

# Evaluación de la susceptibilidad a la desertificación en el municipio de Cartagena, Colombia

## Evaluation of the susceptibility to desertification in the municipality of Cartagena, Colombia

### *Avaliação da susceptibilidade à desertificação na cidade de Cartagena, na Colômbia*

Tatiana Sierra-Labastidas<sup>1</sup>, Héctor Lopez-Salgado<sup>2</sup> & Cesar Tamaris-Turizo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Bióloga, estudiante de maestría en Ciencias Ambientales. <sup>2</sup>Agrólogo, Magister in Soil Survey. <sup>3</sup>Biólogo, Magister en Acuicultura y Ecología Acuática Tropical

<sup>1,3</sup>Facultad de Ciencias Básicas, Universidad del Magdalena. Santa Marta. Colombia. <sup>2</sup>Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá. Colombia.

<sup>1</sup>tatianasierrealabastidas@gmail.com, <sup>2</sup>hector.lopezs@hotmail.com, <sup>3</sup>ctamaris@unimagdalena.edu.co

#### Resumen

En esta investigación se evaluó la dinámica multianual de las variables climáticas precipitación y temperatura con el objetivo de caracterizar el municipio de Cartagena. Se calculó el índice hídrico y de aridez, para evaluar la susceptibilidad a la desertificación. Se identificaron las zonas susceptibles o en proceso de desertificación de Cartagena, para formular estrategias de uso adecuado de los suelos. Los resultados indican que la variable temperatura registró importantes cambios durante el estudio (1941 - 2008), con variaciones promedio superiores a 1°C. La precipitación promedio multianual varió entre 817,8 mm y 1310 mm. Se presentaron dos periodos climáticos, el periodo de lluvia y el periodo seco. Se encontró que el balance hídrico es negativo, debido a que los valores de la evapotranspiración siempre superaron los valores registrados de precipitación. El índice de aridez varió entre 0,46 y 0,56 corroborando la condición seca de la zona. Se puede concluir que las condiciones climáticas presentes en el municipio de Cartagena, favorecen el proceso de desertificación en esta zona del país.

**Palabras clave:** balance hídrico, déficit hídrico, índice de aridez, índice hídrico.

#### Abstract

In this research it was evaluated the dynamic of the climatic variables, precipitation and temperature with the objective of characterizing the municipality of Cartagena. The water index and the aridity index were calculated, to evaluate the susceptibility to desertification. It was identified susceptible areas in the process of desertification of Cartagena, to formulate strategies for proper use of the soil. Results indicate that the variable temperature recorded important changes during the study (1941 - 2008), with average variations above 1 °C. Multi-annual average precipitation ranged from 817.8 mm and 1310 mm. There were two climatic periods, the rain period and the dry period. It was found that the water balance is negative because the values of the evapotranspiration always exceeded the recorded values of precipitation. The aridity index varied between 0.46 and 0.56 corroborating the dry condition of the area, it can

be concluded that the climatic conditions present in the municipality of Cartagena, favor the process of desertification in this country area.

**Key-words:** water balance, water deficit, aridity index, water index

### Resumo:

Nesta pesquisa, avaliou-se a dinâmica multianual das variáveis climáticas precipitação e temperatura, a fim de caracterizar o município de Cartagena. Foi calculado o índice de água e aridez para avaliar a susceptibilidade à desertificação. Identificaram-se os locais susceptíveis em processo de desertificação de Cartagena para desenvolver estratégias de uso apropriado do solo. Os resultados indicam que a variável temperatura apre-

sentou mudanças significativas durante o estudo (1941 - 2008), com variações médias superiores a 1 ° C. A precipitação média multianual variou entre 817,8 milímetros e 1.310 milímetros. Dois períodos climáticos foram apresentados, a estação das chuvas e o período de seca. Verificou-se que o balanço hídrico é negativo, porque os valores de evapotranspiração sempre ultrapassaram os valores de precipitação registrados. O índice de aridez variou entre 0,46 e 0,56, confirmando a condição de seco da região. Pode-se concluir que as condições climáticas no município de Cartagena, favorecem o processo de desertificação nesta área do país.

**Palavras-chave:** balanço hídrico, estresse hídrico, índice de aridez, índice de água.

## Introducción

En la actualidad casi el 40% de la superficie del planeta son ecosistemas secos, parte de los cuales se han convertido en desiertos como consecuencia de las actividades humanas (Verón, Paruelo & Oesterheld 2006), por esta razón se considera a la desertificación como uno de los problemas más graves que afectan el futuro de la humanidad (Pando-Moreno, Gutierrez, Maldonado & Jurado 2002; Reynolds, Maestre, Huber-Sannwald, Herrick & Kemp 2005). Colombia ocupa el séptimo lugar entre los países con desertificación en América Latina, con un total de 4.828.875 hectáreas de tierras afectadas, es decir, el 4.1% del territorio nacional; Atlántico, Guajira, Magdalena, Sucre y Cesar, son los departamentos con más superficie en proceso de desertificación y la situación tiende a incrementarse tanto en intensidad como en extensión (IDEAM, 2001; Vargas & Gómez, 2003). El departamento de Bolívar, no es ajeno a esta situación, presenta un área de 482.25 ha afectadas por desertificación (IDEAM, 2001), razón que obliga a las autoridades ambientales territoriales a realizar acciones diagnósticas, monitoreos y elabo-

rar propuestas para un adecuado manejo de las tierras afectadas y a la prevención de la desertificación en las zonas no afectadas.

