



ISSN 1011-484X
e-ISSN 2215-2563

REVISTA GEOGRÁFICA DE AMÉRICA CENTRAL

65 (2)

Julio-diciembre 2020

ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR



CONTENIDO

CONTENTS

Pág.

PRESENTACIÓN

PRESENTATION

Lilliam Quirós Arias

Consuelo Alfaro Chavarría.....9

TEORÍA, EPISTEMOLOGIA Y METODOLOGIA

THEORY, EPISTEMOLOGY AND METHODOLOGY

Estimación de la temperatura superficial en imágenes históricas Landsat 5 mediante corrección atmosférica monocanal en el térmico para la cuenca del río Tempisque-Bebedero (Costa Rica).

Estimation of the surface temperature in Landsat 5 historical images by means of single-channel atmospheric correction in the thermal for the Tempisque-Bebedero river basin (Costa Rica)

Rubén Martínez-Barbáchano.....17

A construção de políticas públicas para a sustentabilidade urbana

Contributions from genetic conservation to the improvement of urban green spaces

La construcción de políticas públicas para la sostenibilidad urbana

Alex Dias da Silva.....33

Integrando el concepto de servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial

Integrating the concept of ecosystem services in territorial planning

Daniel Francisco Avendaño Leadem

Betsy Cristina Cedeño Montoya

Michael Steven Arroyo Zeledón.....63

ESTUDIOS DE CASO

CASE STUDIES

Cambios en la superficie sembrada de palma aceitera en el cantón de Osa, Puntarenas. Período 2014-2018

Changes in the area cultivated with oil palm in the canton of Osa, Puntarenas. 2014-2018 period

Denis Mauricio Salas González 93

Diferenciación de tierras agrícolas en el municipio de Tequisquiapan, Querétaro.

Differentiation of agricultural lands in the municipality of Tequisquiapan, Querétaro.

Genaro Aguilar Sánchez 121

Soja, glifosato y salud humana. Algunas evidencias en el Chaco Seco Argentino (1990 - 2012)

Soy, glyphosate and human health. Some evidence in the Argentinian Dry Chaco Region (1990-2012)

Fernando Longh

Sebastian Bianchi 145

El periurbano de Mar del Plata (Argentina): clasificación digital de los usos del suelo y análisis de las transformaciones en el cinturón hortícola

The peri-urban Mar del Plata (Argentina): digital classification of land uses and analysis of transformations in the horticultural belt

Daiana Yael Daga

Laura Zulaica

Patricia Vazquez 175

Estimación del impacto potencial de la contaminación difusa por métodos simplificados en el Área de Protección de Flora y Fauna, Pico de Tancítaro, Michoacán, México.

Estimation of the potential impact of diffuse pollution (non-point source pollution) by simplified methods in the Area of Protection of Flora and Fauna, Pico de Tancítaro, Michoacán, Mexico

Alberto Ortiz Rivera

José de Jesús Alfonso Fuentes Junco.....207

Abordagem sintética do cenário de desmatamento no Haiti: uma aparente relação com os eventos extremos

Systemic approach to the phenomenon of deforestation in Haiti: an apparent relationship with natural disasters.

Enfoque sistémico del fenómeno de deforestación en Haití: una relación aparente con catástrofes naturales

Ralph Charles,

Regina Célia de Oliveira,

Rafael Vinícius São José239

Estudo comparativo dos dados de precipitação do satélite TRMM e postos pluviométricos no estado do Ceará, Brasil

Comparative study of precipitation data from the TRMM satellite and pluviometric stations in the state of Ceará, Brazil

Estudio comparativo de los datos de precipitación del satélite TRMM y postos pluviométricos en el estado del Ceará, Brasil

Jose Reginaldo Medeiros-Feitosa

Carlos Wagner Oliveira257

Efectos del cambio climático en la distribución del bosque de oyamel

Effects of climate change on the distribution of oyamel forests.

Gabriel Alexis Araiza Olivares281

Didáctica en ingeniería, ciencias básicas y avanzadas (ICBA) para procesos de remoción en masa: el papel de la Geografía
Didactics in engineering, basic and advances sciences (ICBA) for mass removal processes: the role of Geography
Eduardo Teófilo-Salvador301

Normas de publicación327



PRESENTACIÓN PRESENTATION

La **REVISTA GEOGRÁFICA DE AMÉRICA CENTRAL** es una publicación de la Escuela de Ciencias Geográficas de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar de la Universidad Nacional, Costa Rica, publicada periódicamente por la Editorial de la Universidad Nacional (EUNA) desde su creación en 1974.

La revista es realizada para difundir la Ciencia Geográfica y afines en todos los ámbitos, mediante la publicación de trabajos originales, informes inéditos, o adelantos de investigación que tengan especial relación con América Central, abordando temáticas propias de la Geografía: estudios regionales, problemáticas urbano/rural, ordenamiento territorial, recursos naturales y su relación con el medio geográfico, manejo de cuencas hidrográficas, ciencias de la información geográfica, análisis demográfico, temas relacionados con epistemología y la enseñanza de esta disciplina. Además, constituye un foro de expresión de la opinión profesional y de la discusión académica, y como tal, en él tienen cabida todos los aportes científicos que alcancen esta finalidad.

Esta oportunidad, corresponde a la publicación No.65 de la Revista Geográfica de América Central del II semestre de 2020 (julio-diciembre). Incluye 12 artículos ubicados en las diferentes secciones de la revista: teoría, epistemología y metodología, estudios de caso y notas, y documentos. Está disponible en versión impresa y digital, esta última se puede encontrar en el siguiente link <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica>.

En el primer artículo se presenta una metodología de obtención de temperatura superficial a partir de una serie temporal de imágenes Landsat-5 TM, adquiridas en el año 2001 sobre el Pacífico norte de Costa Rica.

Se muestran los distintos algoritmos que pueden utilizarse para la estimación de temperatura superficial a partir de datos Landsat con el método monocanal por la función inversa de Planck. Aspectos como la transmisividad media de la atmósfera, la radiancia ascendente y descendente, o la emisividad de la superficie terrestre fueron tomados en cuenta, previamente al cálculo de la temperatura de brillo de las imágenes. En las últimas décadas la utilización de imágenes satelitales se ha incrementado al punto de constituir una herramienta fundamental en el monitoreo de procesos ambientales y de cambio global.

En el segundo artículo se investiga la constitución de políticas gubernamentales que promuevan la agricultura urbana, como instrumento de sostenibilidad urbana, en la ciudad de João Pessoa-PB. Como fenómeno reciente, se analiza la presencia de un marco legislativo específico para la promoción de la agricultura urbana. La metodología utilizada fue la investigación cualitativa, descriptiva y de naturaleza exploratoria. El trabajo reveló la existencia de políticas públicas que el gobierno municipal ha estado promoviendo, desde 1993, el desarrollo de acciones dirigidas a la gestión y mejora de las prácticas de agricultura urbana.

El tercer artículo realiza un análisis sobre la importancia del abordaje de los servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial, iniciando con una revisión bibliográfica del concepto de servicios ecosistémicos y los beneficios que se obtienen al trabajar bajo este enfoque, incluyendo las principales formas de clasificación de dichos bienes y servicios. Se repasa el concepto y los objetivos de ordenamiento territorial y cómo el plan regulador se constituye como la principal herramienta para incidir en el territorio en Costa Rica, para luego analizar la importancia del ordenamiento para garantizar la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos y por lo tanto la necesidad de considerar dichos servicios en los procesos de planificación del territorio sin omitir los desafíos que implica este abordaje. Se evidencia que aún falta mucho camino por recorrer en este ámbito, destacando que la incorporación del enfoque de servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial se torna imperativo para alcanzar los objetivos de desarrollo sustentable.

El cuarto artículo analiza el cambio en la superficie sembrada con palma aceitera en el cantón de Osa, provincia de Puntarenas en el periodo 2014-2018 y evaluar la expansión del cultivo de palma aceitera en los

distritos del cantón. Se analizaron datos de instituciones gubernamentales y, se identificaron y digitalizaron las plantaciones de palma aceitera de los seis distritos del cantón de Osa. La expansión del cultivo de palma de aceite aumentó en Costa Rica y de acuerdo con la tendencia de los últimos años, seguirá en aumento. En los últimos años se han realizado censos y encuestas agropecuarias que muestran el crecimiento general, pero no detallan las áreas geográficas donde se da ese crecimiento y el consecuente impacto a la dinámica natural de las áreas cultivadas, información clave para los procesos de ordenamiento territorial regional y local que tenemos en el país.

El **quinto artículo** efectúa una diferenciación de tierras, según el condicionamiento ambiental, para después valorar y clasificar los tipos de tierra. La metodología se basa en la clasificación de tierras, propuesta por la (FAO, 1997). Como resultado se obtienen 7 clases de tierras: clase I, cuya limitante es el clima semiseco, al igual que las clases II y III, donde la profundidad del suelo, son poco limitantes, para la producción agrícola. En las clases IV y V, además, de las piedras, poca profundidad del suelo, clima semiseco, tiene relevancia la inclinación del terreno de más del 15 %, que se puede usar para el pastoreo de ganado. En las clases VI y VII cobra importancia la alta cantidad de rocas, > 50 % de pedregosidad; así como una inclinación mayor del 25 %, se recomienda que se usen (¿las piedras? para la preservación de la vegetación. El municipio de Tequisquiapan, estado de Querétaro, México, ha tenido cambios en el uso de la tierra por el crecimiento urbano.

El sexto artículo muestra como en las últimas décadas del siglo XX y las primeras del siglo XXI el Chaco Seco Argentino (conocido también como Chaco Salteño o Umbral al Chaco), atravesó un intenso proceso de deforestación asociado al avance de la frontera agropecuaria. El paquete soja transgénica-glifosato (su herbicida asociado) fue el principal protagonista de dicho proceso. En el amplio debate existente sobre los efectos del glifosato sobre la salud humana no es suficiente la evidencia epidemiológica sobre dicha relación. Estos son los principales aportes de esta propuesta, los cuales operan sobre bases estadísticas de mortalidad.

