

EVALUACIÓN DEL ENTORNO BIOFÍSICO DESDE SU FUNCIONALIDAD COMPLEJA PARA LA PLANIFICACIÓN URBANA SOSTENIBLE

Joel Francisco Mejía Barazarte^{1*}, María Gabriela Camargo Mora²

¹ Universidad de Los Andes, Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales, Mérida-Venezuela

² Universidad Técnica Particular de Loja, Arquitectura, Loja-Ecuador.

* Autor para correspondencia: yoye196984@gmail.com

Recibido: 2020/03/05

Aprobado: 2020/05/29

DOI: <https://doi.org/10.26621/XVI22.2020.06.A06.PUCESI.2550.6684>

RESUMEN

Se desarrolló un enfoque para la evaluación ambiental en relación con el desarrollo de las actividades humanas, considerando el entorno biofísico desde su funcionalidad compleja para la planificación urbana. Dicho enfoque fue aplicado para la realización del Plan de Desarrollo Urbano Local de la ciudad de Barinas, Venezuela. El enfoque funcional considera el entorno biofísico como un elemento no inerte, que cumple funcionalidades en distintas perspectivas: como fuente de recursos, como soporte físico y como receptor de efluentes, que en conjunto inciden en el desarrollo de la ciudad actual y futura. Cuando se supera la lógica de funcionamiento del sistema biofísico a causa de una demanda socio económica, se generan problemas ambientales como: contaminación de aguas, suelos y aire, polución, pérdida de biodiversidad, erosión, entre otros, que inciden en el desarrollo territorial. Si se respeta el funcionamiento del entorno biofísico, su capacidad de carga, será posible garantizar calidad de vida a la población y transitar hacia la sostenibilidad. Se describe cómo evaluar cada funcionalidad para identificar los problemas ambientales y orientar estrategias y acciones de planificación urbana.

Palabras clave: ambiente, entorno biofísico, planificación urbana, funcionalidad, ciudad de Barinas.

ABSTRACT

An approach was developed for evaluating environmental conditions in relation to anthropogenic activities, considering the biophysical environment from its complex functionality for urban planning. This approach was applied for the realization of the Local Urban Development Plan (PDUL) of Barinas city in Venezuela. The functional approach assumes that the biophysical environment is not an inert, but rather a dynamic system, which fulfills functionalities in different perspectives: as a main source of natural resources, as physical support for productive activities, and as waste storage space, which together impact the urban development of the current and future city. When the operating logic of the biophysical system is exceeded due to a socio-economic demand, it produces environmental problems like : water, soil and air pollution, loss of biodiversity, erosion and others can be generated, hindering the land development process. By respecting the functioning of the biophysical environment, its carrying capacity, it will be possible to guarantee the quality of life for the population, and transition towards sustainability. The paper describes how to evaluate each functionality in order to identify problems and to guide urban planning strategies and actions.

Keywords: environment, biophysical environment, urban planning, functionality, Barinas city.



INTRODUCCIÓN

En el proceso de elaboración del Plan de Desarrollo Urbano Local (PDUL) (2014), el análisis del componente ambiental resultó de vital importancia, al considerar los elementos biofísicos trascendentales como ejes de los cuales dependerá el armónico desarrollo de la ciudad, manteniendo la calidad del entorno físico y, en consecuencia, la calidad de vida de sus pobladores. El medio ambiente es determinante, no solo del desarrollo económico y del progreso de los pueblos, sino también enmarca la cultura de sus habitantes, imprimiendo un carácter particular a la calidad de vida.

El entorno biofísico, referido al conjunto de elementos abióticos, bióticos y paisajísticos que lo configuran física y fenológicamente, se considera no como un elemento inerte o pasivo, sino que el mismo cumple funcionalidades en distintas perspectivas: "fuente de recursos naturales, soporte de actividades productivas y como receptor de efluente (Gómez, 2002). En el caso de una ciudad, las tres perspectivas en conjunto determinan su desarrollo urbano y su sostenibilidad presente y futura.

Cuando por uso inadecuado o sobreutilización se supera la lógica funcional del sistema biofísico, se generan problemas ambientales como: contaminación de aguas, suelos y aire, deterioro de áreas verdes, erosión, entre otros. Si se respeta el funcionamiento del entorno biofísico urbano, será posible garantizar una ciudad sostenible y con elevada calidad de vida.

La planificación urbana surgió con el fin de lograr una territorialización de actividades humanas en el medio biofísico de la forma más adecuada y efectiva posible (Porto, 1992). Así, el conocimiento del entorno biofísico es fundamental para la planificación y gestión de las ciudades, para el mejor aprovechamiento y conservación de los recursos naturales y para garantizar la sostenibilidad del desarrollo y la calidad de vida de la población.

