

DEPARTAMENTOS	BOSQUES ÁREA (HA)	ARBOLADAS Y ARBUSTALES ÁREA (HA)	SABANAS NATURALES O HERBAZALES ÁREA (HA)	VEGETACIÓN TRANSFORMADA. ÁREA (HA)
Amazonas	10.545.500,65	145.969,69	5.108,93	30.106,38
Caquetá	7.314.369,61	791.311,46	405.724,74	453.227,9
Cauca	444.412,78	32.947,29	4.115,72	16.038,57
Guañía	6.454.517,57	441.739,73	58.735,42	58.539,19
Guaviare	5.000.668,81	242.948,17	131.847,33	140.624,14
Huila	1.012,87	104,59	20,08	23,14
Meta	2.244.567,18	303.179,09	535.272,24	238.691,08
Nariño	246.092,75	29.964,98	4.547,52	9.598,92
Putumayo	2.171.355,93	247.639,33	31.887,5	119.395,99
Vaupés	5.179.025,21	75.745,1	9.007,81	22.197,76
Vichada	3.200.329,66	279.349,99	163.623,01	59.616,07

COBERTURA TOTAL DE BOSQUE POR DEPARTAMENTO

Para el cálculo de este indicador utilizamos el mapa de estructuras de Vegetación 2007-2008. Se agruparon las clases estructurales en Bosques, Arboladas y arbustales, Sabanas Naturales o herbazales, cuerpos de agua y vegetación transformadas. La **tabla 4** muestra las extensiones en hectáreas, calculadas por departamento.

Las mayores extensiones de bosque se encontraron en los departamentos de Amazonas, Caquetá, Guainía y Vaupés. Las mayores extensiones de vegetación transformada se encontraron en Caquetá, Meta, Guaviare y Putumayo. La mayor extensión de Sabanas Naturales y Herbazales se encontró en Meta, Caquetá, Vichada y Guaviare.

ÁREAS DEFORESTADAS

Los cálculos de pérdida de bosque se realizaron sobre los mapas de series de tiempo. Se incluyeron áreas definidas como deforestación mayor a 1 ha, para evitar incluir los errores de clasificación debidos al «speckle». Es probable que estas estadísticas no sean comparables con iniciativas de monitoreo a nivel nacional ya que la definición de bosque puede diferir en la altura y densidad mínima del dosel. En este estudio la altura para definir un bosque fue de 20 metros y en la densidad mínima mayor al 50%.

Entre las ventajas de la detección de deforestación usando imágenes de radar está el hecho de que hay un mecanismo físico involucrado en la detección del fenómeno. Se usa la diferencia entre los valores de retorno de dos imágenes de fechas consecutivas. Así pues, la disminución significativa del valor de retorno de una zona antes detectada como zona de alto retorno, significa un cambio en la cobertura de vegetación. Los cambios pueden ser drásticos con rangos entre 8 a 10 dB o entre 2 a 3 dB. Dependiendo de la magnitud del cambio se puede rotular como deforestación o degradación, respectivamente. Hay que tener en cuenta, que la degradación es un cambio transitorio que puede ocurrir paulatinamente o que puede ocurrir y luego repararse. Este aspecto técnico del radar le da una alta confiabilidad en la detección de cambios de cobertura ya que las imágenes no están afectadas por nubes o por efecto de nubes y los

mecanismos físicos involucrados en la detección son simplemente inherentes al radar. Esto les da consistencia a las series de tiempo y aumenta la confiabilidad en la detección de deforestación.

Las extensiones deforestadas o de cambio de cobertura de bosque se calcularon en tres periodos de tiempo: 2007-2008, 2008-2009 y 2009-2010. La pérdida neta por deforestación desde 2007 a 2010 fue de 384.846,8 ha correspondiendo a un promedio anual de 128.282,3 ha.

Para el periodo 2007-2008, se deforestaron 184.987,6 ha de bosque. En el periodo comprendido entre 2008-2009 la pérdida neta de bosque fue de 121.168,5 ha y entre 2009-2010 la disminución en bosque fue de 78.690,7 ha. Al analizar el comportamiento se puede apreciar una desaceleración de la deforestación, aunque su valor neto nos muestra que la proporción en área de bosques perdidos es apreciable.

