
Índice de Áreas Ambientalmente

Sensibles a la Desertificación (IAASD), parroquia San Juan, Mérida, Venezuela

Environmentally Sensitive to Desertification
Areas Index (ESAI), in San Juan parish,
Mérida, Venezuela

Gladys Zuleima Molina

Joel Francisco Mejía

Juan Carlos Araujo

Víctor Abel Palomares

Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales,
Escuela de Geografía. Mérida, Venezuela
gmolina@ula.ve; jmejia@ula.ve; jcjuanaraujo@gmail.com; autenoia@gmail.com

Resumen

El Índice de Áreas Ambientalmente Sensibles a la Desertificación (IAASD) es un método diacrónico multifactorial concebido para identificar áreas potencialmente afectadas por la desertificación en ambientes proclives a su ocurrencia. Este método fue escogido para evaluar la susceptibilidad a la desertificación en la parroquia San Juan del estado Mérida, definiendo trece factores que fueron parametrizados a partir de la metodología original, mientras que el modelado espacial final se ejecutó en tres etapas: espacialización individual de los factores, estimación de los subíndices y estimación final del IAASD mediante álgebra de mapas. Los resultados revelaron que el 88,60% de la parroquia presenta condiciones críticas de susceptibilidad, en donde la alteración de la vegetación en ambientes de altas pendientes y suelos poco profundos puede fácilmente activar procesos conducentes a la desertificación. Futuras investigaciones deberán monitorear la intensidad de los procesos de ocupación en la parroquia y su eventual estímulo de la desertificación.

PALABRAS CLAVE: desertificación; sensibilidad; vegetación; degradación de suelos.

Abstract

The Environmentally Sensitive Area Index – ESAI is a diachronic multifactorial method conceived to identify areas potentially affected by desertification in such environments where this process is prone to occur. This method was chosen in order to evaluate the susceptibility to desertification in the San Juan Parish, Mérida, defining thirteen factors which were parameterized by following the original criteria, and the final modelling was conducted in three steps: individual spatialization of each factor, sub-index estimate and finally, estimate of ESAI by means of map algebra. Results revealed that 88,60% of the Parish showed critical levels of susceptibility, whereas the disturbance on vegetation in environments having steeply dissected slope and shallow soils could easily activate processes conducing to desertification. Furthermore, research should monitor intensity of settlement processes in the Parish and the eventual stimulus to desertification.

KEY WORDS: desertification; sensitivity; vegetation; land degradation.

1. Introducción

De los efectos derivados de la interacción de los humanos con el medio físico, la desertificación es quizás uno de los más complejos y difíciles de comprender, dimensionar, analizar y evaluar, dada la multiplicidad de factores generadores y conductores del proceso, su dinámica misma de ocurrencia, así como los impactos que pueden generarse en el territorio, tanto *in situ* como *off site*. Ya en el documento de presentación de la Convención de las Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación (UNCCD, 1994), se destaca que se trata de un proceso esencialmente causado por complejas interacciones entre factores biofísicos, biológicos, políticos, sociales, culturales y económicos. Las posteriores definiciones que han surgido sintetizan la causalidad del problema en dos principales agentes: el cambio climático y la actividad humana (López, 2006; Rodríguez *et al.*, 2008; D'Odorico *et al.*, 2013; Chasek *et al.*, 2015; Vieira *et al.*, 2015; Li *et al.*, 2018a; Opara *et al.*, 2018).

De acuerdo con Li *et al.*, (2018b), los cambios climáticos pretéritos contribuyeron a aumentar espacialmente la desertificación en el planeta; no obstante, después del 1700 a.C., existen evidencias puntuales de control antropogénico del proceso en algunas localidades. Con el advenimiento de la era industrial, la intensificación de la acción antropogénica no solo ha transformado sustancialmente el paisaje en todos los continentes, coadyuvando en muchos casos a acelerar la aridificación y en consecuencia, la desertificación, sino que además ha generado transformaciones en el clima que inducen fuerzas aceleradoras de la desertificación. De allí que López (2006) afirme que la desertificación y el cambio climático son procesos fuertemente interrelacionados entre sí, adquiriendo ambos magnitud y alcance global.

El avance territorial de la desertificación afecta sistemáticamente el capital natural del planeta, dinamizando de forma paralela varios procesos

de degradación del recurso suelo que terminan por afectar servicios ecosistémicos vitales como: seguridad alimentaria, secuestro de carbono, producción de forraje y fibras, producción de madera, producción de agua dulce, mantenimiento de biodiversidad, así como diversos servicios culturales, estéticos y recreacionales (Puigdefábregas, 1998; D'Odorico *et al.*, 2013; Salvati *et al.*, 2015; Sutton *et al.*, 2016). Además de estos efectos, la desertificación tiene severas implicaciones sociales, económicas y políticas, con innumerables impactos entre los que se destacan: disminución de la productividad de las tierras afectadas, disminución del valor de la tierra, pérdida de ingresos económicos, deterioro del nivel de vida en el medio rural, abandono de tierras y emigración (Le Houérou, 1996; Geist y Lambin, 2004; López, 2006; Reynolds *et al.*, 2007; Opara *et al.*, 2018).

La relevancia de la desertificación, como problema que sintetiza la degradación sistemática de suelos y ecosistemas de regiones áridas, secas y sub-húmedas a escala global, ha quedado manifiesta en los últimos eventos trascendentales como la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible de Río de Janeiro 2012, en la que se reconoció la necesidad de emprender acciones urgentes para revertir la degradación de tierras, derivándose dos términos que buscan perfilar el paradigma actual sobre el tema: el concepto de degradación CERO de tierras (*Zero Net Land Degradation - ZNLD*), y el concepto relacionado: un mundo con degradación neutral de tierras (*Land degradation neutral world- LDNW*), (Chasek *et al.*, 2015; Sutton *et al.*, 2016). En la Agenda 2030 de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible (UN, 2015), aparecen 7 lineamientos relacionados con la degradación de tierras, uno de ellos directamente conexas con la imperativa necesidad de combatir la desertificación. Se reconoce así la amenaza real que representa la desertificación y la degradación de tierras para la seguridad alimentaria global.

Lo anterior hace explícita la necesidad científica de generar información que permita dimensionar y monitorear a diferentes escalas la ocurrencia del proceso, así como sus potenciales consecuencias (Chasek *et al.*, 2015; Sutton *et al.*, 2016; Tóth *et al.*, 2018).

Diversos métodos, técnicas, indicadores y modelos han sido concebidos e implementados para evaluar el avance de la desertificación a escalas: local, regional y global (Brandt *et al.*, 2003; Flores *et al.*, 2010; Vieira *et al.*, 2015; Martínez-Valderrama *et al.*, 2016). Uno de estos indicadores es el Índice de Áreas Ambientalmente Sensibles a la Desertificación – IAASD (en inglés: *Environmentally Sensitive Area Index – ESAI*), concebido para identificar áreas potencialmente afectadas por la desertificación en la región Mediterránea en el marco del proyecto MEDALUS (Vieira *et al.*, 2015), y se basa fundamentalmente en una metodología diacrónica para evaluar cambios ocurridos en cuatro componentes: suelos, vegetación, clima y manejo de la tierra, considerados como factores básicos relacionados a los procesos de degradación en ambientes mediterráneos (Salvati *et al.*, 2015). La principal ventaja de esta metodología es su facilidad y flexibilidad de utilización, habiendo sido adaptada para su uso en ambientes tropicales como por ejemplo en Guárico, Venezuela (Flores *et al.*, 2010), y en la región noreste de Brasil (Vieira *et al.*, 2015), aportando resultados útiles y confiables que denotan la dinámica espacial de la desertificación en la región ecuatorial a escalas local y regional, respectivamente.

