



Terra. Nueva Etapa
ISSN: 1012-7089
ISSN: 2542-3266
vidal.saezsaez@gmail.com
Universidad Central de Venezuela
Venezuela

Metodología para la sectorización ambiental del Área Metropolitana de Caracas

Matute, Manuel; Gómez, Elia; Torres, Jonathan; Becerra, Wilmer; Loreto, Bárbara

Metodología para la sectorización ambiental del Área Metropolitana de Caracas

Terra. Nueva Etapa, vol. XXXV, núm. 57, 2019

Universidad Central de Venezuela, Venezuela

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72163802005>

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

ARTÍCULOS

Metodología para la sectorización ambiental del Área Metropolitana de Caracas

Methodology for environmental sectorización Caracas Metropolitan Area

Manuel Matute ¹ mmatutepadron@gmail.com
Arbórea Consultores Ambientales C.A., Venezuela

Elia Gómez ² eliaag2017@gmail.com
Arbórea Consultores Ambientales C. A., Venezuela

Jonathan Torres ³ geog.jonathan.torres@gmail.com
Universidad Central de Venezuela, Venezuela

Wilmer Becerra ⁴ wilmer.becerra@gmail.com
Universidad Central de Venezuela, Venezuela

Bárbara Loreto ⁵ geobarbaraloreto@gmail.com
Universidad Central de Venezuela, Venezuela

Terra. Nueva Etapa, vol. XXXV, núm. 57, 2019

Universidad Central de Venezuela, Venezuela

Redalyc: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72163802005>

CC BY-NC-ND

Resumen :

En el año 2015, la Alcaldía Metropolitana de Caracas, como parte de las exigencias del Plan Estratégico Caracas Metropolitana 2020, requería de un catastro ambiental que posibilitara la planificación y la ordenación eficiente de su territorio; con el propósito de organizar el manejo de áreas con características diferenciables desde el punto de vista geográfico, de acuerdo con sus propiedades físico-naturales, socio-económicas y ambientales. A tal efecto, se contrató a la empresa Arbórea Consultores Ambientales para realizar la sectorización que se utilizaría para el diseño del catastro ambiental; asimismo, se desarrolló una metodología para sectorizar el Área Metropolitana de Caracas basada en la delimitación de unidades hidrográficas (UH) y unidades geomorfológicas (UG). Esto con el fin de disponer de una visión espacial de cada unidad y simplificar la administración y el manejo de sus recursos, servicios, elementos urbanísticos, contingencias y emergencias, áreas de interés cultural, ecológico y de protección. Para generar la sectorización se diseñó un sistema de información geográfica (SIG) que permitió la integración de las UH y las UG, e identificar sectores únicos, obteniéndose 230 unidades hidrográficas, divididas en 8.252 sectores codificados. Esta metodología es aplicable a cualquier ciudad para contribuir a su ordenamiento urbano integral, su planificación ambiental y catastral.

Palabras clave: Sectorización, unidades hidrográficas, ordenamiento ambiental y urbano.

Abstract :

In the year 2015 the metropolitan mayor's office of Caracas, as part of the demands of the Plan Estratégico Caracas Metropolitana 2020 required an environmental cadastre that would enable the planning and efficient management of its territory which would allow the management of areas with differentiable characteristics, from the geographical point of view, according to their physical-natural, socio-economic and environmental properties. For this purpose, Arborea Consultores Ambientales was hired to carry out the sectorization that would be used for the design of the environmental cadastre and a methodology was developed to sectorize the Metropolitan Area of Caracas based on the delimitation of hydrographic units (UH) and geomorphological units. (UG),

in order to have a spatial vision of each unit and simplify the administration and management of its resources, services, urban elements, contingencies and emergencies, areas of cultural, ecological and protection interest. To generate the sectorization, a geographic information system (GIS) was designed that allowed the integration of UH and UG, and identify unique sectors, obtaining 230 hydrographic units, divided into 8,252 coded sectors. This methodology is applicable to any city to contribute to its integral urban planning, environmental and cadastral planning.

Keywords: Sectorization, hydrographic units, planning, ordering environmental, urban.

1. INTRODUCCIÓN

El Área Metropolitana de Caracas (AMC) está conformada por un conjunto de unidades naturales, con características propias y un comportamiento diversificado que ofrecen oportunidades para las diferentes formas de ocupación del territorio. Con el fin de lograr el adecuado aprovechamiento de esa variedad geográfica, es necesario sectorizar ambientalmente el territorio, analizándolo desde un punto de vista técnico para planificar y desarrollar con eficiencia el espacio urbano.

La metodología utilizada para la sectorización ambiental del territorio se basó en criterios hidrográficos y morfográficos, los cuales permitió describir y analizar el medio físico natural y su interrelación con el uso urbano; donde, la morfografía con sus formas y detalles, tanto naturales como artificiales según su ubicación, altura, orientación y pendiente, juegan un papel importante con las estructuras urbanas asentadas en las mismas.

Se considera que la unidad hidrográfica (hoya, cuenca, subcuenca, microcuenca) presenta ventajas importantes para la delimitación de un espacio geográfico, debido a que es la unidad física territorial y todos los fenómenos físico-naturales que allí ocurren sólo tiene repercusión directa dentro de ella misma; con excepción de los propios escurrimientos que fluyen hacia otras unidades hidrográficas de mayor categoría (de microcuenca a subcuenca, a cuenca o a hoya).

La unidad hidrográfica es la unidad territorial con visión sistemática que permite delimitar el ecomunicipio, conocido en inglés como Eco-Municipality. Desde esta perspectiva, se ha considerado como ámbito de aplicación del presente trabajo de investigación el AMC y las unidades hidrográficas cuyas aguas drenan directamente hacia ella (figura 1). El AMC está conformada por 5 municipios: Libertador, Chacao, Sucre, Baruta y El Hatillo que abarcan un área total de 77.663 hectáreas (776,63 km²), de los cuales el 43%, 33.262 Ha (332,62 4 km²) se encuentra ocupado por el uso urbano. La Alcaldía Metropolitana de Caracas, en el año 2015, propuso el Programa de Ordenación Territorial Ambientalmente Sostenible como parte del Plan de Reducción de Riesgos Ambientales y Adaptación al Cambio Climático, con el fin de organizar el territorio en sistemas de cuencas hidrográficas. La empresa Arbórea Consultores Ambientales C.A. fue contratada para realizar la sectorización ambiental del AMC, para lo cual se desarrolló la metodología presentada en este artículo.



