

Dirección de Desarrollo Digital

Unidad de Científicos
de Datos



**El futuro
es de todos**

DNP
Departamento
Nacional de Planeación



IDENTIFICACIÓN DE CONSTRUCCIONES EN SUSCEPTIBILIDAD DE INUNDACIÓN DEBIDO A SU CERCANIA CON LAS RONDAS DE LOS RÍOS

Entidad

Departamento Nacional de Planeación

- Dirección de Desarrollo Digital.
- Dirección de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Sector

Planeación

Lenguaje

Python

Fuente de datos

OpenStreetMap, Google Maps, ESRI maps

Presentación

Dentro de los Planes de Ordenamiento Territorial (POT), la evaluación y prevención de riesgos por causas naturales son de gran importancia. Específicamente, los eventos extremos que pueden ser causados por las crecidas de los ríos, poniendo en riesgo la ocupación e infraestructura construidos en las cercanías a los cauces de los ríos. El decreto 2811 de 1974, artículo 83, consagra que debe existir una franja paralela como mínimo de 30 metros al cauce de los ríos, denominada ronda hídrica. Además, el decreto también consigna que “los dueños de predios ribereños están obligados a dejar libre de edificaciones y cultivos esta zona”. Y finalmente, el artículo 28 del decreto 1640 de 2012 establece que las comisiones tienen la función de hacer recomendaciones para el acotamiento de las rondas hídricas.

Dados estos lineamientos legales y la importancia de la prevención de riesgos por causa de inundaciones para las direcciones relacionadas, la Unidad de Científicos de Datos desarrolló una herramienta automática para identificar ocupación o infraestructura construida dentro de las zonas demarcadas como ronda hídrica, que pueden tener una alta susceptibilidad de daños o pérdidas por inundaciones debido a crecidas de los ríos. El objetivo de la herramienta es generar insumos a las direcciones técnicas para mejorar la toma de decisiones, principalmente en la prevención de riesgos de inundación y la planificación territorial.

Esta herramienta contiene dos modos de análisis:

- El primero, descarga información geográfica de OpenStreetMap (OSM)¹, tales como capas de ríos y construcciones. A partir de estas capas, se puede saber que construcciones están dentro de una ronda hídrica.
- El segundo modo de análisis es un complemento del primero, debido a que, la información de la capa de construcciones de OSM no tiene datos para todo el país, de hecho, solo tiene un pequeño porcentaje del territorio nacional. Este análisis utiliza técnicas tradicionales de procesamiento de imagen para detectar regiones en imágenes satelitales que probablemente tienen ocupación o infraestructura eléctrica construida dentro de las rondas hídricas. Estas imágenes son obtenidas de los mapas base satelitales de Google Maps² y ESRI³, por tal motivo, solo tienen tres canales de información (Red – Green – Blue).

¹ <https://www.openstreetmap.org/>

² <https://www.google.com/maps>

³ <https://www.esri.com>



El futuro es de todos

DNP
Departamento
Nacional de Planeación

Los resultados obtenidos que se presentan en la sección 2, corresponden a los pilotos desarrollados en la construcción de la herramienta en los cascos urbanos de Mocoa – Putumayo y la Virginia – Risaralda.

According to the land-management planning (POT, in Spanish acronym), the evaluation and prevention of risks due to natural causes are of great importance. Specifically, the extreme events that can be caused by the floods of the rivers, jeopardizing the occupation and infrastructure built near the riverbeds. Decree 2811 of 1974, article 83, establishes that there should be a parallel strip of at least 30 meters to the riverbed, called the water round. Besides, the decree also states that "river property owners are required to leave this area free of buildings and crops." And finally, article 28 of decree 1640 of 2012 establishes that the commissions have the function of making recommendations for the definition of water rounds.

Given these legal guidelines and the importance of flood risk prevention for related technical divisions, the Data Scientists Unit developed an automatic tool to identify occupation or infrastructure built within demarcated areas as water round, which may have a high susceptibility to damage or loss due to floodings. The objective of the tool is to generate inputs to the technical directorates to improve decision-making, mainly in the prevention of flood risks and land-management planning.

This tool contains two analysis modes:

- *The first, downloads geographic information from OpenStreetMap (OSM), such as river and building layers. From these layers, it can be known that constructions are within a water round.*
- *The second mode of analysis is a complement to the first because the information in the OSM building layer does not have data for the entire country, in fact, it only has a few percentages of the national territory. This analysis uses traditional image processing techniques to detect regions in satellite images that probably have occupation or infrastructure built within the water rounds. These images are obtained from Google Maps and ESRI satellite base maps, for this reason, they only have three information channels (Red - Green - Blue).*

The results obtained that are presented in section 2, correspond to the pilots developed in the construction of the tool in the urban areas of Mocoa - Putumayo and the Virginia - Risaralda.

Objetivo general

Desarrollar una herramienta para identificar ocupación e infraestructura construida dentro de las rondas hídricas a partir de información georreferenciada de OSM y análisis de imágenes satelitales RGB, con el fin de dar insumos a las direcciones técnicas en la prevención de riesgos por inundación y toma de decisiones en planes de ordenamiento territorial.