El séptimo artículo identifica los usos del suelo presentes en el periurbano de Mar del Plata hacia el año 2018 y caracteriza la evolución de la actividad hortícola desde sus inicios hasta la actualidad. En el Partido se

clasificaron sobre imágenes satelitales 6 usos principales, entre los cuales las “áreas hortícolas” abarcan apenas un 7 %, pero contribuyen significativamente a la economía local. A partir del análisis de la expansión e intensificación de estas áreas, se espera profundizar en los impactos generados por la actividad hortícola, a fin de alcanzar una mayor sustentabilidad en el territorio local. La sustentabilidad de las ciudades constituye uno de los propósitos más relevantes de los últimos tiempos. En ese contexto, las áreas periurbanas adquieren un rol prioritario, ya que conjugan problemáticas sociales y ecológicas asociadas con las actividades que allí se desarrollan.

En el octavo artículo se calculó el Índice Modificado de Contaminación No Puntual (MPNPI), en el Área de Protección de Flora y Fauna, Pico de Tancitaro, Michoacán, durante tres años con diferentes condiciones de precipitación 2004, 2007 y 2014. En esta área se encuentran 16 cuencas para la región, dentro de estas existen 10 localidades de la tipología Físico-Geográfica del estado de Michoacán. La forma de calcular el índice MPNPI requiere de cuatro indicadores: Uso del Suelo (LCI), Escorrentía (ROI), Distancia (DI) y Precipitación Anual (API). Los resultados indican que las cuencas con categorías de potencial de contaminación difusa que va del Medio a Muy alto, con coincidencia espacial durante los tres años son Chuanito, Chondo y Cutio al noroeste; San Francisco y Huandiestacato al norte; Apo y Cuenca Rodada al oeste; al interior localidades físico-geográficas, XLIV, XVII y LX, esta conjunción permite delimitar espacios con características ambientales homogéneas dentro de la cuenca, esto ayuda a priorizar unidades que requieren implementar medidas de mitigación de la contaminación difusa hacia los sistemas acuáticos.

El noveno artículo tiene como objetivo analizar la negación en este territorio, buscando presentar una relación aparente con el grado de devastación forestal y la alta sensibilidad de este país en relación con eventos extremos. Los principales resultados muestran que este escenario de alta degradación ambiental puede tener un gran peso en la sensibilidad ambiental del país y su susceptibilidad a eventos físicos frecuentes. La deforestación se considera uno de los problemas ambientales más graves de la actualidad, porque, además de los bosques devastadores y los recursos naturales, compromete el equilibrio del planeta en sus diversos elementos, incluidos los ecosistemas, que afectan gravemente a la economía y la sociedad. En Haití, la deforestación comenzó en el período de colonización

que resultó en el reemplazo del bosque virgen para plantar otros cultivos, lo que en consecuencia cambió el funcionamiento sistémico del paisaje.

El décimo artículo compara los datos de lluvia de las estaciones pluviométricas de la Fundación Cearense de Meteorología y Recursos Hídricos (FUNCEME), con las estimaciones de precipitación del satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), entre el 1 de enero de 1998 y 31 de diciembre de 2017, totalizando veinte años de análisis para todo el estado de Ceará, Brasil. Considerando, que esta región se caracteriza por el clima semiárido y la irregularidad de las lluvias a lo largo del tiempo, que comprometen la agricultura, el abastecimiento público y otros sectores. En este sentido, investigaciones que promuevan el Desarrollo Sostenible dan subsidios para la implementación de nuevas políticas públicas dirigidas a la sostenibilidad hídrica de la región. La metodología utilizó las técnicas de comparación del píxel a punto (A y B), punto a píxel (C), y píxel a píxel (D), junto con la ayuda del interpolador Inverso del peso de la distancia (IDW), en la segunda etapa, los datos fueron analizados por medidas métricas de exactitud: Error Medio Absoluto (EMA), Raíz del Error Medio cuadrático (REMQ) y el Coeficiente de correlación (r). Los resultados de los análisis, indicaron que la utilización de las imágenes del satélite TRMM se presentó como buena alternativa con el EMA de 16,46mm en la media, el REMQ de 26,78 mm y la correlación de 0,96.

En el décimo primer artículo contextualiza la importancia de los bosques de oyamel, constituyen un gran reservorio de biodiversidad ya que albergan cientos de especies de flora y fauna. Así mismo, cumplen la función de importantes sumideros de carbono y captadores de agua, además de poseer un importante potencial económico puesto que proporcionan materias primas para varias industrias, entre otros servicios ambientales. A pesar de que el cambio climático no es un fenómeno inédito, la velocidad observada en la actualidad hace pensar que su origen no es natural sino antrópico. Este trabajo proyecta los efectos a largo plazo que el cambio climático, de acuerdo al modelo REA, tendría sobre la extensión y distribución de los bosques de oyamel en el Sistema Volcánico Transversal. Los resultados se dividieron en cinco categorías (Muy adecuado, Adecuado, Moderadamente adecuado, Poco adecuado y No adecuado), en función a las condiciones ombrotérmicas de los diferentes forzamientos radiativos del modelo mostraron una sensible disminución en cuanto a la

extensión territorial ocupada por este ecosistema, a la vez que se observa un ascenso altitudinal en su distribución.

Finalmente, el décimo segundo artículo tiene como objetivo delimitar los alcances técnicos y metodológicos para el estudio de los procesos de remoción en masa, en la enseñanza de la ingeniería, ciencias básicas y avanzadas, así como las relaciones interdisciplinarias con la geografía. Para ello, se realizó una revisión histórica de procesos geológicos, se caracterizaron los métodos y técnicas, se aplicaron los tipos de muestreos de suelo, también se evaluó la modelación e interpretación con mapas (y finalmente), la eficiencia de los modelos. La geografía, ingeniería y ciencias de la tierra juegan un rol primordial en el estudio de estos fenómenos, sin embargo, la economía es afectada y se refleja en la sociedad. Es difícil, controlar la dinámica del clima en la generación de procesos geológicos superficiales no obstante, es conveniente conocer varias metodologías que permitan conceptualizar el proceso de remoción de masas para generar más de una solución a un problema particular.

De esta forma, se aprovecha para invitarlos a visitar el sitio electrónico de la revista (<http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica>), donde encontrarán en formato PDF, HTML y EPUB. Adicionalmente, con mucho agrado les comunicamos que a partir del año 2019 la Revista Geográfica de América Central ha sido indexada en SCIELO, además de las indexaciones en LATINDEX, REDALYC, DIALNET, DOAJ, REDIB entre otras.

Esperamos que este número sea de gran utilidad para todos los interesados en los estudios geográficos y los invitamos a enviar sus aportes.

Saludos cordiales,

MSc. Lilliam Quirós Arias
Mag. Consuelo Alfaro Chavarría



**TEORÍA, EPISTEMOLOGÍA
Y METODOLOGÍA**

**THEORY, EPISTEMOLOGY
AND METHODOLOGY**



Estimación de la temperatura superficial en imágenes históricas Landsat 5 mediante corrección atmosférica monocanal en el térmico para la cuenca del río Tempisque-Bebedero (Costa Rica)

Estimation of the surface temperature in Landsat 5 historical images by means of single-channel atmospheric correction in the thermal for the Tempisque-Bebedero river basin (Costa Rica)

Rubén Martínez-Barbáchano¹

Universidad de Costa Rica, Costa Rica

Resumen

En las últimas décadas la utilización de imágenes satelitales se ha incrementado al punto de constituir una herramienta fundamental en el monitoreo de procesos ambientales y de cambio global. En tal sentido, la importancia histórica de la familia de satélites Landsat marca un hito en 1985 con la introducción del sensor *Thematic Mapper*, que ofrecía la posibilidad a los usuarios de adquirir información de una base histórica de más de 25 años de imágenes térmicas a 120 metros de resolución espacial. El presente trabajo se presenta como una metodología de obtención de temperatura superficial a partir de una serie temporal de imágenes Landsat-5 TM adquiridas en el año 2001 sobre el Pacífico norte de Costa Rica. Se presentan los distintos algoritmos que pueden utilizarse para la estimación de temperatura superficial a partir de datos Landsat con el método monocanal por la función inversa de Planck. Aspectos como la transmisividad media de la atmósfera, la radiancia ascendente y descendente, o la emisividad de la superficie terrestre fueron tomados en cuenta, previamente al cálculo de la temperatura de brillo de las imágenes.

Palabras clave: Teledetección, infrarrojo térmico, emisividad, temperatura superficial

1 Máster. Universidad de Costa Rica, Costa Rica. Correo electrónico: ruben.martinezbarbachano@ucr.ac.cr
<https://orcid.org/0000-0002-9176-3112>

Abstract

In recent decades, the use of satellite imagery has increased to the point of being a fundamental tool in the monitoring of environmental processes and global change. In this sense, the historical importance of the Landsat family of satellites marks a milestone in 1985 with the introduction of the *Thematic Mapper* sensor, which offered users the possibility of acquiring information from an over 25-year historical database of thermal imagery at 120 meters of spatial resolution. This paper is presented as a methodology for obtaining surface temperature data from a time series of Landsat-5 TM images acquired in 2001 on the North Pacific Region of Costa Rica. The different algorithms that can be used for the estimation of surface temperature from Landsat data via the single-channel method by way of the inverse Planck function are presented. Prior to the calculation of the brightness temperature of the images, aspects such as average atmospheric transmissivity, ascending and descending radiance or earth's surface emissivity were taken into account.

Keywords: Remote sensing; Thermal infrared; Emissivity; Surface temperature

Introducción

La teledetección espacial ha experimentado un renovado impulso en las últimas décadas, con nuevos sensores y plataformas que han permitido la obtención de magnitudes o variables geofísicas de enorme valor geográfico. Dentro del amplio abanico de dichas variables, la temperatura terrestre es el principal objeto de estudio de la teledetección térmica. De hecho, la temperatura superficial es una fuente fundamental de información, tanto cualitativa como cuantitativa, acerca de los procesos que ocurren en la superficie terrestre, permitiendo por tanto su caracterización, análisis y modelización (Quattrochi y Luvall, 2000).

Las imágenes en infrarrojo térmico de media resolución permiten, además, estimar otras variables como la evapotranspiración a partir de la ecuación de balance energético, de gran utilidad en la gestión del recurso hídrico.

La puesta en órbita en 1982 del sensor Thematic Mapper (TM) a bordo de la plataforma Landsat-4 y posteriormente (en 1984) con la plataforma Landsat-5, ha permitido el acceso a una base histórica de más de 25 años de imágenes térmicas. El lanzamiento en 1999 de la plataforma Landsat-7 con el sensor Enhanced Thematic Mapper plus (ETM+) permitió el acceso a imágenes térmicas con una resolución de 60 metros, aunque un fallo técnico del sensor limitó severamente su uso, por lo que fue sustituido en 2013 por los instrumentos OLI y TIRS de la plataforma Landsat 8.