Esta premisa básica constituyó el hilo conductor para la evaluación del entorno biofísico de la ciudad de Barinas, en el contexto de la realización del Plan de Desarrollo Urbano Local de la ciudad de Barinas, Venezuela (PDUL, 2014), partiendo del análisis de la funcionalidad compleja del medio biofísico de la ciudad, y sus implicaciones más importantes en la configuración y funcionamiento de la ciudad actual y futura, a ser condicionada por la implementación del PDUL.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se partió del enfoque funcional del medio ambiente en relación con el desarrollo de las actividades humanas (Gómez, 2002), bajo cuya perspectiva el entorno físico, como expresión tangible y fenológica del territorio, tiene una funcionalidad compleja que puede sistematizarse en tres ejes trascendentales:

- (1) Funcionalidad primaria: fuente esencial de recursos naturales y servicios ambientales necesarios para los pobladores.
- (2) Funcionalidad secundaria: tiene que ver con el soporte físico que es el entorno, para la realización de toda actividad productiva; en este caso el asiento de la estructura física de una ciudad.
- (3) Funcionalidad terciaria: el entorno como medio receptor de todos los efluentes resultantes de la dinámica propia de la ciudad y de sus habitantes.

La Figura 1 ilustra la relación funcional del enfoque adoptado en esta evaluación. El cumplimiento de estas funciones, sin considerar los criterios básicos de sostenibilidad, directamente lleva a la concurrencia de riesgos ambientales, manifiestos en la aparición de problemas ambientales específicos, que de hecho enfrenta la ciudad y padecen sus pobladores.

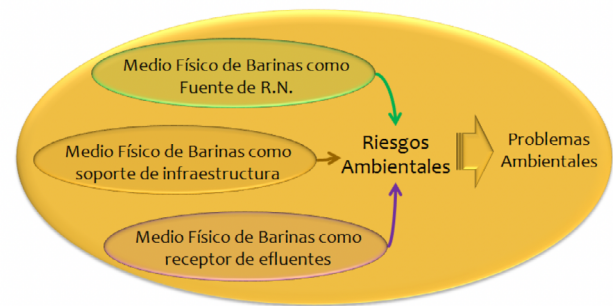


Figura 1. Enfoque funcional considerado para el desarrollo del trabajo.

Subsiguientemente, se siguió un proceso de discusión para seleccionar los recursos naturales target a ser evaluados en el contexto de cada eje de funcionalidad, tomando en consideración criterios como: nivel de relevancia intrínseca del recurso natural, relevancia territorial local, disponibilidad de información, y factibilidad de evaluación. Una vez escogidos los recursos naturales target, se definieron los elementos del recurso natural a ser evaluados, los respectivos ítems de evaluación, y los métodos más factibles o convenientes a utilizar. El resultado de este proceso aparece sistematizado en el Cuadro 1.

Tabla 1. Estrategia de evaluación del entorno biofísico de Barinas

Funcionalidad	Recurso target	Elemento evaluado	Ítems de evaluación	Método seleccionado
Primaria	Agua para consumo/ usos antropogénicos	Aguas superficiales	Cuencas abastecedoras	Análisis morfométrico
			Tomas/captación	Caudales
	Agua como medio ecológico	Aguas superficiales	Producción neta	Análisis Caudales
			Calidad	Oferta/Demanda
	Suelo	Aguas subterráneas	Pozos/Localización	Análisis Oferta/Demanda
			Rendimiento	Calidad
Vegetación	Fuente de material para uso urbano	Disponibilidad de minerales no metálicos	Método del SSS	
		Calidad ambiental urbana	Proporción de área verde urbana	
Secundaria	Suelo	Soporte de edificaciones	Capacidad de adecuación	Método del SSS
			Soporte de vialidad	Condiciones geotécnicas/geomecánicas
	Suelo	Localización relleno sanitario	Condiciones texturales	Evaluación cualitativa
			Filtrado /amortiguación	Estructura del perfil
	Agua	Vertidos domésticos	Red fluvial urbana	Análisis cualitativo
			Vertidos industriales	Canales
Aire	Vertidos institucionales	Pozos sépticos	/cuantitativo	
		Drenajes urbanos/alcantarillado	Lagunas de oxidación	Evaluación de caudales
Aire	Emisiones vehiculares	Vientos (dinámica)	Análisis cualitativo	
		Incendios eventuales	Patrones de circulación	
		Relleno sanitario		

Para evaluar la funcionalidad primaria de Barinas, fueron escogidos los recursos target: agua, suelo y vegetación. Para el recurso agua se consideraron dos condiciones: como fuente de agua para consumo/ usos antropogénicos y como medio ecológico. En la primera condición, se consideraron las aguas superficiales y subterráneas, ya que Barinas presenta un sistema dual de abastecimiento que incluye los dos tipos de fuentes. El análisis morfométrico se realizó procesando los mapas de las cuencas drenantes o afluentes a la ciudad, utilizando el software Arc Gis 10.5. El análisis de

caudales fue realizado a partir de la información hidrométrica suministrada por INAMEH, mientras que la información sobre aguas subterráneas fue extraída de de Mejias & Guerrero (2000) y de HIDROANDES (2015); ambos se conjugaron para estimar la oferta total de agua para la ciudad. Para el análisis de oferta/demanda de agua, fue necesario hacer una proyección futura de la población de la ciudad, considerando los métodos aritmético y geométrico (Rives y Serow, 1984), (Torres, 2011).