Figura 1

Ubicación geográfica del Área Metropolitana de Caracas y sus unidades hidrográficas

Fuente: Arbórea Consultores Ambientales, 2016. Con información cartográfica del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB).

La sectorización ambiental se basó en criterios hidrográficos y morfológicos, creando espacios para delimitar y gestionar la ciudad, considerando varias escalas, desde el ámbito metropolitano hasta el ámbito municipal o local. La disponibilidad de las nuevas tecnologías permite asociar y diferenciar los resultados obtenidos de la sectorización en una geobase de datos, estructurada en un Sistema de Información Geográfica (SIG).

2. METODOLOGÍA DESARROLLADA

2.1 Caracterización hidrográfica del Área Metropolitana de Caracas

El Área Metropolitana de Caracas está emplazada dentro de la cuenca del río Tuy, en la subcuenca del río Guaire. El río Tuy, nace en el pico Codazzi en la cordillera de la Costa, a unos 2.426 m.s.n.m., desciende hacia el Sur pasando por la población de Tovar de Aragua (Colonia Tovar), hasta llegar al surco orográfico que constituye la prolongación de los Valles de Aragua por el Este. Sigue este surco hasta penetrar en la garganta que lo comunica con los Valles del Tuy, donde recibe diversos afluentes (Guaire, Charallave, Grande, entre otros); luego penetra en la garganta de Araguüita, entra en la llanada de Barlovento y desemboca en el Mar Caribe, al Norte de Río Chico (figura 2).



Figura 2

Ubicación geográfica de la cuenca de los ríos Tuy y Guaire

Fuente: Arbórea Consultores Ambientales, 2016. Con información cartográfica del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB).

El río Guaire es el colector principal de agua del AMC y nace en el Parque Nacional Macarao a una cota de 960 m.s.n.m. Sus afluentes principales, aguas arriba del sector Macarao, son el río San Pedro y el río Macarao (microcuencas); a partir de la unión de estos ríos toma el nombre de río Guaire, recibiendo gran parte de sus tributarios por la margen izquierda de las quebradas que nacen en la serranía El Ávila, y por la margen derecha las del río El Valle y las quebradas La Guairita, Tusalem, Prepo y Soapire. Es importante mencionar que las cuencas altas de estas tres últimas quebradas se ubican fuera del AMC, debido a que el río Guaire desemboca aguas abajo en el río Tuy, en las cercanías de la población de Santa Teresa del Tuy del estado Miranda, a una cota aproximada de 200 m.s.n.m.

La parte más Noroeste del AMC es drenada por algunos tributarios del río Guarenas (microcuenca), afluente del río Grande o de Caucagua, subcuenca del río Tuy. Se completa el drenaje del AMC en su sector Noroeste, a través de un grupo de subcuencas de las quebradas La Muerte, Topo, Blandín, Ojo de Agua y El Pauji, afluentes de la cuenca de la quebrada Tacagua, la cual fluye directamente hacia el mar Caribe (hoya). En el cuadro 1 se muestra la jerarquía de las principales unidades hidrográficas que drenan el AMC.

Cuadro 1
Unidades hidrográficas del Área Metropolitana de Caracas

HOYA	CUENCA	SUBCUENCA	MICROCUENCA	
Mar Caribe (Centro-Oriental)	Río Tuy	Río Guaire	Río Macarao	Qda. Conoropa o
			Qda. Mamera	Petare
			Qda. Boquerón	Qda. Nigual
			Qda. El Algodonal	Qda. Lira o
			Qda. Yaguara	Guanasna
			Qda. Caroata	Qda. El Rosario
			Qda. Catuche	Qda. Chaguaramas
			Qda. Anauco o Cotiza	Qda. Helechal
			Qda. Honda	Río San Pedro
			Qda. Las Canoas	Qda. Caricua
Qda. Maripérez	Qda. La Vega			
Qda. La Florida	Río El Valle			
Qda. Chacaíto	Qda. Baruta			
Qda. Blandín o Seca	El Cafetal			
Qda. Sebucán	Qda. La Guairita			
Qda. Agua de Maíz	Qda. EL Hatillo			
Qda. Tocomé	Qda. Tasmare			
Qda. Caurimare	Qda. El Cedral			
			Qda. Soapire	
		Río Grande	Río Guareñas	
	Río Tacagua	Qda. La Muerte		
		Qda. Topo	Qda. Peonías Qda. Tabacal	
		Qda. Blandín		
		Qda. Ojo de Agua		
		Qda. El Pauji		

Fuente: Arbórea Consultores Ambientales, 2016.

Para cubrir todo el espacio ocupado por el AMC se requirió agregar a las UH, cuencas, subcuencas o microcuencas, las áreas de drenaje que fluyen de modo directo a cada río o quebrada principal entre dichas unidades UH; es decir, las denominadas “intercuencas” (IC): extensiones de terreno donde el escurrimiento superficial es principalmente de tipo laminar o a través de pequeños surcos hasta confluir en el cauce receptor.

2.2 Obtención y procesamiento de la información básica

Conocer la distribución de los ríos y quebradas del AMC es primordial para entender cómo se ha emplazado la ciudad y las modificaciones surgidas a partir de obras de control hidráulico. La escala seleccionada para la sectorización del AMC fue 1:25 000, el cual presenta curvas de nivel cada 5 metros; esto se considera suficiente detalle en cuanto a desnivel para el objetivo principal de esta investigación. Sin embargo, para la correcta definición de cada unidad hidrográfica y de cada sector considerado, se

requirió disponer de mapas y planos con mayores detalles, tales como 1:20.000 y 1:5.000, los dos últimos con curvas de nivel de un (1) metro, los cuales fueron obtenidos en el IGVS.

Esta información fue de gran utilidad en lo concerniente a la toponimia, tanto de los ríos y quebradas como de las filas, los topos y el urbanismo en general. Además, para este estudio de sectorización se recabó información y referencias de estudios hidrológicos e hidráulicos realizados por diferentes profesionales y empresas, los cuales se especifican en las referencias bibliográficas.

Adicionalmente, la información vectorial en formato *shapefile* (.shp), fue suministrada por el Sistema de Información Urbano Metropolitano (SIUM) de la Alcaldía Metropolitana de Caracas, la cual permitió definir con mayor precisión las curvas de nivel y la delimitación de las unidades hidrográficas. También se utilizaron imágenes de Google Earth para verificar divisorias de agua, pendientes de filas, laderas y topos.