Marco conceptual

Teledetección térmica es un término que hace referencia a las medidas obtenidas por un sensor ubicado a bordo de una plataforma (un avión o satélite) que capta la radiación electromagnética emitida por la superficie terrestre en la región del infrarrojo térmico, típicamente entre los 8 y 14 μm (Sobrino, *et al.* 2000).

En el intervalo espectral comprendido entre 8 y 14 μm (infrarrojo térmico) se produce el 80 % de la emisividad de la superficie terrestre. En dicho intervalo es donde, además, la transmisividad atmosférica es más elevada y por tanto, donde se ubican las medidas que diferentes sensores toman a bordo de las misiones de los satélites (Pérez y Muñoz, 2002).

La atenuación de la señal en dicha región del espectro se debe a la absorción de aerosoles, pero se trata de una cantidad despreciable debido a que las concentraciones de vapor de agua (H_2O) ozono (O_3) y dióxido de carbono (CO_2) se encuentran en menor proporción (Prata *et al.*, 1993).

Sin embargo, la transmisión atmosférica de la radiación se ve afectada por el vapor de agua cinco veces más que por el resto de los gases juntos, absorbiendo la radiación de onda larga del infrarrojo térmico y onda corta en la región de las microondas (desde los 22 μm a 1 mm). En cuanto al dióxido de carbono, este absorbe fuertemente la radiación en la región del infrarrojo lejano del espectro electromagnético, mientras que el ozono lo hace para longitudes de ondas más cortas y energéticas (Atkins & Jones, 2006).

En consecuencia, la estimación de la temperatura superficial está condicionada, principalmente, por el contenido de vapor de agua de la atmósfera (especialmente sensible en la zona intertropical) y la emisividad de la superficie estudiada. Por todo ello, una correcta estimación de la temperatura superficial implica necesariamente la consideración y corrección de estos factores.

La radiación emitida por una superficie a una determinada longitud de onda, dentro del rango infrarrojo térmico, es función no sólo de su temperatura, sino que depende también de su emisividad. Es por ello, un parámetro crítico para el estudio del balance radiativo terrestre. La ecuación de la emisividad está representada como la energía emitida por una superficie eficiente (Valor y Caselles, 1996) y viene dada por:

$$\varepsilon_i = \frac{R_{i(T_s)} - L_i^\alpha}{B_{i(T_s)} - L_i^\alpha}$$

Ecuación 1. Ecuación de la emisividad (Valor y Caselles, 1996)

Siendo ε_i la emisividad de una superficie (considerando la transmisividad e irradiancia de la atmósfera), $R_{i(T_s)}$ la radiancia espectral emitida por un cuerpo a una determinada longitud de onda y temperatura, $B_{i(T_s)}$ la radiancia emitida por un cuerpo negro a una temperatura dada, medida en campo, y por último $L_{i\infty}$ la irradiancia atmosférica.

Se suele definir un cuerpo negro como un emisor perfecto, es decir, con una emisividad de 1; sin embargo, la vegetación tiene valores de emisividad menores, entre 0,97 - 0,985, debido a que parte de la energía incidente es reflejada, absorbida y transmitida en proporciones diferentes, según la longitud de onda (Rubio *et al.*, 2003). Su valor es altamente dependiente de la composición de la superficie, sobre todo con su contenido de humedad, rugosidad y tamaño de sus partículas (Barreto, *et al.* 2009).

También varía con la longitud de onda en la cual es medida, la resolución y ángulo de observación, dando una idea de la complejidad que representa su estimación. Algunas de las técnicas que se han utilizado para estimar la emisividad de la superficie son:

- Método de emisividad normalizada (NEM) propuesto por Gillespie *et al.*, (1985).
- El índice Independiente de la Temperatura (TISI) propuesta por Becker y Li, (1990).
- La separación de emisividad (TES) propuesta por Gillespie *et al.* (1999).
- El método basado en índice de vegetación (NDVI) propuesto por Valor y Caselles, (1996) que fue el utilizado en el presente estudio.

El canal térmico (6 para Landsat TM-ETM+) convertido a radiancia se puede transformar a temperatura de brillo efectiva por medio de la

ecuación de cálculo de la temperatura superficial a partir de los valores de brillo de la imagen térmica, que requiere de dos constantes de calibración como muestra el cuadro 1:

Cuadro 1. Constantes de calibración de la banda térmica del satélite Landsat

Satélites	Bandas	K_1 ($W/m^2/sr^1/\mu m^{-1}$)	K_2 Kelvin
Landsat 4	6	671,62	1284,30
Landsat 5	6	607,76	1260,56
Landsat 7	6	666,09	1282,71
Landsat 8	10	774,89	1321,08
	11	480,89	1201,14

Fuente: Chander *et al.*, 2009.

Por otra parte, el uso de la banda térmica en el estudio de la temperatura superficial de la Tierra requiere de la eliminación de los efectos atmosféricos en dicha longitud de onda. Además, la emisividad de un objeto en el terreno es igualmente atenuada y aumentada por la atmósfera. Por todo ello, resulta imprescindible un conocimiento apropiado de la atmósfera para la estimación de la transmitancia, la radiancia ascendente y la radiancia descendente. Cuando se conocen los valores de estas 3 variables, se puede convertir la radiancia medida en el espacio a la radiancia emitida por una superficie (Barsi *et al.*, 2005).

Área geográfica de estudio

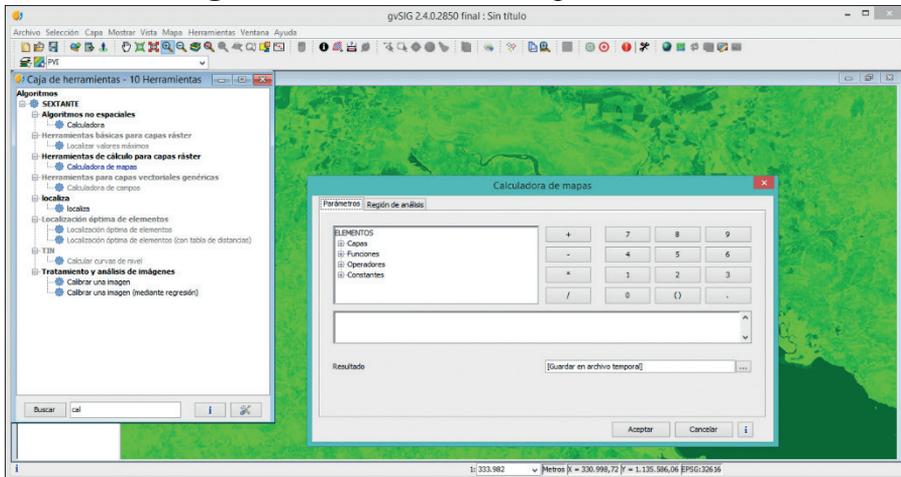
La cuenca del río Tempisque-Bebedero, en el noroeste de Costa Rica, cubre en total 5455 km² en la provincia de Guanacaste. La cuenca se encuentra situada 10° 58' 25" de latitud norte, 10° 06' 41" de latitud sur, 85° 46' 59" oeste y 84° 49' 40" este. El clima predominante en la cuenca es de tipo tropical con una prolongada estación seca, que va de finales de noviembre a principios de mayo. La estación de lluvias comienza en mayo y se prolonga hasta noviembre. Existe por tanto una fuerte estacionalidad en las precipitaciones, con un valor promedio anual de 1900 mm. En cuanto a las temperaturas, no existe la marcada estacionalidad que se da en las precipitaciones, con un promedio anual de 28 °C. Sin embargo, es habitual

en plena estación seca que la temperatura promedio ascienda hasta los 34 °C de promedio, con máximos puntuales de hasta 40 °C. Desde un punto de vista geomorfológico se trata de una zona de origen predominantemente sedimentario, y por ello reciente. El complejo Nicoya configura la red de drenaje en virtud de colinas calizas que constituyen un espacio formado fundamentalmente a partir del Mioceno (Denyer, Montero & Flores, 2014). La existencia de espacios abiertos, llanuras inundables, cultivos y pastizales facilita la obtención de temperatura superficial del suelo, tanto por la homogeneidad de los píxeles obtenidos por el satélite como por la existencia de suelo sin cobertura forestal densa.

Materiales y métodos

Para el presente trabajo se utilizaron exclusivamente recursos libres online y software de código abierto. Todo el procesamiento de imágenes que sustenta la presente metodología se realizó con la herramienta “calculadora de mapas” de GvSIG 2.4 (figura 1).

Figura 1. Calculadora de mapas de GvSIG



El problema fundamental con la estimación de la temperatura superficial de la Tierra a partir de datos de satélite es la necesidad de corregir en los mismos, los efectos debidos a la absorción atmosférica y a la emisividad de la superficie medida. Para la producción del mapa de emisividad,

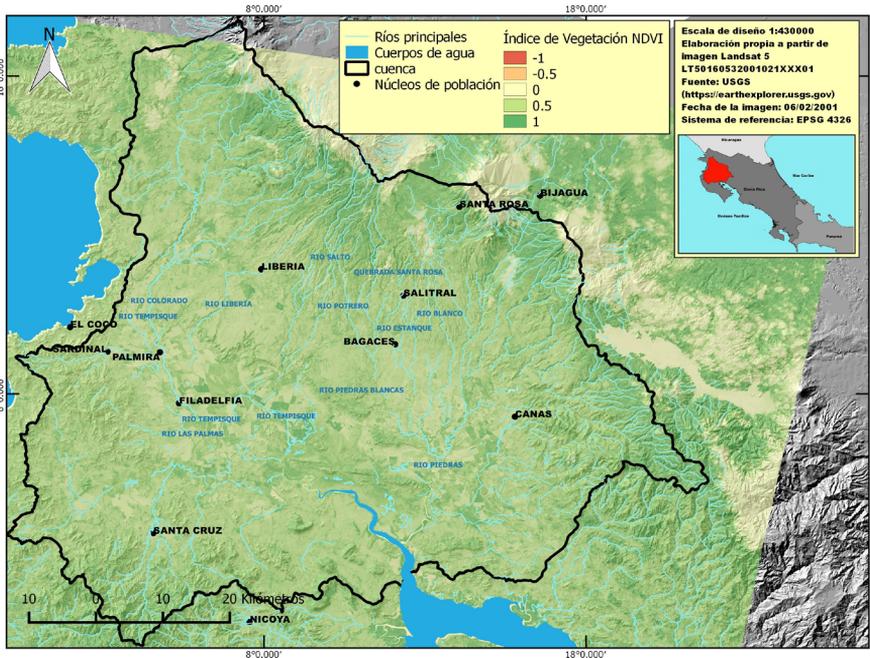
por tanto, se parte del modelo presentado por (Valor y Caselles, 1996). Pero previamente, es conveniente la realización de una corrección DOS1 a las bandas roja e infrarroja de Landsat5, para remover el efecto de la dispersión atmosférica.