En cuanto al medio ecológico, se evaluaron las aguas superficiales de las zonas circunvecinas y los cursos de agua que atraviesan la ciudad a través del método de la Unión Alemana para la Conservación del Agua (Vereinigung Deutscher Gewässerschutz – VDGL)(VDG, 2004). La condición ecológica de los ríos se evaluó analizando los siguientes aspectos (Figura 2): (1) estructura morfológica y ecológica del lecho del río; (2) estructura morfológica y ecológica de las riberas; (3) estructura morfológica y ecológica de la vega fluvial a ambos lados del cauce; y por último (4): la calidad de las aguas.

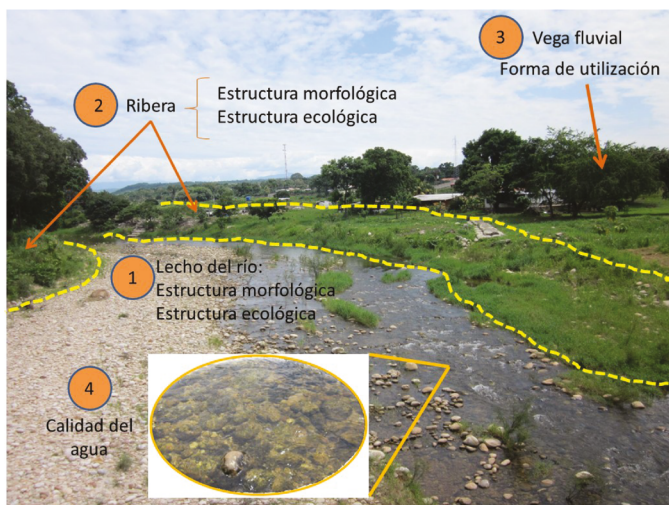


Figura 2. Principales elementos y criterios de evaluación de la metodología del VDG (2004).

El método y las correspondientes plantillas de evaluación aparecen convenientemente explicadas en VDG (2004). Para su implementación se definió un perfil secuencial en transecta con cinco puntos de observación en cinco cauces diferentes, desde las afueras de la ciudad hacia el interior de la misma, para determinar el nivel de transformación ecológica que sufren los cursos de agua a medida que se introducen en la ciudad.

La evaluación de los suelos como fuente de materiales para usos urbanos fue llevada a cabo a través de la metodología del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), propuesto por el Soil Survey Staff (SSS) – USA (Cortés & Malagón, 1992). Para ello, se contó con información de suelos suministrada por la Dirección de Ingeniería Municipal de la Alcaldía del Municipio Barinas. En este caso, se evaluó la aptitud de los suelos respecto a: (a) fuentes potenciales de arena y grava, y (b) fuentes de materiales para vías y caminos.

En cuanto a la vegetación, las áreas verdes urbanas son básicamente definidas como espacios en donde predomina la vegetación y elementos naturales como: lagunas, esteros y senderos no pavimentados (Ministerio del Medio Ambiente Chile, 2012). El análisis se centró en estudiar de forma cualitativa y cuantitativa los espacios verdes urbanos actuales del entorno, así como determinar cuál ha sido su dinámica durante los últimos quince años. Para ello se realizó una interpretación de imágenes de satélite LANDSAT TM (año 2000) y LANDSAT 8 (año 2015), con el fin de identificar la vegetación que conforma los espacios verdes de la ciudad y poder analizar algunas de sus características espaciales desde un punto de vista

comparativo. La información básica de las imágenes seleccionadas se resume en el Cuadro 2.

Tabla 2. Identificación de las imágenes de satélite seleccionadas para el análisis de la vegetación.

Identificador LANDSAT	Fecha de toma	WRS-Path	WRS-Row	Tipo	Cobertura de nubes	Elevación del sol	Azimuth	Fuente
LT5006054200023700002	24/08/2000	006	054	2	40	58.59923301	83.36377286	USGS
LC80060542015230LGN00	18/08/2015	006	054	L1T	48,94	63.45155051	78.09994445	USGS

El proceso de clasificación se llevó a cabo a través del Índice de Diferencia Normalizado de Vegetación (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI), concebido para cuantificar la respuesta fotosintética a la absorción de la radiación roja y a la reflectancia del infrarrojo cercano, siendo hasta ahora uno de los índices de más amplia utilización (Nouri et al, 2014). Este índice es calculado a través de la ecuación:

$$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{red})}{(\rho_{NIR} + \rho_{red})}$$

Donde:

ρ_{NIR} : reflectancia de la banda de longitud de onda del infrarrojo cercano

ρ_{red} : reflectancia de la longitud de onda del color rojo

El NDVI es un índice adimensional y por lo tanto sus valores oscilan entre $-+1$ y -1 , teniendo gran preferencia frente a otros índices de vegetación, pues éste ayuda a compensar los cambios en condiciones de iluminación, pendiente superficial, orientación (aspect) y otros factores extraños (Lillesand et al, 2004).