2.3 Revisión y actualización de la base cartográfica

A partir de la base cartográfica, se realizó el solapamiento entre los mosaicos elaborados y la información vectorial con los archivos digitales .shp, con el fin de obtener el mayor detalle posible. Luego se delimitó cada una de las unidades hidrográficas, desde las cuencas de los ríos Tuy (sub cuencas de los ríos Guaire y Grande) y Tacagua (sub cuencas de las quebradas la Muerte, Topo, Blandin, Ojo de Agua y El Paují) hasta sus unidades de categoría inferior, con lo cual se obtuvo un total de 128 unidades hidrográficas, más 102 intercuenas, para un total de 230 UH.

Dichas unidades, debidamente sectorizadas, se adaptaron para su manejo a través de los SIG en formato .shp, para facilitar el manejo de la data; a cada una se le asignó un código, se le identificó con su nombre o hidrónimo y se señaló su ubicación geográfica, junto con sus atributos fisiográficos: área en km² o Ha, perímetro, longitud y cotas máximas y mínimas del cauce principal.

Debido al crecimiento acelerado y poco controlado desde el inicio del proceso urbanizador en el área, se han provocado transformaciones del conjunto paisajístico y urbanístico; así como se han modificado los rasgos fisiográficos específicos, datados por la historia local y regional. Dichas transformaciones se comprobaron mediante el análisis multitemporal de la revisión cartográfica. De este modo, se actualizaron los topónimos e hidrónimos del entorno geográfico caraqueño, y se agregaron a la base de datos asociada al proyecto, como parte de la actualización de la red de drenaje.

Es por ello que, aunque algunas de las estructuras que formaron parte de los servicios de la ciudad de Caracas en épocas anteriores desaparecieron, sus nombres propios pasaron a usarse como topónimos, y se mantienen para identificar determinados sectores o sitios. De modo similar, subsisten numerosos topónimos que no se perdieron durante el proceso urbanizador, sino que fueron asimilados por éste, como es el caso de los nombres de antiguas haciendas y plantaciones de caña de azúcar

y de otros rubros en el valle de Caracas (haciendas Las Mercedes, La Urbina, Montalbán), o el nombre de los pueblos de fundación que fueron “absorbidos” por el crecimiento sostenido de la “mancha” urbana hacia el cuadrante Este (Chacao, Petare, Sabana Grande).

Con respecto a la red hidrográfica (ríos y quebradas) del AMC, el estudio multitemporal es primordial para entender cómo se ha emplazado y modificado la ciudad, dónde se han requerido algunas veces estructuras y, en particular, obras hidráulicas que han modificado el curso de los drenajes naturales, mediante canalizaciones, embaulamientos, puentes, cortes de vertientes o por rellenos de terrenos bajos para ser utilizados en desarrollos urbanos. Esto ha determinado que, ciertos cauces, desemboquen actualmente en ríos distintos a los receptores originales y, en algunos casos, ha cambiado el orden de la red de las unidades hidrográficas, que han pasado de ser una microcuenca a convertirse en una subcuenca.

En el caso de los embaulamientos, los cauces no son visibles a simple vista y su recorrido no aparece en los mapas. Resalta el caso de cauces como la quebrada Aguacatico, en el sector central de la ciudad y embaulada casi en su totalidad, o el de las quebradas Anauco, Caroata, Agua de Maíz, Tocomé, Caurimare, Sebucán, Chacaíto, etc., canalizadas y/o parcialmente embauladas en todo su trayecto dentro de los sectores ciudadanos que atraviesan

2.4 Numeración de las unidades hidrográficas e identificación de las variables morfográficas

De acuerdo con Strahler (1997), la identificación de las unidades hidrográficas, tanto de las principales (cuencas, subcuencas, microcuencas), como de las intercuenas (áreas de escurrimiento entre una cuenca y otra), se realiza con un código único, irrepetible e identificable para cualquier usuario, utilizando una técnica ya aplicada y comprobada a escala internacional. Esta técnica consiste en comenzar la numeración de las unidades hidrográficas, desde la situada más aguas arriba (nacientes) hasta la situada más aguas abajo (confluencia), asignando valores impares consecutivos a las UH localizadas en la margen izquierda del cauce principal y números pares a las correspondientes UH de la margen derecha, siguiendo siempre una secuencia en el orden desde arriba hacia abajo (Tracsa, 1994).

Como base para la codificación utilizada se seleccionaron los códigos propuestos en la Clasificación Decimal de Ríos de Venezuela del Ministerio de Obras Públicas (MOP), para la hoya Mar Caribe, sector centro-oriental; las cuencas ríos Tuy y Tacagua; las subcuencas de los ríos Guaire y Grande y la microcuenca del río Guarenas. Sin embargo, considerando que la metodología aplicada en dicha clasificación no cumplió exactamente con la metodología propuesta a escala mundial (números impares consecutivos para las UH de la margen izquierda del cauce principal y números pares para la margen derecha) y por diferentes inconsistencias observadas, como es el caso de cambiar la secuencia de las

UH sin ninguna razón aparente, se decidió rehacer todo el proceso de codificación de los afluentes de los ríos Guaire, Tacagua y Guarenas y de sus respectivos tributarios, para homogeneizar y ser consecuente con la metodología y el protocolo descrito en el párrafo anterior.

Las unidades hidrográficas fueron identificadas con el nombre del cauce colector principal (río o quebrada); en casos particulares, donde los ejes de drenajes no tenían topónimo, se adjudicó el de un rasgo geográfico significativo o reconocible incluido dentro de su poligonal o en su perímetro inmediato. Este criterio también aplica para las intercuenas mencionadas con anterioridad, incluso si estas son muy extensas y no existe posibilidad de identificarlas con un rasgo efectivamente distintivo o significativo, se les asignó un nombre que da una idea de su ubicación y extensión. Un ejemplo de este caso es el aplicado a la extensa intercuenca denominada Montalbán-UCV, que incluye todos los pequeños cursos de agua que drenan hacia el río Guaire por su margen derecha entre ambos sectores, muy distantes entre sí dentro del Área Metropolitana de Caracas.