Seguidamente, calculamos el índice de vegetación diferencial normalizado, o NDVI (como se muestra en la figura 2) a partir de las bandas 3 y 4, ya corregidas atmosféricamente. La fórmula del NDVI es:

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

Ecuación 2. Índice de vegetación diferencial normalizado

Figura 2. Índice de Vegetación Diferencial Normalizado o NDVI de la cuenca del Río Tempisque-Bebedero, Costa Rica



Una vez obtenido el NDVI, se puede utilizar este directamente para calcular la emisividad de los píxeles, o bien se puede generar un PV (**Proportion of Vegetation**). La ventaja de esta segunda opción es que permite

aislar la emisividad de las diferentes cubiertas, tomando como referencia la de la vegetación que puede ser calculada a partir de este índice (Carlson & Ripley, 1997) mostrado en la ecuación 3.

$$P_v = \left[\frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \right]^2$$

Ecuación 3. Proporción de vegetación

Fuente: Carlson & Ripley, 1997.

Figura 3. Índice de Proporción de Vegetación o PV, de la cuenca del Río Tempisque-Bebedero, Costa Rica



En la figura 3 se puede constatar que la cantidad de superficie cubierta por vegetación es sensiblemente menor en el PVI que en el NDVI. Seguidamente, se procede a mapear la emisividad de los píxeles a partir de la vegetación, como se muestra en la figura 4. Asumiendo que el

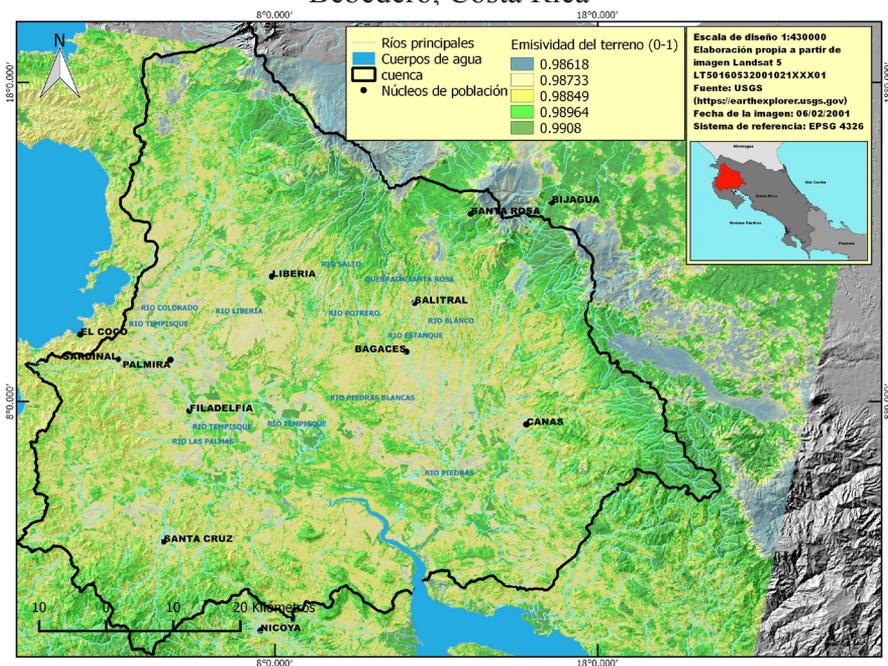
valor típico de la emisividad en el térmico es de 0.99 para la vegetación, escoger un valor típico de emisividad para el suelo puede ser algo más complejo. Una posibilidad es tomar como referencia el valor propuesto a partir de las 49 muestras de la biblioteca espectral de Aster (<http://asterweb.jpl.nasa.gov>). En tal caso el valor medio es de 0.973, con una desviación estándar de 0.004 y la expresión final para calcular la emisividad en el monocanal térmico sería la correspondiente con la ecuación 4:

$$\varepsilon_{TM6} = 0.004 P_v + 0.986$$

Ecuación 4. Cálculo de emisividad a partir de la proporción de vegetación o P_v

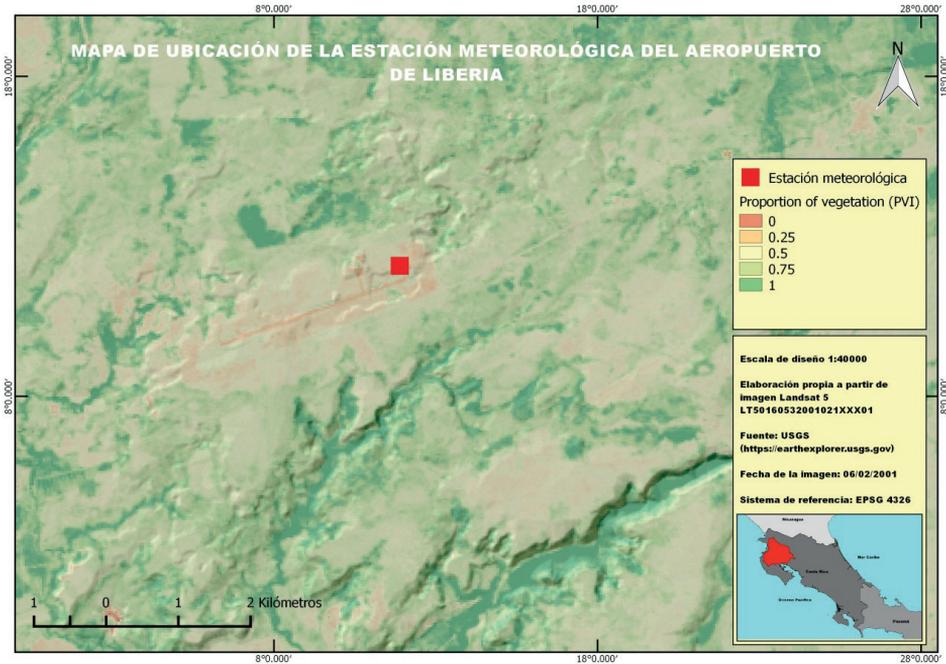
Fuente: Sobrino, Jiménez-Muñoz & Paolini, 2004.

Figura 4. Mapa de emisividad de la cuenca del Río Tempisque-Bebedero, Costa Rica



Se va a tomar como referencia el valor de emisividad del pixel correspondiente a la estación meteorológica de Liberia (figura 5) con coordenadas UTM 16 N 1172043 X / 660453 Y

Figura 5. El valor de emisividad para el pixel de la estación de Liberia es de 0.987321



Se calculó la temperatura superficial a partir del método monocanal, basado en la ecuación de transferencia radiativa de Coll, Galve, Sánchez y Caselles (2010). Para ello, se tuvieron en cuenta los aportes de Valor y Caselles (1996) y Chander *et al.* (2009).

En primer lugar, se realizó una calibración radiométrica para llevar los valores digitales a radiancia espectral ($W/m^2/sr^1/\mu m^{-1}$) como muestra la figura 6. La calibración radiométrica o transformación a valores de radiancia es un paso esencial para poder comparar datos o información de múltiples sensores y plataformas en una escala radiométrica común.

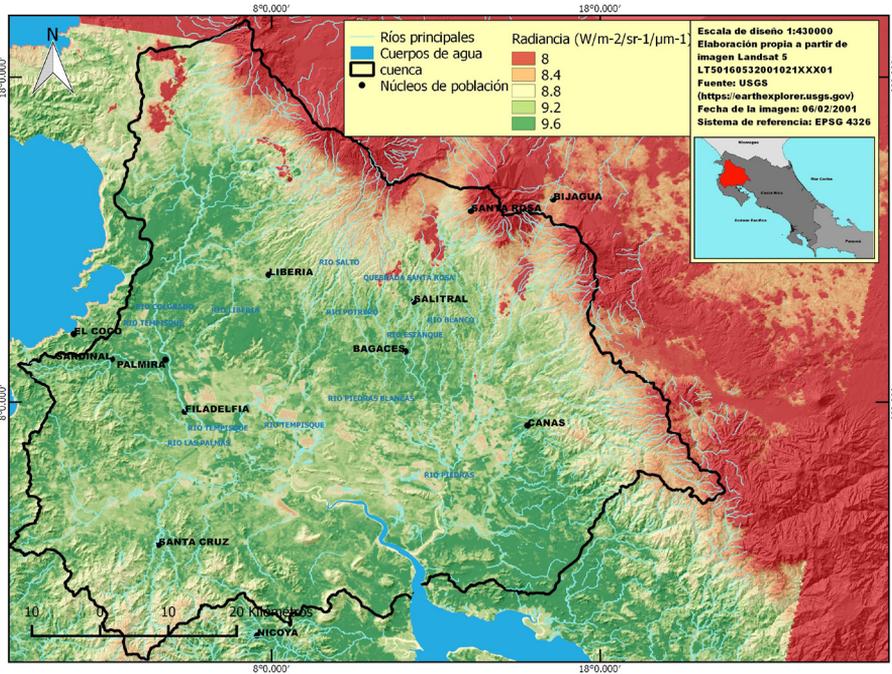
La radiancia se calcula de acuerdo a los metadatos del archivo MTL de la banda 6, a través de la ecuación 5:

$$L_{\lambda} = \left(\frac{LMAX - LMIN}{QCALMAX - QCALMIN} \right) * (DN - QCALMIN) + LMIN$$

Ecuación 5. Cálculo de radiancia

Donde L_λ es la radiancia espectral de la banda térmica que va a ser calculada; $LMAX$ y $LMIN$ son los valores de radiancia máxima y mínima para la banda 6; $QCALMAX$ y $QCALMIN$ son los valores máximo y mínimo de la radiancia calibrada, es decir, modificados a escala en unidades de números digitales (en función de la resolución radiométrica del sensor) y DN son los niveles digitales (la banda 6 en este caso).

