

# Diccionario de Datos: Atlas de Expansión Urbana Portoviejo, Ecuador

## **Atlas de Expansión Urbana Portoviejo, Ecuador**

El *Atlas de Expansión Urbana Portoviejo, Ecuador* mapea y calcula cambios en áreas edificadas, espacios abiertos, huella urbana, población y densidad demográfica en cuatro períodos: cerca de 1985, cerca de 1998, cerca de 2007 y 2017. Diecisiete métricas asociadas al área y a la población de las ciudades se generaron para cada ciudad en cada período de tiempo. Esta información se puede descargar en el portal de datos del *Atlas de Expansión Urbana Portoviejo*: <http://www.huellaurbanaportoviejo.com/datos>

El procedimiento utilizado para generar las diecisiete métricas se comprende mejor al dividir los datos en tres categorías: datos de entrada, datos de salida y métricas.

### Datos de entrada

El equipo de estudio recopiló e interpretó imágenes satelitales *Landsat* para producir una clasificación tripartita de pixeles *Landsat* en superficies impermeables (áreas edificadas) hechas por el hombre, espacios abiertos y cuerpos de agua. Las fechas exactas del análisis podrían variar a lo largo de cada período de tiempo, 1989 en la Ciudad A y 1991 en la Ciudad B, por ejemplo, dependiendo de la disponibilidad de las imágenes satelitales *Landsat* libres de nubosidad sobre el área completa de estudio. Los años 1990, 2000 y 2014 corresponden a las medias de las fechas del análisis a largo de los tres períodos de tiempo. Los tres períodos de tiempo, en ciertas ocasiones, se denominan T1, T2 y T3.

Los datos de población asociados a las zonas fueron distribuidos en pixeles edificados dentro de las zonas. A modo de ejemplo: Imagine una zona con una población de 90.000 habitantes que contiene un área edificada total de 900 hectáreas ( $9.000.000 \text{ m}^2$ ). El bloque fundamental de construcción del área edificada equivale a un pixel de 30m. De esta manera, cada pixel edificado equivale a un área de  $900\text{m}^2$ , lo que significa que 900 hectáreas están compuestas de 10.000 pixeles ( $10.000 \times 900\text{m}^2 = 900 \text{ hectáreas}$ ). Nuestro procedimiento de distribución equitativa asigna  $90.000 \text{ personas} \div 10.000$ , o 9 personas, a cada uno de los pixeles edificados de la zona. Las zonas de población usualmente corresponden a unidades censales pero también pueden reflejar unidades no censales de información con conteos de datos de población como distritos, circunscripciones electorales, etc. Se utilizó interpolación o extrapolación lineal para estimar la población de una zona con los datos de las imágenes *Landsat*.

### Datos de salida

El análisis arrojó una serie de resultados utilizando la clasificación *Landsat* como valores de entrada. Los resultados incluyeron un archivo de **análisis panorámico** para cada período de tiempo que subclasiificó los pixeles edificados en las categorías urbana, suburbana y rural y los pixeles de espacio abierto en las categorías frontera, capturado y rural; los archivos de **huella urbana** delimitan la combinación del área construida y el espacio abierto asociados a una ciudad en particular en un período de tiempo determinado; los archivos de **áreas agregadas** clasifican el área agregada y el espacio abierto asociados a una ciudad particular dentro de un período de tiempo determinado en cuatro grupos: relleno, extensión, crecimiento discontinuo e inclusión (una descripción de estas cuatro categorías aparece en el *Atlas de Expansión Urbana Volumen I: Áreas y Densidades*, páginas 26-27); junto con un servidor de resultados intermedios utilizado para llevar a cabo el control de calidad.

## Métricas

El *Atlas de Expansión Urbana de Portoviejo* identifica diecisiete mediciones relacionadas al área y la población de cada ciudad para cada uno de los tres períodos de tiempo observados. Las mediciones demográficas combinan datos de entrada de la población y del área estudiada con datos de salida de áreas construidas y de huella urbana. Las mediciones espaciales, como el volumen del área edificada y el espacio abierto, aportan datos de salida y de entrada sobre la cobertura de lotes dentro de la huella urbana. Las mediciones de compacidad y fragmentación combinan distintos datos espaciales de salida para generar nuevas mediciones.

## **DESCRIPCIÓN DE ARCHIVOS SIG**

### Datos de entrada

La carpeta de entradas contiene un conjunto de carpetas de ciudades. Cada carpeta de ciudad contiene tres subcarpetas denominadas T1, T2 y T3, correspondientes a tres períodos de análisis: alrededor de 1990, alrededor de 2000 y alrededor de 2015. Cada una de las carpetas T1, T2 y T3 contiene la misma estructura de archivos. Cada carpeta contiene dos archivos: (1) un archivo ráster para la clasificación tripartita de la cobertura de suelo sobre el área de estudio, y (2) un archivo shape que contiene información para el análisis de áreas y zonas, con datos de la población, utilizada para realizar el análisis.