Es en zonas montañosas tropicales con condiciones climáticas proclives y la presencia de tipos y formas de ocupación y uso de la tierra invasivas e intensivas, en donde el proceso puede potencialmente adquirir mayores dimensiones. Es el caso de la cuenca media del río Chama, una subregión semiárida intramontana en la que la dinámica climática determina la presencia de una cobertura

vegetal discontinua y procesos erosivos importantes (Rojas, 1970). Allí, la creciente presión antropogénica sobre ambientes marcadamente secos ha inducido cambios en las coberturas vegetales en el pasado reciente, dinamizando procesos erosivos que podrían estar generando avances diferenciales en la desertificación (Graterol y Molina, 2000; Rincón, 2005). El notable avance de la urbanización que experimenta la parroquia San Juan (ubicada en el sector de la cuenca media del Chama) durante las últimas dos décadas, particularmente en las acumulaciones cuaternarias y el fondo de valle (Ramírez y Rojas, 2013), estaría literalmente forzando la actividad agrícola a desplazarse hacia las laderas circundantes, con prácticas agrícolas inadecuadas que podrían dinamizar procesos de degradación que favorezcan la desertificación a nivel local.

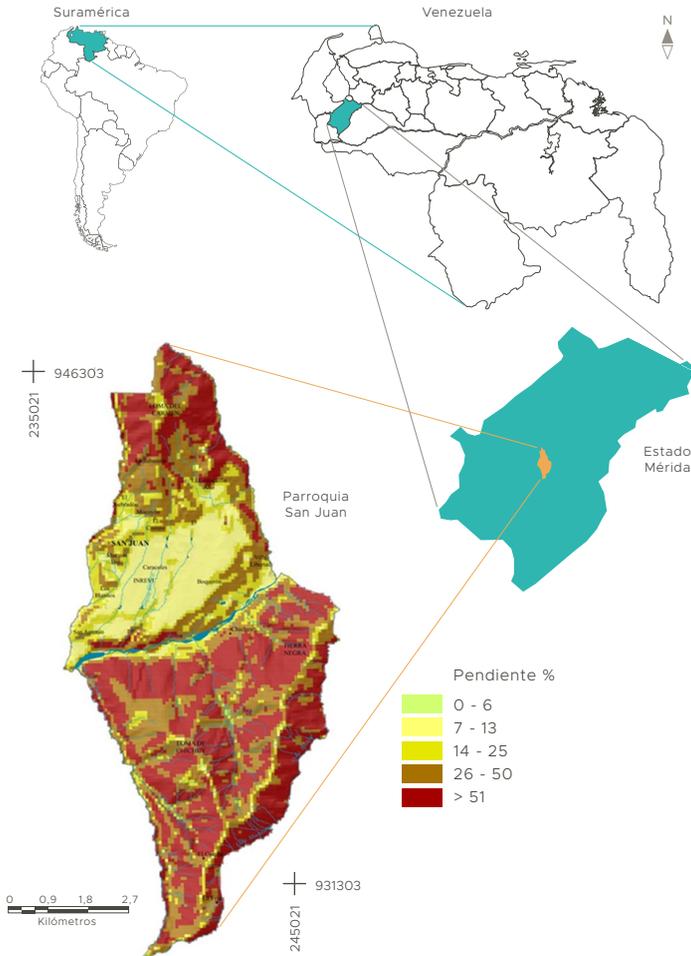
En este contexto, el presente trabajo tuvo como objetivo central evaluar la sensibilidad a la desertificación en la parroquia San Juan del estado Mérida, a través de la estimación del Índice de Áreas Ambientalmente Sensibles a la Desertificación (IAASD). Se espera que el mismo contribuya a dimensionar de forma más realista la dinámica territorial local y su potencial nivel de incidencia en los cambios ambientales que sugieren un avance de la desertificación en este entorno geográfico.

2. Entorno geográfico estudiado

La parroquia San Juan se localiza geográficamente al oeste del estado Mérida, formando parte de la cuenca media inferior del río Chama, y del denominado Bolsón Semiárido de Lagunillas. Astronómicamente se localiza entre las coordenadas: 08°23'55" y 08°33'49" N, y 71°18'18" y 71°22'39" O, y cuenta con 74,86 km² de superficie (FIGURA 1).

Se caracteriza por poseer un relieve accidentado, condicionado por su ubicación intramontana, con un rango altitudinal que va de los 600 hasta

FIGURA 1. Localización geográfica de la parroquia San Juan, estado Mérida.
IMAGEN DE FONDO: CNES/AIRBUS TOMADA EL 26/02/2018. CORTESÍA DE GOOGLE EARTH



2.800 msnm en la vertiente izquierda del río Chama, mientras que en la vertiente derecha los valores van de los 600 hasta los 2.100 msnm. Ello genera una notable variación en las formas del relieve, caracterizadas por un amplio valle intramontano longitudinal y un fondo de valle por el que fluye el río Chama, limitado por dos grandes pilares: la sierra de La Culata al norte y la sierra Nevada al sur. Su morfología combina grandes desniveles y terrenos planos, estos últimos reducidos pero

importantes, ya que sobre ellos se desarrollan intensamente diversas actividades humanas (León y Soto, 1982).

El entorno pertenece en su gran mayoría a la región xerofítica o semiárida de la cuenca media del río Chama, que va desde Estanques hasta Ejido, y que se caracteriza por poseer un clima seco y cálido producto de la influencia de las masas de aire provenientes del lago de Maracaibo y su circulación intramontana (Pérez, 1994).

Las precipitaciones son de medianamente abundantes hasta escasas, con una media anual de 504,2 mm, de acuerdo con registros de la Estación San Juan de Lagunillas. El régimen de precipitación es de tipo bimodal, con dos picos máximos que ocurren en los meses abril-mayo y septiembre-octubre y los valores mínimos ocurren en los meses enero-febrero y junio-julio. Las temperaturas varían internamente por el efecto alto-térmico, con una disminución térmica de 0,6 °C por cada 100 metros de ascenso y viceversa, elemento que afecta de manera significativa no solo la temperatura del aire, sino también la dinámica de la evaporación, la cual alcanza altos valores, ocasionando un déficit hídrico que determina la semi-aridez en el área.

De acuerdo con el INE (2011), la parroquia San Juan cuenta con una población total de 15.572 habitantes representando el 27,89 % de la población total del municipio Sucre, y el 1,88% de la población total del estado Mérida.

3. Desarrollo metodológico

La metodología propuesta por Kosmas *et al.*, (1999), establece que para la estimación del IAASD se deben agrupar cuatro (4) sub-índices que definen cualidades como: **1)** calidad del suelo, **2)** calidad de clima, **3)** calidad de la vegetación y, **4)** calidad de manejo, los que a su vez poseen unos factores/indicadores que se calculan bajo ciertos parámetros sobre condicionantes ambientales del proceso y que facilitan su obtención. El enfoque utilizado se apoyó en características que pudieron ser tomadas fácilmente en campo, información previamente levantada por otros autores, e información derivada de sensores remotos. El índice IAASD se obtiene a través de la ecuación [1]:

$$IAASD = (SICV * SICS * SICM * SICC)^{1/4} \quad [1]$$

Donde:

IAASD: Índice de Áreas Ambientalmente Sensibles a la Desertificación

SICV: Sub-índice de Calidad de Vegetación

SICS: Sub-índice de Calidad de Suelo

SICM: Sub-índice de Calidad de Manejo

SICC: Sub-índice de Calidad de Clima

Para la identificación de las áreas susceptibles a la desertificación fueron definidos en total trece factores/indicadores que permitieron estimar los sub-índices requeridos por el modelo IAASD de la ecuación [1], los cuales aparecen identificados en el **CUADRO 1**. Cada Subíndice se obtiene del producto de los factores/indicadores correspondientes especificados en el referido cuadro.