2.5 Codificación de unidades hidrográficas

Para la codificación de las UH se asignó un código alfanumérico propio para cada uno de los sectores analizados y ponderados, utilizando como base el método adoptado por la Comisión de Planificación Nacional de los Recursos Hidráulicos (COPLANARH) en la década de 1970, luego en la Dirección de Hidrología y Meteorología del desaparecido Ministerio de Obras Públicas (MOP) y, posteriormente, corregido en la Unidad de Estudios Hidrológicos de la Dirección de Planificación y Ordenación del Territorio (DGSPOA) del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARNR). Esta técnica, denominada Clasificación Decimal de Ríos de Venezuela, consistió en asignar, inicialmente, a cada unidad hidrográfica un número de ocho (8) dígitos, según el siguiente protocolo:

Código = AA BB CC DD, correspondiendo cada par de dígitos a las siguientes unidades hidrográficas:

- AA – HOYA (unidad hidrográfica de primera categoría), receptor final de los escurrimientos de numerosos cauces. En el caso particular de nuestro país se dividió en siete (7) hoyas (Mar Caribe Occidental, Mar Caribe Centro-Oriental, Mar Caribe Oriental, Océano Atlántico, Lago de Maracaibo, Lago de Valencia y Río Amazonas).
- BB – CUENCA (unidad hidrográfica de segunda categoría), receptor de cauces importantes, cuyas aguas drenan hacia el cuerpo principal, la HOYA.
- CC – SUB-CUENCA (unidad hidrográfica de tercera categoría), superficie que recoge los escurrimientos de cauces de mediana importancia y que drena hacia la CUENCA.
- DD – MICROCUENCA (unidad hidrográfica de cuarta categoría), área desde donde los drenajes de sus cauces tributarios fluyen hacia la SUB-CUENCA.

Posteriormente, se observó que cauces tan importantes como, por ejemplo, el río Turbio, principal cuerpo de agua que drena la ciudad de Barquisimeto y sus áreas circunvecinas, no calificaba para esta codificación, por ser una unidad hidrográfica de 5ta categoría (Hoya AA: Océano Atlántico; Cuenca BB: río Orinoco; Sub-cuenca CC: río Apure; microcuenca DD: río Portuguesa), y por supuesto todos los afluentes del río Portuguesa y algunos tributarios de estos afluentes (unidades de 5ª y 6ª categoría), tampoco acreditaban para incluirse en la referida Clasificación Decimal de Ríos.

Debido a ello, recomendó mejorar el Sistema Decimal existente, para lo cual se cambió el código final y se aumentaron dos pares de dígitos, con lo cual se llega a incluir las unidades de 5ª y 6ª categoría, con las letras EE y FF, resultando un código final = AA BB CC DD EE FF. El alcance o cubrimiento de las categorías de las unidades hidrográficas que pueden ser incluidas dentro de una clasificación de ríos depende del nivel de detalle al que se quiere llegar y, por supuesto, de los fines de la clasificación propuesta.

En este estudio se ha aplicado el criterio de considerar unidades hidrográficas con áreas iguales o mayores de 2,5 km², por ser la escala de representación 1:25.000, con la cual se integran unidades hidrográficas de hasta 6ª categoría como, en el caso del AMC, la de las quebradas Izcaragua, El Cuño, Yumare y El Paují, entre otras.

El estudio abarcó las unidades hidrográficas (cuencas, subcuencas, microcuencas y unidades hidrográficas de 5ª y 6ª categorías), que conforman total o parcialmente el Área Metropolitana de Caracas, drenada por tres colectores principales: los ríos Guaire, Tacagua y Guarenas.

Se consideró conveniente utilizar los códigos identificados originalmente de la citada Clasificación Decimal de Ríos de Venezuela:

- Hoya – Mar Caribe, parte centro-oriental Código = 11
- Cuenca – Río Tuy Código = 11 48
- Subcuenca – Río Guaire Código = 11 48 26
- Cuenca – Río Tacagua Código = 11 02
- Cuenca – Río Guarenas Código = 11 48 16

En la figura 4 se aprecia el ejemplo de una UH completa hasta llegar a 6ª categoría, con su respectivo código y secuencia jerárquica. En la aplicación inicial de esta metodología no se consideraron las áreas de drenaje de pequeños cauces o surcos, denominadas intercuenas, que fluyen de modo directo al curso de agua receptor; es decir, las superficies ubicadas entre unidades hidrográficas, ya sean cuencas, subcuencas o microcuencas. La omisión de las intercuenas impediría completar la superficie total del sistema de cuencas, y se crearían imprecisiones en la sectorización, el cálculo y el cartografiado; por lo que se decidió aplicar un procedimiento que incorporase este tipo de hidrografía en el sistema clasificatorio propuesto.

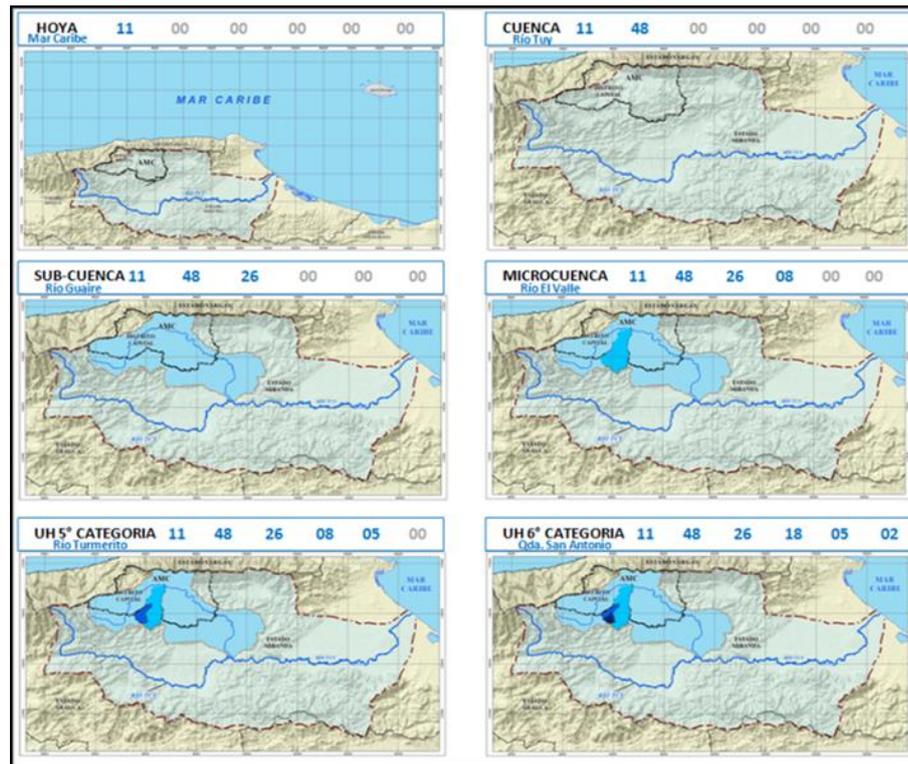


Figura 3

Secuencia de la codificación de la unidad hidrográfica de 6ª categoría Qda San Antonio

Fuente: Arborea Consultores Ambientales, 2016.