El archivo ráster lleva el mes y el año de la imagen *Landsat* sobre la que se basa la clasificación en el nombre del archivo. Por ejemplo, el archivo *accra\_jan\_1991\_t1\_final.img* se refiere a una fecha t1 de enero de 1991 en Accra, Ghana. Cada archivo ráster de datos de entrada para cada ciudad sigue esta convención de nomenclaturas, es decir, el nombre de la ciudad seguido por el mes y el año, seguido por el período de tiempo. El valor de las celdas ráster es el siguiente: 1 = agua, 2 = espacio abierto y 3 = área construida.

El archivo shape contiene el nombre de la ciudad y el período de análisis en el nombre del archivo. Por ejemplo, *accra\_Boundaries\_t1.shp*, se refiere a Accra, Ghana y al período de análisis t1. Una de las columnas en la tabla de atributos del archivo shape contendrá datos de la población correspondientes a la fecha de análisis. Por ejemplo, el archivo Accra t1 tiene una columna P1\_1991, en la que P1 se refiere a la población en T1 y el número 1991 se refiere al año de análisis. La columna 'PX\_YYYY' contendrá poblaciones para todas las zonas incluidas en el archivo shape. Estos datos de la población se calcularon fuera del sistema de información geográfica (GIS, por su sigla en inglés) utilizando interpolación/extrapolación lineal hasta la fecha de análisis.

### Datos de salida

La carpeta de salida contiene 200 carpetas con nombres de ciudades. Cada carpeta con nombre de ciudad incluye archivos ráster y shape que corresponden a tres fechas de análisis. A diferencia de la carpeta Datos de Entrada, los archivos no están organizados en carpetas 'Tx', sino que los períodos de tiempo están incorporados en el nombre del archivo.

El archivo ráster *urbFootprint\_in\_studyArea\_tx* contiene el resultado del análisis de paisaje a partir de la clasificación tripartita de datos de entrada, en el que la letra x puede tomar el valor de 1, 2 o 3 correspondiente al período de análisis. El análisis del paisaje es descrito en las páginas 22-25 del *Atlas de Expansión Urbana Volumen I: Áreas y Densidades*. El valor de las celdas ráster es el siguiente: 1 = área urbana edificada, 2 = área suburbana edificada, 3 = área rural edificada, 4 = frontera de espacio abierto, 5 = espacio abierto capturado, 6 = espacio abierto rural y 7 = agua.

El archivo shape *urban\_edge\_tx.shp* refleja la huella urbana en el período de análisis ‘x’. Éste es un archivo de límites y su área refleja la combinación del área construida y el espacio abierto sobre las áreas de estudio que fueron reunidos a partir de un procedimiento de agrupación algorítmica. La huella urbana define el área espacial a la que se refieren las mediciones específicas a la ciudad.

El archivo ráster *city\_urbFootprint\_clp\_tx* contiene la misma información que *urbFootprint\_in\_studyArea\_tx* con la excepción de que el análisis se ha limitado a la huella urbana.

El archivo ráster *New\_Development\_tx\_tx* contiene información de nuevos desarrollos entre dos períodos de tiempo: t1 y t2 o t2 y t3. Las categorías de nuevo desarrollo son analizadas en las páginas 26-27 del *Atlas de Expansión Urbana Volumen I: Áreas y Densidades*. El valor de las celdas ráster es el siguiente: 1 = relleno, 2 = extensión y 3 = crecimiento discontinuo. La celdas con valor = 0 deben ser ignoradas.

El archivo shape *CityName\_studyArea.shp* refleja la huella espacial del área para la cual la imagen *Landsat* fue clasificada y luego analizada durante los tres períodos de tiempo. Al analizar la misma área durante los tres períodos, podemos determinar si es que el área agregada a lo largo de los períodos de tiempo corresponde a un nuevo desarrollo o es reflejo de la incorporación de áreas preexistentes.

El archivo shape *districts\_tx.shp* contiene las zonas que se utilizaron para repartir la población a la huella urbana en dicho período específico de análisis.