Siguiendo con la filosofía del método, cada uno de los indicadores fue dividido en clases discretas uniformes, para luego asignar a cada una de ellas un factor de peso específico que define su influencia potencial en procesos que inducen a la desertificación; se establecieron de este modo los siguientes valores límite: **1** (baja susceptibilidad) y **2** (alta susceptibilidad); entre ellos existen valores que denotan condiciones intermedias de susceptibilidad.

3.1 Preparación de la base cartográfica

La base cartográfica para el proceso de modelado espacial se basó en la cartografía elaborada por Ramírez y Rojas (2013), siendo complementada con un Modelo Digital de Elevación (MDE), construido para este proyecto a partir de una Imagen de Radar SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) con 90 m de resolución espacial descargada del servidor <http://earthexplorer.usgs.gov/>, del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

3.1.1 Mapas de elementos abióticos

El mapa geológico del área fue tomado de UFORGA (1997), del cual se extrajo la información referida a la estructura litológica del municipio. La información inherente al fragmento de roca fue extraída

CUADRO 1. Relación de Indicadores utilizados para la estimación de los sub-índices del modelo IAASD.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Índice	Sub-índice	SI-Id	Factor/indicador	F-Id	Fuente de información
IAASD	Calidad de Vegetación	SICV	Riesgo de incendios	RI	Mapa de Unidades de Vegetación
			Protección contra la erosión	PE	
			Resistencia a la sequía	RS	
			Cobertura de plantas	C	
	Calidad del suelo	SICS	Textura	T	Mapa de suelos
			Profundidad del suelo	P	
			Material parental	MP	Mapa geológico
			Fragmento de roca	FR	Mapa Clases por Capacidad de Uso
			Pendiente	Pe	Mapa de pendiente MDE
	Calidad de manejo	SICM	Intensidad de uso del suelo	IU	Mapa de Unidades de Vegetación
			Política ambiental	PA	Mapa de ABRAE
	Calidad del clima	SICC	Precipitación	Pr	Mapa de Isoyetas medias anuales
			Aridez	A	Mapa de Isotermas medias anuales Mapa de pisos térmicos

del mapa de unidades de suelos elaborado por Concha e Izquierdo (1982). La información sobre la clase textural y la profundidad de los suelos fue extraída del mapa de capacidad de uso del suelo elaborado por Ramírez y Rojas (2013). Por último, el mapa de pendiente fue elaborado a partir del MDE a escala: 1: 250.000 previamente construido por los autores.

Los mapas de isoyetas e isotermas medias anuales fueron elaborados a partir del procesamiento de información climatológica de 3 estaciones disponibles de la zona, cuyas series tienen una longitud de 27 años, extraída de la página web del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH). Luego de su procesamiento, la información fue espacializada a través de operaciones de interpolación espacial en un software de SIG, con la ayuda del Modelo Digital de Elevación, aplicando para ello el método de espacialización isoyético (Aparicio, 1989; Chow *et al.*, 1996), ya que la extre-

madamente baja densidad de estaciones climatológicas hacía imposible optar por un método más riguroso. Adicionalmente, fue elaborado un mapa de pisos térmicos siguiendo los criterios de Silva (2010), con el fin de complementar la información climatológica para derivar el Índice de Aridez de Lang, el cual se estimó a partir de la ecuación:

$$IA = \frac{Pma}{Tma} \quad [2]$$

Donde:

IA: Índice de aridez

Pma: Precipitación media anual (mm)

Tma: Temperatura media anual (°C)

3.1.2 Mapa de cobertura del terreno

El mapa de cobertura del terreno se obtuvo a partir de una imagen de satélite LANDSAT 8 OLI/TIRS, con 30 m de resolución espacial, tomada el 13/01/2015, descargada del servidor <http://earthexplorer.usgs.gov/>, del Servicio Geológico de los Estados Uni-

dos. La imagen fue sometida a preprocesamiento para efectuar correcciones radiométricas (ajuste de posición pixelar) y geométricas (eliminación de ruido en los Niveles Digitales – ND), usando un software especializado. Seguidamente, fue sometida a interpretación para derivar las categorías de cobertura del terreno, utilizando para ello el Índice Normalizado Diferencial de la Vegetación (NDVI), un indicador que mide la relación entre la energía absorbida y emitida por los objetos terrestres; aplicado a las comunidades de plantas, el índice arroja valores de intensidad del verdor de la vegetación, así como de las zonas no vegetadas, permitiendo determinar el estado de vigor de la vegetación presente en la superficie (Chuvieco, 1995). El NDVI es un índice adimensional, por lo tanto sus valores van de +1 a -1, y se calcula a través de la ecuación [3]:

$$NDVI = \frac{(IRCercano - ROJO)}{(IRCercano + ROJO)} \quad [3]$$

Donde:

NDVI: Índice Normalizado Diferencial de la Vegetación

IRCercano: Infrarrojo cercano. Banda 5

Rojo: Banda 4

La clasificación de rangos espectrales para determinar los tipos de cobertura de la tierra se apoyó en: **a)** el reconocimiento previo del área de estudio; **b)** estimación automatizada del NDVI a través de un software especializado; **c)** recodificación de los valores iniciales de NDVI y definición de los rangos de clase espectral para cada tipología de cobertura (fue descartada la técnica de interpretación visual en pantalla para minimizar el sesgo subjetivo del intérprete); **d)** la respectiva validación en campo a partir del chequeo y verificación de puntos de control, obteniendo un nivel de correspondencia y precisión del 94%; y finalmente **e)**, definición de las categorías definitivas (obtención de la leyenda final).

Con los valores NDVI obtenidos y analizados fue posible obtener once (11) categorías de cobertura de la tierra, donde los valores cercanos a +1 representan zonas boscosas o vegetación vigorosa, los valores medios representan coberturas de tipo matorral espinoso y escasa vegetación, mientras los valores menores a 0 generalmente representan los suelos descubiertos y áreas urbanas. El CUADRO 2 muestra las categorías delineadas y los rangos espectrales respectivos que permitieron su discretización.

Finalmente, la variable política ambiental se consideró a través de la presencia en el municipio de zonas bajo algún criterio o figura especial de protección ambiental. A través de análisis cartográfico simple del mapa de ABRAE (Áreas Bajo Régimen de Administración Especial), realizado por UFORGA (1997), se determinó que no existen en el entorno zonas destinadas a la protección ambiental.

3.2 Parametrización de los factores/ indicadores

La fase de parametrización implicó un análisis de cada uno de los factores/variables requeridos por el modelo, a fin de asignar los pesos correspondientes a cada condición posible en el medio físico evaluado. Para ello se utilizaron como base los criterios establecidos por Kosmas *et al.* (1999), los cuales debieron ser cuidadosamente interpretados y adaptados a las condiciones geográficas del entorno, y a la dinámica que cada factor/variable puede generar en un ambiente montañoso tropical como el estudiado. El CUADRO 3 sintetiza las decisiones finales resultantes de la fase de parametrización de los trece factores/indicadores utilizados para el modelo del índice IAASD.