2.6 Codificación de las intercuenas

La codificación de las intercuenas es similar a la de las unidades hidrográficas. Cada intercuenca tendrá el código de seis (6) pares de dígitos correspondientes a la unidad hidrográfica a la cual pertenecen, más dos pares adicionales: el primero especificado por las letras IC (intercuenca) y el segundo correspondiente a un número de dos dígitos (XX) que la identifique; con ello se obtiene un código alfanumérico de cada intercuenca, de la siguiente forma: AA BB CC DD EE FF IC XX.

Para la secuencia de la codificación de las intercuenas se aplica el mismo procedimiento de las UH: a la IC más aguas arriba de la margen izquierda se le coloca el par 01, a la siguiente en la misma margen el par 03, y así sucesivamente, hasta llegar a la confluencia del río con otro cuerpo de agua, cauce, lago, laguna o el mar. Luego se repite el método para las IC ubicadas en la margen derecha, asignándoles números pares.

En los casos en los cuales fue necesario delimitar, adicionalmente, la parte alta de una cuenca, se utilizó el código de dicho río agregándole al final las letras PA (parte alta); igual aplica para los casos en los cuales sea imprescindible identificar las partes media (PM) y baja (PB) de la Unidad Hidrográfica analizada. En la figura 5 se presenta el procedimiento para numerar las unidades dentro de una “microcuenca” (caso quebrada La Guairita).

- Laderas: Espacios inclinados laterales comprendidos entre la cresta y los valles o vaguadas adyacentes. Tienen pendiente y topografía que depende tanto de sus rasgos geológicos (litología, fallas, plegamientos) como del tipo de erosión y modelado morfodinámico que las afecta (deslizamientos, erosión en cárcavas y surcos, soliflucción, erosión subsuperficial, aludes torrenciales, etc.).

A este conjunto de rasgos geográficos se le asocian los siguientes atributos:

- Topes o “topos”: Sectores que presentan las máximas elevaciones en la periferia de una unidad hidrográfica. Se pondera el área de la curva de nivel de mayor elevación, expresándola en metros cuadrados (m²) o en hectáreas (Ha).
- Filas, principales y secundarias: A partir del trazado de la línea de cresta de las filas y de la conformación de las estribaciones adyacentes, se delimitan las formas que definen cada una de las filas, con ayuda de las curvas de nivel, sectorizándolas basado en la orientación aproximada a su disposición natural. Para cada una de ellas se cuantifica el área, la orientación y su centro de gravedad.
- Orientación de las laderas o vertientes. Es la posición hacia la cual se orienta la declinación de un sector respecto al Norte geográfico, es decir, corresponde al azimut, pudiéndose expresar en grados o preferiblemente en orientaciones geográficas. En este estudio se consideran ocho (8) orientaciones de la rosa de los vientos, de acuerdo a los siguientes criterios:
 - Norte (N) – Todas las áreas orientadas hacia el Norte, incluyendo aquellas comprendidas entre los 337,5 O y los 22,5 O.
 - Noreste (NE) – Todas las áreas orientadas hacia el Noreste, incluyendo aquellas ubicadas entre los 22,5 O y los 67,5 O.
 - Este (E) – Todas las áreas orientadas hacia el Este, incluyendo aquellas comprendidas entre los 67,5 O y los 112,5 O.
 - Sureste (SE) – Todas las áreas orientadas hacia el Sureste, incluyendo aquellas comprendidas entre los 112,5 O y los 157,5 O.
 - Sur (S) – Todas las áreas orientadas hacia el Sur, incluyendo aquellas comprendidas entre los 157,5 O y los 202,5 O.
 - Suroeste (SW) – Todas las áreas orientadas hacia el Suroeste, incluyendo aquellas ubicadas entre los 202,5 O y los 247,5 O.
 - Oeste (W) – Todas las áreas orientadas hacia el Oeste, incluyendo aquellas comprendidas entre los 247,5 O y los 292,5 O.

- Noroeste (NW) – Todas las áreas orientadas hacia el Sureste, incluyendo aquellas ubicadas entre los 292,5 O y los 337,5 O.

- **Altitud:** Se determina la cota máxima (H) y la cota mínima (h) del cauce principal de cada UH, en metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.).
- **Diferencia de cotas (Dh):** Se calcula la diferencia entre la cota máxima y la mínima, expresada en metros (m).
- **Área (A):** Valor de la superficie ocupada por cada sector. Se expresa en metros cuadrados (m²) o en hectáreas (Ha). El valor del área mínima de una unidad hidrográfica se ha definido como de 250 hectáreas (2,5 km²). En el caso de las intercuenas, no aplica el criterio de área mínima de 2,5 km²; para las laderas, se definieron aquellas cuya superficie es igual o mayor a 6,25 Ha, considerando que la unidad mínima de mapeo es un (1) cm² (250 m X 250 m), de acuerdo con la escala utilizada (1:25.000), correspondiéndole un área de 62.500 m², es decir, 6,25 hectáreas.

2.7.2 Definición de los códigos de las unidades morfológicas

Al disponer de un código que permita identificar cada unidad hidrográfica, incluyendo las intercuenas, se consideró práctico agregar pares de dígitos (numérico) o dígitos y letras (alfanumérico), con los cuales se puedan reconocer inequívocamente cada uno de los sectores morfológicos definidos en este estudio. Se seleccionaron caracteres alfanuméricos para ponderar cada variable morfológica y sus atributos correspondientes, de la siguiente manera:

- Para las unidades hidrográficas, el código de cada sector será de la siguiente forma = AA BB CC DD EE FF GG HH. Donde los pares de letras desde la AA hasta la FF identifican la unidad hidrográfica a la cual pertenece el sector; el par GG corresponde a una de las seis unidades fisiográficas analizadas, de la siguiente manera: FP para las filas principales; FS para filas secundarias; TO para topos o topos; LA para laderas; TE para Terrazas; VA para vaguadas, fondo de valles o planicie de inundación y HH corresponde al número del sector identificado.
- Para las intercuenas se aplicó el mismo código = AA BB CC DD EE FF IC XX GG HH. Se le agregó las letras IC después del par FF, con lo cual se identifica como intercuenca.

2.7.3 Numeración de las unidades morfológicas

Considerando el alcance de este estudio, fue necesario identificar cuáles variables de las unidades fisiográficas se analizan y cuáles atributos se evalúan para su ponderación. Por ello, el último par de dígitos indicado anteriormente (HH) se asigna a cada sector según el siguiente protocolo:

- Para las filas, se comienza con el número cero uno (01), asignándoselo al primer sector de la fila donde se cierra el límite de cuenca por la margen derecha del cauce principal o al de la fila más cercana a dicho cierre de cuenca.