## Atlas de Expansión Urbana Portoviejo, Ecuador Manzanas y Vías

### Áreas de Estudio

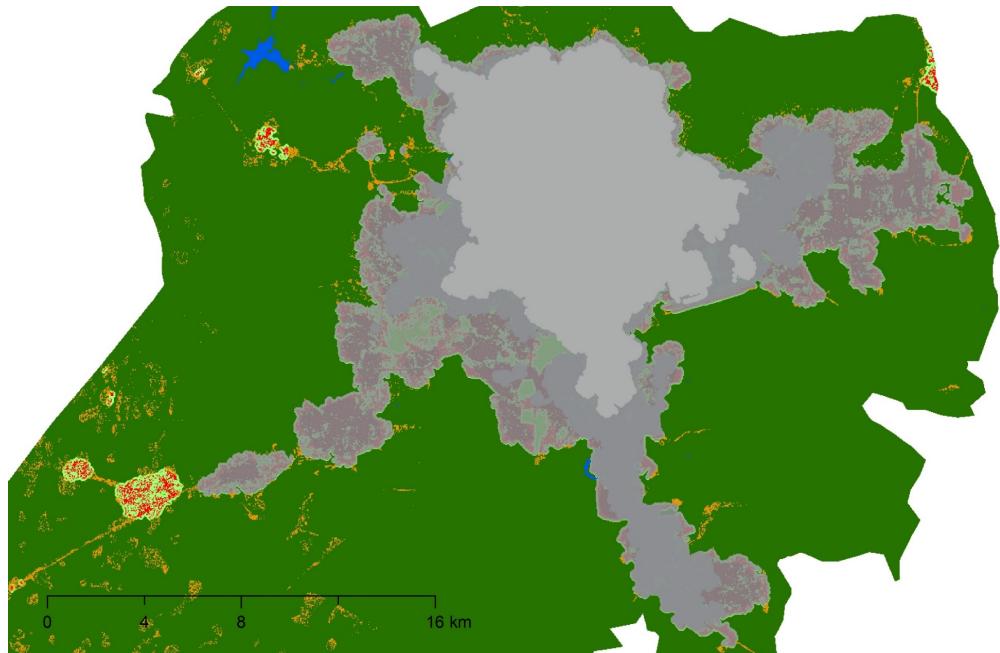


Figura 1: La clasificación de imágenes satelitales en tres períodos permite la creación de huellas urbanas que muestran el crecimiento de una ciudad en el tiempo. Adis Abeba.

En la Fase I, la clasificación y el análisis de imágenes satelitales *Landsat* de resolución media indica la identificación de un límite que define la huella urbana de una ciudad en tres períodos: 1990, 2000 y 2015 (Figura 1). Esta área representa una comprensión morfológica de la ciudad, basada en el concepto romano conocido como *extremum tectorum*, o borde más alejado. El lote contenido dentro de este límite consiste en todos los pixeles rurales, suburbanos y urbanos identificados en el análisis de la Fase I que colindantes o cercanos al principal clúster urbano,<sup>1</sup> al igual que la frontera de espacio abierto y el espacio abierto capturado que recaen dentro de la huella urbana. Esta definición morfológica no corresponde necesariamente al límite legal o político de la ciudad, lo que elimina variaciones en cuanto al tamaño y la composición de los límites entre países y crea una unidad estandarizada para definir el área de la ciudad. Al utilizar este método estándar para definir el límite de la ciudad es posible comparar ciudades alrededor del mundo de manera coherente y también a través de distintos períodos de tiempo. Para efectos del análisis de trazados urbanos, las zonas de 1990 a 2000 y de 2000 a 2015 están combinadas para formar un área que se conoce simplemente como “zona de expansión”, desarrollada alrededor de 1990 y alrededor de 2015. El área desarrollada antes de 1990 aproximadamente también es estudiada y se conoce como el área “pre-1990”. La suma de ambas áreas se conoce como “huella urbana”.

Para tomar muestras dentro de la huella urbana, examinamos una serie de áreas pequeñas

<sup>1</sup> Para mayor información sobre esta metodología, consulte el Volumen 1 del Atlas de Expansión Urbana Global.

distribuidas de manera aleatoria. Estas áreas son de un tamaño de 0,1 km<sup>2</sup> (10 hectáreas) y se denominan “localidades”. En un área de estudio determinada (ya sea anterior a 1990 o a la zona de expansión), al menos 40 localidades están digitalizadas, y al menos 80 localidades están digitalizadas para cada ciudad, excepto en el caso de ciudades pequeñas que pueden ser cubiertas en su totalidad con menos localidades (Figuras 2 y 3).



*Figura 2: Identificación de localidades en el cuadro delimitador de Adís Abeba, Etiopía (izquierda). Un punto Halton posicionado en una localidad de 10 hectáreas (derecha).*

La ubicación de cada localidad es generada de manera casi aleatoria combinando una secuencia de Halton de números con datos de latitud y longitud de un cuadro delimitador que abarca la huella urbana. Considerando las coordenadas mínimas y máximas del cuadro delimitador, se genera un conjunto de varios cientos o varios miles de pares de coordenadas (Figura 2, izquierda). Estos pares son proyectados espacialmente, lo que deriva en una nube de puntos que cubre toda el área de estudio. A continuación, esta nube de puntos es cortada para que corresponda con la huella urbana de la ciudad. Finalmente, se establece un círculo de 10 hectáreas alrededor de cada punto (Figura 2, derecha). Para asegurar que las muestras sean escogidas de manera aleatoria se genera una ID en base a una secuencia de Halton, junto con su latitud y longitud. Esto produce una distribución aleatoria de muestras, sin agrupar y proporciona un orden de muestras. En los casos en que las localidades se superponen, la localidad anterior en la secuencia es digitalizada por completo, y la porción no superpuesta de la segunda localidad también es digitalizada.

Las localidades se generan en base a dos densidades dependiendo del tamaño del área de estudio: para áreas menores a 25 km<sup>2</sup> se utiliza una densidad de 4 localidades por km<sup>2</sup>, mientras que para áreas mayores a 25 km<sup>2</sup> se utiliza una densidad de 1 localidad por km<sup>2</sup>. Es posible que una ciudad registre una densidad en su área anterior a 1990 y otra densidad en su área de expansión, dependiendo de la magnitud de las áreas.