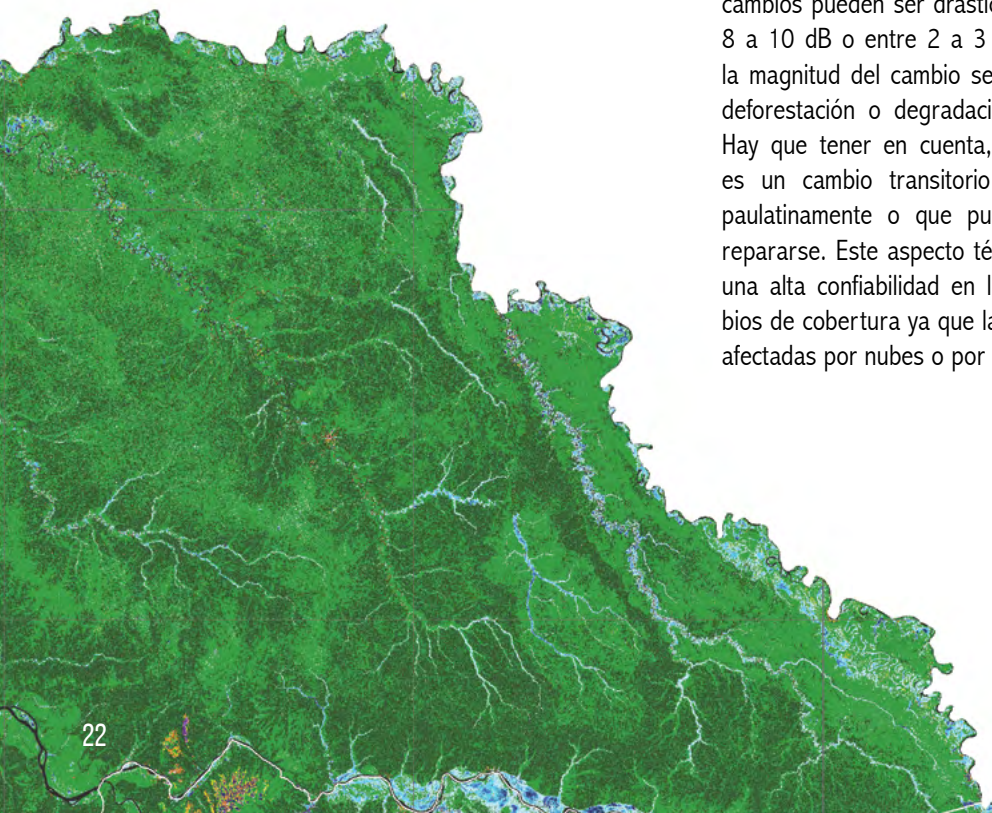


TABLA 5.
RESULTADOS DE DEFORESTACIÓN POR JURISDICCIÓN DE CORPORACIONES DE 2007 A 2010.

Analizando los resultados obtenidos por autoridades ambientales, se obtiene que las Corporaciones con mayor proporción de deforestación son: CORPOAMAZONÍA con un promedio anual de 69.256,94 ha, la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Norte y Oriente de la Amazonía - CDA con 27.601,93 ha/año y CORPOMACARENA con 21.174,65 ha/año. (Tabla 5).

CORPORACIÓN	ÁREA DEFORESTACIÓN (HA)				
	2007 - 2008	2008 - 2009	2009 - 2010	TOTAL	PROMEDIO
CORPOAMAZONIA	91.274,1	76.787,6	39.709,1	207.770,8	69.256,9
CDA	45.396,7	16.387,2	21.021,9	82.805,8	27.601,9
CORMACARENA	28.302,0	20.494,5	14.727,5	63.523,9	21.174,6
CORPORINOQUI	12.106,5	3.006,6	2.139,5	17.252,7	5.750,9
CRC	6.123,1	4.164,7	578,3	10.866,1	3.622,0
CORPONARIÑO	1.779,1	321,6	510,7	2.611,4	870,5
CAM	6,1	6,3	3,7	16,1	5,4
TOTAL	184.987,6	121.168,5	78.690,7	384.846,8	128.282,3

TABLA 6.
RESULTADOS DE DEFORESTACIÓN POR DEPARTAMENTO DE 2007 A 2010.

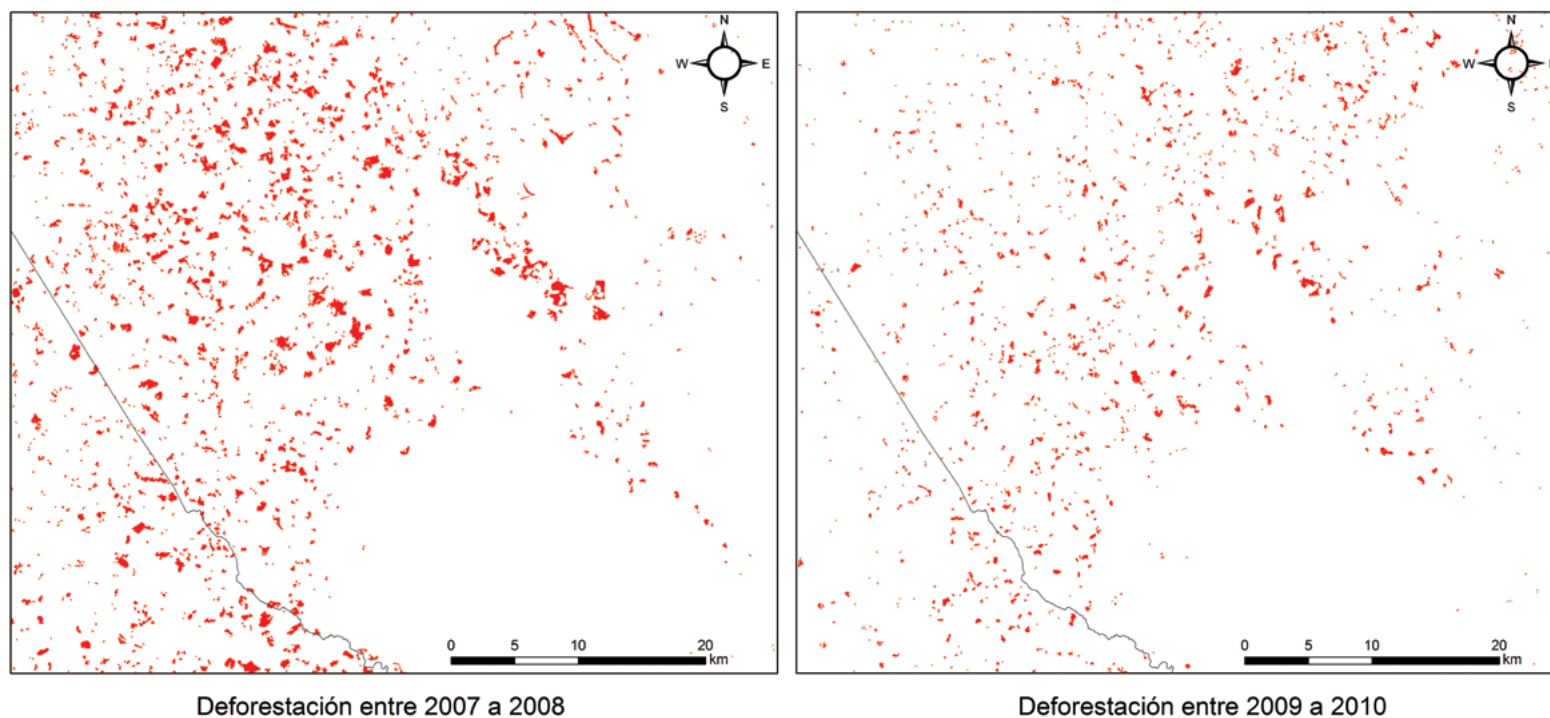
DEPARTAMENTO	ÁREA DEFORESTACIÓN (HA)				
	2007 - 2008	2008 - 2009	2009 - 2010	TOTAL	PROMEDIO
Caquetá	53.341,1	54.172,3	26.368,8	133.882,2	44.627,4
Putumayo	32.294,9	21.429,0	10.341,6	64.065,4	21.355,1
Meta	28.314,8	20.446,3	14.710,8	63.471,9	21.157,3
Guaviare	30.105,5	12.044,1	14.720,8	56.870,4	18.956,8
Guainía	10.438,2	3.477,5	4.283,0	18.198,7	6.066,2
Vichada	12.071,9	3.010,9	2.128,0	17.210,8	5.736,9
Cauca	6.131,4	4.152,5	577,9	10.861,8	3.620,6
Amazonas	5.575,4	1.197,7	2.983,8	9.756,9	3.252,3
Vaupés	4.928,8	914,4	2.064,6	7.907,8	2.635,9
Nariño	1.784,4	321,6	510,9	2.617,0	872,3
Huila	1,1	2,3	0,5	3,8	1,3
TOTAL	184.987,6	121.168,5	78.690,7	384.846,8	128.282,3