3.3 Modelado final

El proceso de modelado final consistió en la operacionalización matemática del modelo IAASD en

CUADRO 2. Rangos espectrales según los elementos identificados de la cobertura de la tierra a partir de la imagen LANDSAT 8 OLI/TIRS.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Tipo de cobertura	Rangos de NDVI
Bosque denso (Bd)	> +0,371
Áreas cultivadas (Ac)	+0,331 a +0,370
Bosque medio (Bm)	+0,261 a +0,330
Bosque ralo/Helechal (Br/Hc)	+0,231 a +0,260
Matorral espinoso/Cactáceas (Me/Cact)	+0,151 a +0,230
Cactáceas/Matorral espinoso (Cact/Me)	+0,111 a +0,150
Áreas con cobertura vegetal muy escasa (Acve)	+0,001 a +0,110
Áreas descubiertas (Ad)	0 a -0,020
Áreas urbanas (Au)	-0,021 a -0,030
Cuerpos de agua (Ca)	-0,031 a -0,045
Sombras y nubes (Sn)	> -0,046

el contexto de la lógica del análisis espacial cartográfico, procedimiento realizado en tres etapas sucesivas. En la primera etapa fueron espacializados todos y cada uno de los factores/indicadores requeridos por el modelo (CUADRO 1), utilizando los pesos ponderados definidos en el CUADRO 3 para así proceder a la evaluación individual de cada factor/indicador; a través de superposición cartográfica en un software especializado de SIG fueron operacionalizados los factores/indicadores, obteniendo como resultado inicial 13 mapas de susceptibilidad, uno para cada factor/indicador.

La segunda etapa del modelado consistió en la obtención de los sub-índices que conforman la ecuación del modelo IAASD. De acuerdo con la filosofía original del método, tanto los sub-índices como el índice final son estimados a partir de las medias geométricas de cada uno de los factores/indicadores escogidos, debidamente espacializados. Bajo el procedimiento de análisis espacial en un software especializado de SIG fueron operacionalizadas a través de algoritmos las ecuaciones de cada uno de los sub-índices:

- Calidad de la vegetación:

$$SICV = (RI * PE * RS * C)^{1/4}$$

[4]

Donde:

SICV: Sub-Índice de Calidad de Vegetación

RI: Riesgo de incendio

PE: Protección contra la erosión

RS: Resistencia a la sequía

C: Cobertura de plantas

- Calidad del suelo:

$$SICS = (T * P * MP * FR * Pe)^{1/5}$$

[5]

Donde:

SICS: Sub-Índice de Calidad de Suelo

T: Textura del suelo

P: Profundidad del suelo

MP: Material parental

FR: Fragmento de roca

Pe: Pendiente

- Calidad de Manejo:

$$SICM = (IU * PA)^{1/2}$$

[6]

Donde:

SICM: Sub-Índice de Calidad de Manejo

IU: Intensidad de uso del suelo

PA: Política ambiental

CUADRO 3. Síntesis de la parametrización de los factores/indicadores del modelo.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE LA REINTERPRETACIÓN DE LOS CRITERIOS DE KOSMAS ET AL., (1999)

Clase de susceptibilidad	Factor/indicador	Peso de susceptibilidad
Riesgo de incendios (RI)		
Baja	Áreas descubiertas, áreas con cobertura vegetal muy escasa y áreas cultivadas	1
Moderada	Bosque medio y bosque denso	1,3
Alta	Bosque ralo/Helechal	1,6
Muy Alta	Matorral espinoso/Cactáceas y Cactáceas/Matorral espinoso	2
Protección contra la erosión (PE)		
Muy Alta	Bosque denso, bosque medio y bosque ralo/helechal	1
Alta	Matorral espinoso/Cactáceas y Cactáceas/Matorral espinoso	1,3
Baja	Áreas descubiertas y áreas con cobertura vegetal muy escasa	1,8
Muy baja	Áreas cultivadas	2
Resistencia a la sequía (RS)		
Muy Alta	Cactáceas/Matorral espinoso	1
Alta	Matorral espinoso/Cactáceas	1,2
Moderada	Bosque ralo/Helechal	1,4
Baja	Bosque denso y bosque medio	1,7
Muy Baja	Áreas cultivadas, áreas descubiertas y áreas con cobertura vegetal muy escasa	2
Cobertura de Plantas (C)		
Alta	Bosque denso, bosque medio, Bosque ralo/Helechal y áreas cultivadas (Cobertura > 40%)	1
Baja	Matorral espinoso/Cactáceas y Cactáceas/Matorral espinoso (Cobertura entre 10 – 40%)	1,8
Muy Baja	Áreas con cobertura vegetal muy escasa y áreas descubiertas (Cobertura < 10%)	2
Textura (T)		
Buena	A, F, FA, AL, Aa	1
Moderada	L, FL, FAL, FAa	1,2
Pobre	aF, Fa	1,6
Muy Pobre	A	2
Profundidad del suelo (P)		
Profundo	>75 cm	1
Moderado	30 – 75 cm	2
Poco	15 – 30 cm	3
Muy Poco	< 15 cm	4
Material Parental (MP)		
Bueno	Esquistos, pizarra, básica, ultrabásica, conglomerados, no consolidados	1
Moderado	Caliza, mármol, granito, riolita, ingnibrita, gneises, limonita, arenisca	1,7
Pobre	Piroclásticos	2
Fragmento de Roca (FR)		
Alto	>60 %	1
Moderado	20 – 60%	1,3
Bajo	< 20%	2
Pendiente (Pe)		
Ondulada	< 25%	1
Fuerte	25 – 50%	1,5
Muy escarpada	>50%	2
Intensidad de uso del suelo (IU)		
Baja	Bosque denso, bosque medio, áreas con cobertura vegetal muy escasa y áreas descubiertas.	1
Mediana	Bosque ralo/helechal, matorral espinoso/cactáceas y cactáceas/matorral espinoso	1,5
Alta	Áreas cultivadas	2
Política ambiental (PA)		
Completo	> 75% del área bajo protección	1
Parcial	25 – 75% del área bajo protección	1,5
Incompleto	< 25% del área bajo protección	2
Precipitación (Pr)		
1	> 1.000	1
2	500 – 1.000	2
3	< 500	4
Aridez (A)		
1	<50	1
2	50 - 75	1,1
3	75 – 100	1,2
4	100 - 125	1,4
5	125 - 150	1,8
6	>150	2

- Calidad del Clima:

$$SICC = (Pr \times A)^{1/2}$$

Donde:

SICC: Sub-Índice de Calidad de Clima

Pr: Precipitación

A: Aridez

La tercera etapa de modelado espacial consistió en la operacionalización del algoritmo para la ecuación [1], y mediante algebra de mapas en el software especializado de SIG obtener finalmente el Índice IAASD. Según la metodología de Kosmas *et al.* (1999), los valores resultantes de la implementación del algoritmo permiten identificar la susceptibilidad a la desertificación agrupada en cuatro niveles categóricos nominales: crítico, frágil, potencial y no afectado. A su vez, cada uno es definido en uno de tres subniveles de sensibilidad: poco sensible (ps), sensible (s) y altamente sensible (as). Ello es posible mediante el proceso de discretización de los valores resultantes, de acuerdo con los rangos específicos para cada categoría, los cuales aparecen especificados en el CUADRO 4.

CUADRO 4. Valoración del índice de áreas ambientalmente sensibles a la desertificación.