Las localidades son digitalizadas de manera secuencial, comenzando con la primera localidad producida por la secuencia de Halton. Las localidades cuya edificación es menor al 25% (correspondiente al límite para el desarrollo suburbano de edificación) son omitidas. Además, las localidades con imágenes nubladas o poco nítidas son etiquetadas y revisadas al actualizar las imágenes. Ciertas localidades ( $>0,01\%$ ) nunca cuentan con imágenes nítidas disponibles y también son omitidas.

Dentro de cada localidad se utilizan técnicas manuales de digitalización para identificar y guardar las características físicas del tejido urbano. El elemento principal de estas técnicas implica el examen detallado de una muestra del trazado de vecindarios, enfocado en el ordenamiento de sus trazados de vías y manzanas, la calidad de su infraestructura visible y el trazado de lotes de construcción. Además, el estudio de vías arteriales implica el examen manual del área completa de la ciudad y la identificación de vías en base a su capacidad y conectividad con otras áreas.

## **Elementos de Digitalización de la Localidad**

En general, el proceso de digitalización de localidades pretende proporcionar información sobre el ordenamiento (o desordenamiento) del trazado urbano de una ciudad. Tanto el ordenamiento como el desordenamiento están determinados, en gran parte, por la manera en que el espacio público se utiliza para organizar el tejido urbano (a través de vías y manzanas), el nivel de infraestructura proporcionado en cada área (indicador de formalidad o informalidad) y la construcción del espacio privado, tanto por la identificación de los límites de los lotes como a través de una evaluación visual de los estilos de construcción. Gran parte de este trabajo recae en el analizador de imágenes. A este respecto, se han formulado reglas detalladas para ayudar al analista a clasificar las imágenes<sup>2</sup>.

La clasificación de imágenes es fundamentalmente un ejercicio de reconocimiento de patrones. Como con todos los reconocimientos de patrones, la primera tarea para identificar los elementos de una localidad urbana consiste en identificar una distinción primaria entre elementos. En este caso se hace una distinción entre espacio de manzanas y espacio de vías. El espacio de vías consiste en todo el suelo que está siendo utilizado o que tiene potencial de ser utilizado por otros peatones o vehículos para viajar de una localidad a otra dentro de un área de edificación. En otras palabras, se refiere a los espacios de comunicación de una ciudad. Dentro de este contexto, buscamos identificar los “derechos de vías” que contengan tanto la infraestructura existente como cualquier terreno que esté claramente reservado para futuras infraestructuras. El espacio de manzanas consiste en todos los otros usos, incluyendo el espacio abierto. La suma del espacio de calle y el espacio de manzanas debiera equivaler al 100% del espacio de una localidad de 10 hectáreas. Por consiguiente, *todo el espacio que no sea espacio de vías corresponde a espacio de manzanas* y todo espacio de manzanas será etiquetado con un uso de suelo.

### **Manzanas y Lotes**



Figura 3: División de una localidad en espacio de manzanas y espacio de vías.

El espacio de manzanas está organizado en unidades denominadas *manzanas*. Las manzanas son áreas que están unidas de manera continua por calles o espacios abiertos no desarrollados (por ejemplo, una manzana en el borde de un área desarrollada que limita con tierras de cultivo). Una manzana determinada puede contener varios usos diferentes del suelo (por ejemplo, edificios de apartamentos en un lado, viviendas unifamiliares en el centro y una escuela en el extremo) (Figura

<sup>2</sup> Una versión completa de las normas de digitalización está disponible en línea en [www.atlasorurbanexpansion.org](http://www.atlasorurbanexpansion.org)

3).

Las manzanas y el espacio de manzanas pueden ser subdivididos en *lotes*, relativos a parcelas específicas de tierra que probablemente se verían en un catastro. Toda manzana está compuesta por un lote grande o una serie de lotes más pequeños. De manera similar a la identificación del “derecho de vía”, los límites de un lote son identificados a través de indicadores de superficie, reconocimiento de patrones y comparaciones con áreas cercanas, permitiéndoles hacerse una idea de la división subyacente de la tierra. El concepto de lote es muy importante para diferenciar las categorías residenciales en particular. Un lote suburbano en desarrollo formal puede contener varias estructuras, como una casa, un garaje y un cobertizo, por ejemplo. No estamos interesados en medir las dimensiones de las estructuras en este estudio. En cambio, el objetivo es intentar medir el uso subyacente de suelo para hacernos una idea de los porcentajes de tierra para cada uno de los distintos usos. Cuando se etiquetan los usos de suelo, el uso de suelo del *lote* es lo que se etiqueta, y no el uso de suelo de la edificación específica. Lo mismo se aplica para la evaluación de patrones para determinar el uso de suelo en un área más grande: la clave consiste en enfocarse en el patrón de los límites del lote, y no necesariamente en las huellas de edificación.

Cada ciudad en la muestra global posee tipologías residenciales y no residenciales específicas, junto con características únicas de forma y trazado que merecen reconocimiento y estudio en sí mismas. Sin embargo, para poder estudiar el uso de suelo a una escala global, las categorías de uso de suelo deben ser lo suficientemente simples y amplias para ser identificadas en cualquier ciudad del mundo, abarcando (en la mayor medida posible) el rango completo de vías, manzanas, medianas y tamaño de lotes posibles. Por lo tanto, y tras la revisión de numerosos ejemplos de uso de suelo alrededor del mundo, concluimos que existen seis usos de suelo que se pueden extraer de manera fidedigna de las imágenes disponibles. Éstos son:

## **1. Espacio abierto**

Como categoría, el espacio abierto pretende identificar *áreas sin edificar y zonas verdes desarrolladas*. El espacio abierto incluye:

- Campo abierto.
- Bosques.
- Campos de cultivo.
- Parques.
- Áreas urbanas sin edificar que no han sido subdivididas.
- Suelo deforestado.
- Cuerpos de agua: mares, ríos, lagos y canales.