Objetivos específicos

1. Implementar un módulo de descarga y preprocesamiento de imágenes satelitales RGB de Google Maps y ESRI.
2. Desarrollar e implementar algoritmos de procesamiento de imágenes para detectar regiones con ocupación e infraestructura construida dentro de imágenes satelitales RGB.
3. Implementar módulo de descarga de información georreferenciada de OSM de capas de ríos y construcciones.



4. Implementar una metodología para cruzar e intersecar la información georreferenciada obtenida de OSM con las regiones con ocupación e infraestructura extraída de las imágenes satelitales.
5. Desarrollar una herramienta que integre las metodologías para detectar ocupación e infraestructura construida dentro de las zonas demarcadas como ronda hídrica a partir de información georreferenciada de OSM y análisis de imágenes satelitales.
6. Proveer información relevante de los análisis hechos por la herramienta, que sirvan como insumo para la toma de decisiones.

Metodología

De manera general, la metodología está compuesta por dos partes: Un componente de información georreferenciada obtenida de OSM, en formatos shape, geojson y otros, que contienen tanta información como esté disponible, para el caso específico, la información de las capas de ríos y capa de construcciones. Esta información corresponde a datos construidos por una comunidad mundial de colaboración. Por ende, esta información es abierta (libre) y no oficial, es decir, la mayoría de la información aquí contenida no es completa, no está comprobada por un equipo técnico o esta desactualizada. El segundo componente corresponde a la información que se extrae a partir del análisis de las imágenes satelitales, específicamente, la metodología de detección de regiones con ocupación o infraestructura construida a partir de las imágenes satelitales RGB. Por último, estas dos partes se complementan para identificar las construcciones susceptibles de inundación debido a que se encuentran ubicadas dentro de la ronda hídrica mínima establecida por el decreto 2811 de 1974, que corresponde a 30 metros.

Estos dos componentes se detallan en las siguientes secciones.

OpenStreetMap: Información geoespacial

Una parte fundamental para identificar si una construcción puede estar en peligro de sufrir daños o pérdidas por inundaciones es determinar si se encuentra dentro de la demarcación de ronda hídrica. Para ello, es necesario tener la información acerca de los mapas hídricos del territorio nacional, para conocer si un determinado río pasa cerca de las construcciones de análisis. OSM es un portal de mapas abierta, construido por una comunidad mundial de colaboradores, la cual se encarga de mantener actualizados los datos sobre ríos, vías, construcciones entre otra información georreferenciada. Esta información puede ser descargada por medio del API de este portal de múltiples formas y múltiples formatos, facilitando la adquisición de datos en formatos de fácil compresión y análisis en lenguajes de programación tales como Python.

Específicamente, en esta etapa se descarga del API de OSM dos tipos de información, las capas de construcciones en la región de análisis y las capas de ríos que están presentes en dicha región. En la *Figura 1*, se muestra un ejemplo de esta información para el municipio de Mocoa – Putumayo.



Figura 1. Información de construcciones (en negro) y fuentes hídricas (en azul) obtenidas desde el API de OSM.

La capa de construcciones de OSM no está disponible en todos los casos, en la gran mayoría del territorio nacional esta información no ha sido construida aun, y como se ha mencionado antes, esta información no es oficial y puede estar desactualizada. Por otro lado, la capa hidrológica, es una aproximación aceptable a la actualidad y es usada por la herramienta como base para realizar los análisis de cercanía de las construcciones con las rondas del río.

Basados en estas capas de información y técnicas SIG (Sistemas de Información Geográfica)⁴, se pueden generar reportes tales como la cantidad de construcciones dentro de la zona de ronda hídrica, área total de todas las construcciones, variar el parámetro de la ronda hídrica. Las técnicas SIG, permiten realizar una serie de operaciones entre las capas de información, tales como intersecciones, cálculo de áreas, distancias, buffer, entre otros. En la *Figura 2*, se ilustra como mediante estas técnicas se puede calcular la franja que se denomina la ronda de los ríos (en rojo) y que a partir de ella se pueden hallar intersecciones con la capa de construcciones para conocer cuántos de ellos están dentro de esta zona (en naranja) y generar los reportes que sean relevantes para las direcciones técnicas.

⁴ Un sistema de información geográfica (SIG) es un marco para recopilar, administrar y analizar datos georreferenciados.

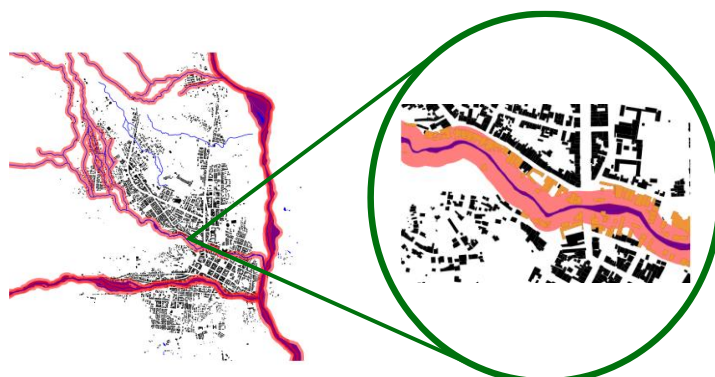


Figura 2. Información calculada a partir de técnicas GIS. En rojo, franja de 30 metros, en naranja, las construcciones que se encuentran en la zona susceptible de inundación.