Es importante considerar que cada fila puede tener varios sectores distintos, y que cada uno corresponde a los cambios de orientación de un tramo a otro de la fila (N, NE, E, SE, S, SW, W y NW, según la rosa de los vientos). En la figura 5 la primera fila de la UH principal comprende cinco sectores (numerados de 01 a 05); se continúa la numeración con el segundo sector (02) de esa primera fila y se sigue hasta cubrir los cinco sectores que la componen, según el ejemplo.

La segunda fila de la UH principal se numera en forma similar (06 en nuestro ejemplo) hasta cubrir todos los sectores de dicha fila, es decir, hasta el 12. Se repite el proceso con el resto de las filas de la UH principal hasta alcanzar el último sector "fila" donde se cierra el límite de cuenca por la margen izquierda o por la fila más cercana a dicho cierre, el sector 35 en la figura 5.

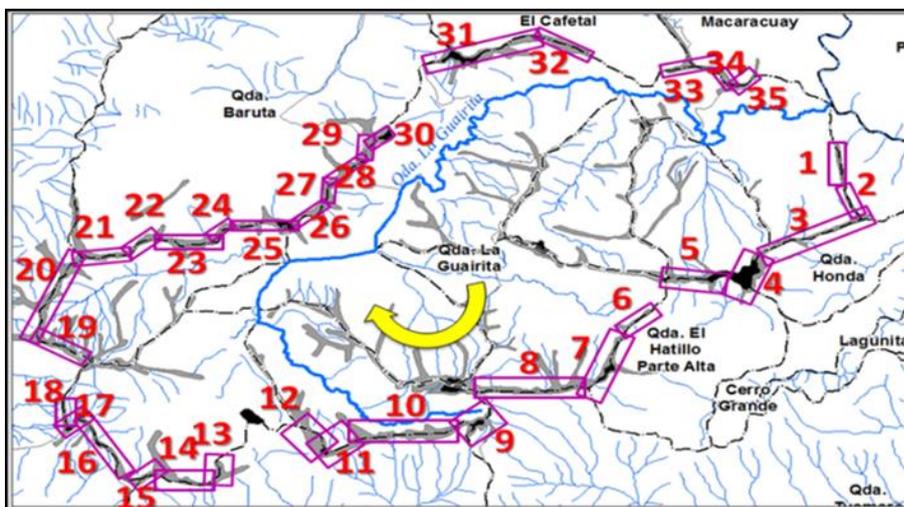


Figura 5

Forma de numerar las filas dentro de una unidad hidrográfica

Fuente: Arbórea Consultores Ambientales, 2016.

Luego se procede a numerar los sectores de las filas secundarias, correspondientes a los de los parte-aguas de las UH internas en los tramos considerados como filas. El protocolo se mantiene, numerando los sectores de cada fila en forma consecutiva, desde la primera fila interna (en el ejemplo correspondería al sector 36 y los siguientes, de la primera fila interna) hasta la última fila que se consiga, incorporándolas en el sentido de las agujas del reloj.

- Para los topes o topos, de modo similar a como se procede en las filas, se comienza por el primer tope (01) que se aprecie en la parte más baja de la fila de la margen derecha; se continúa por el segundo (02) en el sentido de las agujas del reloj y así sucesivamente hasta identificarlos todos. En la figura 6 se indica la forma de especificar los códigos en los topes de una unidad hidrográfica.

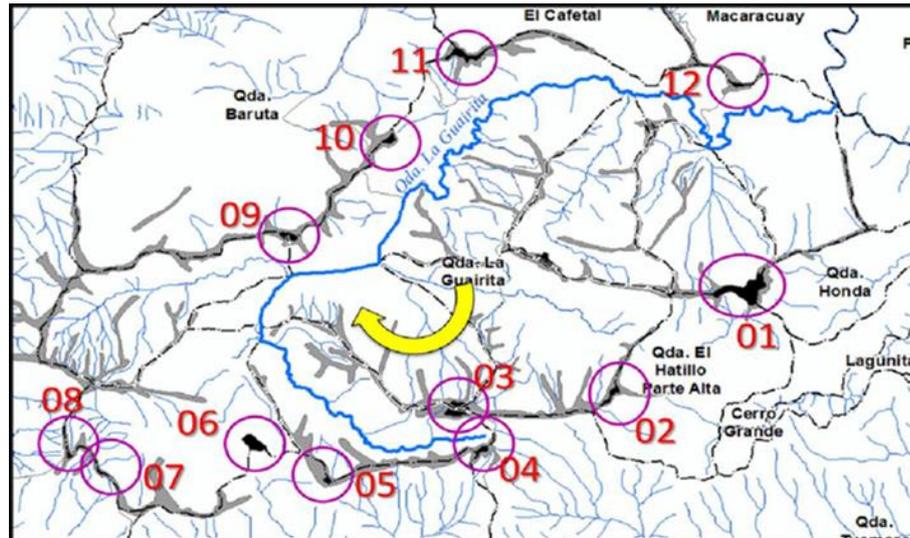


Figura 6

Forma de numerar los topes o topos dentro de una unidad hidrográfica

Fuente: Arbórea Consultores Ambientales, 2016.

- Las laderas también se numeran partiendo de la primera unidad (01) que aparezca en la parte más baja de la margen derecha del cauce principal. A partir de allí se les sigue asignando números hacia la parte alta en el sentido de las agujas del reloj, hasta alcanzar la última ladera de esa margen. Luego se continúa por la margen izquierda, desde su parte alta hasta llegar a la última ladera en la parte más baja, con lo cual se cumple un primer ciclo periférico. A continuación, se repite el proceso con las laderas restantes que están ubicadas internamente dentro de la UH, es decir, las que se localizan aguas abajo del primer grupo de laderas.

En síntesis, se comienza la numeración desde la parte más baja de la margen derecha, y se van asignando números en forma circular, dándole la vuelta a la unidad hidrográfica por su periferia. Este proceso se repite en la segunda banda circular interna, y así en lo sucesivo hasta completar todas las laderas. La figura 7 muestra la forma de asignar los códigos de las laderas dentro de una unidad hidrográfica.