FUENTE: KOSMAS ET AL. (1999)

Tipo	Subtipo	IAASD
Crítico	C3(as)	> 1,53
Crítico	C2(s)	1,42 – 1,52
Crítico	C1(ps)	1,38 – 1,41
Frágil	F3(as)	1,33 – 1,37
Frágil	F2(s)	1,27 – 1,32
Frágil	F1(ps)	1,23 – 1,26
Potencial	P	1,17 – 1,22
No afectado	N	< 1,16

AS= ALTAMENTE SENSIBLE, S=SENSIBLE, PS=POCO SENSIBLE

4. Resultados

[7] La FIGURA 2 muestra la expresión espacial de los cuatro sub-índices del modelo IAASD.

4.1 Calidad de la vegetación

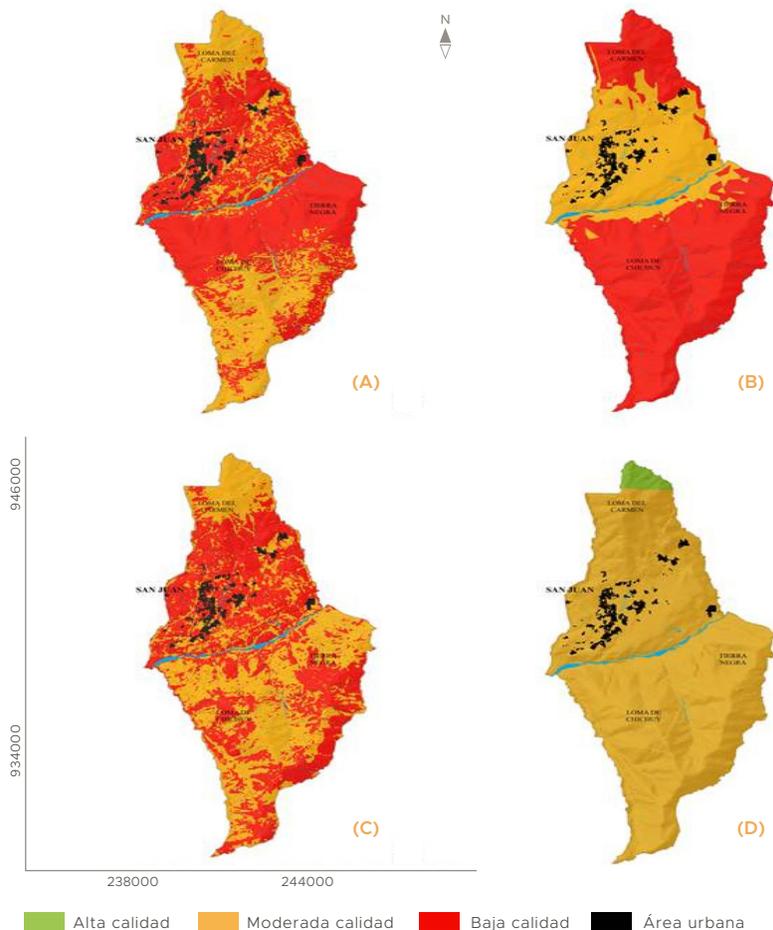
La calidad de vegetación muestra, según los resultados del SICV, dos condiciones (FIGURA 2A): La condición de moderada calidad abarca un 37,19% de superficie; se presenta de forma extensa y homogénea en las partes más elevadas de la parroquia, por encima de los 1.700 msnm, y de manera muy fragmentada en la parte centro-este, en la margen derecha del río Chama. Se corresponde con las tipologías: bosque denso, bosque medio y bosque ralo/helechal, así como también a algunas áreas cultivadas (cañaverales). El tipo y densidad de estas coberturas le confieren una condición altamente favorable a la protección del suelo frente a agentes erosivos, y por ende resultaron con valoración 'muy alta' en la protección a la erosión, y 'alta' en la valoración de cobertura de plantas.

La condición baja calidad resultó espacialmente dominante (59,89%) y ampliamente extendida en la parte media y baja del municipio, y corresponde principalmente a las categorías: matorral espinoso/cactáceas, cactáceas/matorral espinoso, áreas con cobertura vegetal muy escasa, áreas descubiertas y pequeñas áreas de cultivos limpios. Estas categorías presentan una disposición espacial más irregular de densidad notablemente baja, y la condición hídrica del follaje induce a un riesgo de incendio 'muy alto', mientras que las áreas descubiertas y las áreas bajo cultivos limpios resultaron con valoración 'baja' y 'muy baja' en cuanto al factor/variable protección contra la erosión, respectivamente.

4.2 Calidad de suelo

Se observaron dos condiciones de calidad del suelo frente a la desertificación: moderada calidad y baja calidad (FIGURA 2B). Los suelos de moderada calidad abarcan un 33,98% y corresponden principalmen-

FIGURA 2. Expresión espacial de los sub-índices: (A) Calidad de Vegetación; (B) Calidad de suelo; (C) Calidad del Clima; (D) Calidad de Manejo



te al valle intramontano y vega fluvial reciente, donde predominan las geofomas cuaternarias; los suelos de estos sectores fueron ponderados como de 'buena' condición textural, su profundidad es generalmente de tipo 'moderada', y con valores de pendiente < 25%. Por ende, tienen un comportamiento relativamente estable frente a procesos conducentes a la desertificación.

Los suelos de baja calidad son espacialmente dominantes (63,10%); están localizados tanto en

la vertiente derecha que contiene areniscas de la Formación La Quinta, como en la vertiente izquierda que presenta esquistos y cuarcitas de la Asociación Tostós, y gneises y esquistos del Complejo Iglesias. Se trata de suelos 'poco' profundos con clases texturales de condición 'moderada', según los criterios de valoración del factor/variable; el factor/variable crítico es la pendiente, siendo ponderada como 'predominantemente fuerte' (25-50%).

4.3 Calidad de manejo

Se observaron dos condiciones en cuanto a calidad de manejo: moderada calidad y baja calidad (FIGURA 2C). Ambas condiciones mostraron proporciones más o menos similares en cuanto a su expresión espacial. La moderada calidad de manejo (46,77 %) corresponde principalmente a las zonas boscosas naturales, y se distribuye espacialmente en ambas vertientes de la sección del río Chama dentro de los límites de la parroquia, en donde la topografía y la accesibilidad restringen de algún modo la intervención antrópica y en consecuencia la intensidad de uso, factor/variable clave en la evaluación de este sub-índice. La condición de baja calidad de manejo (50,31) corresponde a las zonas intervenidas dedicadas a cultivos y a las coberturas de irregulares y de baja densidad. En éstas, algunas evidencias de intrusión antrópica para pastoreo ocasional, extracción de leña entre otros, puede incidir sobre el aprovechamiento y la ocurrencia de procesos de degradación conducentes a la desertificación.

4.4 Calidad de clima

El subíndice de calidad del clima muestra dos condiciones en la parroquia: alta calidad y moderada calidad (FIGURA 2D). La primera condición abarca solo 1,94% de superficie y corresponde a la zona más alta de la vertiente derecha de la sección del río Chama, por encima de los 1.800 msnm, en donde por efecto orográfico las descargas de precipitaciones superan los 1.000 mm anuales. La condición de moderada calidad resultó ampliamente dominante en el área (95,14% de superficie); la dinámica atmosférica intramontana propia del entorno da cuenta de las bajas precipitaciones, baja nubosidad, alta amplitud térmica diaria y altos niveles de evaporación a lo largo del año, lo que define la condición de semi-aridez propia de la parroquia.