Detección de ocupación e infraestructura a partir de imágenes satelitales

Debido a que la información de construcciones de OSM no está disponible para todo el territorio nacional, es necesario estimarla mediante el análisis de imágenes satelitales y tener una aproximación capa de construcciones. Sin embargo, esta aproximación depende de tres factores, la calidad de las imágenes satelitales, la frecuencia de actualización de estas y del desempeño del módulo de procesamiento de imágenes.

Para de detección de construcciones mediante imágenes satelitales se han desarrollado dos metodologías. Ambas comparten la etapa de la adquisición de las imágenes. Estas se obtienen de los mapas bases de Google Maps y ESRI a través de servicios web que tienen disponible estos portales. La información que retornan los portales son tiles (baldosas) de la imagen en tres canales, R, G y B. Cada tile está georreferenciado, lo que hace posible reconstruir la imagen de la región de interés para el futuro análisis. En la *Figura 3*, se muestra cómo se reconstruye la imagen satelital a partir de los tiles y la información georreferenciada.



Figura 3. Los tiles obtenidos por servicios web de Google maps y ESRI se organizan para formar la imagen satelital RGB para la detección de construcciones



Cada tile descargado tiene un tamaño de 256 x 256 píxeles, este hecho hace que la imagen mínima de análisis sea de este tamaño, y que las dimensiones de las imágenes resultantes sean múltiplos de 256.

Después de la adquisición de la imagen, las metodologías difieren la caracterización y codificación de la imagen para generar modelos de decisión y poder detectar las construcciones sobre ella. En el primer enfoque, la imagen es caracterizada por la intensidad de cada píxel en los tres canales, por lo que cada píxel se vuelve una muestra para el clasificador. En el segundo enfoque, la imagen es caracterizada por parches locales denominados superpíxeles (agrupación de varios píxeles) y cada uno de estos superpíxeles es caracterizado por su intensidad en los 3 canales. A continuación, se describe con mayor detalle cada metodología

Metodología 1: Clasificación por intensidad del píxel en la imagen

La metodología de clasificación por píxel está resumida en 4 etapas: i) preprocesamiento de la imagen, ii) preparación de píxeles, iii) clasificación y iv) decisión.

En la etapa de preprocesamiento se normalizan las intensidades de la imagen satelital, esto debido a que un canal de color puede ser dominante con respecto a los otros, lo que entorpece la clasificación para ello se hace una ecualización de los histogramas de color por cada canal. En la *Figura 4*, se muestra como este preprocesamiento mejora la calidad de la imagen.

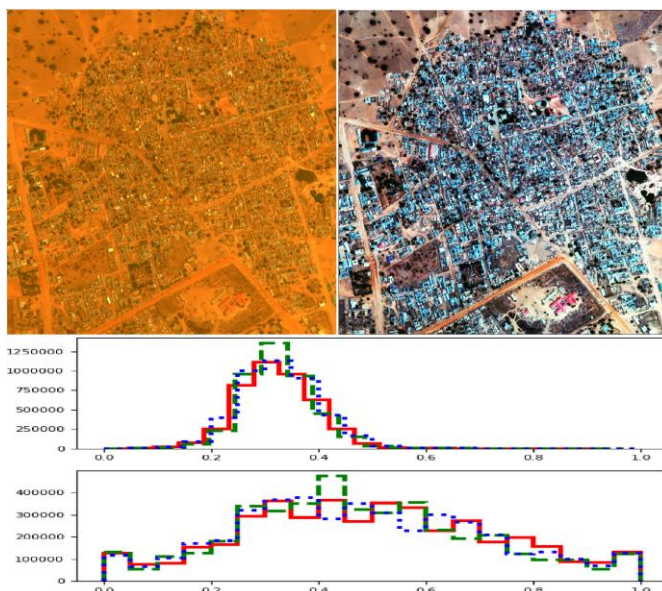


Figura 4. Preprocesamiento de la imagen por ecualización de histogramas de color.

Con la ecualización de histograma, la intensidad de los píxeles de la imagen queda mejor distribuida en las bandas de color, lo que define con mayor claridad los espacios de color en los que existen construcciones en la imagen. En la *Figura 4*, se puede observar como los histogramas de color se distribuyen de forma más homogénea a través de todas las intensidades de color.



Después que los histogramas son ecualizados de forma global, cada pixel se convierte en una muestra de entrenamiento de dimensión 3, que corresponden a las tres bandas de color r-g-b. Adicionalmente, se debe tener etiquetas de verdad (labels) en la imagen que categoricen un pixel con el valor de 1 si está en una construcción y 0 en el caso contrario. Esto se muestra en la *Figura 5*, estos datos son obtenidos mediante un etiquetado manual de la imagen.