Figura 6. Radiancia espectral de la cuenca del Río Tempisque-Bebedero, Costa Rica



Para calcular la temperatura superficial se consideró la siguiente ecuación de transferencia radiativa de C. Coll, J. M. Galve, J. M. Sánchez y V. Caselles (2010):

$$B(T) = \frac{L_{sen} - L^\uparrow}{\epsilon\tau} - \frac{1 - \epsilon}{\epsilon} L^\downarrow$$

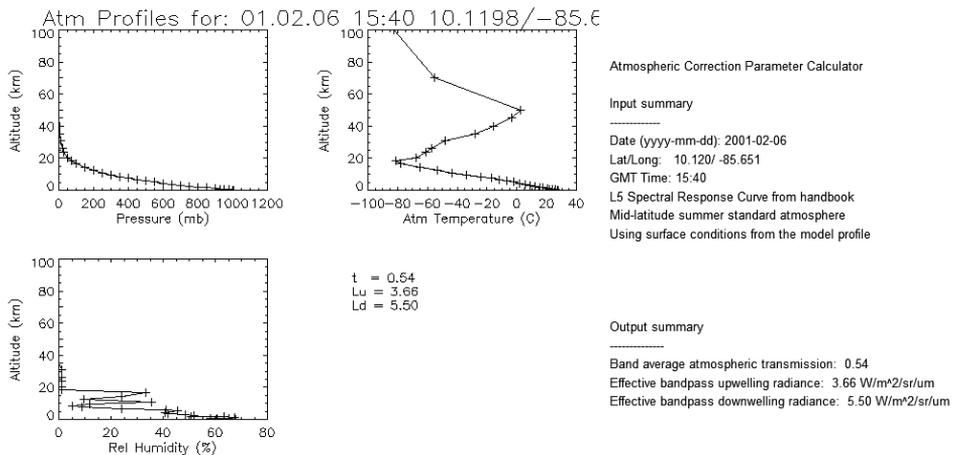
Ecuación 6. Ecuación de transferencia radiativa

Fuente: Coll, Galve, Sánchez y Caselles, 2010.

Donde; L_{sen} es la radiancia medida por el sensor ($W/m^2/sr^1/\mu m^{-1}$), ϵ es la emisividad de la superficie, B es el parámetro derivado de la Ley de Planck calculado a partir de la ecuación de cálculo de temperatura de la superficie terrestre ($^{\circ}K$), L^{\downarrow} : radiancia atmosférica descendente ($W/m^2/sr^1/\mu m^{-1}$), τ : transmisividad atmosférica y L^{\uparrow} : radiancia atmosférica ascendente ($W/m^2/sr^1/\mu m^{-1}$).

La transmisividad de la atmósfera, y la radiancia ascendente y descendente no son parámetros presentes en los metadatos de una imagen satelital. Para su obtención se recurrió a una herramienta operativa en línea de corrección atmosférica que permite calcular la temperatura superficial con un sesgo inferior a $0.5 \pm 0.8^{\circ}K$ (Barsi y otros, 2005). La herramienta se denomina *Atmospheric Correction Parameter Calculator* y está disponible en el sitio web; <https://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>.

Figura 7. Para la fecha de la escena Landsat (6 de febrero de 2001) se obtuvieron unos valores de transmisividad atmosférica de 0,54, una radiancia ascendente de 3,66 ($W/m^2/sr^1/\mu m^{-1}$) y una radiancia descendente de 5,50 ($W/m^2/sr^1/\mu m^{-1}$). Fuente: <https://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>



Barsi y otros (2003) afirman que los valores de temperatura superficial pueden ser estimados con un error de $\pm 2^{\circ}K$ cuando la atmósfera está relativamente despejada y se conoce la emisividad de la superficie. Esta herramienta utiliza perfiles atmosféricos del National Center for

Environmental Prediction (NCEP) interpolados a una posición, fecha y hora dadas y el modelo MODTRAN 4 (Berk *et al.* 1999).

Seguidamente, se aplicó la ecuación 7 de transferencia radiativa propuesta por Coll, Galve, Sánchez y Caselles (2010). El error que introduce esta ecuación se incrementa con el ancho de longitud de onda, la humedad atmosférica y las variaciones de emisividad de la superficie (Coll *et al.*, 2010).

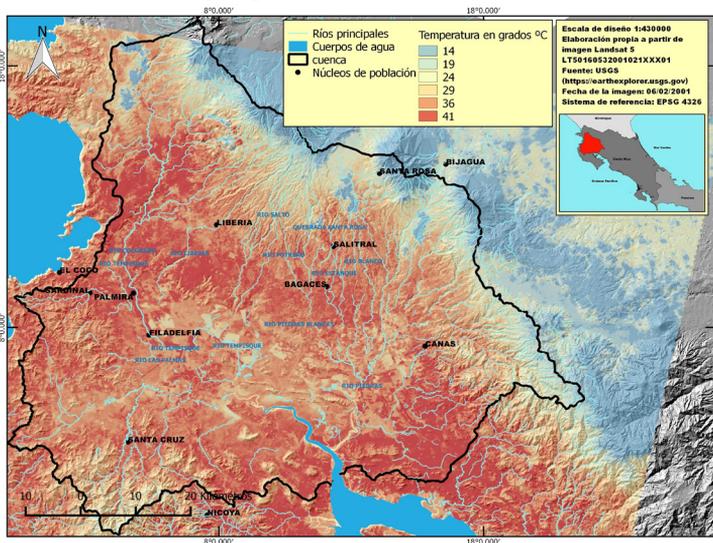
El siguiente paso consistió en aplicar la ecuación 7 de cálculo de temperatura de brillo:

$$T_b = \frac{k_2}{\ln \left(\frac{k_1}{L_{sen}} + 1 \right)}$$

Ecuación 7. Cálculo de la temperatura a partir de los valores de brillo de la imagen (Chander, 2009)

Donde k_2 y k_1 son los coeficientes de calibración, con valores de 1260,56 y 607,76 ($W/m^2/sr \cdot 1/\mu m^{-1}$), respectivamente, (Chander *et al.* 2009) mientras que L_{sen} es el ráster de radiancia corregida obtenido en el paso anterior. El resultado se obtiene en grados kelvin, que fueron transformados en Celsius.

Figura 8. Temperatura superficial en grados Celsius de la cuenca del río Tempisque-Bebedero Costa Rica



Conclusiones

La temperatura finalmente obtenida para el aeropuerto de Liberia fue de 44,379 °C a las 15:40 del 6 de febrero de 2001. De acuerdo con la información proporcionada por el Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica, la temperatura máxima en el aeropuerto de Liberia ese día fue de 34,1°C. La obtención de la temperatura sin tomar en cuenta parámetros como la emisividad, la transmisividad y la radiancia bidireccional (es decir, aplicando la ecuación 8 directamente sobre la radiancia) genera valores de temperatura más bajos, y por tanto más parecidos a la temperatura del aire a la sombra y a cierta distancia del suelo. Concretamente, en el caso del pixel correspondiente a la estación meteorológica del aeropuerto de Liberia, la temperatura obtenida con este método fue de 32°C. Considerando la presencia de suelo asfaltado y el hecho de que la temperatura superficial puede superar ampliamente a la temperatura medida a la sombra y a un metro del suelo, la diferencia de 12°C parece más que plausible. Por otra parte, cuanto menor es la irradiancia solar y mayor es la velocidad del viento, menores diferencias existen entre estas temperaturas, y por ello más próxima es la temperatura del aire a la temperatura superficial medida desde satélite. Además, estas diferencias también disminuyen a mayor proporción de cobertura vegetal y cuando no existe estrés hídrico (Niclós, *et al*, 2010).

La existencia de correlaciones entre temperatura del aire y temperatura superficial en diferentes tipos de coberturas de la zona intertropical y en zonas con diferentes relieves debe ser estudiada con mayor profundidad. También se requiere analizar y validar la introducción de nuevos parámetros en las ecuaciones propuestas, con objeto de obtener un algoritmo general que permita estimar la temperatura del aire a partir de la observación desde satélite.

La principal desventaja que presenta esta metodología deriva del hecho de que el valor de emisividad que se incorpora a la ecuación 5 proviene de un pixel del terreno (no de un valor promedio de la imagen) por lo que la estimación del valor de temperatura superficial de la imagen sólo tendría una precisión de $\pm 2^{\circ}\text{K}$ en el pixel del cual se tomó el respectivo valor de emisividad.

Finalmente, la utilidad de esta metodología monocanal de obtención de temperatura superficial permite aproximaciones históricas (como la

presente, del año 2001) muy precisas acerca de cómo contribuían las coberturas artificiales en la formación de islas de calor urbano en el pasado.

Referencias

- Atkins P. & Jones, L. (2006). *Principios de Química. Los caminos del descubrimiento*. Ed. 5^{ta}). Madrid, España: Médica Panamericana. ISBN: 978-950-06-0080-4.
- Barsi J., Barker J. L. & Schott, J. R. (2003). An Atmospheric Correction Parameter Calculator for a Single Thermal Band Earth-Sensing Instrument. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. 5. 3014 - 3016 vol.5. [10.1109/IGARSS.2003.1294665](https://doi.org/10.1109/IGARSS.2003.1294665).
- Barreto, Á., Arbelo, M., Núñez-Casillas, L., Hernández-Leal, P., González-Calvo, A. & Alonso-Benito, A. (2009). Estimación de la emisividad espectral con datos térmicos ASTER de la Isla de Tenerife. *IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium, IGARSS 2009*, University of Cape Town, South Africa
- Becker, F. & Z.-Li. (1990). Temperature-independent spectral indices in thermal infrared bands, *Remote Sens. Environ.*, 32, 17- 33.
- Berk, A., Anderson, G. P., Acharya, P. K., Chetwynd, J. H., Bernstein, L. S., Shettle, E.P., Matthew, M.W. & Adler-Golden, S. M. (1999). *MODTRAN 4 user's manual*. Air Force Research Laboratory, Space Vehicles Directorate, Air Force Materiel Command, Hascom AFB, MA.
- Carlson, T. & Ripley, D. (1997). On the Relation between NDVI, Fractional Vegetation Cover, and Leaf Area Index. *Remote Sensing of Environment*. 62. 241-252. [10.1016/S0034-4257\(97\)00104-1](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(97)00104-1).
- Chander, G., Markham, B. L., & Helder, D. L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote sensing of environment* 113: 893-903.
- Coll, C., Galve, J., Sánchez-Tomás, J. & Caselles, V. (2010). Validation of Landsat-7/ETM+ Thermal-Band Calibration and Atmospheric Correction with Ground-Based Measurements. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*. 48. 547 - 555. [10.1109/TGRS.2009.2024934](https://doi.org/10.1109/TGRS.2009.2024934).
- Denyer, P., Aguilar, T. & Montero, W. (2014). *Cartografía geológica de la península de Nicoya*. Universidad de Costa Rica.