## **2. No residencial**

La categoría no residencial incluye todas las áreas edificadas, tanto públicas como privadas, cuyo uso no es residencial. Incluye usos comerciales e industriales, así como cualquier uso no residencial.



Figura 4: En sentido del reloj desde la esquina superior izquierda. Asentamiento Atomizado, Subdivisión Informal, Subdivisión Formal, Proyectos de Vivienda.

### 3. Residencial

La categoría residencial incluye las siguientes subcategorías:

- Asentamiento atomizado: El desarrollo atomizado es de trazado irregular y no fue subdividido antes que se efectuara el desarrollo residencial. Podría incluir asentamientos irregulares sin subdivisión, casas construidas en parcelas irregulares de tierra (por ejemplo, villas) o casas edificadas en áreas rurales que no fueron subdivididas (Figura 4, esquina superior izquierda).
- Subdivisión informal: Las subdivisiones informales son áreas que han sido subdivididas para uso urbano, pero que carecen de evidencia visible de formalidad legal, como calles pavimentadas, iluminación pública o aceras. Los tamaños de los lotes son regulares o semirregulares. Las estructuras están dispuestas a lo largo de vías lineales o generalmente lineales, con intersecciones regulares y un ancho estandarizado. Las manzanas también son regulares o semirregulares en tamaño y forma (las variaciones pueden deberse a la topografía, por ejemplo). (Figura 5, esquina superior derecha).
- Subdivisión formal: Los trazados formales son similares a los informales, pero presentan un mayor nivel de infraestructura. Específicamente, todas las vías deben ser pavimentadas para que un área califique como subdivisión formal. Las aceras y las luminarias públicas son usualmente visibles. Los trazados formales se caracterizan comúnmente por tener mejores conexiones a redes de vías arteriales, y una relación lineal con el sistema de vías existentes (por ejemplo, una vía en una subdivisión formal usualmente va a unirse con una vía preexistente en un ángulo de 90 grados). (Figura 5, esquina inferior derecha).
- Proyectos de Vivienda: Los proyectos de vivienda pueden incluir una gama de escenarios de trazados y desarrollos, que varían desde grandes torres de apartamentos a casas suburbanas adosadas. Los proyectos de vivienda comparten un aspecto: las estructuras deben ser esencialmente homogéneas. Son proyectos en los que todas las estructuras se construyen sobre la base del mismo plano, o una variación del mismo plano. Los proyectos de vivienda pueden incluir bloques de apartamentos o subdivisiones en las que todas las casas son construidas por una misma empresa constructora al mismo tiempo o en fases. Generalmente, los proyectos de vivienda son edificados por empresas constructoras grandes y bien organizadas o por el gobierno.

Estas cuatro categorías pretenden reflejar el grado de complejidad de la esfera económica conocida como sector inmobiliario. Este concepto evolutivo se centra en los marcos institucionales, el capital disponible y la madurez del sector. El sector inmobiliario alcanza su nivel más básico en las áreas de viviendas atomizadas, en donde la organización del sector de viviendas es insuficiente, incluso para asegurar tamaños de lotes y anchos de vías consistentes. El sector inmobiliario presenta su nivel más complejo cuando es capaz de financiar grandes proyectos de vivienda planificados a nivel central (ya sean privados o públicos).

### **Medición de lotes**

Si los lotes se pueden identificar con éxito, se hace posible medir el tamaño del lote residencial típico. Usualmente, esto solo se hace en áreas en donde es razonable esperar que el tamaño sea uniforme: Subdivisión Informal Residencial o Subdivisión Formal Residencial. En estas áreas es más simple identificar el límite entre lotes y dichos lotes pueden ser medidos.

Para medir los lotes, se identifica una manzana que tenga un tamaño de lote uniforme, y se trazan dos líneas que se unen en un vértice. Cada línea es etiquetada con el número de fachadas que atraviesa, creando una estimación de la profundidad y el ancho típicos de un lote (Figura 5).



Figura 5: Medición de un lote de tamaño típico dentro de una subdivisión informal.

### **Digitalización de Medianas**

Para poder medir el tamaño de las manzanas y la densidad de intersecciones de vías de manera precisa, se digitalizan las medianas de todas las calles que intersectan con el círculo o que caen directamente dentro del círculo, es decir, las manzanas y las calles son usualmente cortadas por el límite circular. Al digitalizar medianas que están fuera de la localidad es posible obtener una idea precisa sobre el tamaño de una manzana típica en dicha área (Figura 6, izquierda). También es posible identificar las intersecciones de las calles en la localidad y calcular su densidad. Finalmente, es posible medir el grupo de intersecciones en cruz que se unen con perpendicularidad, produciendo un trazado cuadriculado o aproximadamente cuadriculado (Figura 6, derecha).