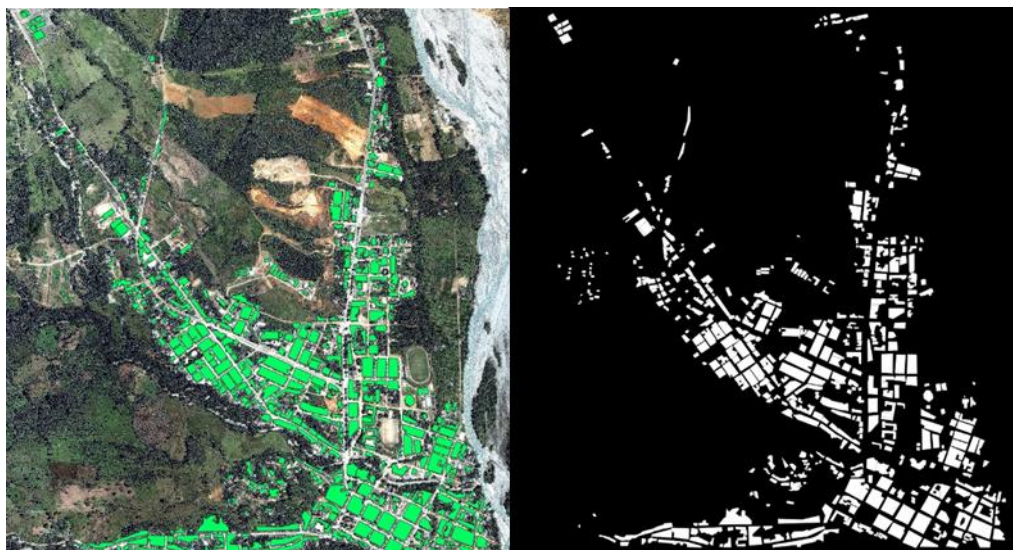


Figura 5. Etiquetado a mano: Los pixeles resaltados con verde se consideran pixeles de la clase construcción, el resto es la clase negativa. Al final se genera una máscara, con el valor de 1 se representan los pixeles que contienen construcción y con 0 el resto.

Después de obtener la máscara de etiquetas, cada pixel de la imagen queda categorizado como construcción o no construcción. Estos son pasados por una etapa de entrenamiento en la cual se selecciona la combinación de parámetros del modelo de clasificación que obtienen los resultados deseados de clasificación de pixeles de la imagen. En la etapa final, una nueva imagen satelital RGB es pasada por la etapa de preprocesamiento y paso siguiente por el clasificador. El clasificador le da una probabilidad a cada pixel de la imagen de pertenecer o no a la clase construcción dado un límite de decisión (threshold). Como último paso, se generan polígonos que encierren las regiones clasificadas como construcción.

Esta información de polígonos se convierte en una capa, que es utilizada del mismo modo que la información de OSM, donde mediante técnicas GIS se hallan las intersecciones con la zona de susceptibilidad.

Metodología 2: Clasificación por agrupación de pixeles – superpixels

Esta metodología cuenta con 5 etapas generales: i) preprocesamiento de la imagen, ii) cálculo de superpixels, iii) descriptores, iv) clasificación y v) etapa de decisión.

Esta metodología empieza con el alistamiento de la imagen en la etapa de preprocesamiento. Esta etapa es la misma descrita en la metodología 1, después las dos metodologías cambian en su forma de caracterización de la imagen. A diferencia de la metodología 1 donde cada pixel era considerado para la clasificación, en esta



El futuro
es de todos

DNP
Departamento
Nacional de Planeación

metodología se agrupa píxeles por similitudes de color y textura en un espacio de color denominado LAB. Al agrupamiento de píxeles se les denomina superpíxeles. En la *Figura 6*, se dibujan los superpíxeles encontrados sobre la imagen satelital de Mocoa. Aquí se hace evidente una agrupación por colores y texturas compartidas.



Figura 6. En amarillo, agrupación de píxeles por la metodología de superpíxeles (600 superpíxeles).

Esta agrupación por superpíxeles depende de un número predefinido por el usuario. En la *Figura 7*, se muestra los grupos encontrados para 600 segmentos. Después de obtener los superpíxeles, a cada uno de ellos se les estima 3 descriptores de color en el espacio de color HSV en la etapa de cálculo de descriptores. Los pasos que se siguen en esta etapa son:

- Cambio de espacio de color de RGB a HSV
- A cada superpíxel en la imagen y por canal (H-S-V) se calcula un histograma de valores de n_{bins}
- Cada superpíxel es representado por un descriptor de $3 * n_{bins}$. Si n_{bins} es igual a 8, entonces, el descriptor para cada superpíxel será de dimensión 24.