En el caso de los departamentos, se observa que la tasa de deforestación neta entre 2007 a 2010, se concentra en: Caquetá (34,8%), Putumayo (16,6%), Meta (16,5%), y Guaviare con el 14,8%. Los de menor deforestación son Huila (0,001%), Nariño (0,7) y Vaupés (2,1%). Conviene destacar que el fenómeno de deforestación en los departamentos de Nariño y Huila se presenta en mayor proporción en los bosques andinos que en los amazónicos (Tabla 6).



En los municipios, los mayores valores consolidados de pérdida en bosque de 2007 a 2010 se observan en: San Vicente del Caguán (Caquetá) con 42.161,5 ha, Cartagena del Chairá (Caquetá) con 30.411,0 ha (Figura 5), La Macarena (Meta) con 27.916,5 ha, San José del Guaviare (Guaviare) con 24.732,6 ha, Puerto Guzmán (Putumayo) con 20.251,9 ha, Cumaribo (Vichada) con 17.210,8 ha, Solano (Caquetá) con 16.176,4 ha, El Retorno (Guaviare) con 13.866,0 ha, Calamar (Guaviare) con 11.598,5 ha, Puerto Leguísimo (Putumayo) y Puerto Asís (Putumayo) con 11.527,9 y 8.644,4 hectáreas respectivamente. La Figura 5 muestra una comparación de la deforestación (en rojo) detectada en dos periodos: izquierda:2007-2008 y derecha: 2009-2010.

FIGURA 5.
COMPARACIÓN DE DEFORESTACIÓN DETECTADA ENTRE EL LÍMITE DE SAN VICENTE DEL CAGUÁN
Y CARTAGENA DEL CHAIRÁ, DEPARTAMENTO DE CAQUETÁ, ENTRE LAS SERIES 2007 A 2008 Y 2009 A 2010.

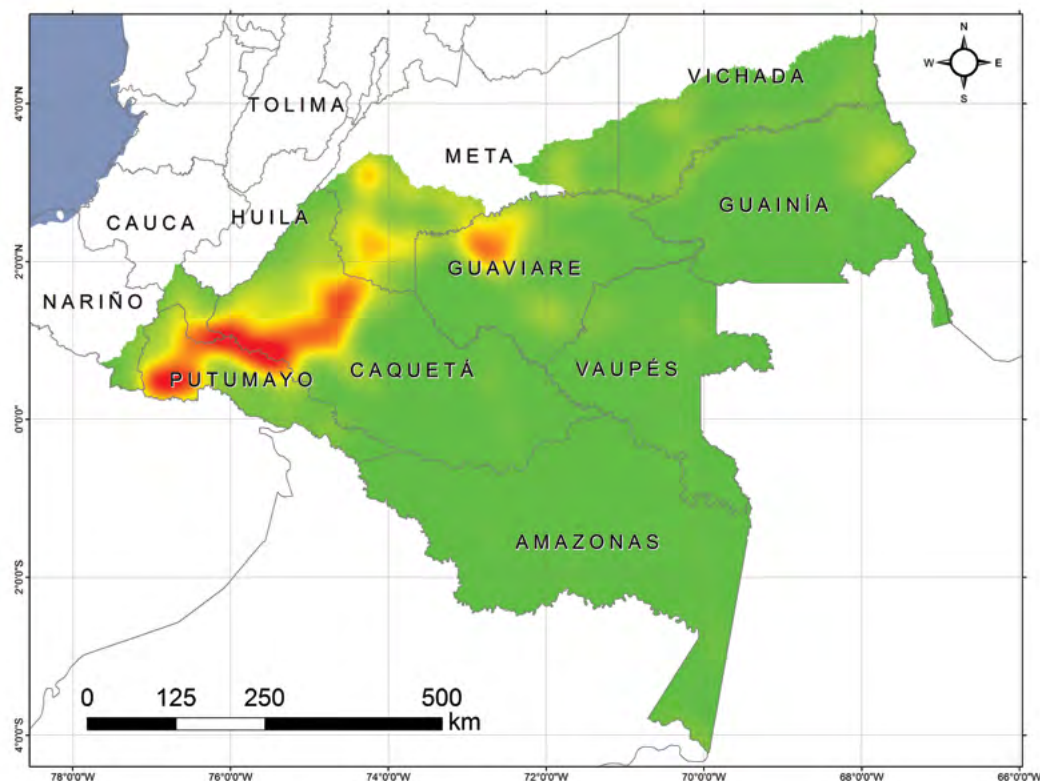


DETECCIÓN DE ÁREAS DE ALTA DENSIDAD DE DEFORESTACIÓN O “HOTSPOTS”

Buscando una manera de visualizar los efectos de la deforestación en el territorio y de detectar las zonas más afectadas y donde la deforestación está ocurriendo con más densidad, se calculó la densidad de Kernel utilizando la información de deforestación para las tres series de tiempo compiladas. El resultado de este cálculo es un ‘Heat-map’ o mapa de zonas de alta densidad de deforestación. Este cálculo de densidad de puntos se realiza sobre formato ráster usando los centros de los polígonos mayores a 1 ha solamente de la clase deforestación como puntos centrales para la búsqueda de otra área deforestada en un radio de 40 km. Este mapa nos permite ver las ocurrencias o frecuencia de deforestación en número de parches y no en área, facilitando la visualización de los “puntos calientes” de deforestación.