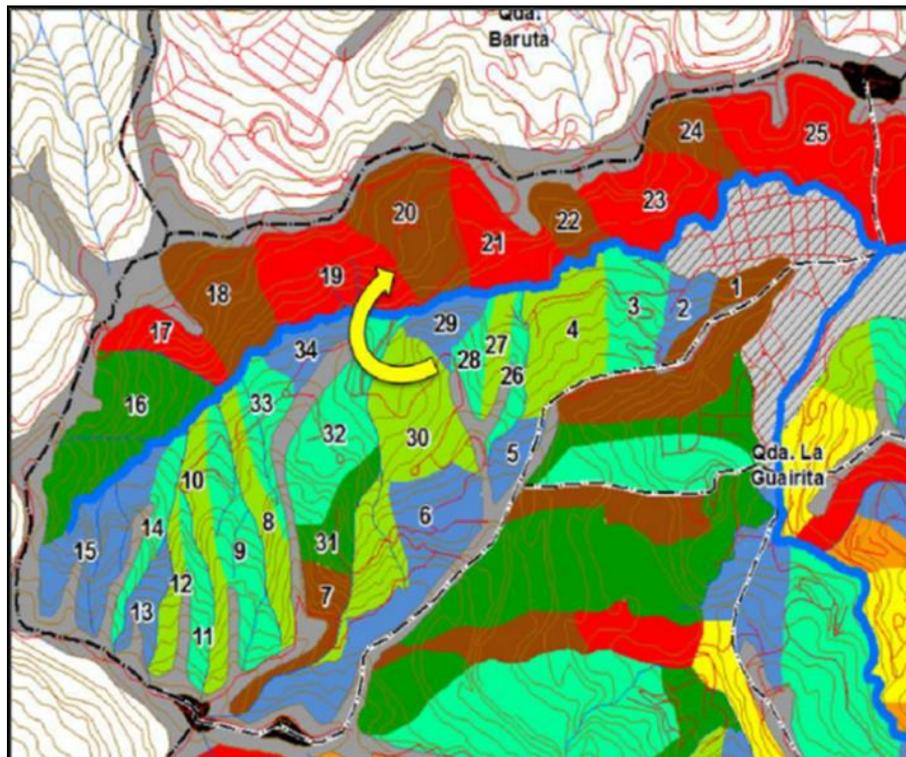


Figura 7

Forma de numerar las laderas dentro de una unidad hidrográfica

Fuente: Arbórea Consultores Ambientales, 2016.

En el caso de las laderas, debido a los resultados imprecisos (información poco confiable, con unidades sobrepuestas o indefinidas respecto a la realidad del terreno) obtenidos de la herramienta de orientación de laderas del paquete de Spatial Analyst, de ArcGis, así como de otros softwares como el de Quantum Gis y el de Autocar Land, se adoptó otro procedimiento que implicó correcciones y un mayor tiempo de dedicación. En este sentido, se realizó la delimitación de cada unidad en los mapas impresos a escala 1: 25 000, luego fueron escaneados y georeferenciados, todo ello implicó correcciones y mucho mayor tiempo de dedicación.

- Para las terrazas, que corresponden a las áreas cuya topografía ha sido modificada durante el proceso urbanizador, con pendiente muy baja (en la mayoría de los casos < 3%), se asigna un código en forma similar al de las laderas. Estas unidades no fueron codificadas, debido al alcance del estudio.

- En el caso particular de las vaguadas, se seleccionó un buffer de 25 m a cada lado de la línea que define o identifica un cauce, lo cual resulta en una franja de 50 m de ancho. En el buffer resultante de la aplicación de la herramienta de geoprocésamiento de ArcGis, se crean polígonos de influencia alrededor de una línea seleccionada y a una distancia especificada.

Estas unidades morfográficas están diseñadas para el manejo de los SIG en formato *shape file* por cada unidad específica, para facilitar el manejo

de la información. A cada una se le puede asignar un código y evaluar sus atributos: área en km² o en Ha, orientación y centro de gravedad. Igual que en el caso anterior, en el alcance del estudio no se contempló la codificación y evaluación de las vaguadas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El procedimiento planteado y utilizado permitió la delimitación y codificación de todas las unidades hidrográficas que abarcan el Área Metropolitana de Caracas, incluyendo tanto las UH convencionales (cuena, subcuena, microcuena, unidades hidrográficas de 5a y 6ª categorías) como las intercuenas. Con el fin de delimitar dichas unidades de la manera más ajustada a la realidad del terreno, se reconocieron y recuperaron aspectos o rasgos geográficos representados en la cartografía base oficial (IGVSB), lo que contribuyó a la actualización y asignación de la toponimia de las unidades hidrográficas y morfológicas. Esto se refiere a los topónimos originales de sectores urbanos, antiguas zonas agrícolas, estructuras, rasgos del relieve, predios, entre otros, que contribuyen a identificar las unidades hidrográficas resultantes; igualmente, se representa el trazado original de cursos de agua, muchos actualmente “enmascarados” para la cartografía por la expansión del espacio urbano o por la existencia de obras hidráulicas que los cubren (embaulamientos).

En definitiva, se definieron 230 unidades hidrográficas (128 convencionales y 102 intercuenas) y 8.252 sectores, identificados por unidades según se indica en el cuadro 2.

Cuadro 2
Unidades hidrográficas y morfográficas definidas y evaluadas en el Área Metropolitana de Caracas

UNIDADES HIDROGRÁFICAS		CANTIDAD
Hoya 1° Categoría		1
Cuenca 2° Categoría		2
Subcuenca 3° Categoría		7
Microcuenca 4° Categoría		45
UH 5° Categoría		60
UH 6° Categoría		13
Total convencionales		128
Intercuencas		102
Total Unidades hidrográficas		230
UNIDADES MORFOGRÁFICAS		
Topos	Filas	Laderas
363	1795	6094
TOTAL UNIDADES MORFOGRÁFICAS		
8252		

Fuente: Arbórea Consultores Ambientales, 2016.

Nota: El número de laderas, filas y topos corresponde a las unidades morfográficas cuantificadas por la empresa Arbórea, de acuerdo al alcance del estudio contratado por la Alcaldía Metropolitana de Caracas.

Esta investigación permitió caracterizar los terrenos del AMC y como resultado se obtuvieron los siguientes resultados cuantitativos y el respectivo mapa de unidades morfográficas (figura 10):

- 62.025 Ha representan el 80 % de las unidades morfográficas de laderas, topos y filas.
- 15.639 Ha corresponden al restante 20 %: áreas planas, terrazas y valles.