Figura 6: Tamaño de una manzana típica (izquierda) y medición de intersecciones en cruz (derecha).

## Digitalización de Vías Arteriales

Junto con la digitalización de lotes, medianas, espacio de manzanas y espacio de vías, las vías arteriales también son digitalizadas sobre el área de expansión y el área pre-1990 de la ciudad. Con esto se pretende identificar la red de vías que aportan conectividad entre distintas áreas de la ciudad. Específicamente, este trabajo proporciona información no disponible anteriormente en cuanto a la densidad de las vías arteriales y sobre la parte del área de la ciudad que está a una distancia caminable de una vía arterial, como también a una distancia en línea recta a una vía arterial.

La digitalización de vías arteriales cubre el área total de la ciudad. Para capturar el acceso a las vías arteriales asentadas fuera del perímetro de un borde urbano, un *buffer* —una zona con un borde equidistante del borde del clúster— de 1 km se genera alrededor del borde urbano y se utiliza como área de estudio. Todas las vías ubicadas dentro del *buffer* o dentro de la huella urbana son consideradas como posibles vías arteriales. Las posibles vías candidatas son identificadas en base a una revisión visual de tres fuentes de datos: Java Open Street Map, Google Maps y Bing Maps. En cada una de estas capas, las vías que tienen conectividad de lado a lado son distinguidas según ancho y color. Para evaluar estas vías candidatas, la ciudad es dividida en cuadrículas de 1 km x 1 km (Figura 7). Cuando una vía es identificada como arteria, se diferencia en dos categorías más: anchas y angostas. Las vías anchas son las que tienen un derecho de paso de al menos 18 metros.

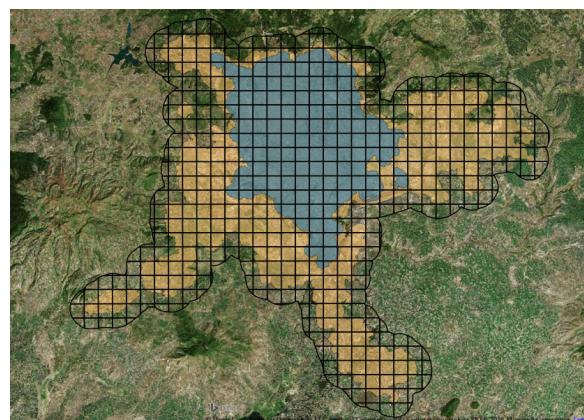


Figura 7: Cuadrícula de cuadrados de 1 km que permite la identificación de vías arteriales.

Una vía candidata se evalúa en base a los siguientes criterios:

1. Debe conectarse a otras Vías Arteriales, formando una red.
2. Debe conectarse a vías menores cercanas. En consecuencia, las vías con acceso limitado (vías cercadas), como las vías rápidas y las autopistas, por ejemplo, nunca son consideradas como Vías Arteriales, aunque posean más de 18 metros de ancho y estén conectadas a otras Vías Arteriales.
3. Debe conectar diferentes cuadrantes de la ciudad, o alimentar directamente a vías que conectan distintos cuadrantes.

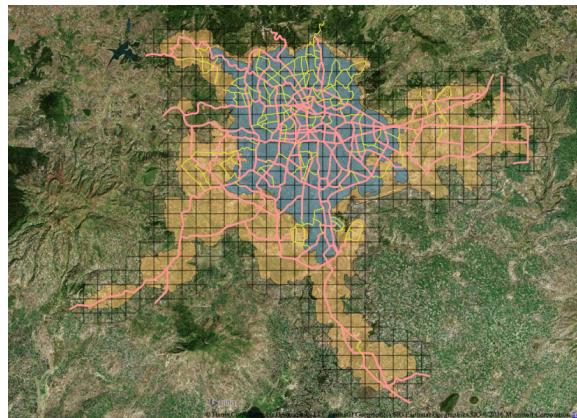


Figura 8: Vías arteriales anchas (rosa) y angostas (verde) en Adís Abeba, Etiopía.

El resultado final de este procedimiento es un mapa digitalizado compuesto por todas las vías arteriales de la ciudad etiquetadas como anchas o angostas. Este mapa se guarda en un archivo único que se puede analizar (Figura 8).

### Evaluación del grado de confianza en las mediciones

En total, se digitalizaron aproximadamente 16.000 localidades en una primera ronda: 40 provenientes del área de expansión y 40 del área pre-1990 de cada una de las 200 ciudades. Además, se generaron 200 mapas de vías arteriales.