FIGURA 7.

MAPA DE CALOR O ‘HEATMAP’ CON LOS PUNTOS DE DEFORESTACIÓN DE 2007 A 2010.



Observando el mapa de alta densidad de deforestación (Figura 7) es claro que los departamentos que tienen mayor densidad de puntos de deforestación son: Caquetá, Putumayo, Meta y Guaviare; departamentos que también describimos previamente con las

mayores áreas deforestadas. El mapa muestra que las zonas con mayor densidad de deforestación corresponden al frente de colonización que baja desde el paisaje montañoso andino invadiendo cada vez más el paisaje de planicie amazónica.

DINÁMICAS DE CAMBIO

Comparando las series de deforestación con el mapa de estructuras de vegetación, se puede calcular el tipo de estructura de vegetación mas afectada por la deforestación. Lo cual es interesante ya que da información sobre los procesos de deforestación, degradación y también sobre los posibles procesos de regeneración.

En el periodo comprendido entre 2007 a 2010, se percibe una disminución en las clases naturales del 5,3%. Las clases con pérdida en áreas son: Bosque inundado, arbustales altos o bosque secundario y bosque degradado. Las pérdidas se concentran en zonas de uso intensivo pecuario y de expansión de la frontera agrícola.

Contrariamente, se observaron ganancias en las clases: Bosque alto, bosque en pendientes y área urbana. En el caso de Bosque alto esta ganancia no está dada particularmente por procesos de recuperación de ecosistemas transformadas, más bien los cambios se dan por las transiciones en los fenómenos climáticos que hace que los bosques inundables se observen en las imágenes de radar de un periodo a otro como bosques altos no inundados. Este aspecto se tendrá en cuenta en cálculos futuros.

Con respecto a las clases arboladas y arbustales bajos se pueden encontrar clases transformadas como los cultivos y rastrojos; el aumento de estas dos clases entre 2007 a 2010 fue de 249.614,4 ha que equivale al 21,2% de la superficie en 2007. Y en el caso de las áreas urbanas se registra un aumento de 141.9 ha que equivale al 1,3% de su valor inicial en 2007. La **Tabla 7** muestra las extensiones en hectáreas para estas observaciones.

TABLA 7.
DISTRIBUCIÓN DE LOS CAMBIOS EN LAS CLASES DE VEGETACIÓN DE LAS SERIES DE 2007 A 2010.

CLASES		SERIES (ÁREA HA)				
		2007 - 2008	2008 - 2009	2009 - 2010	PERDIDA	GANANCIA
1	Bosque alto.	37.356.932,1	39.446.438,3	39.936.866,7		2.579.934,6
2	Bosque inundado.	3.864.174,3	1.703.371,7	1.721.720,7	2.142.453,6	
3	Bosque en pendientes.	2.137.610,2	2.199.996,7	2.154.970,3		17.360,1
4	Bosque degradado.	144.418,0	111.412,3	53.505,8	90.912,2	
5	Arboladas.	207.968,2	415.459,0	217.975,4		10.007,2
6	Arbustales altos o bosque secundario.	411.439,5	371.882,8	235.795,0	175.644,5	
7	Arbustales bajos.	971.744,9	1.245.320,5	1.211.352,2		239.607,3
8	Sabanas.	2.668.356,9	2.355.883,6	2.430.651,8	237.705,0	
9	Deforestado	270.744,2	203.658,8	104.031,8		
10	Aguas y ríos.	338.915,0	318.759,4	305.291,7	33.623,3	
11	Área urbana.	10.592,1	10.712,4	10.734,0		141,9
TOTAL		48.382.895,5	48.382.895,4	48.382.895,5	2.680.338,7	2.847.051,1

EXTENSIONES DE TIPOS ESTRUCTURALES INUNDADOS

Una de las fortalezas del radar Alos PALSAR es la detección de inundación bajo dosel debido al mecanismo de doble rebote. Este mecanismo es inherente a las interacciones del radar con el terreno boscoso e infalible en la detección de inundación bajo dosel. Una de los aportes importantes de este mapa de estructuras de vegetación, es la delineación de áreas con diferentes frecuencias de inundación y la definición de un área máxima inundada para un periodo que incluyo fenómenos del Niño y la Niña, asegurando la observación del pulso de inundación.

Por esta razón es interesante incluir algunos indicadores sobre la disponibilidad de agua, dentro de la línea base. Estos indicadores podrían utilizarse como indicadores de cambio climático, donde se podrían evidenciar los cambios en la disponibilidad de agua en el territorio amazónico

Presentamos un cálculo básico de las áreas cubiertas por tipos estructurales de vegetación que en algún momento se inundan, como un indicador de inundación máxima por departamento. Además, un cálculo de la cobertura de cuerpos de agua para cada departamento (Tabla 8).

TABLA 8.
EXTENSIÓN DE TIPOS ESTRUCTURALES INUNDADOS CALCULADOS SOBRE EL MAPA DE ESTRUCTURAS DE VEGETACIÓN 2007-2008.

DEPARTAMENTO	TIPOS ESTRUCTURALES NO INUNDADOS ÁREA (HA)	TIPOS ESTRUCTURALES INUNDADOS ÁREA (HA)	CUERPOS DE AGUA ÁREA (HA)
Amazonas	10.084.951,88	756.954,29	0
Caquetá	7.886.032,45	691.171,72	689,24
Cauca	479.140,64	3.024,39	4.173,75
Vichada	3.014.183,82	710.834,1	22.434,39
Huila	1.137,54	0	25.486,41
Guaviare	4.947.891,22	464.727,66	35.208,51
Nariño	280.183,11	4.595,89	37.154,57
Vaupés	4.925.268,16	373.718,47	65.798,36
Meta	2.910.020,46	195.432,44	74.194,64
Putumayo	2.294.989,31	18.1379,86	81.715,26
Guainía	6.026.288,52	1.002.898,84	145.326,9

Encontramos que los departamentos con mayor área inundada son Amazonas, Caquetá, Guainía y Vaupés. Y los departamentos con mayor extensión de cuerpos de agua permanentes son Guainía, Putumayo, Meta y Vaupés.