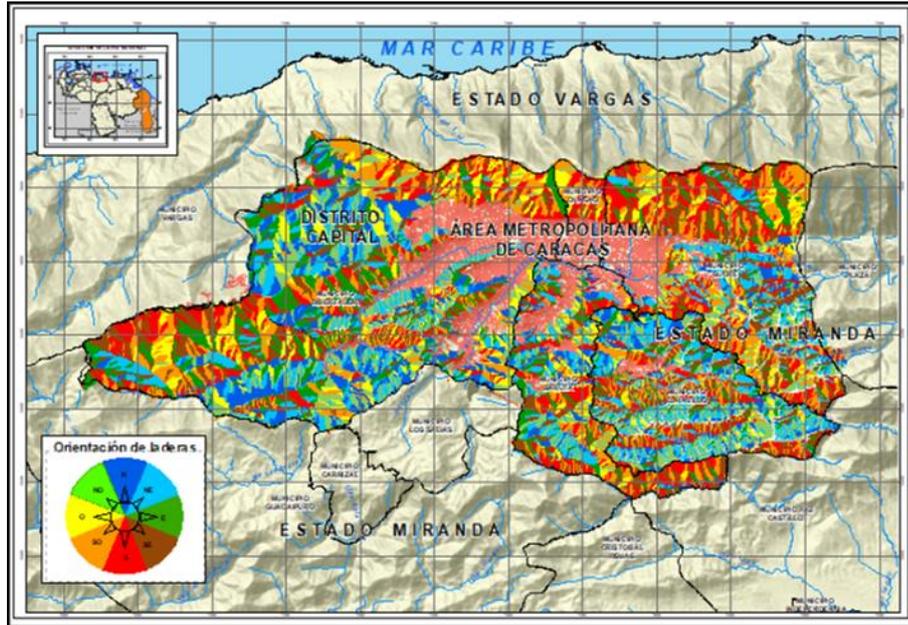


Figura 8

Mapa de unidades morfográficas del Área Metropolitana de Caracas y su área de influencia directa
Fuente: Arbórea Consultores Ambientales, 2016.

Los resultados de la sectorización hidrológica y morfográfica pueden ser consultados y manejados con el uso de los SIG. Por ejemplo, en el caso particular de la UH de 5° categoría, quebrada La Jurcia, afluente del río Macarao, los atributos de una ladera (código: 11482644100LA02), de una fila (código: 11482644100FS116) y de un topo (código: 11482644100TP20), seleccionados aleatoriamente, se pueden apreciar como se indica en la figura 9.

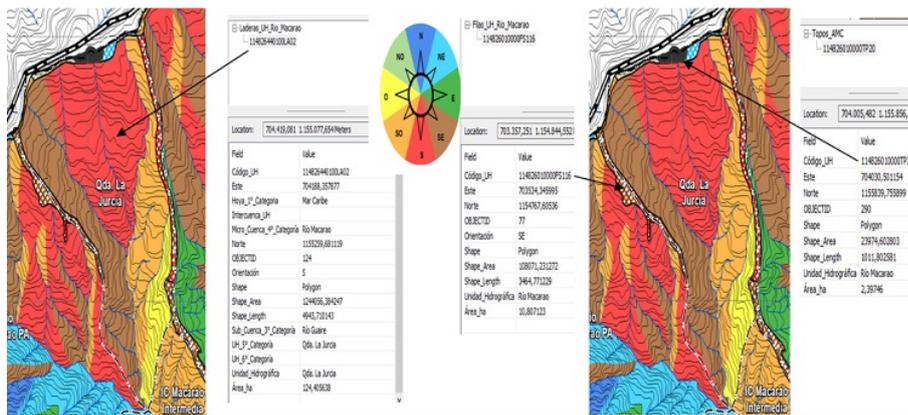


Figura 9

Consulta de los atributos de las unidades morfográficas. Caso: quebrada La Jurcia
Fuente: Arbórea Consultores Ambientales, 2016.

Se puede consultar la cantidad de laderas, u otras unidades, con una orientación determinada y las superficies que ocupan en una Unidad Hidrográfica, para analizar los resultados espacial y estadísticamente (figura 10).

- (1970), Especialista en Estudios Hidrológicos Universidad Central de Venezuela UCV (1970), MSc. Civil Engineering Planning Stanford University USA (1977). Curso de Mejoramiento Profesional en Planificación de Recursos Hidráulicos JICA Japón (1980). Arborea Consultores Ambientales C.A. (2013-2019) Gerente de Proyectos. mmatutepadron@gmail.com
- 2 Elia Auxiliadora Gómez Figueroa. Licenciada en Geografía, Universidad Central de Venezuela UCV (1986), Presidente de Arborea Consultores Ambientales C. A. (1998-2019) y Arborea Consulting LLC, (2016-2019) con una experiencia gerencial evidenciada por la conducción de más de 300 proyectos ambientales en el sector petrolero, construcción, minería, turismo y gobierno local. eliaag2017@gmail.com
 - 3 Jonathan José Torres Molina. Licenciado en Geografía, Universidad Central de Venezuela UCV (2013), MSc. Análisis Espacial y Gestión del Territorio Universidad Central de Venezuela UCV (2018), Doctorando en Urbanismo Facultad de Arquitectura y Urbanismo UCV, Arborea Consultores Ambientales C. A. (2011-2020) Geógrafo, consultor en Sistemas de Información Geográfica y participación en estudios ambientales y urbanos. geog.jonathan.torres@gmail.com
 - 4 Wilmer José Becerra Durán. Especialista y consultor en estudios ambientales, geográficos y geomorfológicos; Escuela de Geografía, Universidad Central de Venezuela UCV. Arborea Consultores Ambientales C. A. (2011-2019). wilmer.becerra@gmail.com
 - 5 Bárbara Emperatriz Loreto Benavente. Licenciada en Geografía, Universidad Central de Venezuela UCV (2015), MSc. Planificación Integral del Ambiente Universidad Central de Venezuela UCV (2018), Doctorando en Urbanismo Facultad de Arquitectura y Urbanismo UCV Profesora Universidad Experimental Rómulo Gallegos UNERG. Arborea Consultores Ambientales C.A. (2015-2020). geobarbaraloreto@gmail.com

Información adicional

Reconocimiento institucional: **Dr. Jesús Delgado Villasmil**, asesor principal de los aspectos relacionados con la gestión ambiental y territorial del Programa de Ordenación Territorial Ambientalmente Sostenible del Plan de Reducción de Riesgos Ambientales y Adaptación al Cambio Climático del AMC, coordinado por la Gerencia de Ambiente de la Alcaldía Metropolitana de Caracas.