Las “localidades” fueron procesadas en *ArcGIS* utilizando un script de comandos *Python* automatizado que calculó las siguientes mediciones para cada localidad:

### Uso de Suelo

- Porcentaje de suelo en espacio abierto (espacio abierto en la localidad/área de la localidad);
- Porcentaje de área construida en uso no residencial (suelo no residencial; excluyendo vías/área de la localidad);
- Porcentaje de área construida en uso residencial (toda el área en uso residencial de la localidad/área de la localidad);
- Porcentaje de área construida ocupada por vías (área en vías/área construida);
- Porcentaje del área en uso residencial no trazado antes de su desarrollo (área con asentamientos atomísticos/área residencial);
- Porcentaje de área residencial en subdivisiones informales (área en desarrollos informales/área residencial);
- Porcentaje de área residencial en subdivisiones formales (área en desarrollos formales/área residencial);
- Porcentaje de área residencial en proyectos de vivienda (área en proyectos de vivienda/área residencial);
- Porcentaje de áreas residenciales trazadas antes del desarrollo (áreas en subdivisiones

- formales e informales/área residencial);
- Porcentaje de la localidad que es reticulado (evaluación visual de la presencia de mallas de calles ortogonales en la localidad y asignación a tres categorías: no reticulada o parcialmente reticulada [cubriendo entre 10-90% del área de la localidad], y reticulada [cubriendo 90% o más del área de la localidad]).
- Tamaño promedio de lote en subdivisiones informales; y
- Tamaño promedio de lote en subdivisiones formales.

### **Tamaño de Vías**

- Porcentaje de vías de menos de 4 metros de ancho (longitud de las vías de menos de 4 metros de ancho en localidad/longitud de la red total de vías en la localidad);
- Porcentaje de vías de 4 a 8 metros de ancho (longitud de vías de 4 a 8 metros de ancho en localidad/longitud de la red total de vías en la localidad);
- Porcentaje de vías de 8 a 12 metros de ancho (longitud de vías de 8 a 12 metros de ancho en localidad/longitud de la red total de vías en la localidad);
- Porcentaje de vías de más de 16 metros de ancho (longitud de las vías de más de 16 metros de ancho en la localidad/longitud de la red total de vías en la localidad); y
- Promedio del ancho de las vías en la localidad.

### **Trazado de Calles**

- Número de intersecciones de vías en la localidad
- Porcentaje de intersecciones en la localidad que son en cruz (total de intersecciones en la localidad/intersecciones en cruz)
- Tamaño promedio de manzanas
- Densidad de intersección en la localidad (3 vías) (por km<sup>2</sup>)
- Densidad de intersección en la localidad (4 vías) (por km<sup>2</sup>)
- Índice de caminabilidad
- Porcentaje de trazados de calles que están cuadriculados (total de localidades/localidades que tienen trazados cuadriculados o parcialmente cuadriculados)

### **Vías Arteriales**

- Densidad de todas las vías arteriales (km lineal de vías arteriales/km<sup>2</sup> del área de estudio)
- Densidad de vías arteriales anchas (+ de 18m) (km lineal de vías arteriales anchas/km<sup>2</sup> del área de estudio)
- Densidad de vías arteriales angostas (km lineal de vías arteriales angostas/km<sup>2</sup> del área de estudio)
- Distancia promedio en línea recta a todas las vías arteriales
- Distancia promedio en línea recta a vías arteriales anchas
- Distancia promedio en línea recta a vías arteriales angostas
- Porcentaje de área caminable (625m) de todas las vías arteriales
- Porcentaje de área caminable (625m) de las vías arteriales anchas
- Porcentaje de área caminable (625m) de las vías arteriales angostas

De éstas, las mediciones que consideramos más interesantes o más importantes para nuestro trabajo (la labor de entender la calidad de los trazados urbanos) fueron la Porción de Área Residencial Ocupada por Vías y Bulevares, la Porción de Área Residencial en Uso Informal y el Tamaño Promedio de Manzanas.

### **Distribución de Observaciones de Localidades entre Ciudades**

En ciudades de tamaño menor a 500 hectáreas, se digitaron todas las características y se generó una

gran localidad. En ciudades de tamaño mayor a 500 hectáreas, se utilizaron localidades. De esta manera, algunas ciudades poseen una sola localidad, sin embargo, todos los datos están disponibles. La precisión de la localidad se vio afectada en algunos casos debido a la baja calidad de las imágenes disponibles en ciudades colombianas. En la medida de lo posible, se aseguraron fuentes alternativas para garantizar la consistencia y precisión de los datos.

## **Procedimiento de Muestras**

Asignamos localidades a ciudades utilizando el siguiente procedimiento.

1. Distribuir automáticamente 80 localidades a cada ciudad.
2. Calcular la potencia estadística para cada una de las tres características de nivel local en una ciudad determinada.
3. Crear un índice que promedia la potencia estadística asociada con las tres variables de interés.
4. Ordenar las ciudades en base a un índice proveniente del paso anterior, del más bajo al más alto.
5. Seleccionar las 20 ciudades más bajas en el ranking, y agregar 10 localidades adicionales a cada ciudad.
6. Reprocesar los datos y reclasificar ciudades, incorporando la nueva información.
7. Repetir los pasos del 2 al 6 hasta que la estimación de las localidades se haya agotado.

Es importante recalcar que en algunas ciudades, el área de expansión es lo suficientemente pequeña como para ser completamente cubierta con localidades antes de concluir con el procedimiento de muestras. Cuando sea imposible agregar otra localidad que no se superponga sobre las localidades existentes, dejamos de agregar localidades a la ciudad. Esto podría suceder incluso antes de que las 80 localidades sean elegidas de manera aleatoria.