Los suelos en todo el territorio colombiano, experimentan continuos y profundos procesos de degradación, ocasionados principalmente por factores como erosión, compactación, salinización y contaminación (Min-Ambiente, 2000). Las condiciones topográficas, la presión en el uso de la tierra y sus recursos naturales, la frecuente deforestación y el avance de la frontera agrícola, han provocado la degradación de suelos, la cual continua en incremento, hacia un proceso acelerado de desertificación (Min-Ambiente, 2000; IDEAM, 2001; Min-Ambiente, 2004). La principal consecuencia de la desertificación en el país, es la reducción de la productividad de los ecosistemas, que se manifiesta en la reducción de los rendimientos agrícolas, pecuarios y forestales, así como, en la pérdida de la diversidad biológica; desde el punto de vista social, genera empobrecimiento, migración, desplazamientos internos y deterioro de la calidad de vida de la población (Min-Ambiente, 2000). Las autoridades ambientales, reconocen la necesidad

de avanzar en el conocimiento del estado de la degradación de tierras y de la desertificación a nivel nacional. Por consiguiente, es necesario lograr un conocimiento de la desertificación a nivel regional y local, que permita identificar las áreas con procesos de degradación de tierras y desertificación (Min-Ambiente, 2000; Min-Ambiente, 2004).

El propósito de esta investigación es evaluar el nivel de susceptibilidad frente a la desertificación, en el municipio de Cartagena (departamento de Bolívar - Colombia), a través de indicadores climáticos y físicos, que permitirán: (i) Evaluar la dinámica multianual de las variables climáticas precipitación y temperatura, en el municipio de Cartagena (ii) Conocer las condiciones climáticas de la zona de estudio y su relación con el proceso de desertificación, a través de los índices hídrico y de aridez, (iii) Identificar las zonas susceptibles o en proceso de desertificación del municipio de Cartagena, a partir de sus condiciones climáticas y formular estrategias para el uso adecuado del suelo.

## Materiales y métodos

### *Área de estudio*

El área de estudio está ubicada en el municipio de Cartagena, departamento de Bolívar, Colombia. Tiene una extensión de 25.978 Km<sup>2</sup>, en su mayoría de topografía plana (2 m sobre el nivel del mar) y temperatura ambiente multianual de 29°C. Las únicas alturas se encuentran en la serranía de San Lucas a 2.450 m; el área central está constituida por la depresión inundable del río Magdalena, conocida como la depresión Momposina. La

vegetación es variada y en algunos sectores muy abundante debida a los extensos cuerpos de agua que se encuentran en el departamento; las precipitaciones anuales van desde los 500 mm en la franja más cercana al litoral hasta 3.000 mm en el sector noroccidental y occidental de la serranía de San Lucas (IDEAM, 2000). El departamento de Bolívar, es uno de los que presentan más marcado el índice de desertificación en el país (Min-Ambiente, 2000) y Cartagena, es una de las cinco ciudades con mayor crecimiento económico y demográfico en las últimas tres décadas (Aguilera & Roca, 2009), razones que motivan al estudio de la desertificación en este territorio.

### *Dinámica multianual de algunas variables climáticas (precipitación y temperatura).*

Para la evaluación climática del municipio de Cartagena, se consideraron cinco estaciones climáticas disponibles en la zona y su periferia. Los datos meteorológicos fueron adquiridos a través del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (Tabla 1), para evaluar la tendencia multianual de precipitación y temperatura, registradas durante los años disponibles (1941 – 2006). Se realizó el análisis de distribución espacial de la precipitación, a través de los polígonos de Thiessen, teniendo en cuenta que éste es el modelo que mejor se ajusta a las condiciones planas, característica del área de estudio. Para la distribución espacial de la temperatura en el municipio de Cartagena, se consideraron los valores de temperatura promedio registrados en las estaciones Aeropuerto Rafael Núñez, Galerazamba y Sincerin, por presentar mayor cantidad de datos.

**Tabla 1.** Estaciones climáticas utilizadas en el presente estudio.

Estación	Coordenadas	Años	Altura (msnm)
Cañaveral	10° 24' N, 75° 20' W	1974 - 2006	75
Galerazamba	10° 47' N, 75° 16' W	1954 - 2004	20
Bayunca	10° 32' N, 75° 24' W	1974 - 2006	75
Sincerin	10° 09' N, 75° 17' W	1963 - 2006	10
Rafael Núñez	10° 27' N, 75° 31' W	1941 - 2006	2

### Estimación de los balances hídricos

Para realizar los balances hídricos se utilizó el método propuesto por Thornthwaite, para su cálculo se empleó una hoja de cálculo en Excel (De Souza-Rolim & Sentelhas, 1999).