La estimación del NDVI se realizó utilizando el software ERDAS. La Figura 3 muestra un ejemplo de salida preliminar del método, mostrando la expresión espacial de los resultados (escala de grises) y los respectivos valores de NDVI obtenidos. Estas imágenes con resultados “crudos” fueron sometidas a interpretación visual en pantalla para analizar el comportamiento espectral de los valores obtenidos, y así poder diferenciar las categorías definitivas. Fueron definidas 3 categorías básicas: (1) áreas sin vegetación (SV), que comprenden el área urbana construida (edificaciones y vialidad); (2) Vegetación herbácea (VH), que incluye las tipologías de vegetación de poca altura y menos follaje (arbustos, pastos y gramíneas); y (3) vegetación arbórea (VA), en la que se incluyen las formaciones de bosque con árboles de tamaño y frondosidad considerables. Los rangos finalmente definidos luego para diferenciar las categorías deseadas aparecen en el Cuadro 3.

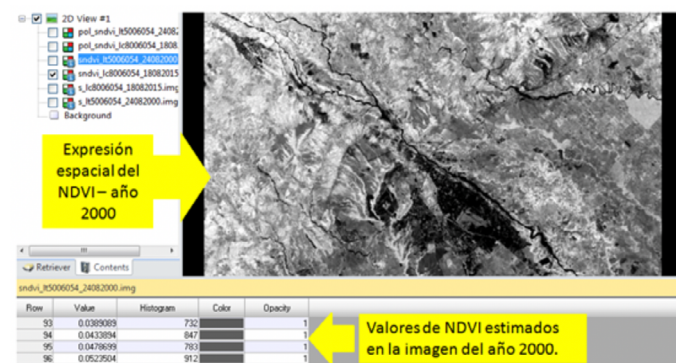


Figura 3. Ejemplo de resultado preliminar del NDVI para la imagen LANDSAT TM 2000.

En la función secundaria del entorno biofísico de Barinas se consideró como recurso “target” el suelo, visto desde la perspectiva de ser el soporte de las actividades constructivas urbanas y de la red vial. Se consideraron como funciones básicas de evaluación su nivel de adecuación, para la construcción de viviendas y de calles y vías, utilizando para ello la metodología del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) del Soil Survey Staff – USA (Cortés & Malagón, 1992).

Tabla 3. Valores de NDVI que definieron los límites para los intervalos de clase finales.

Categoría	NDVI 2000		NDVI 2015	
	vmin	vmax	vmin	vmax
SV	-0,347826	0,239428	-0,12309	0,207352
VH	0,243684	0,371348	0,209746	0,27917
VA	0,375603	0,737318	0,281564	0,487441

La función terciaria está referida a rol del medio biofísico como receptor de los efluentes antropogénicos materializados en: emisiones, vertidos y residuos sólidos, generados en las ciudades en su proceso metabólico; estos son almacenados, transformados y transportados a través de los tres vectores ambientales que existen: suelo, agua y aire. Por ende, son estos tres los recursos “target” necesariamente considerados en esta función, los cuales fueron evaluados de forma indirecta a través de análisis cualitativos, por cuanto una evaluación in situ de los mismos y utilizando métodos directos supone el uso de pruebas y análisis muy rigurosos y de alto costo, como el caso de los análisis químicos y biológicos de aguas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Barinas y su entorno biofísico

La ciudad de Barinas contaba para el año 2015 con un total de 334498 habitantes. Se emplaza sobre un abanico de explayamiento formado por el río Santo Domingo, al pie de la Cordillera de Mérida en su vertiente andino-llanera (Figura 4). Por ello, la ciudad posee un entorno biofísico morfológicamente definido como paisaje piedemontino, un sistema morfológico transicional entre el vigoroso sistema montañoso andino y el sistema depositacional llanero. El entorno biofísico de Barinas posee distintas escalas espaciales, que van desde sus áreas circunvecinas más próximas, hasta los páramos andinos en donde nace el río Santo Domingo. La gran cuenca del río Santo Domingo domina ampliamente el paisaje hidrológico y morfológico del entorno biofísico de Barinas, siendo el principal responsable de la génesis morfológica de su sitio de emplazamiento, constituyendo además su principal fuente de abastecimiento directo e indirecto del recurso agua. De igual forma, el río constituye un límite político-administrativo municipal y ejerce de barrera física que limita el crecimiento de la metrópoli en sentido noroeste – sureste, tal como se aprecia en la Figura 4.

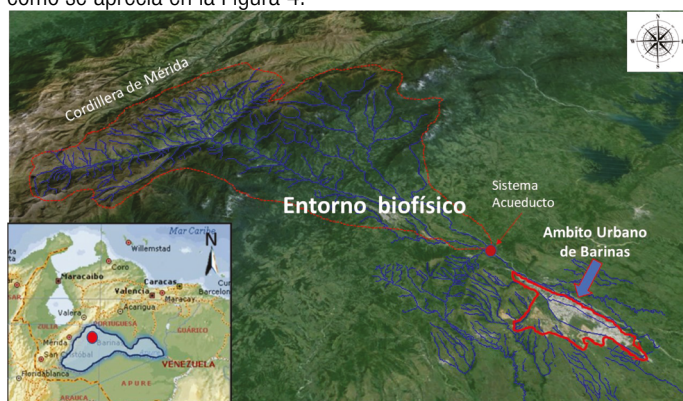


Figura 4. Barinas y su entorno biofísico. (Fuente: elaboración propia con Imagen LANDSAT TM extraída de Google Earth).