- Gillespie, A. R., (1985). Lithologic mapping of silicate rocks using TIMS, in *The TIMS Data Users' Workshop*, JPL Publ., 86-38, 29-44
- Gillespie, A. R., Rokugawa, S., Hook, S. J., Matsunaga, T. & Kahle, B. (1999). *Temperature/emissivity separation algorithm theoretical basis document, version 2.4*. Contract NAS5-31372, Natl. Aeronaut. and Space Admin., Washington, D. C.
- Niclòs, R., Estrela M. J., Valiente J. A. & Barberà M. J. (2010). Análisis de correlaciones entre la temperatura del aire y la temperatura de las superficies vegetadas medida con radiometría térmica. *Revista de Teledetección*, 34: 36-43
- Pérez, C. y Muñoz, A.L. (2002). *Teledetección: nociones y aplicaciones*. Universidad de Salamanca, España.
- Prata, J. A. (1994). Land surface temperatures derived from the advanced very high resolution radiometer and the along-track scanning radiometer: 2. Experimental results and validation of AVHRR algorithms. *Journal of Geophysical Research*, 99, NO. D6, P. 13,025-13,058.
- Quattrochi, D. A., & Luvall, J. C. (2000). *Thermal remote sensing in land surface processes*. Boca Raton, FL, USA, CRC Press.
- Sobrino, J. A., Sobrino, J., Raissouni, N., Kerr, Olivoso, López, M. J., Belaid, El-Kharraz, J., Cuenca, J. & Dempere (2000). *Teledetección*. [10.13140/2.1.2883.3283](https://doi.org/10.13140/2.1.2883.3283).
- Sobrino, J. & Jiménez-Muñoz, J. C. & Paolini, L. (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment*. 90. 434-440. [10.1016/j.rse.2004.02.003](https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.02.003).
- Valor, E. y Caselles, V. (1996). Mapping Land Surface Emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American Areas. *Remote Sensing of Environment*, 57, 167-184.



A construção de políticas públicas para a sustentabilidade urbana

The construction of public policies for urban sustainability

La construcción de políticas públicas para la sostenibilidad urbana

Alex Dias da Silva¹

Instituto Federal da Paraíba (IFPB), Brasil

Resumo

Nas últimas décadas, o poder público tem cada vez mais se esforçado a incorporar as políticas públicas na agenda do desenvolvimento sustentável, isso em decorrência do processo de crescimento desordenado das cidades. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho é investigar sobre a constituição de políticas governamentais que fomentam a Agricultura Urbana, como instrumento de sustentabilidade urbana, na cidade de João Pessoa-PB. Por ser um fenômeno recente, a presença de marco legislativo específico para a promoção da Agricultura Urbana deve ser analisada. A metodologia empregada foi pesquisa qualitativa, de natureza descritiva e exploratória. O trabalho revelou a existência de políticas públicas que o governo municipal vem fomentando, desde o ano de 1993, o desenvolvimento de ações voltadas para a gestão e o aperfeiçoamento das práticas de Agricultura Urbana.

Palavras chave: Segurança Alimentar e Nutricional. Sustentabilidade Urbana. Agricultura Urbana. Políticas Públicas.

Abstract

In the last decades, public power has been increasingly striving to incorporate public policies into the sustainable development agenda, as a result of the disorderly growth process of cities. In this context, the objective of this work is to investigate the constitution of government policies that promote Urban Agriculture, as an instrument of urban sustainability, in the city of João Pessoa-PB.

1 Professor, Instituto Federal da Paraíba (IFPB), Brasil. Engenheiro Agrônomo e Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Brasil. Graduado em Direito pela Instituto Paraibano de Ensino Renovado (INPER), Brasil. E-mail: alexdiads@hotmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-8895-2134>

Because it is a recent phenomenon, the presence of a specific legislative framework for the promotion of Urban Agriculture must be analyzed. The methodology used was qualitative research, of a descriptive and exploratory nature. The work revealed the existence of public policies that the municipal government has been promoting, since 1993, the development of actions aimed at the management and improvement of Urban Agriculture practices.

Keywords: Food and nutrition security. Urban Sustainability. Urban Agriculture. Public Policy.

Resumen

En las últimas décadas, el poder público se ha esforzado cada vez más por incorporar políticas públicas en la agenda del desarrollo sostenible, como resultado del proceso de crecimiento desordenado de las ciudades. En este contexto, el objetivo de este documento es investigar la constitución de políticas gubernamentales que promuevan la agricultura urbana, como instrumento de sostenibilidad urbana, en la ciudad de João Pessoa-PB. Como fenómeno reciente, debe analizarse la presencia de un marco legislativo específico para la promoción de la agricultura urbana. La metodología utilizada fue la investigación cualitativa, descriptiva y de naturaleza exploratoria. El trabajo reveló la existencia de políticas públicas que el gobierno municipal ha estado promoviendo, desde 1993, el desarrollo de acciones dirigidas a la gestión y mejora de las prácticas de agricultura urbana.

Palabras clave: Seguridad Alimentaria y Nutricional. Sostenibilidad urbana. Agricultura urbana. Políticas públicas.

Introdução

Nas últimas décadas, principalmente, a partir de 1980, a crescente urbanização se alastrou por todo cenário nacional, seguindo a tendência mundial. Isso vem provocando a redução da população rural. No relatório *Perspectivas da Urbanização Mundial*, a ONU aponta que 54% da população vivem em áreas urbanas. Por evidente, isso implica no risco às atuais e futuras condições de sustentabilidade ambiental e de saúde de populações residentes em grandes aglomerações.

O desenvolvimento da agricultura na cidade tende a transpassar as barreiras convencionais da economia, meio ambiente, cultural, social e urbanismo, é a chamada resiliência urbana. Os altos níveis de crescimento das cidades se relacionam diretamente aos índices de pobreza e insegurança alimentar dessas populações.

Por esse motivo, o planejamento urbano deve ser adequadamente elaborado, planejado e integrado com a formação de políticas públicas com o mister de fomentar a AU, pois esta é uma atividade específica e sistêmica, podendo estar inserida tanto em espaços públicos, quando privados, além de ser praticada tanto em coletividade quanto de forma individual.

Nesse contexto, se insere o debate sobre a constituição de políticas governamentais que fomentam a AU, uma forma de garantir a segurança alimentar e nutricional da população, em especial das famílias vulneráveis, favorecendo uma dieta alimentar e nutricional rica e digna, ao mesmo tempo em que possibilita o aumento do seu poder aquisitivo e a promoção da agricultura sustentável.

Essa ideia também faz parte da política governamental inserida no plano de ação da “Agenda 2030”, documento adotado na Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável, no ano de 2015, o qual traça os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável e as metas a serem alcançadas.

O estudo em questão se utilizou de uma abordagem do tipo qualitativa, de natureza descritiva e exploratória, envolvendo processos de revisão bibliográfica e estudo literário, onde exige uma síntese de informações fundamentadas em diversos tópicos que sejam capazes de dar ao caso uma ampla compreensão.

O universo da pesquisa compreende a cidade de João Pessoa/PB, capital do Estado da Paraíba (Figura 1). Enquanto que o recorte do objeto contempla as políticas públicas que alcancem a produção de alimentos em ambiente urbano (Agricultura Urbana).

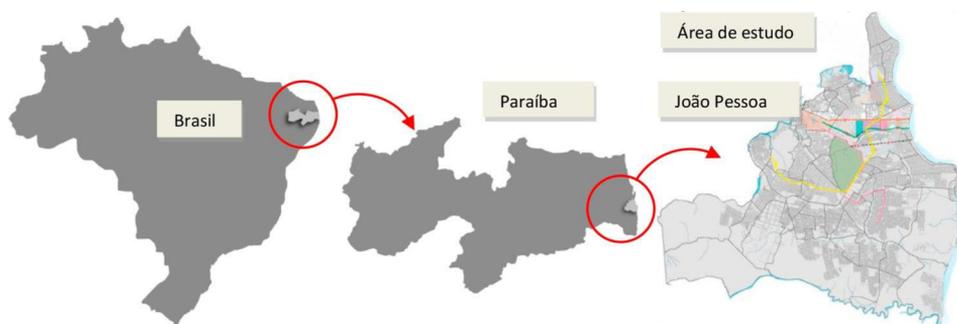


Figura 1. Mapa de localização da cidade de João Pessoa, no Estado brasileiro da Paraíba.

Fonte: Silva (2018), adaptado de Tabosa *et al.* (2018).

Desenvolvimento sustentável urbano e agricultura urbana

O conceito de desenvolvimento sustentável é amplamente discutido, contudo, tem-se como primazia que este se baseia em três pilares (Figura 2),

sendo eles: o social, o ecológico e o econômico. Esse conceito vem da premissa de que, para gerar um desenvolvimento econômico, de acordo com as necessidades da geração atual, deve-se preocupar com a preservação do meio ambiente, sem comprometer a capacidade para as gerações futuras.

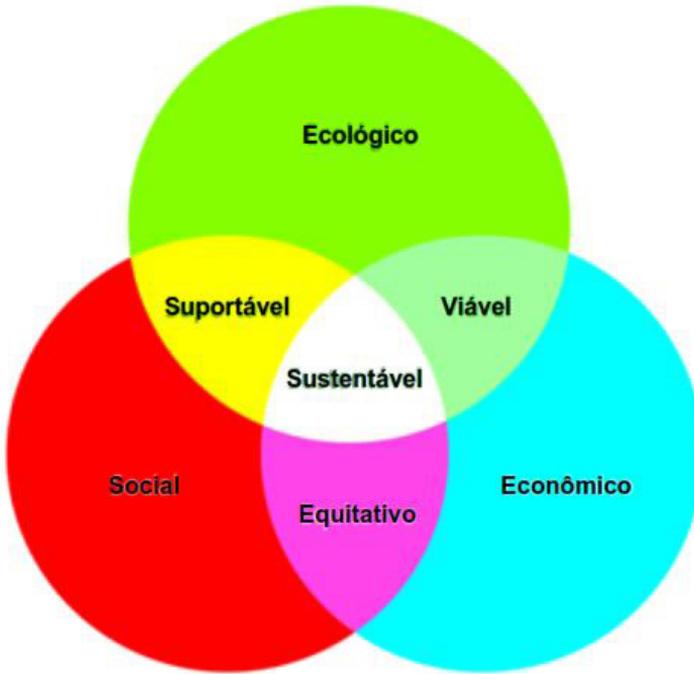


Figura 2. Pilares do Desenvolvimento Sustentável.
Fonte: Autoria própria (2018).