Se calculó el “índice de calor mensual” (i) a partir de la temperatura media mensual (t) con la fórmula 1:

$$i = (t/5)^{1,514} \quad (1)$$

Luego se calculó el “índice de calor anual (I) sumando los 12 valores de i (fórmula 2):

$$I = \sum i \quad (2)$$

Se calculó la ETP mensual en mm/mes (para meses de 30 días y 12 horas de sol teóricas) mediante la fórmula 3:

$$ETP = 16(10^{*t/I})^a \cdot L \quad (3)$$

Dónde: t = temperatura media mensual (°C), I = Índice de calor anual, a =  $675 \cdot 10^{-9} I^3 - 771 \cdot 10^{-7} I^2 + 1792 \cdot 10^{-5} I + 0,49239$ , L = N \* d / 12 \* 30

Donde: N = número máximo de horas de sol, dependiendo del mes y de la latitud (valores tomados de Tabla 2 del modelo para latitud norte de 10° 30'), d = número de días del mes.

A partir de la estimación de los excesos, déficit y la ETP anual, se estimó el índice hídrico (IH) usando la fórmula 4 (IDEAM 2002):

$$IH = \frac{(100 * \text{exceso}) - (60 * \text{déficit})}{ETP} \quad (4)$$

**Tabla 2.** Clasificación del índice hídrico.

Rango del Índice Hídrico	Clasificación
I > 140	Superhúmedo
100 < I < 140	Muy húmedo
60 < I < 100	Moderadamente húmedo
40 < I < 60	Ligeramente húmedo
20 < I < 40	Subhúmedo
-20 < I < 20	Seco
-40 < I < -20	Semiárido
I < -40	Árido

IDEAM, 2002. I: índice hídrico.

### Cálculo del índice de aridez

Para la caracterización de la aridez en el municipio de Cartagena, se utilizó como criterio el índice de aridez (Ia), basado en la relación existente entre la

precipitación y la evapotranspiración potencial por un período determinado (Collado, 2001), como se muestra en la fórmula 5.

$$Ia = P/ETP \quad (5)$$

En donde P, es la precipitación promedio en mm; ETP, evapotranspiración potencial media en mm. Los valores del índice de aridez se clasificaron de acuerdo al IDEAM (2002) como se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Clasificación del índice de aridez.

Rango del índice	Clasificación
$Ia < 0.5$	muy seco
$0,5 < Ia < 0.8$	seco
$0,8 < Ia < 1.5$	adecuado
$1,5 < Ia < 2$	húmedo
$Ia > 2$	muy húmedo

Fuente: IDEAM (2002)

### Identificación de Zonas susceptibles a la desertificación en el municipio de Cartagena

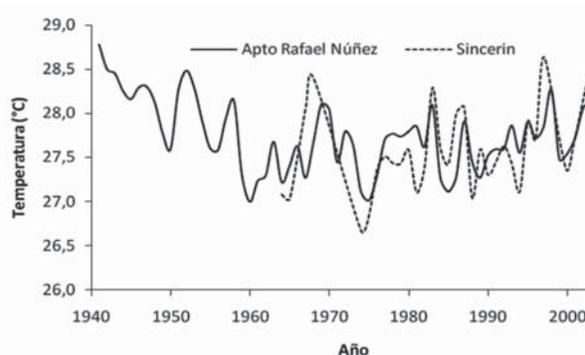
Para realizar el análisis cartográfico vectorial y raster se utilizó el programa de sistema de información geográfico ILWIS 3.4 (Integrated Land and Water Information System), de acceso libre. En este análisis se utilizó la proyección conforme de Gauss y el Datum del Observatorio de Bogotá (zona 2). El Modelo Digital del Terreno – MDT, se elaboró con curvas de nivel cada 25 m, con cartografía base del IGAC a escala 1:25000.

El espaciamento de las potenciales zonas susceptibles a la desertificación se realizó a partir de “Slicing”, un sistema de clasificación del programa ILWIS 3.4, basado en los criterios de clasificación del índice hídrico. Identificadas las zonas susceptibles a la desertificación se plantearon estrategias para su manejo adecuado en el municipio de Cartagena.

## Resultados y discusión

### Variación multianual de la temperatura en Cartagena

En la Figura 1 se aprecian los patrones de temperatura registrados en dos estaciones meteorológicas (Aeropuerto Rafael Núñez y Sincerín), para el periodo comprendido entre 1964 y 2006. Los valores de temperatura oscilan entre 26,7 °C y 28,6 °C, siendo muy similar en ambas estaciones. De acuerdo con los registros la temperatura se mantuvo constante y no se presentaron variaciones significativas durante el periodo de análisis.

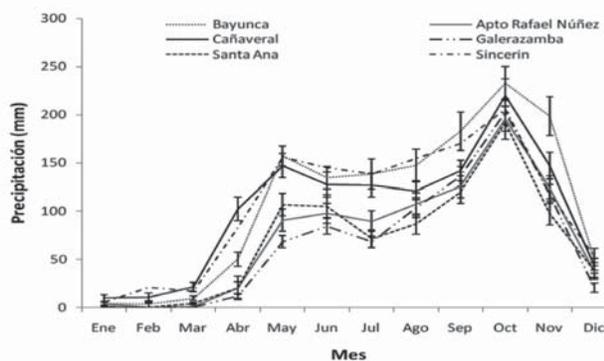


**Figura 1.** Variación media multianual de la temperatura en las estaciones Aeropuerto Rafael Núñez (IDEAM 1941- 2006) y Sincerín (IDEAM 1964 – 2006).