La funcionalidad primaria

Barinas tiene una localización estratégica, pues su entorno biofísico conformado por las vertientes andino-llaneras de la cordillera constituye un gran área receptora neta de humedad y de precipitaciones orográficas,

que garantizan una producción y constante aporte de agua dulce. Tal como se observa en la Figura 4, la ciudad está inmersa dentro de una compleja e intrincada red de drenajes permanentes que fluyen desde las vertientes andinas hacia los llanos bajos, dominada por la cuenca del río Santo Domingo. Es esta cuenca la principal fuente abastecimiento de agua dulce de Barinas, mientras que las cuencas pequeñas aportan cursos de agua que atraviesan la ciudad, pero su importancia está restringida a la funcionalidad terciaria, como se explicará más adelante.

Barinas posee un sistema dual de abastecimiento de agua dulce procedente de dos tipos de fuentes distintas: fuente superficial y fuente subterránea. El agua superficial procede del río Santo Domingo, la cual es captada y reconducida hasta la Planta de tratamiento de Barinas, con una capacidad de producción de agua potable estimada en 600 l/s (HIDROANDES, 2015). Por su parte, las aguas subterráneas son aprovechadas a través de un sistema de 87 pozos de extracción localizados en distintas zonas de la ciudad, los cuales son operados por distintas organizaciones como: HIDROANDES, ACUALBA y otras redes privadas.

La tabla 4 resume la oferta real de agua potable para Barinas. Se observa que el aporte de agua subterránea es de gran importancia, al suministrar el 66% del agua dulce que la ciudad consume (1158 l/s); mientras tanto, la producción de agua superficial (600 l/s), representa en términos reales un aporte de 34% a la oferta total de agua para la ciudad. La oferta total diaria para la ciudad se estimó en 151.891.200,00 litros.

Tabla 4. Oferta neta total de agua potable para la ciudad de Barinas

Item	Caudal (l/s)	Aporte %	Oferta neta diaria (l)
Agua superficial	600	34	51.840.000,00
Agua subterránea	1158	66	100.051.200,00
Total	1758	100	151.891.200,00

Fuente: Elaboración propia a partir de datos aportados por HIDROANDES (2015)

Los resultados de la evaluación ecológica y cualitativa de las aguas se muestran en la Figura 5. Estos evidencian que tanto la estructura ecológica de los cursos de agua como su calidad se ven seriamente afectadas a medida que los ríos se adentran en el perímetro urbano de la ciudad.

En la cuenca media de la Quebrada La Caramuca (punto 1), existe una baja densidad poblacional y las vegas fluviales de las quebradas se encuentran moderadamente intervenidas. La estructura y funcionalidad ecológica de los ríos del sector es “regular”, con valor ponderado de (2,6), mientras que la calidad de las aguas muestran una condición de (2,0), indicando “poca perturbación/buena calidad”. Estos resultados muestran que en la zona los cursos de agua pueden aún cumplir su funcionalidad ecológica sin mayores dificultades.

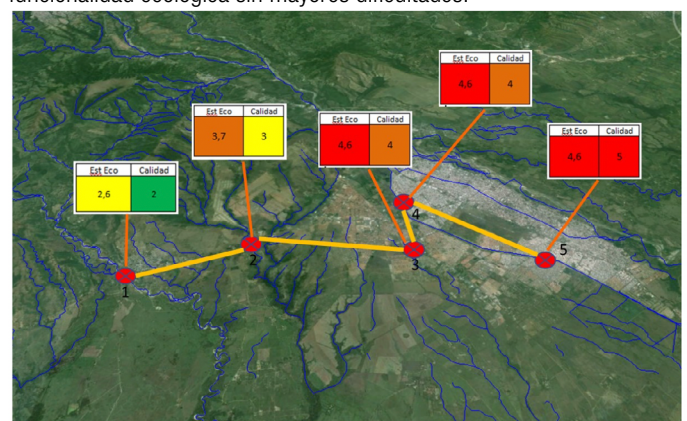


Figura 5. Resultados de la evaluación ecológica de las aguas del entorno urbano de Barinas.

En la Quebrada LaVizcaína (punto 2), la existencia de desarrollos habitacionales de alta densidad incide en las condiciones generales del lecho del río y la ribera, por lo que la estructura ecológica se categoriza como “deficiente” (3,7), mientras que la calidad de las aguas desciende a la categoría de „regular“(3,0). Ello indica que, tanto la funcionalidad ecológica como la calidad del agua en este sector ya se encuentra comprometida.

El punto 3 corresponde a un curso de agua dentro de la llamada “Ciudad Deportiva de Barinas”. La condición ecológica en este sector resultó catalogada como: „mala“ (4,6), mientras que la calidad de las aguas se ven muy afectadas por los efluentes de aguas residuales y por acumulaciones espontáneas de residuos sólidos eventuales, siendo en este caso de condición “perturbación crítica/no apta” (4,0). Ambas condiciones se mantienen en el punto 4, ubicado en las adyacencias de la UNELLEZ, con resultados idénticos para la condición ecológica y para la calidad de las aguas.