Entre as noções de sustentabilidade, pode-se destacar a eficiência, que pretende combater o desperdício de recursos no meio do processo de desenvolvimento, estendendo a noção de racionalidade econômica a todos os recursos do planeta, desde recursos mais abundantes como a água até recursos mais escassos.

Isso significa dar oportunidade para que as gerações, atual e futura, alcancem um nível razoável de desenvolvimento social e econômico e de realização humana e cultural, fazendo, ao mesmo tempo, um uso razoável e duradouro dos recursos da terra, preservando o meio ambiente como um todo.

Contudo, é lícito afirmar que a sustentabilidade pode ser caracterizada como umnexo temporal entre os momentos e recursos situados no tempo: passado e presente, presente e futuro

A noção de desenvolvimento sustentável teve abrangente visibilidade nos últimos anos, procurando aproximar a temática do crescimento econômico com a do meio ambiente.

Para [Veiga \(2010, p. 208\)](#), as diversas versões do conceito de “desenvolvimento sustentável” são consideradas uma utopia para o século XXI, estando distante de se delimitar, considerando assim este termo um enigma a ser dissecado.

Ainda segundo o autor ([Veiga, 2010, p. 188](#)), quando relacionar o desenvolvimento econômico com o meio ambiente, se torna necessário ter conhecimentos prévios e basilares, no que diz respeito ao comportamento humano, evolução da natureza e no desenvolvimento territorial.

A noção de desenvolvimento sustentável, de tanta importância nos últimos anos, procura vincular estreitamente a temática do crescimento econômico com a do meio ambiente. Para compreender tal vinculação, são necessários alguns conhecimentos fundamentais que permitem relacionar pelo menos três âmbitos: a) o dos comportamentos humanos, econômicos e sociais que são objeto da teoria econômica e das demais ciências sociais; b) o da evolução da natureza, que é objeto das ciências biológicas, físicas e químicas; c) o da configuração social do território, que é objeto da geografia humana, das ciências regionais e da organização do espaço. ([Veiga, 2010, p. 188](#)).

Nesse mister, o desenvolvimento voltado apenas para o crescimento econômico sem melhoria de qualidade de vida das pessoas e das sociedades não pode ser considerado desenvolvimento, mas sim uma fragilidade no sistema. É possível alcançar maior desenvolvimento sem destruir os recursos naturais conciliando crescimento econômico com a conservação ambiental.

A interligação dessas vertentes cria um tripé que apoia o desenvolvimento sustentável, adotando medidas que envolvam o poder público, a iniciativa privada e a sociedade, criando assim uma harmonização de objetivos econômicos, ambientais e sociais (Figura 3).



Figura 3. Harmonização entre protagonistas do desenvolvimento sustentável.

Fonte: Ruppenthal (2014, p. 33)

Com relação à iniciativa privada, Barbieri & Cajazeira (2009, p. 70) destaca a importância da organização de uma empresa sustentável, a qual procura:

[...] incorporar os conceitos e objetivos relacionados com o desenvolvimento sustentável em suas políticas e práticas de modo consistente [...]. Para a empresa, a incorporação desses objetivos significa adotar estratégias de negócios e atividades que atendam as necessidades das empresas e dos seus *stakeholders* atuais, enquanto protegem, sustentam e aumentam os recursos humanos e naturais que serão necessários no futuro. (Barbieri & Cajazeira, 2009, p. 70).

A proposta do desenvolvimento urbano sustentável é um argumento que foi resgatado por uma parte dos autores contemporâneos verificados na literatura, sendo acrescido também ao campo das Organizações Não Governamentais, que veem na ideia do planejamento sustentável um novo modo de ver a organização urbana, modo que está destinando a tomar o lugar da ideia de uma organização meramente espacial, construindo um princípio organizador que lide com as várias facetas da sustentabilidade.

Para ser considerada uma cidade sustentável significa é preciso que esta promova a boa utilização dos recursos ambientais em prol da

ampliação da qualidade de vida geral da população, onde os recursos, a longo e a curto prazo, sejam de fontes renováveis com a finalidade de promover o bom uso do ambiente.

Nessa situação, constata-se a indispensabilidade da sustentabilidade urbana, de modo que a forma de como é tratada atualmente, com base no lucro e com regalia para poucos, seja reestruturada.

Em relação ao conceito de AU, cabe mencionar o entendimento de *Stewart et al. (2013, p. 2)*, “a agricultura urbana não é facilmente definida, uma vez que existe uma grande variedade de sistemas de agricultura urbana a nível internacional, com características variadas dependendo das condições socioeconômicas, geográficas e políticas locais”.

De forma universal, a AU, em síntese, pode ser considerada como produção de alimentos dentro da cidade.

A prática de agricultura em meio urbano difere da agricultura rural pelo ambiente em que se insere, podendo abranger uma grande variedade de tipologias (*Pinto, 2007, p. 54*). Cabe destacar a tipologia chamada de hortas urbanas, principal forma de praticar a agricultura no espaço urbano e constituem uma maneira de utilizar espaços nas cidades, produzindo hortaliças, árvores frutíferas e plantas ornamentais.

Uma das características mais relevantes da AU é sua capacidade de interagir com outros campos temáticos, como o econômico, social e ao meio ambiente urbano, fazendo com que a AU se considere uma dimensão do desenvolvimento urbano sustentável. Além desses, a AU está intimamente ligada aos eixos da saúde, geração de renda, segurança alimentar e nutricional, e na gestão das políticas públicas, tema da pesquisa deste trabalho.

A presença da AU na cidade atinge a economia local, o ambiente natural, as relações sociais e o comportamento econômico das famílias (*Mougeot, 2000, p. 15*).

Segundo *Mougeot (2000, p. 7)* para se caracterizar uma iniciativa de AU, é necessário se basear nos seguintes determinantes (Figura 4): tipo de atividade econômica, localização², tipos de áreas onde ela é praticada; sua escala e sistema de produção; as categorias e subcategorias de produtos (alimentícios e não alimentícios); e a destinação dos produtos, inclusive sua comercialização.

2 Quando a localização onde a Agricultura Urbana é desenvolvida, esta pode ser dividida em duas: sendo chamada de agricultura intra-urbana, quando praticada no interior (ou centro urbano) e agricultura peri-urbana quando localizada na periferia de uma localidade ou cidade.

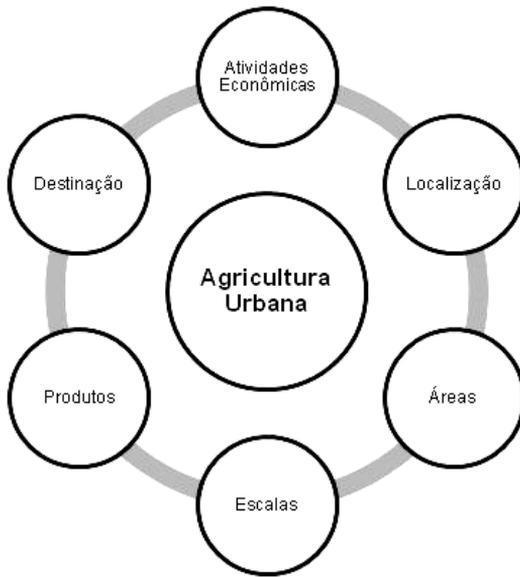


Figura 4. Determinantes da Agricultura Urbana

Fonte: Mougeot (2000).

Cabe destacar que, a AU tem sustentação no uso de espaços públicos ou privados, coletivos ou individuais, para a produção de alimentos para consumo próprio ou para venda em mercados locais e até mesmo regionais.

A falta de apoio e incentivo financeiro por parte do poder público é um entrave para o desenvolvimento da AU, esse fato pode estar relacionado a falta de conhecimento, por parte do poder público, dos benefícios que a AU pode levar para a sociedade.

Existe uma grande variedade de sistemas de AU a

nível nacional, com características variadas de implantação, dependendo das condições socioeconômicas, geográficas, das políticas locais e da legislação de cada cidade.

O Direito e o Meio Ambiente

Em primeiro lugar, destaca-se que a área do conhecimento jurídico que tem como premissa estudar as interações do homem com a natureza, bem como os mecanismos legais para proteção do meio ambiente é o Direito Ambiental. Importante realçar que, a tutela ambiental é realizada de forma holística – o meio ambiente é regulado como um todo e não de forma fracionada.

A Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, recepcionada pela CRFB de 1988, dispõe da Política Nacional do Meio Ambiente. Esta lei aponta uma série de medidas de ordem administrativa e civil, que à época de sua edição foram tidas como necessárias à tutela do meio ambiente.

Em seu artigo 2º, este dispositivo oferece um conceito objetivo de desenvolvimento sustentável e estabelece um marco definitivo e considerável na conscientização dos problemas ambientais:

“A Política Nacional do Meio Ambiente tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana [...]”.

Além desse dispositivo legal, outros três instrumentos jurídicos formam a base legislativa³ da proteção ambiental brasileira (Figura 5), que se preocupam, de forma isolada com algum aspecto do meio ambiente.

Convém frisar que, a Constituição Federal de 1988 incluiu o tema em seu contexto, na categoria dos direitos fundamentais do cidadão. Diz o artigo 225 da Constituição Federal que:

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações [...].

A CRFB de 1988, além de possuir um capítulo próprio para as questões ambientais (Capítulo VI – Do Meio Ambiente), traz, no decorrer da Carta, diversos outros artigos, das obrigações da sociedade e do Estado brasileiro para com o meio ambiente.