### Valores promedios de precipitación en el municipio de Cartagena

En la Figura 2, se muestran los registros de precipitación correspondientes a cinco estaciones meteorológicas, dos de ellas situadas en el municipio de Cartagena (Aeropuerto Rafael Núñez y Bayunca) y las tres restantes (Galerazamba, Cañaveral y Sincerín) ubicadas en cercanías al municipio. Los resultados evidencian la ocurrencia de dos periodos climáticos, el periodo seco (de diciembre hasta marzo) y el periodo de lluvias (de abril hasta noviembre). Los valores máximos de precipitaciones se registraron en los meses de septiembre, octubre y noviembre, siendo octubre el mes más lluvioso. El incremento en las precipitaciones durante este periodo se debe a la ocurrencia de los denominados ciclones tropicales, que pueden

umentar el régimen de lluvias en todo el Caribe colombiano (CIOH, 2007). Los resultados indican que los valores mínimos de precipitación en el área de estudio, se registraron en el mes de abril.



**Figura 2.** Valores promedios de precipitación en las estaciones del municipio de Cartagena, consideradas en el estudio.

En el municipio de Cartagena y sus alrededores, la precipitación anual varió entre 817,8 mm (estación Galerazamba) y 1310 mm (estación Bayunca). Las estaciones que registraron los mayores valores de precipitación son Bayunca, Cañaverál y Sincerín, respectivamente, mientras, que los valores más bajos se registraron en las estaciones

Santa Ana, Aeropuerto Rafael Núñez y Galerazamba. Aunque, en todas las estaciones climatológicas se registró un descenso en los niveles de precipitación entre los meses de mayo y agosto, el periodo de lluvias se mantuvo.

En este estudio no se encontró un cambio significativo en los registros de temperatura. Sin embargo, algunos autores documentan que en las últimas décadas se ha presentado un incremento en los registros de temperaturas mínimas mensuales, para varias zonas del país entre las que se incluye Cartagena (Poveda, 2004). Además, los modelos globales de clima para el país, prevén reducción de las precipitaciones, en la cuenca del Caribe. Esta reducción coincide con zonas naturalmente secas, lo que contribuye a un aumento en el proceso de desertificación (Costa-Posada, 2007).

#### Balances hídricos

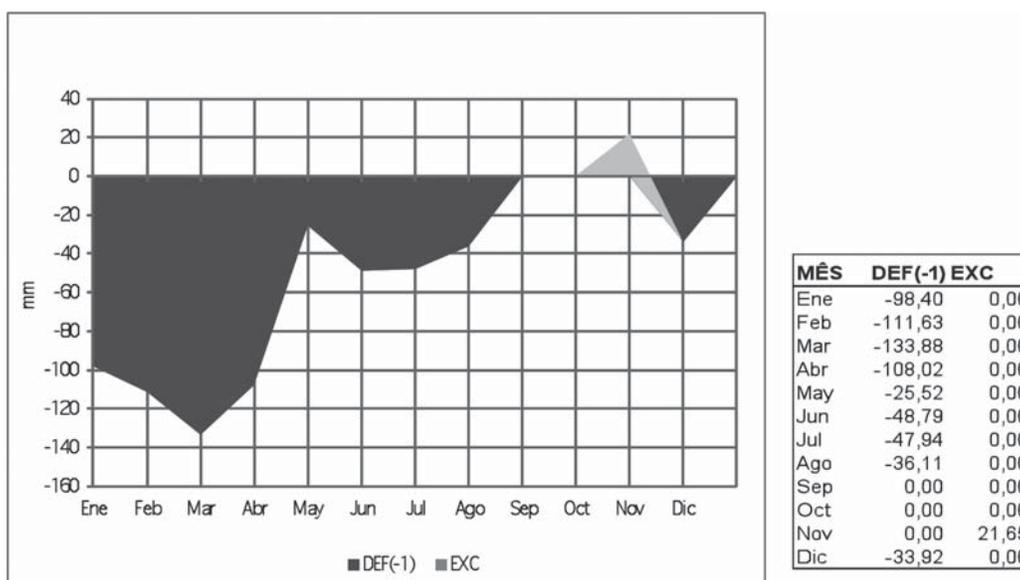
La Tabla 4, refleja que el balance hídrico para el municipio de Cartagena, presentó una tendencia negativa, debido a que en todas las estaciones meteorológicas, el valor de la evapotranspiración superó los valores registrados para la precipitación.