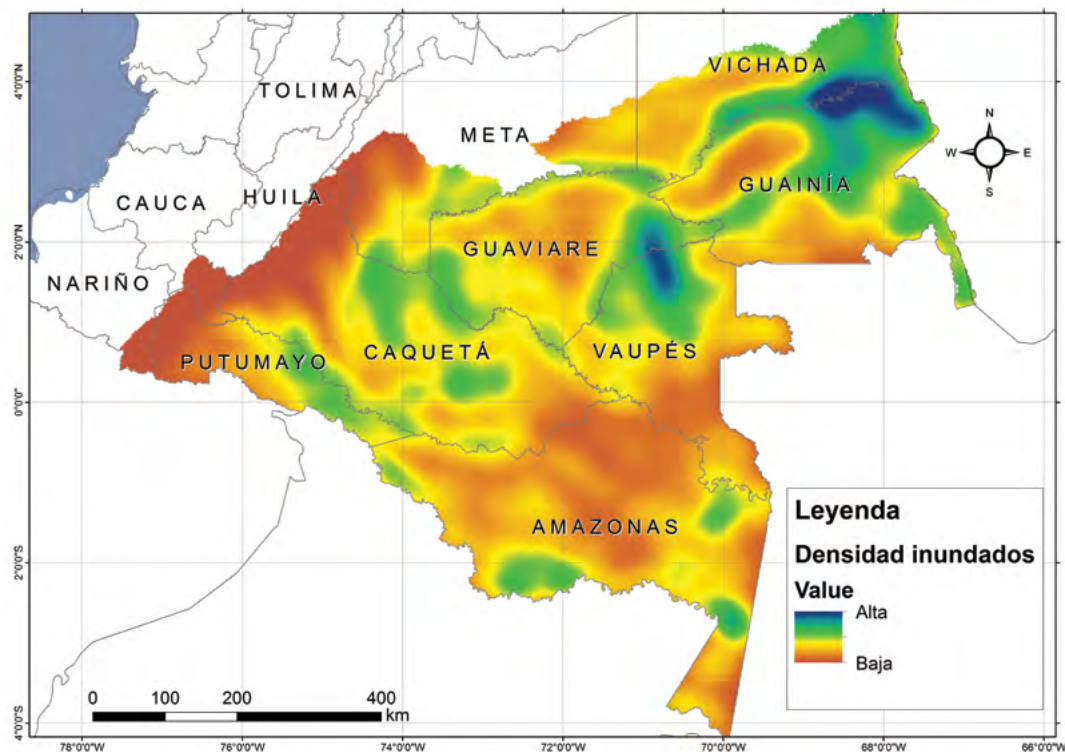
DENSIDAD DE TIPOS ESTRUCTURALES INUNDADOS

Para analizar y tener un indicativo de las densidades en la distribución del agua se calculó el mapa de densidades de tipos estructurales de vegetación inundados, utilizando el Mapa de estructuras de la Vegetación 2007-2008. Para esto se calculó nuevamente la densidad de Kernel

utilizando los centros de polígonos mayores a 1 ha correspondientes a las clases de tipos estructurales inundados (clases 11,16, 17, 8 y 15). Las densidades se calculan usando el numero de pixeles detectados como inundados en un radio de 40 km. (Figura 8).

FIGURA 8.

MAPA DE DENSIDAD DE TIPOS ESTRUCTURALES INUNDADOS CALCULADO PARA EL MAPA DE TIPOS ESTRUCTURALES DE VEGETACIÓN 2007-2008.





3.3 VALIDACIÓN: ESTIMACIÓN DE LA EXACTITUD DEL PRODUCTOR

Del proceso de validación se quiere destacar la exactitud del producto, que es “la medida que indica la probabilidad de que el clasificador haya marcado un objeto de la imagen con el código A, dado que la verdad del terreno es el código A” (ICONTEC, 2010).

Según este indicador, la exactitud del productor es muy alta para las clases: bosque alto en pendiente andina o pendiente muy disectada en región amazonas (10), áreas urbanas (18), bosque inundado frecuentemente (15), bosque alto amazónico (6), agua y ríos (13), bosque alto de varzea inundado ocasionalmente (8).

Es la exactitud alta para las clases: sabanas naturales o herbazales (0), bosque medio en superficies de

denudación amazónica (7) y arbolada inundada casi permanentemente (16).

Este indicador es medio para las clases: deforestado 2007-2008 (5), bosque degradado o bosque de dosel abierto (3), plantaciones o agricultura o herbazales (2), pantanos y vegetación baja arbustiva inundada (11) y arboladas amazónicas (1). Es bajo para las clases: arboladas bajas y abiertas (9), arbustales altos o bosque secundario (4), arbustales bajos abiertos o degradados (12).

Y el indicador es muy bajo para la clase: vegetación abierta baja permanente inundada (17).

Los resultados de La exactitud de productor en las clases de las series se pueden observar en la **Tabla 9**. En general las clases tienen valores altos y muy altos. Exceptuando las clases: arboladas (5) para todas las series, deforestado (9) para las series 2007 a 2008 y 2009 a 2010 y arbustales bajos (7) y bosque degradado (4) para la última serie.

Los errores que se pueden evidenciar en la clasificación de imágenes de radar son producto de los efectos inherentes del sensor, como lo son el efecto de “sal y pimienta” llamado speckle; que es un efecto estocástico que genera píxeles muy brillantes o muy oscuros, que tienen consecuencias evidentes en la clasificación, generando bajos porcentajes

de precisión para píxeles aislados. Otro error, pero relacionado con la clasificación es la diferencia de radiometría entre los mosaicos, lo que produce, que en ciertas zonas donde no ha habido cambios se marquen como deforestadas.

TABLA 9.