El futuro
es de todos

DNP
Departamento
Nacional de Planeación

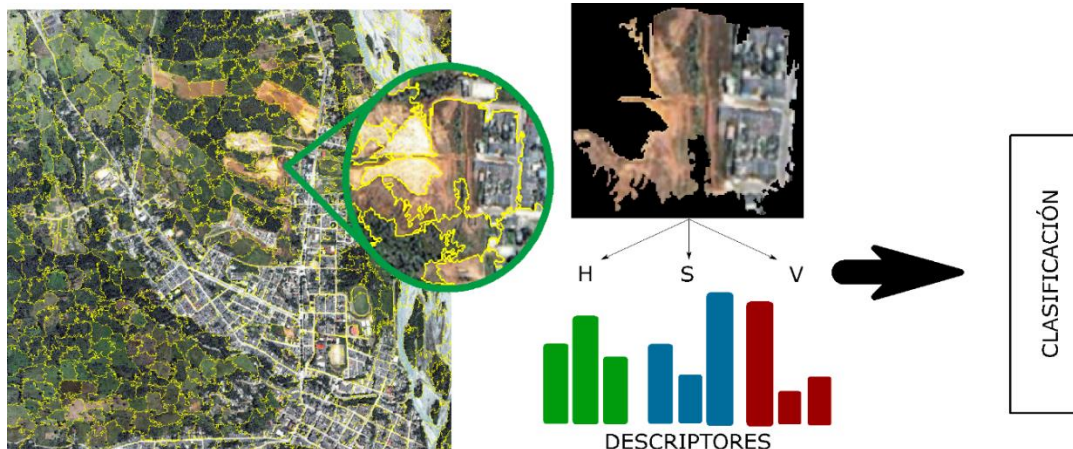


Figura 7. Cálculo de descriptores de la imagen en el espacio HSV.

Al finalizar la etapa de descripción, la imagen queda representada por una matriz del número de superpixeles por el tamaño del descriptor. En la etapa de clasificación, se genera un vector adicional de etiquetas [1,0] para entrenar el clasificador, esto se hace con un etiquetado manual de cada superpixel; si el segmento contiene construcciones se etiquetará con 1, en caso contrario con 0. El clasificador da como resultado una probabilidad de pertenencia a nivel de superpixel. Esto es, que dependiendo de un umbral (threshold) los superpixeles se clasificarán con mayor o menor rigurosidad. En la etapa de decisión, una nueva imagen, pasa por la etapa de preprocesamiento para normalizar los histogramas, cálculo de superpixeles (no necesariamente con el mismo número de segmentos, pero si aproximado), se calculan los descriptores de la imagen y entran al clasificador, finalmente, se calculan los polígonos de las regiones estimadas como construcciones.

La información de polígonos se cruza con la información de los ríos de OSM para hallar las intersecciones en las zonas de análisis

Resultados

OpenStreetMap: Información Georreferenciada

En esta sección se muestran los resultados obtenidos después de utilizar técnicas SIG con la información de OSM como se mostró en la *Figura 2*. Específicamente, se descargó 2 capas de información para el municipio de Mocoa, la capa de construcciones y la capa hídrica. A esta última se le hace un buffer (expansión de la geometría) de 30 metros para encontrar la zona de susceptibilidad y paso siguiente se hallan las intersecciones con la capa de construcciones. En la *Figura 8*, se muestran los resultados obtenidos para el casco urbano de Mocoa Putumayo, los cuales fueron los siguientes:

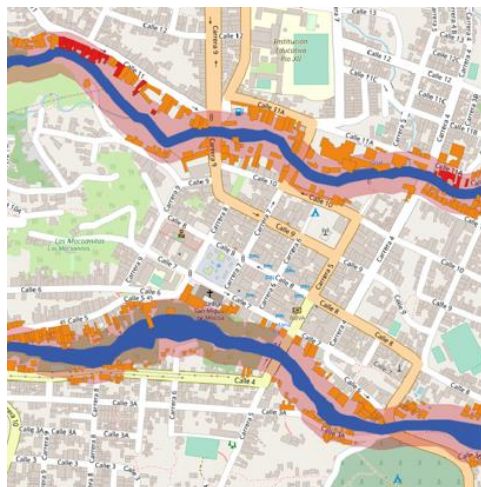


Figura 8. Intersección entre la zona de susceptibilidad de 30 metros (en rojo) y la capa de construcciones de OSM. Las construcciones caracterizadas como susceptibles por estar dentro de esta zona se representan en naranja.

- **688** construcciones de la capa de OSM, se encuentran dentro de la zona de susceptibilidad de 30 metros, que es la mínima franja por reglamentación.
- Las **688** construcciones equivalen a **8 hectáreas** de área construida en zona de susceptibilidad de inundaciones.
- El 20% de las construcciones destruidas por el evento de avalancha del año 2017 en Mocoa se encontraban dentro de la zona de susceptibilidad de los 30 metros. La información de construcciones destruidas esta reportada en OSM, pero en ningún caso puede considerarse oficial.

Para el municipio de la Virginia – Risaralda no se encuentra la información de la capa de construcciones de OSM, por tal motivo, no se puede realizar los análisis solamente considerando la información de OSM, sino que es necesario estimar las regiones de interés por medio del análisis de imágenes satelitales.