**Tabla 4.** Balances hídricos y categorización climática para cada estación meteorológica.

No	Estación	PP	DEF	EXC	ETP	Ih	Ia	Clasificación
1	Cañaverál	1220,3	632,3	0,0	1852,6	-20,4784	0,66	Seco
2	Galerazamba	817,8	477,6	40,6	1254,8	-19,6019	0,65	Seco
3	Bayunca	1310,9	644,2	21,7	1933,5	-18,872	0,68	Seco
4	Sincerín	1268,6	595,2	0,0	1863,9	-19,1611	0,68	Seco
5	Rafael Núñez	896,3	1037,2	0,0	1933,5	-32,1866	0,46	Muy Seco

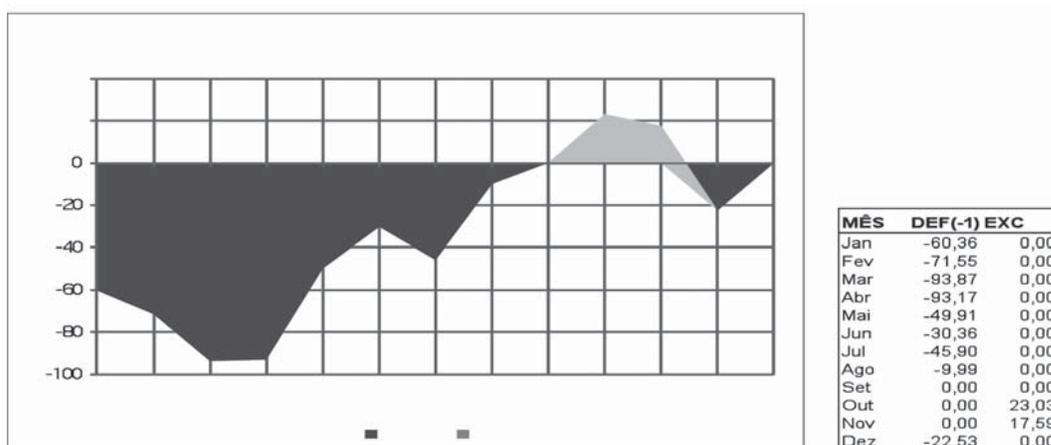
PP: precipitación, DEF: déficit, EXC: excesos, ETP: evapotranspiración potencial, Ih: índice hídrico, Ia: índice de aridez

En la estación Bayunca se presentó un déficit hídrico durante 8 meses. Los meses con mayor déficit hídrico son marzo, febrero y abril (con valores de -133,88 mm, -111,63 mm y -108,2 mm, respectivamente), mientras, que en el mes de mayo el déficit hídrico es menor (-25,52 mm). En los meses de septiembre y octubre, se registró un equilibrio entre el déficit y los excesos. Por otra parte, en el mes de noviembre el exceso de agua fue de 21,65 mm (Figura 3).



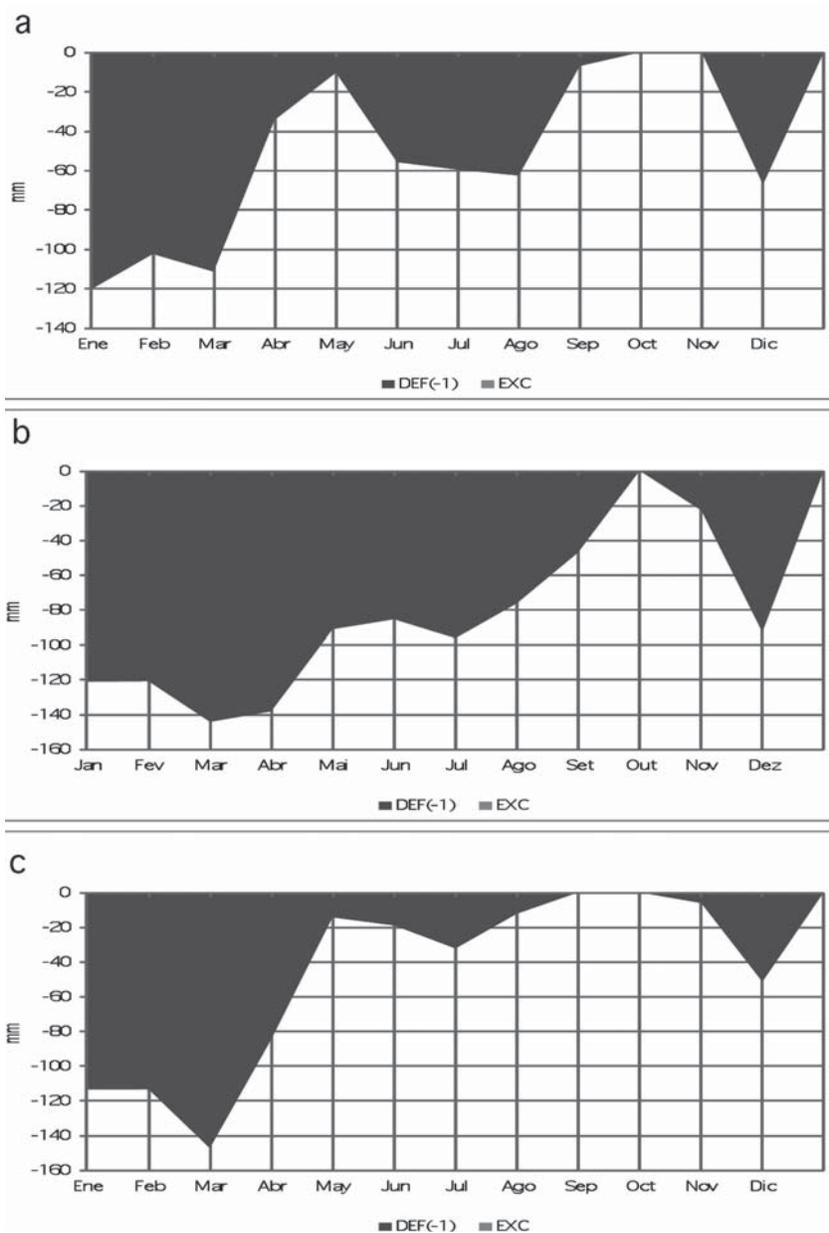
**Figura 3.** Balance hídrico de la estación Bayunca.