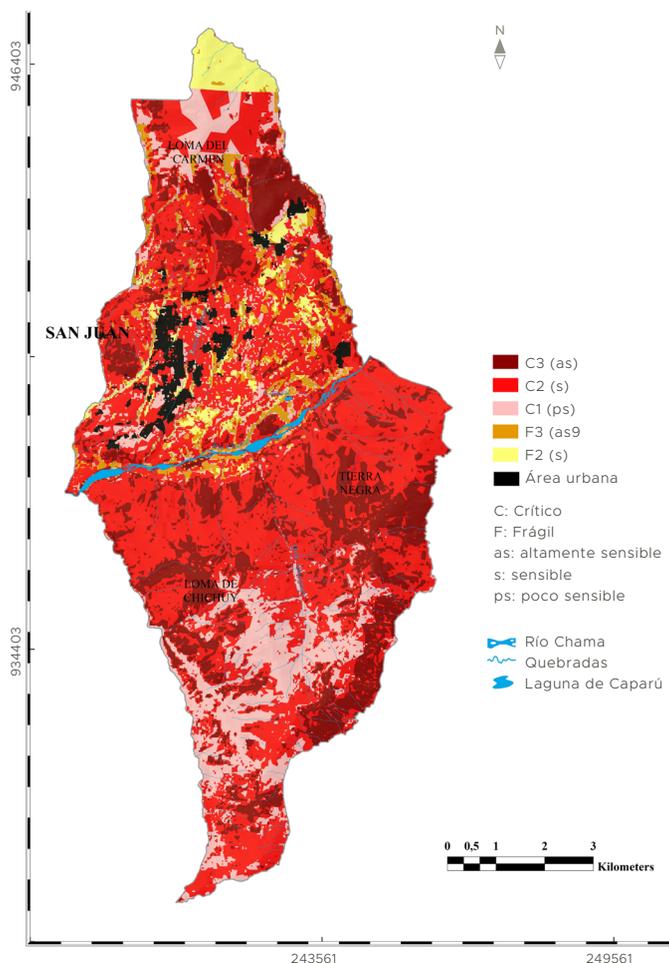
4.5 Índice de Áreas Ambientalmente Sensibles a la Desertificación (IAASD)

La FIGURA 3 muestra la expresión espacial del modelo IAASD, en la que se observa claramente que la parroquia San Juan presenta una condición crítica frente al riesgo de desertificación en sus tres niveles de intensidad: nivel crítico altamente sensible [C3(as)]; nivel crítico sensible [C2(s)], y nivel crítico poco sensible [C1(ps)]. La condición frágil en sus niveles: frágil altamente sensible [F3(as)] y frágil sensible [F2(s)] tiene una expresión espacial mucho más reducida y mayormente confinada a la vertiente derecha del río Chama. Por otra parte, las condiciones: frágil poco sensible [F1 (ps)], potencial (P) y de áreas no afectadas (N), no tienen expresión espacial en la zona. Las estadísticas espaciales básicas derivadas se muestran en el CUADRO 5.

El nivel crítico sensible C2(s) tiene mayor dominancia espacial en la parroquia al ocupar un 50,48% de la superficie total (37,79 km²), (CUADRO 5). En esta condición se incluyen las coberturas: bosque medio y bosque ralo/helechal, las áreas con cobertura vegetal muy escasa, las áreas descubiertas, matorral espinoso/cactáceas y la asociación cactáceas/matorral espinoso; en menor proporción se observan áreas cultivadas y bosque denso. Estas áreas se caracterizan por poseer suelos con una moderada textura (FL, FAL y FAa), y poca a moderada profundidad de los suelos (30 a 75 cm). Existe una dominancia en baja calidad de vegetación y suelo, y una moderada calidad de manejo y clima.

La condición espacialmente subdominante corresponde al nivel crítico altamente sensible C3(as), abarcando un 22,53% del total de superficie (CUADRO 5). En este nivel se incluyen las tipologías de cobertura: cactáceas/matorral espinoso, matorral espinoso/cactáceas, algunas áreas cultivadas y áreas con cobertura vegetal muy escasa, en menor

FIGURA 3. Sensibilidad a la desertificación de acuerdo con el IAASD en la parroquia San Juan



CUADRO 5. Categorías de AASD definidas para la parroquia San Juan.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Áreas Ambientalmente Sensibles a la Desertificación (AASD)			
Tipo	Subtipo	Área (km ²)	Área (%)
Crítico	C3(as)	16,87	22,53
Crítico	C2(s)	37,79	50,48
Crítico	C1(ps)	11,67	15,59
Frágil	F3(as)	3,41	4,56
Frágil	F2(s)	2,94	3,93
Área urbana (No corresponde)	Au	2,18	2,91
TOTAL	-	74,86	100

proporción. En esta condición existen suelos con texturas de moderada calidad (FL, FAL y FAa) y poca profundidad (15 a 30 cm).

El nivel crítico poco sensible C1(ps) es la tercera condición espacialmente relevante, al ocupar un 15,59% de superficie (CUADRO 5). En esta condición se incluyen las categorías boscosas; bosque medio, bosque ralo/helechal y en menor proporción el bosque denso. Los suelos se caracterizan por presentar una moderada textura del suelo (FL, FAL y FAa) con profundidades bajas y moderadas (15 a 75 cm).

Las condiciones: frágil altamente sensible [F3(as)] y frágil sensible [F2(s)] tienen una importancia espacial residual, ocupando 4,56% y 3,93% respectivamente (CUADRO 5).

5. Discusión

La desertificación es un fenómeno catalogado como multicausal, con múltiples factores conducentes, en el que se combinan factores locales o endógenos y otros de origen remoto o exógenos (Le Houérou, 1996; Geist y Lambin, 2004; D'Odorico *et al.*, 2013); no obstante, las metodologías evaluativas como la utilizada en este trabajo han sistematizado los agentes causales en un grupo de factores que tienen una mayor carga explicativa en la génesis y desarrollo de procesos conducentes a la desertificación. Por ello, resulta lógico y conveniente que los resultados de esta investigación den paso a futuros análisis más detallados y comprensivos en los que los demás factores condicionantes sean debidamente analizados.

Tal como ha quedado reflejado en este trabajo, los subíndices establecidos para la estimación del IAASD tienen diferencias intrínsecas en cuanto a la cantidad de factores/variables requeridos para su estimación. Los subíndices de calidad de vegetación y de suelos requieren un mayor número de factores/variables involucradas en el cálculo, lo

cual es un indicativo no solo del nivel de importancia de la vegetación y el suelo en la dinámica del proceso estudiado, sino que además da muestra de que ambos sub-índices logran una mayor discriminación espacial del elemento biofísico. El subíndice de calidad del clima, aunque simple en su estimación, resulta de vital importancia en el modelo, dada la importancia sustantiva del clima como elemento biofísico catalizador de los procesos generadores de desertificación (Le Houérou, 1996; López, 2006; Geist y Lambin, 2004; D'Odorico *et al.*, 2013). El subíndice calidad de manejo, no menos relevante en la evaluación, requiere en principio de muy pocas variables para su estimación, pero la información requerida suele ser difícil de levantar, sobre todo en países como el nuestro, en donde las estadísticas oficiales no han sido debidamente actualizadas, y en muchos casos la calidad de la información disponible es dudosa.