Detección de construcciones a partir de imágenes satelitales

En esta sección se muestran los resultados de las dos metodologías desarrolladas para la detección de construcciones a partir de las imágenes satelitales que se obtienen de Google Maps y ESRI.

Metodología 1: Clasificación por intensidad del píxel en la imagen

Para esta metodología, se utilizó la imagen satelital de Mocoa que tiene una resolución de 2048 x 2048 píxeles, para un total de 4.194.304 píxeles por cada uno de los 3 canales de color R-G-B. Primero se hizo un etiquetado manual de las regiones que contenían píxeles con construcciones, es decir a todos los píxeles que estén dentro de una región, se les etiquetaba con valor de 1, generando una máscara como la que se muestra en la figura 5. La imagen satelital queda representada como una matriz del número de píxeles x 3, que son los valores de intensidad para cada canal y es pasada a la etapa de entrenamiento del modelo. En el entrenamiento se prueban varios modelos de clasificación y se escoge el mejor de ellos con respecto a la medida de desempeño F1:

$$F_1 = 2 \times \frac{\textit{precision} \times \textit{recall}}{\textit{precision} + \textit{recall}}$$



Los resultados obtenidos en esta etapa se resumen en la *Tabla 1*. Cada clasificador se probó en una metodología de validación cruzada con 5 grupos y una búsqueda heurística de sus parámetros:

Clasificador	pre-proceso	thresold	tiempo segundos	F1 score	Desviación
KNN	si	0,7	1354,85	0,63	± 2.3%
LinearSVM	si	0,45	544,88	0,76	± 2.6%
Adaboost	si	0,6	700,23	0,56	± 8.5%
RandomForest	si	0,55	1002,36	0,69	± 12.3%
SVM rbf	si	0,7	3045,36	0,77	± 1.8%

Tabla 1. Resultados de la etapa de entrenamiento para la metodología 1. Se muestra solo el mejor desempeño por cada tipo de clasificador.

El clasificador que mejores resultados obtiene es un clasificador SVM con kernel rbf, pero por costo computacional y porque no hay mucha diferencia en la medida F1, se escoge como mejor el clasificador LinearSVM. La efectividad del clasificador se mide en la imagen satelital de La Virginia, que no fue utilizada para el entrenamiento. Los resultados se pueden visualizar en la *Figura 9*.



Figura 9. Resultados de la metodología 1 para la detección de construcciones. A la izquierda se muestra la imagen de prueba (El virginia) y la máscara (blanco y negro) resultante del clasificador. Las construcciones que se identificaron se pintan de color azul.



Metodología 2: Clasificación por agrupación de píxeles – superpixels

Para esta metodología, nuevamente se utiliza la imagen satelital de Mocoa, pero a diferencia de la metodología de la anterior, la imagen se considera por las pequeñas regiones encontradas por el agrupamiento de superpixels. Para el entrenamiento se utilizan 3266 superpixels, entre menos regiones se utilicen la aproximación será mucho menor. Paso siguiente, cada superpixel es etiquetado de forma manual, para crear una máscara de etiquetas (1 construcciones, 0 no construcciones) y luego ser pasados por un proceso de clasificación supervisada (ver *Figura 10*).

En el proceso de cálculo de descriptores, cada superpixel es representado por un descriptor de tamaño 48 (16 bins en el histograma por cada canal HSV). En la etapa de entrenamiento del modelo, se realizó una validación cruzada con 5 grupos y un proceso de búsqueda heurística para sintonizar los parámetros de cada uno de los clasificadores utilizados. En la *Tabla 2*, se muestran los mejores resultados obtenidos para los clasificadores que se entrenaron para la selección del modelo que más se ajusta. Para medir el desempeño de los clasificadores se utiliza como parámetro la medida F1, explicada anteriormente.

Clasificador	pre-proceso	thresold	tiempo segundos	F1 score	Desviación
KNN	si	0,5	7,82	0,84	± 3,4%
LinearSVM	si	0,5	9,25	0,75	± 2,9%
Adaboost	no	0,3	28,03	0,64	± 11,45%
RandomForest	si	0,5	20,32	0,7	± 15,21%
SVM rbf	si	0,7	10,65	0,83	± 4,32%

Tabla 2. Resumen del mejor desempeño para cada uno de los clasificadores utilizados en la detección de construcciones sobre el municipio de Mocoa.



Figura 10. Mascara de superpixels obtenida por etiquetado manual. Estas regiones son consideradas para el entrenamiento del clasificador.

Los tiempos de entrenamiento mostrados en la *Tabla 2*, son mucho menores a los tiempos de entrenamiento de la metodología 1, esto se debe a la cantidad de muestras con las que se entrena el clasificador, para la



primera, cada píxel de la imagen se convertía en una muestra de entrenamiento (4.194.304 píxeles). Por otro lado, con los superpíxeles esta cantidad se disminuye de forma drástica al pasar a tener 3266 muestras. El clasificador con mejor desempeño es KNN, en una configuración de 7 vecinos y distancia *minkowski*.