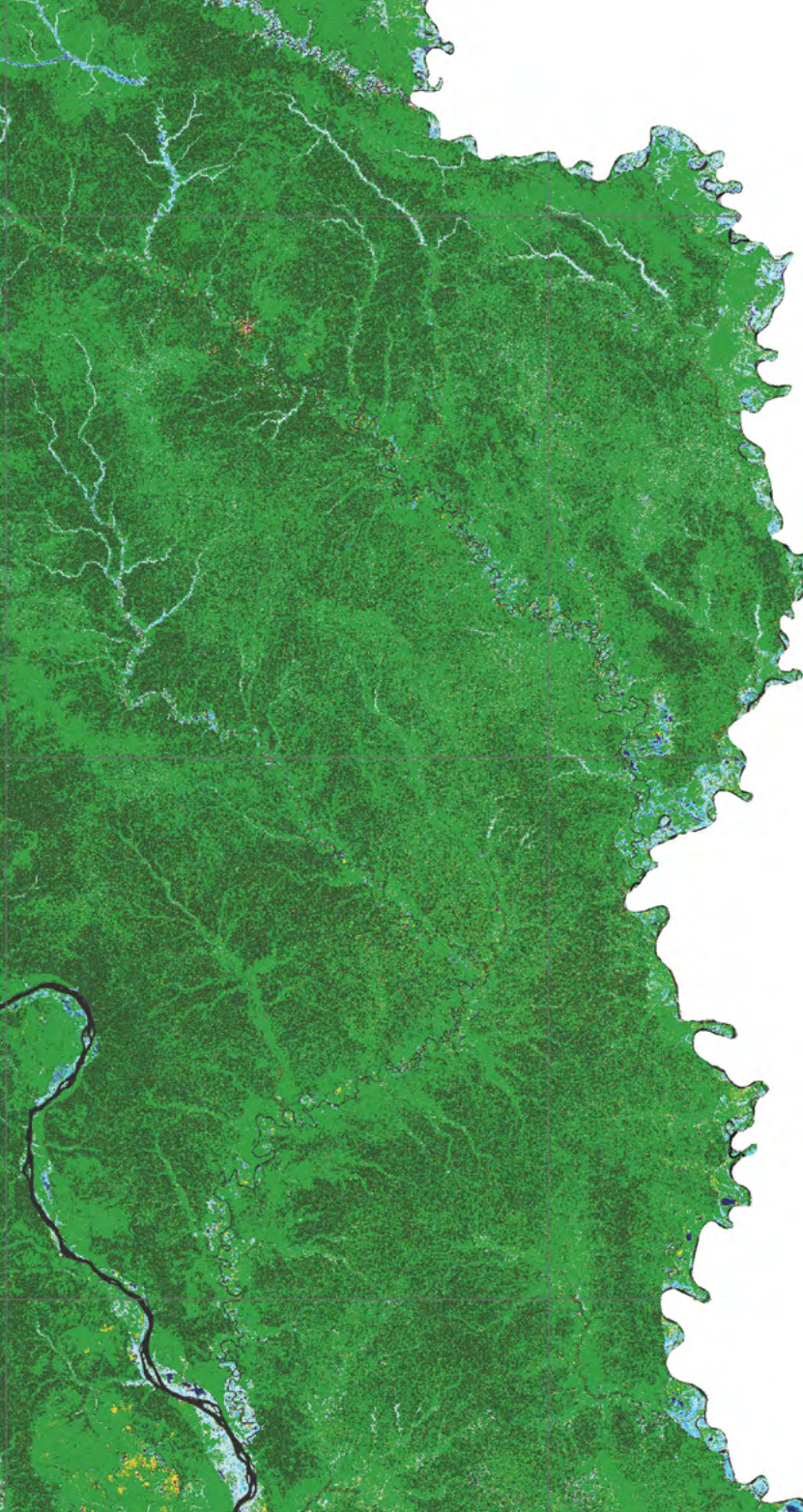
RESULTADOS DE LA EXACTITUD DEL PRODUCTOR POR CLASE PARA LOS MAPAS DE SERIE: PARA CADA PERÍODO MOSTRAMOS EL NÚMERO DE POLÍGONOS UTILIZADO PARA LA VALIDACIÓN DE CADA CLASE, LA EXACTITUD CALCULADA EN PORCENTAJE Y SU VALORACIÓN.

CLASES		MAPA DE SERIES								
		2007 - 2008			2008 - 2009			2009 - 2010		
1	Bosque alto.	15.205	0,96	Muy alto	15.821	0,98	Muy alto	15.825	0,99	Muy alto
2	Bosque inundado.	3.224	0,92	Muy alto	2.673	0,84	Alto	2.590	0,91	Muy alto
3	Bosque en pendientes.	3.997	1,00	Muy alto	4.212	0,98	Muy alto	4.149	0,98	Muy alto
4	Bosque degradado.	2.514	0,78	Alto	2.473	0,78	Alto	2.801	0,53	Medio
5	Arboladas.	2.514	0,55	Medio	2.473	0,63	Medio	2.425	0,40	Bajo
6	Arbustales altos o bosque secundario.	2.514	0,83	Alto	2.473	0,57	Medio	2.367	0,72	Alto
7	Arbustales bajos.	2.764	0,77	Alto	2.792	0,82	Alto	5.755	0,34	Bajo
8	Sabanas.	6.100	0,98	Muy alto	5.646	0,99	Muy alto	2.425	0,98	Muy alto
9	Deforestado	2.513	0,63	Medio	2.473	0,72	Alto	2.425	0,68	Medio
10	Aguas y ríos.	2.428	0,96	Muy alto	2.395	0,99	Muy alto	2.137	0,92	Muy alto
11	Área urbana.	212	0,98	Muy alto	204	0,99	Muy alto	206	0,98	Muy alto

Por último presentamos la matriz de confusión calculada entre las clases del mapa de tipos estructurales de vegetación. Los porcentajes de los polígonos bien clasificados se muestran en la diagonal de la matriz. También se muestran los porcentajes de exactitud del productor y del usuario (Tabla 10).