## **Memoria y Recuperación de Datos**

Los datos de este proyecto son guardados como archivos shape y se pueden abrir utilizando un software de código abierto como QGIS o un software patentado como ArcGIS.

Organización de las carpetas

Arteriales:

Esta carpeta contiene datos de las vías arteriales de cada ciudad, incluyendo el Archivo Maestro Arterial y el Archivo de Área de Estudio Arterial. Los datos cubren la huella urbana T3 de la ciudad. El Archivo Maestro Arterial contiene dos tipos de vías arteriales: vías arteriales anchas ( $>18m$ ) y vías arteriales angostas. El Archivo de Área de Estudio Arterial contiene la cuadrícula que fue utilizada para evaluar las vías arteriales. La cuadrícula se extiende 500m más allá del límite de la huella urbana de la ciudad.

Localidades:

La carpeta contiene archivos shape de localidades para cada ciudad, en dos períodos de tiempo. El primer período de tiempo se denomina T0 y se refiere al área de la ciudad desarrollada antes de 1990, correspondiente al archivo en la carpeta de Huella Urbana denominada T0. El segundo período de tiempo es denominado T1\_T3 y se refiere al crecimiento que ocurrió desde 1990 a 2014. Corresponde al archivo de la carpeta Huella Urbana llamada T2, con la carpeta de Huella Urbana T0 eliminada. En otras palabras, incluye el área de la ciudad desarrollada más

recientemente. No se hace una división entre el área de crecimiento de 1990 a 2000 y el área de crecimiento de 2000 a 2014.

Los datos para cada localidad están almacenados en cuatro archivos:

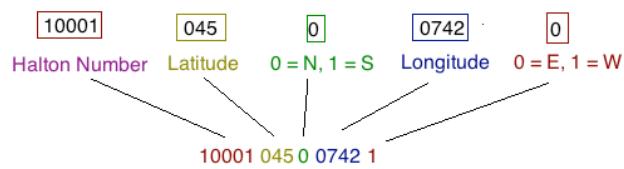
Tipo de archivo	Dígito
Límites de localidad	0
Manzanas	1
Medidas de lote	2
Medianas	3

- (1) Archivo de límites de localidad: Este archivo incluye el límite circular de la localidad de 10 hectáreas. En casos de superposición de localidades, el archivo de límite fue cortado. La tabla de atributos contiene una ID de localidad.
- (2) Archivo de manzanas: Este archivo contiene los contornos de todos los polígonos de uso de suelo dentro de la localidad. La tabla de atributos etiqueta cada polígono con uno de los seis usos de suelo. Todo el espacio en la localidad que no es espacio de manzanas corresponde a espacio de vías. En otras palabras, el espacio de calle es el espacio negativo dentro de la localidad. Este archivo se utiliza para calcular mediciones de tamaños de calles, porcentajes de suelo en las calles y los tipos de uso de suelo.
- (3) Archivo de medidas de lote: Este archivo contiene una serie de líneas que se intersectan en un nudo. El propósito de este archivo es poder medir el tamaño de un lote residencial típico intersectando los ejes  $x$  e  $y$  de varios lotes. Cada línea es etiquetada con un número que corresponde al número de lotes que intersecta. Esta medida solo se toma en subdivisiones informales y formales y este archivo no existe en varias localidades.
- (4) Archivo de medianas de las vías: Este archivo traza las medianas de todas las calles que intersectan en el límite de la localidad. Este archivo se combina con medianas generadas automáticamente desde dentro de la localidad para generar un mapa completo de medianas que después es analizado para calcular mediciones de intersección, tamaños de manzanas y accesibilidad peatonal. Cada línea está etiquetada con la ID de la localidad.

Archivo maestro de vías arteriales: Este archivo contiene dos tipos de líneas de medianas de vías arteriales, líneas anchas y líneas angostas. Las líneas anchas corresponden a vías arteriales de más de 16m de ancho. Las líneas angostas corresponden a las vías arteriales de menos de 16m de ancho. Este archivo cubre toda el área de una ciudad excepto en ocasiones específicas en que se utilizó la metodología de muestra.

Archivo de área de estudio de vías arteriales: Este archivo contiene una cuadrícula de 1km x 1km que cubre la huella urbana de una ciudad, más un *buffer* de 500m. Ésta es el área de estudio para el análisis de las vías arteriales. La zona de *buffer* se incluye para asegurar que las vías que están a pasos de la huella urbana pero que quedan fuera de la huella igual sean incluidas en el análisis de acceso.

Cada localidad tiene una ID que refleja el orden de la secuencia de Halton, junto con su latitud y longitud:



A esta ID de localidad se le agrega un dígito final, entre 0 y 3, que indica el tipo de dato que contiene el archivo.

Cada ciudad debería tener entre 80 y 200 localidades. Éstas son organizadas en dos períodos de tiempo, T0 (Pre-1990) y T1-T3 (1990-2015), correspondientes a los años en los que dichas áreas fueron edificadas, en base al análisis de las imágenes *Landsat* del Volumen 1.

Todos los datos están almacenados en formato de archivo shape y se pueden descargar ciudad por ciudad o en grupos en <http://www.huellaurbanaportoviejo.com/datos>