En la parroquia San Juan, la dominancia absoluta de condiciones críticas para la dinamización de la desertificación está dada por la concurrencia de las siguientes condicionantes:

5.1 El clima

La dinámica intramontana de los elementos del clima determinan la condición propia del denominado Bolsón Semiárido de Lagunillas, cuyas características fueron ya descritas en el punto 2. Las escasas precipitaciones, bajos niveles de nubosidad, la dinámica de circulación de los vientos y altos niveles de evaporación son responsables de la conformación de un paisaje seco-semiárido en el sector. Autores como: Rojas (1970), Pérez (1994), Graterol y Molina (2000) y Rincón (2005) han destacado el papel del clima en las condiciones paisajísticas del entorno y de su influencia en la estructura, fisonomía y distribución de la vegetación seca y semixerofítica propia de los sectores medio y bajo de la parroquia San Juan. De acuerdo con D'Odorico *et al.* (2013), los ambientes secos y

semi-áridos se caracterizan por una marcada variabilidad estacional e interanual de los elementos climáticos, con lo cual, ante la notable influencia de los eventos ENSO/ANTIENSO en nuestro país, sobre todo en la región de los Andes (Guevara, 2006), es de suponer que este sector sea particularmente sensible a las anomalías negativas de precipitación y positivas de temperatura, propias de los años con eventos NIÑO o ENSO. Esta dinámica climática tiene importantes implicaciones no solo edáficas, sino también ec hidrológicas (Le Houérou, 1996; Puigdefábregas, 1998; D'Odorico *et al.*, 2013; Sutton *et al.*, 2016).

5.2 La topografía

Es bien sabido que la altitud constituye un factor geográfico de diferenciación espacial por excelencia (Zinck, 2012). La condición topográfica de la parroquia determina su morfología, la dinámica climática y su diferenciación espacial, y la distribución y diversidad de coberturas vegetales. De hecho, en la parroquia San Juan las masas boscosas se ubican en los extremos norte y sur, coincidiendo con las máximas altitudes de las sierras La Culata y Sierra Nevada, respectivamente. La expresión espacial de la pendiente juega en este caso un papel crucial en la definición del riesgo de erosión, siendo por tanto una variable decisiva en el resultado del subíndice calidad de suelo, y tiene alto peso en los resultados finales del IAASD obtenidos en la parroquia.

5.3 La Vegetación

La degradación de suelos y tierras está directamente asociada a la reducción inicial de la cobertura vegetal (D'Odorico *et al.*, 2013). De hecho, para Le Houérou (1996), la causa directa de la desertificación está asociada generalmente con la drástica reducción o destrucción de la vegetación perenne, o con la simplificación de la estructura de la vegetación. En la parroquia San Juan, la alteración

o supresión parcial o total de la vegetación, especialmente en las laderas disectadas, es el principal elemento que condiciona el carácter crítico del entorno frente a la dinamización de la desertificación, ya que al existir suelos generalmente poco profundos, su exposición parcial o total a los agentes erosivos y a la gravedad, implican en principio su pérdida de material por efecto de la erosión, desencadenando una serie de procesos adversos en los suelos tales como: disminución del carbón orgánico, deterioro de la estructura, compactación, reducción de la permeabilidad, disminución de la actividad biológica, alteración del albedo, etc.

5.4 La dinámica antropógena

Ramírez y Rojas (2013) dan cuenta de la dinámica demográfica experimentada por la parroquia en las últimas décadas, la cual ha estado signada por: **1)** políticas públicas sectoriales de inversión del Estado, las cuales proporcionaron la atracción de la población hacia esta región a principios de los ochenta; **2)** expansión de la carretera Trasandina en ambos sentidos a mediados de los ochenta; **3)** la instalación de la Aduana Principal del Estado Mérida y de la Zona Libre Cultural Científica y Tecnológica del Estado Mérida (ZOLCCYT) en los noventa, y **4)** en los últimos años la parroquia progresivamente se ha ido integrando y configurando como parte del área de expansión urbana de la ciudad de Mérida.

Tal como se dijo anteriormente, al menos el 90 % de la población de la parroquia se encuentra asentada en la zona norte o vertiente derecha del río Chama, específicamente en las zonas bajas de esta vertiente sobre geoformas cuaternarias (terrazas aluviales), en las cuales las características físicas del terreno condicionan los medios óptimos para el desarrollo de las actividades humanas. Este proceso de ocupación y expansión urbana de las zonas bajas ha ido progresivamente desplazando

a la actividad agrícola, otrora dominante en esta parte de la parroquia. Para Geist y Lambin (2004), tanto el crecimiento urbano como la notable influencia económica de la población urbana induce a los agricultores y pastores de bajos recursos a desplazarse hacia las zonas periurbanas, ocupando tierras marginales. Ello resulta más dramático en regiones intramontanas como la aquí estudiada, en donde la escasez de tierras aptas para asentamientos, confinadas a las acumulaciones cuaternarias del sector medio de la parroquia, podría estar literalmente forzando a los agricultores a desplazarse hacia las laderas inclinadas, en donde la susceptibilidad a la degradación está altamente favorecida por la pendiente. Este proceso en particular seguramente requerirá de mayor atención y análisis en el futuro cercano.

6. Conclusiones

Los resultados demostraron que la parroquia San Juan presenta una amplia dominancia (88,60% de superficie) de sensibilidad crítica a la desertificación en sus tres subtipos: altamente sensible, sensible y poco sensible, dejando claro que los cambios que ocurran en las coberturas del terreno, y que modifiquen la condición protectora de los suelos por parte de la vegetación, desencadenarían procesos de degradación de suelos facilitando así el avance

de condiciones ambientales que inducen al paisaje hacia una transición a condiciones desérticas.

Los subíndices de calidad de vegetación y de suelo son los que ejercen mayor influencia en los resultados, al lograr una mayor discriminación y análisis de ambas variables a nivel espacial, y por la elevada carga explicativa que ambos poseen en la dinámica de ocurrencia de la desertificación en este entorno.

Uno de los principales inconvenientes que presentan los métodos diacrónicos multifactoriales es que los mismos usualmente carecen de intervalos de confianza que protejan los resultados desde el punto de vista estadístico. De igual forma, la complejidad de los procesos inmersos en esta evaluación y la baja disponibilidad de información de muchas de las variables requeridas hace igualmente difícil la validación y calibración de los métodos utilizados.

Si bien los resultados son concluyentes y contundentes, éstos deben dar paso a investigaciones más detalladas que permitan monitorear rigurosamente los procesos de ocupación que ocurren en la parroquia, y muy particularmente, los cambios que experimentan las coberturas vegetales; ello es crucial para precisar la intensidad con la que los procesos de degradación pudiesen conducir a una amplificación espacial de la desertificación en el futuro.

7. Referencias citadas

- APARICIO, F. 1989. *Fundamentos de hidrología de superficie*. Editorial Limusa S.A. Ciudad de México, México.
- BRANDT, J.; GEESON, N. & A. IMESON. 2003. *A desertification indicator system for Mediterranean Europe*. DESERTLINKS Project. UK.
- CHASEK, P.; SAFRIEL, U.; SHIKONGO, S. & V. FUTRAM. 2015. "Operationalizing Zero Net Land Degradation: The next stage in international efforts to combat desertification?". *Journal of Arid Environments*, 112(Part A): 5-13.
- CHOW, V.; MAIDMENT, D. y MAYS, L. 1996. *Hidrología Aplicada*. Mc Graw-Hill S.A. Ciudad de México, México.