TABLA 10.
ELEMENTO DE EXACTITUD TEMÁTICA - MAPA DE VEGETACIÓN 2007 A 2008

OBJETOS O ELEMENTOS DEL UNIVERSO ABSTRACTO							
NOMBRE	CÓDIGO CLASE	EXACTITUD DEL USUARIO	RIESGO DEL PRODUCTOR (RP)	RIESGO DEL USUARIO (RU)	EXACTITUD DEL PRODUCTOR (EP)		
Sabanas naturaleso herbazales	0	92% MUY ALTA	8%	12% MUY ALTA	88%		
Arboladas amazónicas	1	100% MUY ALTA	0%	48% MUY ALTA	52%		
Plantaciones o agricultura o herbazales	2	21% MUY BAJA	79%	40% MUY BAJA	60%		
Bosque degradado o bosque de dosel abierto	3	12% MUY BAJA	88%	38% MUY BAJA	62%		
Arbustales altos o bosque secundario	4	62% ALTA	38%	68% ALTA	32%		
Deforestado 2007-2008	5	80% MUY ALTA	20%	30% MUY ALTA	70%		
Bosque alto amazónico	6	98% MUY ALTA	2%	3% MUY ALTA	97%		
Bosque medio en superficies de denudación amazónica	7	99% MUY ALTA	1%	16% MUY ALTA	84%		
Bosque alto de varzea inundado ocasionalmente	8	81% MUY ALTA	19%	7% MUY ALTA	93%		
Arboladas bajas y abiertas	9	100% MUY ALTA	0%	61% MUY ALTA	39%		
Bosque alto en pendiente andina o pendiente muy disectada en región amazonas	10	99% MUY ALTA	1%	1% MUY ALTA	99%		
Pantanos y vegetación baja arbustiva inundados	11	92% MUY ALTA	8%	45% MUY ALTA	55%		
Arbustales Bajos abiertos o degradados	12	61% ALTA	39%	74% ALTA	26%		
Agua y Ríos	13	96% MUY ALTA	4%	5% MUY ALTA	95%		
Bosque Inundado frecuentemente	15	93% MUY ALTA	7%	2% MUY ALTA	98%		
Arbolada inundado casi permanentemente	16	98% MUY ALTA	2%	18% MUY ALTA	82%		
Vegetación abierta baja y permanente inundada	17	27% BAJA	73%	100% BAJA	0%		
Áreas urbanas	18	99% MUY ALTA	1%	2% MUY ALTA	98%		
Rocosos, suelos arenosos o suelos desnudos	99	0% MUY BAJA	100%	100% MUY BAJA	0%		
Vegetación abierta baja temporalmente inundada	100	0% MUY BAJA	100%	100% MUY BAJA	0%		
PORCENTAJE DE ACUERDO (PA)			92.7%				
COEFICIENTE DE ACUERDO A POSTERIORI (CAPS)			22.3%				
COEFICIENTE DE ACUERDO A PRIORI (CAPR)			5.0%				
KAPPA (K)			90.5%				
TAU (T)			92.3%				



4. CONCLUSIONES

- Durante el periodo del análisis 2007 a 2010 el área en bosque que disminuyó corresponden al 6% del área total de la Amazonía Colombiana o un total de 384.846,8 ha, lo que corresponde a un promedio de 128.282,3 ha deforestadas al año, siendo el periodo con mayor deforestación 2007 a 2008 con 184.987,6 ha.
- La proporción de categorías naturales de vegetación es mayor que en las transformadas, aunque existe un aumento progresivo de las áreas transformadas; esto es alarmante, si tenemos en cuenta que más del 80% de la superficie de la Amazonía Colombiana se encuentra bajo una figura de conservación o protección como: reserva forestal, resguardo indígena o dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) (Murcia García, 2014).
- La mayor concentración de deforestación se ubica en la jurisdicción de la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonía (CORPOAMAZONÍA), Corporación para el Desarrollo Sostenible del Norte y Oriente de la Amazonía (CDA) y la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (CORMACARENA).
- Es fundamental implementar proyectos de control de deforestación para todos los municipios, pero focalizado fundamentalmente en San Vicente del Caguán (Caquetá), Cartagena del Chairá (Caquetá), La Macarena (Meta), San José del Guaviare (Guaviare), Puerto Guzmán (Putumayo), Cumaribo (Vichada), Solano (Caquetá), El Retorno (Guaviare), Calamar (Guaviare), Puerto Leguízamo (Putumayo) y Puerto Asís (Putumayo).