En la estación Galerazamba, se presentó un déficit hídrico durante 9 meses del año. El mayor déficit hídrico se evidenció durante los meses de marzo y abril con valores de -93,87 mm y -93,17 mm, respectivamente. Mientras, que en los meses de octubre y noviembre se presentaron excesos con valores de 23,03 mm y 17,59 mm, respectivamente. En el mes de septiembre se presentó un equilibrio (0,0 mm) entre el déficit y los excesos (Figura 4).



**Figura 4.** Balance hídrico de la estación Galerazamba.

La Figura 5, presenta los balances hídricos registrados en tres estaciones climáticas del departamento de Bolívar (Cañaveral, Rafael Núñez y Sincerin), caracterizadas por registrar un déficit hídrico durante la mayor parte del año y en ninguna de las estaciones se presentaron excesos durante el periodo de análisis



**Figura 5.** Balance hídrico de las estaciones: a) Cañaveral, b) Rafael Núñez y c) Sincerin.

En la estación Cañaveral el mayor déficit hídrico se registró en enero (-120,20 mm) y el menor déficit en octubre (0,0 mm), alcanzando un equilibrio con los excesos. En las estaciones Rafael Núñez y Sincerin se registró el mayor déficit hídrico en marzo, con valores de -144,32 mm y -147,52 mm respectivamente. En la estación Aeropuerto Rafael Núñez el menor déficit hídrico se presentó durante el mes de octubre (0,0 mm) resultando un equilibrio con los excesos

(0,0 mm). Por otra parte, en la estación Sincerin los déficits con valores de (0,0 mm) se registraron entre septiembre y octubre.

Los resultados de los balances hídricos calculados para cada una de las estaciones meteorológicas, corroboran la ocurrencia de dos periodos climáticos en el municipio de Cartagena. También, se puede apreciar que el mayor déficit hídrico se presentó durante los primeros meses

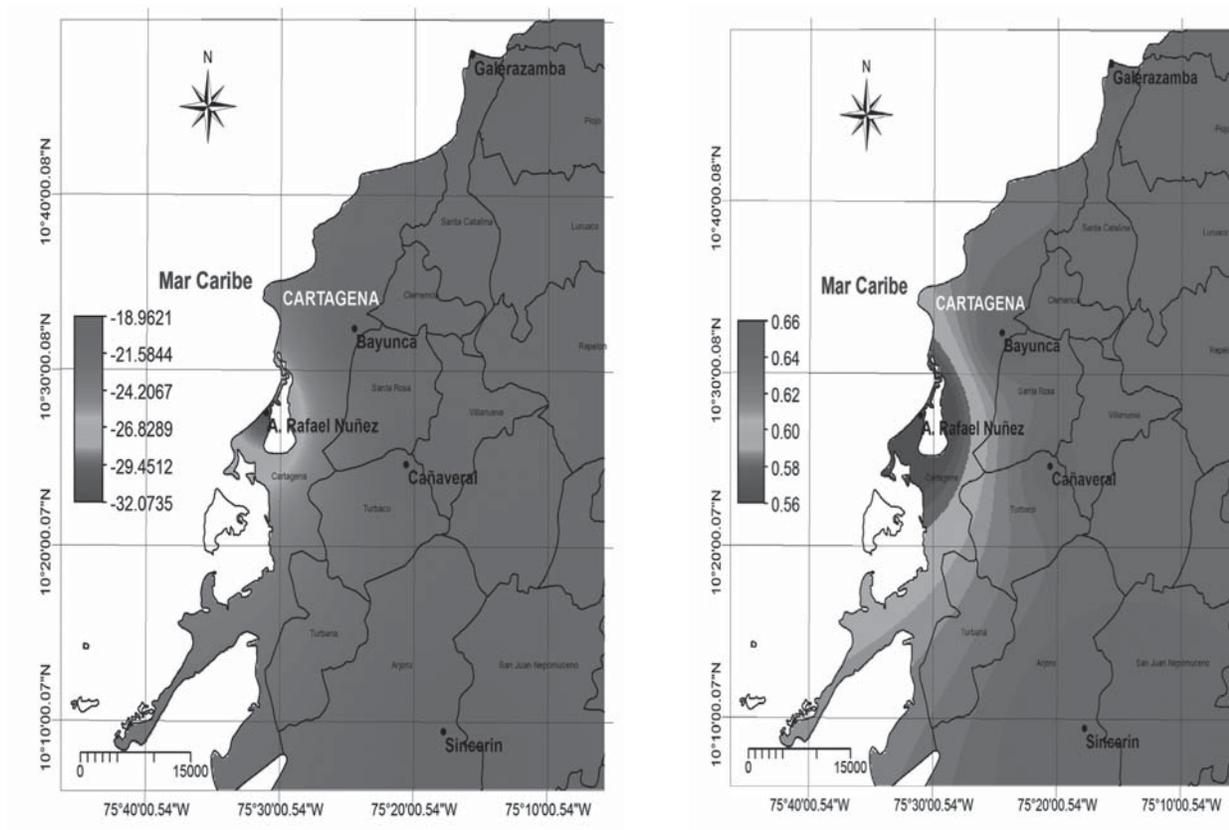
del año, especialmente en el mes de marzo, coincidiendo con el periodo seco. A pesar de, que en la estación Cañaveral el mayor déficit hídrico se registró en el mes de enero, se considera que esta variación puede estar dada por condiciones o propiedades del suelo específicas de la zona, ya que el comportamiento de las precipitaciones registrado es similar en todas las estaciones climáticas consideradas. Los resultados también muestran que durante el periodo de lluvias (octubre y noviembre) el déficit hídrico es menor (0,0 mm), porque existe un equilibrio entre la precipitación y la evapotranspiración potencial.