Para verificar la eficiencia del modelo entrenado se prueba con la imagen satelital del municipio de La Virginia. Esta imagen, después del preprocesamiento, se representa por 2364 superpíxeles (Este valor puede variar y depende de la distancia utilizada para calcular los segmentos, en todo caso, no es restricción utilizar otro número diferente de segmentos). Como resultado, el clasificador asigna una probabilidad de ser o no construcción a cada píxel, por ende, la decisión depende de un límite de decisión, entre más alto, más riguroso es la clasificación. Los resultados obtenidos sobre La Virginia se muestran en la *Figura 11*.



Figura 11. Resultados de clasificación de la metodología 2. A la izquierda la imagen satelital con los superpíxeles encontrados, a la derecha los superpíxeles que se clasificaron como construcción.

De los resultados obtenidos, se elige continuar con la metodología 2, puesto que es mucho más robusta ante cambio de valores a nivel de píxel y su tiempo de cómputo es mucho menor.

El siguiente paso, después de obtener los superpíxeles clasificados como construcción, es mapear cada borde de la región de superpíxeles a información georreferenciada, esto con el fin de intersecar estas regiones con la zona de susceptibilidad, y poder estimar el número de regiones en condición de susceptibilidad.

El mapeo de las regiones sigue los siguientes pasos:

1. Cada región es delimitada por píxeles exteriores, estos están en las coordenadas de la imagen (fila, columna). En la *Figura 12(a)*, los píxeles exteriores de la región 3, se muestran encerrados por un recuadro.
2. Estas coordenadas en imagen se organizan en sentido horario para poder formar los polígonos correctamente, *Figura 12(b)*. Cada polígono se forma como una lista de puntos (fila, columna) de cada uno de los píxeles exteriores.



3. Cada pareja de puntos que forma el polígono se mapea a información georreferenciada mediante una transformación afín de los puntos. La matriz de transformación se define como sigue:

$$\begin{bmatrix} lon \\ lat \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_x & 0 \\ 0 & p_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_{min} \\ y_{max} \end{bmatrix}$$

Donde x y y son las coordenadas (columna, fila) en la imagen respectivamente, p_x y p_y es el tamaño del pixel en la dirección x y y ; este tamaño del pixel depende de la resolución de la imagen satelital, para el caso específico, cada pixel representa una baldosa de $p_x = 1.1939, p_y = 1.1860$ metros; x_{min} y y_{max} , representan el punto superior izquierdo en las coordenadas georreferenciadas de la imagen, que dependen de la proyección utilizada para codificar la información geográfica; para el caso específico, el sistema Magna Sirgas (EPSG:32618)⁵.

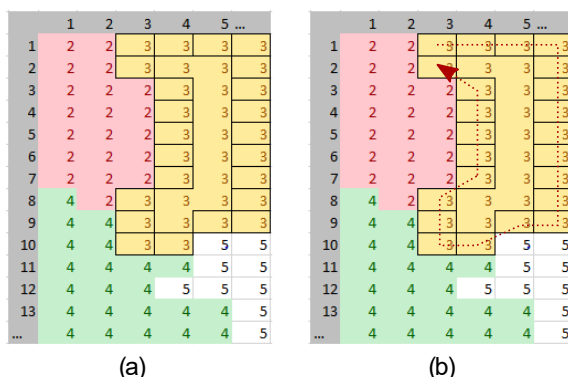


Figura 12. Proceso de mapeo de los superepixels a información georreferenciada.

4. Después que se tiene cada polígono, representado como información geográfica, se halla las intersecciones con la zona de susceptibilidad calculada de la información de OSM.

Herramienta de análisis

Para este proyecto, se construyó una herramienta que facilita el uso de las funcionalidades presentadas anteriormente. Principalmente, esta herramienta es un tablero de control, para realizar y visualizar resultados de zonas y regiones de ocupación e infraestructura construida dentro de las rondas hídricas en el territorio nacional. En la Figura 13, se muestra la interfaz gráfica de las funcionalidades principales de la herramienta.

⁵ <https://www.igac.gov.co/es/contenido/areas-estrategicas/magna-sirgas>.