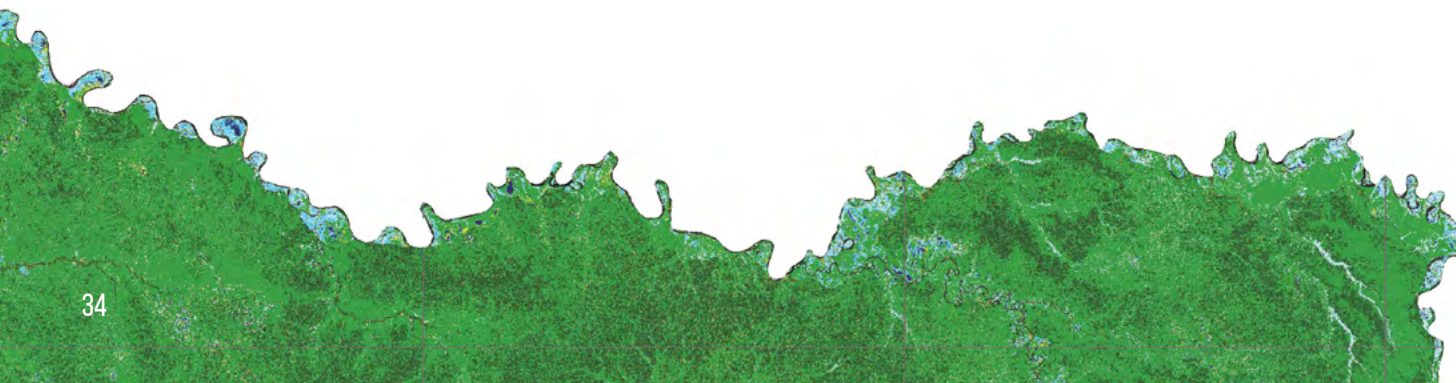


- Se deben implementar acciones urgentes, dirigidas a reducir la deforestación en los planes de manejo y ordenamiento de cuencas (POM-CA) de las subzonas hidrológicas: Río Caquetá Medio, Alto Yarí, Río Caguán Bajo, Alto Guaviare, Río Orteguzaza, Alto Río Putumayo y Río Inírida Alto.
- Teniendo en cuenta los resultados de la validación es posible que se encuentren errores en las clases del mapa de tipos de vegetación: Plantaciones o agricultura o herbazales (2), bosque degradado o bosque de dosel abierto (3), vegetación abierta baja permanente inundada (17), arbustales altos o bosque secundario (4) y arboladas bajas y abiertas (9).
- En las series es probable que se encuentren errores en las clases: Bosques en pendientes (3), bosque inundado (2), arbustales altos o bosque secundario (6), arbustales bajos (7), bosque degradado (4) y arboladas (5).

- Analizando las series se observa una disminución en las clases naturales: Bosque inundado, bosque degradado y arbustales altos o bosque secundario. Se evidencian ganancias en bosques altos, bosques en pendientes, arboladas, arbustales bajos y áreas urbanas, donde las tres últimas clases son semi-transformadas o transformadas.
- Los mapas presentados en este documento constituyen una línea base de observación del estado de la Amazonía Colombiana. Los valores altos de exactitud del mapa, obtenidos después de un riguroso proceso de validación, son una garantía de la calidad, que nos habla sobre la confiabilidad de la información en ellos contenida.
- Las consistentes detecciones del radar de las extensiones inundadas permiten el establecimiento de indicadores ambientales que informen sobre la cantidad de agua y las variaciones,

estacionales, pulsos y a largo plazo variaciones debido a cambio climático. Los departamentos con mayor extensión de tipos estructurales de vegetación inundada fueron Amazonas Caquetá, Guainía, Guaviare y Vaupés.

- Los mapas de densidades de deforestación y de inundaciones, presentados en este documento, constituyen un aporte interesante para la observación de los patrones generales de deforestación e inundación en el territorio amazónico. Estos Mapas combinados con las estadísticas básicas de áreas deforestadas, tasas de deforestación y extensiones de inundación, junto a otros mapas que se generarán en el futuro servirán para informar a la sociedad civil sobre el estado del territorio amazónico a largo plazo, de una manera consistente.



5. RECOMENDACIONES DE USO

- Cualquier uso que se haga de los mapas e información anexa debe atribuirse tanto a SarVision como a Amazon Conservation Team. Los productos de esta línea base pueden ser distribuidos bajo licencia de uso y bajo los términos estipulados por SarVision y Amazon Conservation Team a través de una solicitud escrita. Los mapas, la información anexa y este documento podrán ser distribuidos bajo licencia de uso
- La escala de publicación de la información es de 1:50.000, se recomienda que los mapas se usen exclusivamente para estudios y análisis de escalas medianas o pequeñas (extensión regional o nacional).
- Se sugiere el uso combinado de imágenes SAR: Alos-PALSAR con imágenes SENTINEL-1 que permitirá disminuir los errores encontrados en la clasificación entre las clases de media y baja biomasa, gracias a la integración de la banda L (Alos-PALSAR) con la banda C (SENTINEL-1).
- La entrega de esta línea base para la Amazonía Colombiana, se prevé como un primer paso hacia la instalación de sistemas de información que apoyen directamente a las comunidades locales, en el manejo, monitoreo y la toma de decisiones en la gestión del territorio. Esta información será de acceso libre.
- Mas adelante se integrarán a este ejercicio imágenes multi-temporales y a diferentes escalas, por ejemplo, a nivel regional con resoluciones de 25 m a 15 m y a nivel local observaciones paralelas entre imágenes ópticas y de radar con una resolución mayor a 5 m.



6. REFERENCIAS

- Cochran, W. G. (1977). Sampling techniques (3d ed). New York: Wiley.
- Di Gregorio, A., & Jansen, L. J. M. (2000). Land cover classification system: LCCS : classification concepts and user manual. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Duivenvoorden, J. F., & Lips, J. M. (1993). Ecología del paisaje del Medio Caquetá:: memoria explicativa de los mapas = Landscape ecology of the middle Caquetá basin. T. [A]: [...] (1. ed).
- ICONTEC. (2010). NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 5660 Información Geográfica Evaluación de Calidad. Procesos y Medidas.
- ISO. (2003). ISO 19114:2003 Geographic information - Quality evaluation procedures.
- JAXA. (2008). ALOS Data Users Handbook. Earth Observation Research and Application Center.
- Kramer, H. (2002). Observation of the Earth and Its Environment: Survey of Missions and Sensors. Recuperado 6 de enero de 2017, a partir de <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/a/alos-2>
- Murcia García, U. G. (2014). Monitoreo de los bosques y otras coberturas de la Amazonía Colombiana, a escala 1:100.000: datos del período 2012 (SINCHI (Organization : Colombia)).
- Murcia, U., Castellanos, H., Fonseca, D., Ceontescu, N., Rodríguez, J., & Huertas, C. (2009). Monitoreo de los bosques y otras coberturas de la Amazonía Colombiana. Bogotá D.C.: Instituto Sinchi. Instituto SINCHI.
- Olofsson, P., Foody, G. M., Herold, M., Stehman, S. V., Woodcock, C. E., & Wulder, M. A. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. Remote Sensing of Environment, 148, 42-57. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.015>
- Olofsson, P., Foody, G. M., Stehman, S. V., & Woodcock, C. E. (2013). Making better use of accuracy data in land change studies: Estimating accuracy and area and quantifying uncertainty using stratified estimation. Remote Sensing of Environment, 129, 122-131. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.10.031>
- Sánchez, R. (2015). Zonificación de la degradación de suelos por erosión. Área continental de Colombia. Escala 1:100.000. Línea base 2010 -. IDEAM.