A pesar de, los excedentes hídricos registrados en las estaciones Bayunca y Galerazamba, entre los meses de octubre y noviembre, el balance hídrico del municipio de Cartagena, mostró un déficit generalizado durante casi todo el año. La tendencia del balance hídrico es negativa, debido a que los valores de ETP superaron los valores de precipitación, siendo esto una característica de los ambientes secos. El índice de aridez registrado para el municipio de Cartagena osciló entre 0,46 y 0,66. Al comparar los valores obtenidos en esta investigación con los rangos establecidos por el IDEAM (2002), se puede constatar la condición seca de las tierras ubicadas en el municipio de Cartagena. Aunque, contrastan con los análisis del IDEAM (2003), quien categoriza a la ciudad de Cartagena como normal con un índice de aridez que puede estar en un rango de 0,30 y 0,39. La diferencia puede explicarse por la escala de los análisis, el IDEAM realizó el estudio a una escala de 1:1.500.000, mientras que en esta investigación únicamente se tuvo en cuenta el municipio de Cartagena y sus zonas aledañas, con un mayor nivel de detalle (1:25.000).

Es importante abordar otros aspectos para la realización de estudios de este tipo. De las Salas & García (2000) sugieren que el producto de los balances hídricos está influenciado de forma significativa por las coberturas vegetales que dominan en el área. Quienes encontraron diferencias en el déficit hídrico en tres coberturas vegetales diferentes (eucalipto, ciprés y natural) en una misma región hidrológica, esto indica que la capacidad de campo así como la cobertura vegetal del suelo son factores importantes para las estimaciones de balances hídricos. Genchi Carbone, Piccolo & Perillo. (2010), en un estudio similar realizado en San Antonio Oeste de Argentina, incluyeron la capacidad de retención de agua en el suelo como una importante variable ya que el balance hídrico depende de la precipitación, la evapotranspiración y de las propiedades del suelo. Por otra parte, Marini & María (2000) sugieren que los balances hídricos pueden variar entre décadas, lo que lleva a revisar los datos de manera individual previa a la definición en alguna categoría.

### ***Zonas susceptibles a la desertificación***

En la Figura 6 se presenta la distribución espacial del índice de Aridez y el índice Hídrico, de los cuales se puede definir que merecen especial atención los paisajes de lomerío, los cuales son susceptibles a desertificación, por sus características con pendientes fuertes, mayor afección y susceptibilidad a la erosión, aunadas a la condición climática imperante, al uso de tierras incorporadas a la agricultura de algunos sectores, donde no siempre se aplican las mejores prácticas agronómicas y de conservación de suelos.



**Figura 6.** a) Índice de Aridez b) Índice Hídrico del municipio de Cartagena.

Fuente: basado en los datos del IDEAM de las estaciones meteorológicas Aeropuerto Rafael Núñez, Galerazamba, Sincerin, Bayunca y Cañaveral.

En el municipio de Cartagena existen unas condiciones naturales que propician la susceptibilidad a la desertificación, entre las que se pueden señalar: La condición general “seca” debido a que la precipitación es inferior a la evapotranspiración potencial, en la zona costera la acción del mar y el efecto de los vientos, favorecen los procesos erosivos; la composición de los materiales geológicos, ricos en minerales fácilmente alterables, que liberan sales y sodio al descomponerse. Adicionalmente, en el municipio existen factores antrópicos que pueden aumentar o acelerar, el proceso de desertificación, entre los que se destacan: la principal actividad económica de la población es industrial y en su dinámica, se generan residuos sólidos y químicos, que

ocasionan el deterioro y contaminación del suelo. En la zona norte se evidencia la explotación de las canteras, extracción de piedras y material para construcción que causan modificación y deterioro del relieve. En la zona costera, la extracción de arena y material de la playa constituye una fuente de erosión. En algunas áreas del municipio se presenta un manejo inadecuado de los residuos sólidos y lixiviados, constituyéndose en una fuente de contaminación del suelo. El crecimiento de la población y la ocupación del suelo sin planificación, especialmente en las zonas aledañas a los cuerpos de agua, ocasiona una presión sobre el espacio, cambios en su estructura y fragmentación o deterioro de las comunidades vegetales.