Por último, los resultados obtenidos en el Barrio La Hormiga (punto 5), claramente indican que en este sector las aguas fluviales no pueden cumplir función ecológica alguna, pues el grado de transformación de sus riberas y de las vegas fluviales es extremo e irreversible. De hecho, los ríos y cauces urbanos pasan a ser receptores, depositarios y transportadores de efluentes, básicamente aguas residuales y desechos sólidos producidos en los sectores adyacentes. La condición estructural/funcional de los cursos es catalogada como: „mala“ (4,6), mientras que la calidad del agua presenta los niveles más dramáticos de transformación, estando en la condición: „muy perturbada/severa“ (5,0).

Los suelos de Barinas presentan condiciones variables como recurso fuente de materiales para construcción, que puede diferenciarse en la Figura 6, en la que se muestra la adecuación de los suelos como fuente de arena y grava (a) y como fuente de materiales para vías y caminos (b). Ciertamente, los suelos de la ciudad no resultan favorables como fuentes de arena y grava, ya que, en 13 de los 21 puntos muestrales (62%), los suelos son de condición mala y no apta para el uso en cuestión. Caso contrario sucede con el segundo uso, ya que el 62% de los suelos muestreados mostraron una condición “buena” como fuente de materiales para vías y caminos, mientras que los restantes aparecen en la segunda condición (regular).

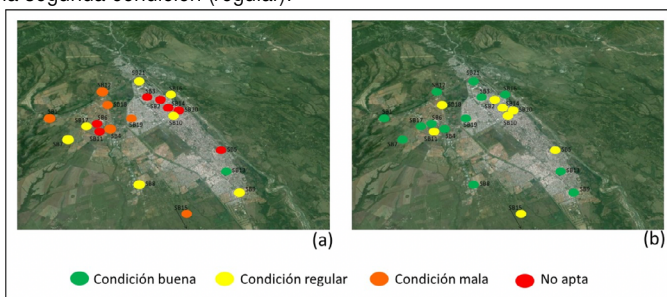


Figura 6. Nivel de adecuación de los suelos de Barinas como: (a) fuente de arena y grava; y (b) fuente de materiales para vías y caminos.

En cuanto a la vegetación como fuente de calidad ambiental, los resultados demostraron que la ciudad de Barinas lamentablemente ha visto disminuir su calidad ambiental, ya que durante los 15 años evaluados la vegetación boscosa se redujo en un 32,2 %, mientras que la vegetación herbácea aumentó en un 31,4% (Tabla 5). La similitud de ambas proporciones sugiere que la vegetación herbácea ganó territorio a expensas de la destrucción sistemática de la superficie boscosa. Tal como se observa en la Figura 7, la reducción boscosa fue más dramática hacia el sur-este de la ciudad, zona en expansión urbana en la que se localizan barridas

marginales. Es particularmente notoria y alarmante la disminución de la masa boscosa del Parque metropolitano Simón Bolívar, resaltado en el recuadro de la Figura 7(b), un Área Protegida que perdió un gran volumen de masa arbórea en el período, teniendo serias implicaciones en la calidad de vida del casco urbano central de Barinas.

Tabla 5. Variación de la vegetación en Barinas, período 2000 - 2015.

Categoría	Año 2000 Superficie (ha)	%	Año 2015 Superficie (ha)	%	Variación periódica (ha)	Variación periódica (%)
SV	3414,90	16,3	3588,77	17,1	173,87	0,8
VH	2390,76	11,4	8980,84	42,8	6590,08	31,4
VA	15180,66	72,3	8416,71	40,1	-6763,95	-32,2
Total	20986,32	100	20986,32	100	13527,9	64,4

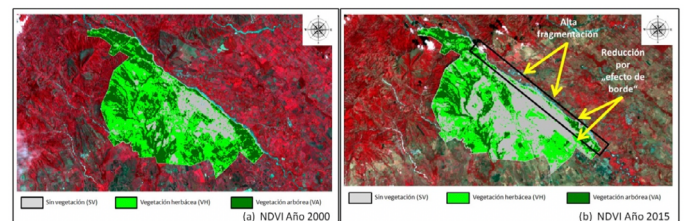


Figura 7. Categorías derivadas del cálculo del NDVI en Barinas para los años: (a) 2000 y (b) 2015.

La funcionalidad secundaria

La Figura 8 muestra los resultados obtenidos para ambos usos por medio del método del SUCS. Se observa que de los 21 puntos muestrales, 16 fueron clasificados como suelos con buenas condiciones para la construcción de viviendas y edificaciones urbanas. En general, las tipologías de suelos definidas en todos estos puntos muestrales indican que las clases texturales de esos suelos les confieren adecuados niveles de drenaje, bajos niveles de plasticidad y también baja potencialidad para la expansión – contracción de los mismos.

En cuanto al nivel de adecuación para la construcción de calles y vías, los resultados revelan que 10 de los 21 puntos evaluados resultaron con buena condición para la construcción de vialidad, ya que estos suelos presentan condiciones texturales y granulométricas que hacen posible que puedan soportar la infraestructura vial sin inconveniente alguno. La mayor densidad de puntos con esta condición se localizan hacia el nor-oeste de la ciudad. En ellos, la presencia de bajos porcentajes de elementos finos y una condición de baja plasticidad los hace favorables para el uso evaluado.