- CHUVIECO, E. 1995. *Fundamentos de la teledetección espacial*. Segunda Edición. Ediciones Rialp, S.A. Madrid, España.
- CONCHA, M. y S. IZQUIERDO. 1982. *Clasificación de tierras con fines agrícolas. Aplicación del Index de Storie*. Sector San Juan de Lagunillas. Escuela de Geografía Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. Trabajo Especial de Grado. (Inédito).
- D'ODORICO, P.; BHATTACHAN, A.; DAVIS, K.; RAVI, S. & CH. RUNYAN. 2013. "Global desertification: Drivers and feedbacks". *Advances in Water Resources*, 51: 326-344.
- FLORES, B.; FLORENTINO, A.; FERRER, J.; VALERA, A. e I. MAZA. 2010. "Áreas ambientalmente sensibles a la desertificación en la microcuenca Callecitas, estado Guárico". *Agronomía Tropical*, 60: 241-253.
- GEIST, H. & E. LAMBIN. 2004. "Dynamic causal patterns of desertification". *BioScience*, 54(9): 817-829.
- GRATEROL G. y L. MOLINA. 2000. *Identificación, evaluación y representación del proceso de desertificación bajo un sistema de información geográfico (Sector semiárido Ejido-Estanques-Estado Mérida)*. Escuela de Geografía. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. Trabajo Especial de Grado. (Inédito).
- GUEVARA, E. 2006. The influence of El Niño Phenomenon on the climate of Venezuela. *Paper presented at AGU Hydrology Days*. Fort Collins. Colorado, USA. (20-22 March).
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA INE (INE). 2011. *Censo de Población y Vivienda de los años: 2001 y 2011*. Caracas, Venezuela.
- KOSMAS C.; KIRKBY, M A. & N. GEESON (Ed). 1999. *The Medalus project: Mediterranean Desertification and Land Use. Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification*. European Commission Project Report, EUR 18882. Brussels.
- LE HOUÉROU, H. 1996. "Climate change, drought and desertification". *Journal of Arid Environments*, 34: 133-185.
- LEÓN, F. y C. SOTO. 1982. *Implicaciones en algunas variables físico-geográficas en la detección de futuras áreas de expansión urbana, el caso de Lagunillas-San Juan, estado Mérida*. Escuela de Geografía. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. Trabajo Especial de Grado. (Inédito).
- LI, D.; XU, D.; WANG, Z.; DING, X. & A. SONG. 2018a. "Ecological compensation for desertification control: A review". *Journal of Geographical Sciences*, 28(3): 367-384.
- LI, J.; HAN, L.; LIU, Y.; ZHANG, G & Z. WU. 2018b. "Insights on historical expansions of desertification in the Hunlun Buir and Horqin deserts of Northeast China". *Ecological Indicators*, 85: 944-950.
- LÓPEZ, F. 2006. "Desertificación, un riesgo ambiental global de graves consecuencias". *Revista C&G*, 20(3-4): 61-71.
- MARTINEZ-VALDERRAMA, J.; IBAÑEZ, J.; DEL BARRIO, G.; SANJUÁN, M.; ALCALÁ, F.; MARTINEZ-VICENTE, S.; RUIZ, A. & J. PUIGDEFÁBREGAS. 2016. "Present and future of desertification in Spain: Implementation of a surveillance system to prevent land degradation". *Science of the Total Environment*, 563-564: 169-178.
- OPARA, J.; BABAGANA, M. & A. ADAMU. 2018. "Environmental health, desertification and sustainable development in North Eastern Nigeria: A socio-economic impact assessment". *Academy of Agriculture Journal*, 3(1): 173-186.

- PÉREZ, R. 1994. *Relaciones entre procesos geomorfológicos y precipitación máximas extremas en vertientes semiáridas de la Cuenca Media del río Chama, estado Mérida*. Escuela de Geografía. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. Trabajo Especial de Grado. (Inédito).
- PUIGDEFÁBREGAS, J. 1998. "Ecological impacts of Global Change on Drylands and their implications for Desertification". *Land Degradation & Development*, 9: 393-406.
- RAMÍREZ, R. y N. ROJAS. 2013. *Dinámica de crecimiento urbano y ocupación del espacio en Lagunillas y San Juan de Lagunillas del municipio Sucre, estado Mérida*. Escuela de Geografía. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. Trabajo Especial de Grado. (Inédito).
- REYNOLDS, J.; STAFFORD, D.; LAMBIN, E.; TURNER, B.; MORTIMORE, M.; BATTERBURY, S.; DOWNING, TH.; DOWLATABADI, H.; FERNANDEZ, R.; HERRICK, J.; HUBER-SANNWALD, E.; JIANG, H.; LLEMANS, R.; LYNAM, T.; MAESTRE, F.; AYARZA, M. & B. WALKER. 2007. "Global desertification: Building a science for dryland development". *Science*, 316: 847-851. (DOI: 10.1126/science.1131634). [Consulta: febrero, 2018].
- RINCÓN, T. 2005. *Identificación y evaluación del proceso de desertificación en la sub-cuenca La Maruchí, municipio Sucre del estado Mérida*. Escuela Técnica Superior Forestal. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. Informe Final de Pasantía. (Inédito).
- RODRIGUEZ, M.; MOREIRA, J.; QUIJADA, J.; CORZO, M. e Y. GIL. 2008. Evaluación y seguimiento multitemporal de la desertificación a través del sistema de información geográfica ambiental de Andalucía. *XIII Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica*. Área Temática 2: Erosión de suelos y desertificación. 399-402. Las Palmas de Gran Canaria, España.
- ROJAS, J. 1970. *El paisaje semiárido de la cuenca media del río Chama*. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Escuela de Geografía. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. Trabajo Especial de Grado. (Inédito).
- SALVATI, L.; MAVRAKIS, A.; COLANTONI, A.; MANCINO, G. & A. FERRARA. 2015. "Complex adaptive systems, soil degradation and land sensitivity to desertification: A multivariate assessment on Italian agro-forest landscape". *Science of the Total Environment*, 521-522: 235-245.
- SILVA, G. 2010. *Tipos y subtipos climáticos de Venezuela*. Universidad de Los Andes. Escuela de geografía. Mérida, Venezuela. Trabajo de Ascenso (Inédito).
- SUTTON, P.; ANDERSON, S. H.; CONSTANZA, R. & I. KUBISZEWSKI. 2016. "The ecological economics of land degradation: Impacts on ecosystem service values". *Ecological Economics*, 129: 182-192.
- TÓTH, G.; HERMANN, T.; DA SILVA, M. & L. MONTANARELLA. 2018. "Monitoring soil for sustainable development and land degradation neutrality". *Environmental Monitoring Assessment*, 190: 57 [https://doi.org/10.1007/s10661-017-6415-3.] [Consulta: febrero, 2018].
- UFORGA. 1997. *Evaluación ambiental-territorial del ámbito geográfico de la zona libre cultural, científica y tecnológica del estado Mérida*. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela (Inédito).
- UN. 2015. *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015. pp: 35. United Nations, USA.

- UNITED NATIONS CONVENTION TO COMBAT DESERTIFICATION. INTERGOVERNMENTAL NEGOTIATING COMMITTEE FOR A CONVENTION TO COMBAT DESERTIFICATION (UNCCD). 1994. *Elaboration of an International Convention to Combat Desertification in Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa*. UN, Doc. A/AC.241/27,33 I.L.M. 1328. New York, USA.
- VIEIRA, R.; TOMASELLA, J.; ALVALÁ, R.; SESTINI, M.; AFFONSO, A.; RODRIGUEZ, D.; BARBOSA, A.; CUNHA, A.; VALLES, G.; CREPANI, E.; DE OLIVEIRA, S.; DE SOUZA, M.; CALIL, P.; DE CARVALHO, M.; VALERIANO, D.; CAMPELLO, F. & M. SANTANA. 2015. "Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast". *Solid Earth*, 6: 347-360.
- ZINCK, A. 2012. *Geopedología. Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales*. ITC Special Lecture Notes Series. Enschede, The Netherlands.