## Conclusiones

Los índices hídricos y de aridez utilizados en este estudio, constituyen información básica que reflejan la existencia de susceptibilidad a la desertificación. Se evidencia que el municipio de Cartagena experimenta un proceso de desertificación, debido a la combinación de condiciones naturales y factores antrópicos, por ello, la necesidad de tomar medidas que permitan minimizar el impacto ambiental y social, derivado de esta problemática.

Los resultados de este estudio tienen gran importancia a nivel regional y contribuyen al conocimiento del problema a escala departamental y nacional, por ello, es recomendable la realización de estudios sistemáticos y complementarios, que permitan hacer un seguimiento a este proceso, para poder decidir que estrategias se deben realizar para prevenir el aumento de las zonas susceptibles a la desertificación en el departamento de Bolívar.

## Agradecimientos

A la Universidad del Magdalena y a la Universidad del Atlántico por el apoyo académico brindado para el desarrollo de esta investigación. A los evaluadores anónimos por los aportes realizados al manuscrito.

## Literatura citada

1. Aguilera, M. & Roca, A. (2009). ¿La isla que se repite? Cartagena en el censo de población de 2005. Documentos de trabajo sobre economía regional. Banco de la República – Centro de estudios económicos regionales (CEER) – Cartagena.
2. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas – CIOH (2007). *Climatología de los principales puertos del Caribe colombiano*. Cartagena, Colombia.
3. Collado, D. (2001). *Consultation on Desertification in South America*. IUCN The World Conservation Union South American Regional Office. Argentina.
4. Costa-Posada, C. (2007). La adaptación al cambio climático en Colombia. *Revista de ingeniería*. 26: 74-80.
5. De Las Salas, G. & García, C. (2000). Balance hídrico de tres coberturas vegetales contrastantes en la cuenca del río San Cristóbal, Bogotá. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 24(91): 205-218.
6. De Souza Rolim, G. & Sentelhas, C. (1999). Balanço Hídrico Normal por Thornthwaite & Mather 1955 -

*Departamento de Ciências Exatas Área de Física e Meteorologia DCE - ESALQ / USP BHseq V6.1. Brasil.*

7. Genchi S. A., Carbone, M.E, Piccolo M. C. & Perillo, M.E. 2010 Déficit hídrico en San Antonio Oeste, Argentina. *Revista de Climatología*. 10: 29-43.
8. Instituto De Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. (2000). Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/files/atlas/contenido.htm>
9. Instituto De Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM (2001). *Primera Comunicación Nacional Ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático Colombia*. Colombia.
10. Instituto De Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM (2002). *Sistema de Información Ambiental Colombiano – SIAC- Conceptos, definiciones e instrumentos de la información ambiental en Colombia*, Tomo 1. Colombia.
11. Instituto De Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM (2003). *Colombia potencia hídrica*. 65 p.
12. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM & Ministerio Del Medio Ambiente. (2004). *Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia*. Colombia.
13. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM (2001). *Colombia I Primera Comunicación Ante la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático*. Bogotá D.C., Colombia.
14. Marini, M.F. & C.P. María. (2000) El Balance Hídrico en la Cuenca del Río Quequén Salado, Argentina. *Papeles de Geografía*. 31: 39-53 p.
15. Ministerio del Medio Ambiente. (2000). *Primer Informe Nacional de Implementación de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación y la Sequía -CCD*. Bogotá D.C., Colombia.
16. Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2004). *Plan de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Sequía en Colombia P.A.N. Bogotá, Colombia*.
17. Pando-Moreno, M., Gutierrez, M., Maldonado, A. & Jurado, E. (2002). Evaluación de los procesos de desertificación en una cuenca hidrológica del NE de México. *Ciencia Unal / 5(4):519-524*.
18. Poveda, G. (2004). La hidroclimatología de Colombia: Una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diurna. *Revista Academia Colombiana de Ciencias*. 28(107): 201-222.
19. Reynolds, J.F., Maestre, F.T., Huber-Sannwald, E., Herrick, J. & Kemp, P.R. (2005). Aspectos Socioeconómicos y Biológicos de la Desertificación. *Ecosistemas* 14 (3): 3-21.
20. Vargas, G. & Gómez, E. (2003). La Desertificación en Colombia y el Cambio Global. Departamento de Geografía – Universidad Nacional de Colombia Ciudad Universitaria, Bogotá, D.C. Colombia. *Cuadernos de Geografía*. 7 (1-2):121-134.
21. Verón, S.R., J. M. Paruelo & Oesterheld, M. (2006). Journal of Arid Environments. *Journal of Arid Environments*. 751 - 763.

Recibido: 12 de noviembre de 2013  
 Aceptado: 10 de diciembre de 2013