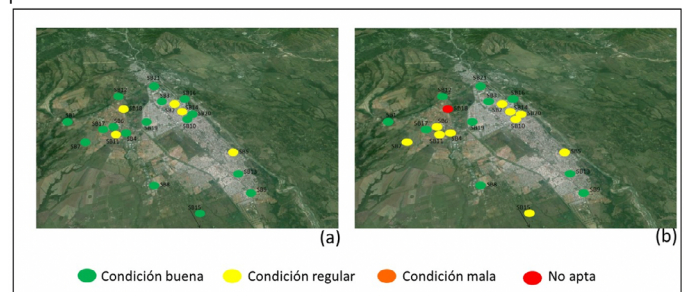


Figura 8. Nivel de adecuación de los suelos de Barinas como: (a) construcción de viviendas y edificaciones; y (b) construcción de calles y vías.

La funcionalidad terciaria

La dinámica de uso de los recursos y servicios ambientales en la ciudad de Barinas, en particular la que tiene que ver con las fuentes de agua que la abastecen, tienen particularidades que pueden ser potencialmen-

te generadoras de graves problemas ambientales que conlleven afectación a sus habitantes. Estas particularidades fueron consideradas desde la perspectiva de las condiciones y comportamiento de dos de los tres vectores ambientales: suelo y agua.

Los suelos de Barinas tienen una adecuada capacidad filtrante, lo cual se deriva de dos condicionantes: (1) las tasas de descomposición de la vegetación son altas debido a la condición climática tropical. Investigaciones realizadas en zonas muy similares del trópico estiman la producción de hojarasca en tasas que van de 10 a 18 tn/ha/año, generando apreciables niveles resultantes de materia orgánica y de nitrógeno en los suelos (Arguello, 1991); y (2) las condiciones granulométricas de los suelos sobre los que se asienta la ciudad, mayormente arenosos, les confieren altos niveles de permeabilidad y consecuentemente altos niveles de infiltración. De acuerdo con los resultados obtenidos por Mora & Rivas (2015), los suelos de la ciudad presentan un coeficiente de infiltración (K_{fc}) promedio de 0,20, lo cual indica que la capacidad de infiltración es alta.

Lo anterior sugiere que los elementos exógenos, ya sean gases, partículas o líquidos, pueden penetrar con facilidad el interior de los suelos, de modo que el movimiento de los elementos dentro del suelo, la adsorción y absorción de sustancias exógenas puede ser desarrollado en forma eficiente.

Las aguas superficiales que atraviesan la ciudad de Barinas poseen la peor condición ecológica según la evaluación realizada. Ello es debido a que los cursos fluviales, al adentrarse en el ámbito urbano, cambian en cuanto a su funcionalidad básica, pasando a ser receptores netos de aguas residuales que en la ciudad se producen.

De acuerdo con el MOPT (1992), la capacidad autodepurativa del cuerpo o masa de agua va a depender fundamentalmente de: (1) el volumen de agua almacenado o transportado, ya que la dilución es más rápida y efectiva cuanto mayor caudal tenga el río; y (2) capacidad de re-oxigenación del agua, que determina el grado en que el cuerpo de agua pueda reponer el oxígeno invertido durante el proceso de oxidación y putrefacción del elemento exógeno.

La red de drenaje en Barinas está conformada por cursos de régimen permanente, los cuales, dada la abundancia de precipitación neta sobre el entorno, concentran volumen de escorrentía suficiente durante todo el año, incluso en la estación seca. Obviamente, el río Santo Domingo es el curso de agua que mayor capacidad autodepurativa posee. De acuerdo con los valores de autodepuración del MOPT (1992), las aguas en Barinas pueden alcanzar valores de autodepuración entre 2,0 y 3,0, lo cual denota un nivel moderado.

La principal fuente de contaminación de los cuerpos de agua fluviales en Barinas es la adición de aguas residuales domésticas, industriales e institucionales. Los drenajes urbanos de calles y avenidas constituyen una segunda fuente importante de contaminación. La tercera fuente de contaminación de los cuerpos de agua es la disposición de desechos sólidos en la ribera, o su incorporación directa al agua. El Tabla 6 muestra los valores de producción de aguas residuales domésticas en la ciudad de Barinas a nivel diario, mensual y anual, para los años 2013 y 2014.

Otro factor que contribuye a hacer más compleja la situación de la producción de agua residual en Barinas es la incorporación de aguas procedentes de los drenajes urbanos a los colectores de aguas servidas. Adicionalmente, las aguas de lluvia colectadas en muchas viviendas y edificaciones son también incorporadas a la red de aguas servidas. Am-

bos problemas aparecen resaltados en los informes del PORU (2008) y del PDUL (2008), y contribuyen a la sobresaturación y colapso frecuente del sistema de cloacas.

Tabla 6. Producción de agua residual en Barinas para los años 2013 y 2014.

Item	Año 2013	Año 2014
Recolección diaria (m ³)	155.642	129.787
Recolección mensual (m ³)	4.734.103	3.947.702
Recolección anual (m ³)	56.809.232	47.372.420

Fuente: Elaboración propia a partir de datos suministrados por Hidroandes (2015).