El futuro es de todos

DNP Departamento Nacional de Planeación

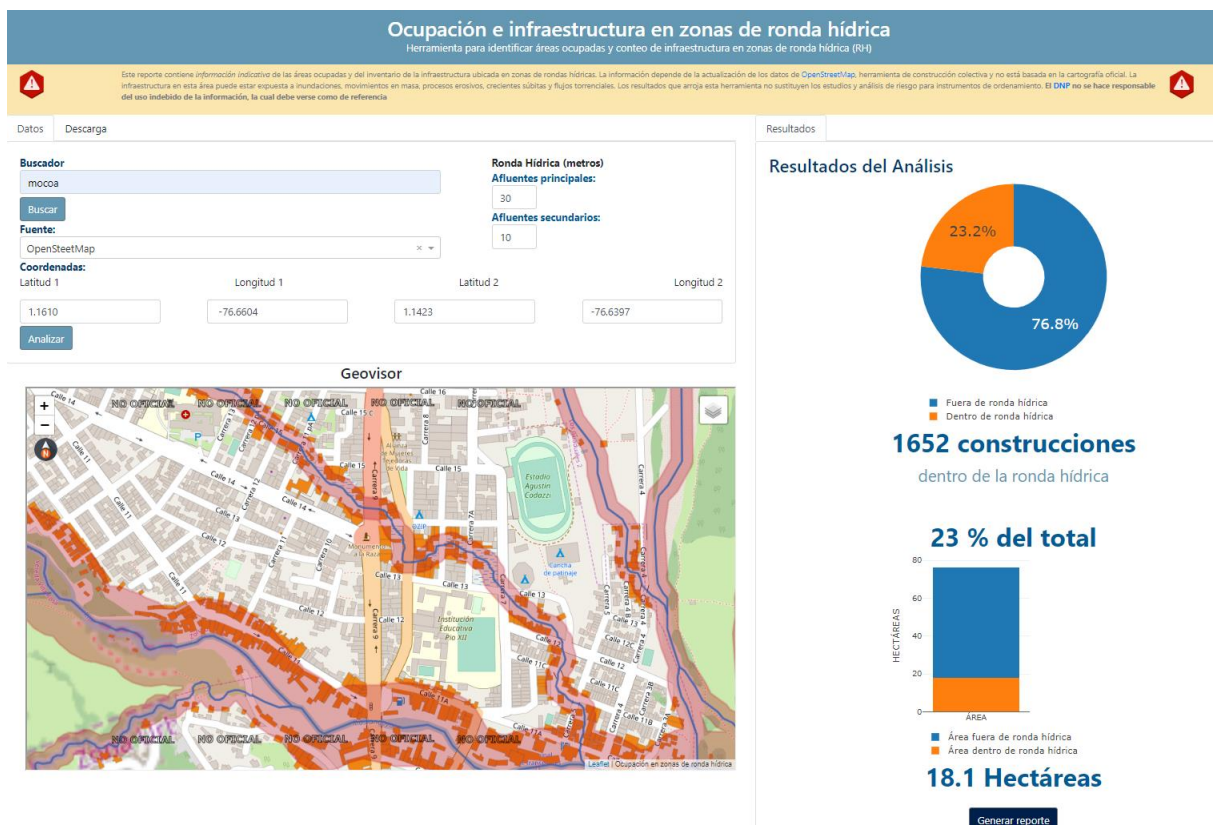


Figura 13. Interfaz gráfica de la herramienta de Análisis de regiones con ocupación o infraestructura construida dentro de rondas hídricas.

Esta herramienta permite descargar la información obtenida en formatos *.shp (shapefile) con el fin de poder utilizar estos datos en programas de análisis GIS como ArcMap y QGIS, además de imprimir los reportes conseguidos. Además, la herramienta puede ser consultada dentro de la red local del DNP mediante la ruta local: <http://10.10.21.20:8050/>

Conclusiones y recomendaciones

1. La herramienta tiene dos modos de uso: el primero por análisis SIG, el cual descarga información de OSM y halla las intersecciones, sujeto a la existencia de los datos de construcciones. El segundo, permite realizar el análisis por procesamiento de imágenes satelitales, por lo que no es necesario contar con capa de construcciones de OSM, pero si con la capa de ríos.
2. La herramienta presentada da una aproximación (y no debe ser considerada como oficial) a las zonas que probablemente pueden ser categorizadas como zonas de susceptibilidad por tener ocupación o infraestructura construida dentro de ronda hídrica.
3. La herramienta permite descargar las capas información generadas del análisis SIG y del procesamiento de imágenes satelitales, para poder ser utilizadas en herramientas especializadas como ArcMap y QGIS.



**El futuro
es de todos**

DNP
Departamento
Nacional de Planeación

4. La herramienta permite la generación de reportes en formato PDF, para mostrar los resultados y análisis realizados para zonas de análisis.
5. Como se ha mencionado, la herramienta es una aproximación y una estimación que no puede ajustarse a la realidad. Por lo que en ningún caso debe tomarse como información oficial y no reemplaza el trabajo del experto temático. Esto solo sirve como un insumo adicional para la toma de decisiones en prevención y planificación del riesgo.
6. Los resultados obtenidos mediante el análisis de imágenes satelitales RGB son aceptables, cuando se extienden para todo el país. Esto da un punto de partida y puede ser una base para el trabajo con estas imágenes. Por otro lado, contar con imágenes satelitales con más capas de información y con resolución alta, pueden potenciar este tipo de estudios y servir como insumos para la formulación de políticas públicas con respecto a la planificación, uso de suelos, prevención de riesgos por causas naturales, entre otros.

Socialización

La herramienta para análisis de susceptibilidad de inundación en zonas cercanas a las rondas de los ríos se ha presentado a la Dirección de Ambiente y Desarrollo Sostenible y a la Subdirección de Minas y Energía suscrito a la Dirección de Infraestructura y Energía Disponible.