En síntesis, puede afirmarse que las aguas superficiales del ámbito urbano de Barinas poseen una adecuada capacidad autodepurativa debido a los importantes volúmenes de agua que presentan los cauces, particularmente el río Santo Domingo. No obstante, los volúmenes de producción de aguas servidas son muy altos y la dinámica de los drenajes urbanos hace que el problema de la calidad de las aguas sea extremadamente difícil de evaluar y controlar.

CONCLUSIONES

La funcionalidad primaria del entorno le confiere a la ciudad de Barinas condiciones altamente favorables para su expansión y desarrollo urbano futuro, al existir garantía permanente de recursos naturales básicos para sostener la dinámica urbana de la ciudad. No obstante, su crecimiento pretérito sin criterios adecuados de planificación ha generado una disminución notable de la vegetación en el casco urbano y ha ido afectando progresivamente la funcionalidad terciaria del medio biofísico, específicamente los vectores agua y suelos. Ambos problemas ameritan ser enfrentados y revertidos a través de estrategias concretas de planificación que han de ser establecidas en el Plan de Desarrollo Urbano Local de la ciudad.

El entorno biofísico, desde su perspectiva funcional, es expresión física y fenológica de la realidad urbana. La calidad de la relación de la dinámica y estructura socioeconómica con su entorno biofísico generará diversas condiciones de habitabilidad en la ciudad, que van desde espacios sostenibles con calidad de vida a prevenir situaciones de riesgo que pueden devenir en problemas ambientales específicos en la ciudad de Barinas. El conocimiento de la realidad del entorno biofísico es fundamental en la planificación urbana. Su evaluación es, no obstante, integral y compleja.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arguello, H. (1991). La descomposición de la materia orgánica y su relación con algunos factores climáticos y microclimáticos. *Agro-nomía Colombiana*, Vol 8 (2): 384 – 388.
- Cortés, A., y Malagón, D. (1992). Los levantamientos de Suelos y sus aplicaciones multidisciplinarias. Mérida, Venezuela: Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras – CIDIAT.
- Gómez, D. (2002). *Evaluación de Impacto Ambiental*. Madrid, España: Editorial Mundi-Prensa. 749 pp.
- HIDROANDES. (2015). Informe sobre los recursos hídricos de la ciudad de Barinas. Barinas, Venezuela.
- Lillesand, Th., Kiefer, R., y Chipman, J. (2004). *Remote Sensing and Image interpretation*. Fifth Edition. New York, USA: John Wiley & Sons, Inc.

- Mejias, L., y Guerrero, Y. (2000). Estudio de las reservas de aguas subterráneas en la ciudad de Barinas. (Tesis de Pregrado). Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- Ministerio Del Medio Ambiente de Chile. (2012). Informe Del estado del Medio Ambiente 2011. Santiago de Chile. AMF A. Molina Flores.
- Ministerio de Obras Publicas y Transporte de España – MOPT. (1992). Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Contenido y metodología. Madrid, España: Secretaría General Técnica – Centro de Publicaciones MOPT.
- Mora, A., y Rivas, K. (2015). Elaboración del Atlas hidrogeológico del acuífero ubicado en el casco central de la ciudad de Barinas, Venezuela. (Tesis de Pregrado). Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- Nouri, H., Beecham, S., Anderson, Sh., y Nagler, P. (2014). High Spatial Resolution WorldView-2 Imagery for Mapping NDVI and its Relationship to Temporal Urban Landscape Evapotranspiration Factors. *Remote Sensing*, 6 (1): 580 – 602.
- Plan de Desarrollo Urbano Local para la ciudad de Barinas - PDUL. 2008. Componente Ambiental. Barquisimeto, Venezuela: Informe Técnico elaborado por el Centro Jacinto Lara.
- Plan de Desarrollo Urbano Local para la ciudad de Barinas - PDUL. (2015). Mérida, Venezuela: UFORGA – ULA.
- Porto, E. (1992). Integración del medio ambiente en el planeamiento urbano. *Urbanismo: revista oficial del colegio de Arquitectos de Madrid*, ISSN 0213-9391. Pags: 22 – 29.
- PORU (2008). Plan de Ordenación Urbanística del Subsistema Urbanístico Barinas. Estado Barinas y Táchira. Caracas, Venezuela: Informe Técnico elaborado por la Empresa ATP.3 Profesionales S.A.
- Rives, F. y Serow, W. (1984). *Introduction to Applied Demography: Data Sources and Estimation Techniques. Quantitative applications in the social sciences*. Número 39. Nueva York-Estados Unidos: SAGE Publications Inc. 96 p.
- Torres, A. (2011). Tasas de crecimiento poblacional (r): Una mirada desde el modelo matemático lineal, geométrico y exponencial. *CIDE digital*. 2(1): 142-160.
- VDG - Vereinigung Deutscher Gewässerschutz. (Hrsg.) (2004). *Ökologische Bewertung von Fließgewässern. Schriftenreihe der Vereinigung Deutscher Gewässerschutz*, 64, 3. Auflage; Bonn.