O direito ambiental está essencialmente ligado ao desenvolvimento sustentável. Assim como

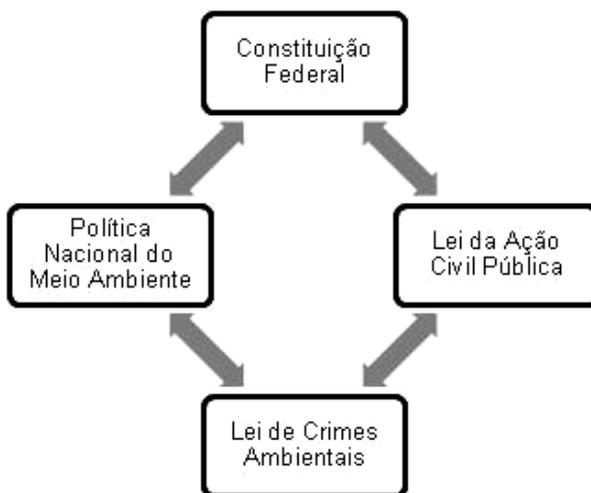


Figura 5. Pilares legislativos da proteção ambiental brasileira.

Fonte: Elaboração própria (2018).

3 São considerados os pilares legislativos da proteção ambiental, a Lei nº 7.347, de 24 de julho de 1985, que disciplina a ação civil pública como instrumento processual específico para a defesa do meio ambiente; A Carta Magna de 1988 e a Lei de Crimes Ambientais, regulado pela Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1988.

os demais ramos do direito, este é constituído de princípios norteadores⁴, cabendo destacar dois, o Princípio do Desenvolvimento Sustentável e o Princípio da Preservação.

Primeiro, o Princípio do Desenvolvimento Sustentável estabelece como alicerce a necessidade de estabilidade (relação harmônica) entre o desenvolvimento econômico e a proteção do meio ambiente. Nesse óbice, caso uma atividade ofereça risco de dano ao ambiente é lícito que o poder público intervenha de forma a cessar a atividade. Portanto, tal princípio estabelece um dever jurídico de evitar o dano ambiental e dá operabilidade aos demais princípios, tem por berço o *caput* do artigo 225 da CRFB.

O Princípio da Prevenção da Natureza é utilizado quando já se conhecem os efeitos nocivos de determinada atividade, buscando que sejam tomadas as medidas necessárias para se evitar ou diminuir os danos causados ao meio ambiente. Neste contexto, tem previsão constitucional inserta no § 3º do artigo 225 da CRFB:

[...] as condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados.

Por fim, o Princípio da Prevenção, juntamente com o Princípio da Precaução, funciona como uma ação de antecipação, frente a uma previsão de risco ou perigo de dano ao meio ambiente, responsabilizando a prática de condutas contrárias a essa preservação.

Competência em matéria de Direito Ambiental

O Brasil por se tratar de uma república federativa, caracteriza-se pela união indissolúvel das entidades federativas que o constituem, tais qual a união, os Estados, o Distrito Federal e os municípios (*vide* artigo 18 da CRFB).

A harmonização e compatibilização dessas esferas internas de poder assentam-se exatamente na repartição de competências⁵ estabelecidas pela

4 Esses princípios formam as bases do sistema jurídico ambiental, de forma que todos tem foco na utilização dos bens ambientais de forma harmoniosa, com a preservação dos recursos naturais.

5 Segundo Bastos (2001, p. 107), competência são os poderes que a lei confere para que cada órgão público possa desempenhar suas atribuições específicas.

Carta Magna, de forma que o exercício pleno da autonomia⁶ governamental de cada ente federativo não transponha ou interfira no exercício das demais.

A CRFB assenta basicamente sobre dois tipos de competência: a competência administrativa e a competência legislativa. Aquela se relaciona à faculdade para operar com base no poder de polícia, e estar relacionada ao Poder Executivo, já a segunda concerne ao Poder Legislativo e tem relação à faculdade para legislar a respeito dos temas de interesse da coletividade. A primeira, não será considerada no presente estudo. Todavia, frisa-se que, quando a matéria se tratar de competência administrativa ambiental, a questão deverá ser regulamentada por lei complementar, conforme determina o parágrafo único do artigo 23 da CRFB.

No que diz respeito ao regime de competências em matéria ambiental, especificamente a de legislar sobre questões ambientais, cabe frisar a possibilidade de os entes da federação poderem legislar, criando normas de Direito Ambiental.

Nesse contexto, o que sobressai em relação à competência legislativa no Direito Ambiental é a concorrente entre União, os Estados e o Distrito Federal. Compete à União legislar acerca de normas gerais, restando aos Estados e ao Distrito Federal suplementar as normas gerais produzidas pela União.

Quando a matéria ambiental for de interesse majoritariamente local, em caráter suplementar as legislações estadual e nacional, os Municípios tem competência de legislar sobre as questões ambientais. Com isso, seria equivocado dizer que os Municípios não gozam de competência para legislar.

Relevante ainda mencionar Damásio & Machado (2013, p. 5), o qual ressalta sobre a necessidade de o município legislar em matéria de direito ambiental “assim, tendo por base as especificidades locais, os municípios têm o desafio de equacionar seus problemas econômicos, ambientais e de segregação socioterritorial que ocorrem com o crescimento e desenvolvimento da cidade”.

Com certa intervenção governamental, é possível que as noções de sustentabilidade invadam o meio urbano e o transforma numa espécie de

6 Manoel Gonçalves Ferreira Filho (1999, p. 51) afirma que a autonomia administrativa dos entes federativos pressupõe a divisão de competências entre o poder central e os poderes regionais e locais.

ecocracia, favorecendo a criação de marcos regulatórios governamentais que auxiliem a implantação de uma consciência ambiental urbana.

Por fim, cabe destacar que, no caso de conflito de competência legislativa na matéria ambiental, deve ser adotado o Princípio da Predominância dos Interesses⁷.

Políticas Públicas

Essa seção da pesquisa, num primeiro momento, buscar entender os marcos institucionais que permitem a implementação das políticas públicas e a formulação de normas vigentes. Num segundo momento, tem como objetivo investigar se foram editadas normas com foco na promoção da AU a nível local.

Um estudo prévio é primordial no desenvolvimento de políticas agrícolas urbanas eficazes, a nível local, incluindo aqueles necessários para a produção de alimentos em menor escala (Kremer & Deliberty, 2011, p. 1260).

As políticas públicas representam o conjunto das ações do governo que buscam efetivar direitos assegurados aos cidadãos e considerados prioritários num dado momento histórico.

Políticas Públicas, segundo Guareschi *et al.* (2004, p. 180) é “o conjunto de ações coletivas voltadas para a garantia dos direitos sociais, configurando um compromisso público que visa dar conta de uma determinada população, em diversas áreas. Expressa a transformação daquilo que é do âmbito privado em ações coletivas no espaço público.

O objetivo das políticas públicas é promover o desenvolvimento, ampliar e efetivar direitos de cidadania, de acordo com as necessidades da geração atual e futura. No caso do tema específico da pesquisa, há de se falar em políticas públicas que tenham como objeto o meio ambiente, notadamente direcionadas a sustentabilidade urbana, por meio da AU.

As políticas públicas voltadas para o incentivo e a implementação da AU são defendidas sob alegação de favorecer e promover o desenvolvimento local das periferias de grandes cidades. Para Machado & Machado (2002, p. 9), vão além desse propósito “pelo redirecionamento dos

7 O princípio geral que norteia a repartição de competência entre as entidades componentes do Estado Federal é o da predominância do interesse. Segundo este princípio à União caberá as matérias e as questões de interesse geral, aos Estados as de interesse regional e aos Municípios as de interesse local, ao Distrito Federal tocarão as matérias de interesses regionais e locais, com algumas exceções previstas na própria C.F/1988.

objetivos da comunidade com ações participativas em todos os processos de desenvolvimento, é possível oferecer opções de vida saudável para jovens e crianças, além de gerar empregos e melhorar a qualidade de vida das pessoas idosas ou desempregadas”.

As políticas urbanas devem ser idealizadas e realizadas de forma descentralizada e agregadas às políticas sociais e de desenvolvimento urbano, com cooperação entre a União, os Estados e os municípios.

Nesse contexto, a crescente prática da AU no mundo contemporâneo torna necessário políticas públicas de âmbito nacional, regional e local, para sua implementação, fortalecimento e organização.

A inserção da Agricultura Urbana nas Políticas Públicas

O panorama de distintas reivindicações por políticas públicas para a cidade, sobretudo para AU, com objetivo em tornar as cidades mais sustentáveis exigiu a deflagração de ações que pudessem levar ao desenvolvimento local, levando em consideração as dimensões ambientais, culturais, econômicas, regionais e sociais.

Para [Moreira \(2008, p. 251\)](#), cabe ao Estado:

[...] desempenhar o papel de defesa e promoção da Agricultura Urbana, por meio da criação de mecanismos e ações de governo, caso contrário, certamente a Agricultura Urbana sofrerá restrições e constrangimentos para avançar e se tornar atividade possível e viável para o necessário enfrentamento da pobreza e do desemprego urbano. ([Moreira, 2008, p. 251](#)).

Sob a perspectiva de sustentabilidade urbana, o conceito de planejamento e política, surgiu pela primeira vez no Capítulo II – da Política Urbana⁸ – Título VII, da CRFB e recepciona o Estatuto da Cidade, regulamentado na Lei nº 10.257/2001, que contempla no Art. 2º, entre alguns objetivos da política urbana, a importância das cidades sustentáveis e planejadas, por intermédio dos incisos I, IV, VII e VIII:

Art. 2º A política urbana tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana, mediante as seguintes diretrizes gerais: [...].

8 Art. 182 da CRFB de 1988: “A política de desenvolvimento urbano, executada pelo Poder Público municipal, conforme diretrizes gerais fixadas em lei, tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes.”

I – garantia do direito a cidades sustentáveis, entendido como o direito à terra urbana, à moradia, ao saneamento ambiental, à infraestrutura urbana, ao transporte e aos serviços públicos, ao trabalho e ao lazer, para as presentes e futuras gerações;

IV – planejamento do desenvolvimento das cidades, da distribuição espacial da população e das atividades econômicas do Município e do território sob sua área de influência, de modo a evitar e corrigir as distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente;

VII – integração e complementaridade entre as atividades urbanas e rurais, tendo em vista o desenvolvimento socioeconômico do município e do território sob sua área de influência; [...]

VIII – adoção de padrões de produção e consumo de bens e serviços e de expansão urbana, compatíveis com os limites da sustentabilidade ambiental, social e econômica do município e do território sob sua área de influência; [...].

Como visto, a sustentabilidade urbana tem tratamento constitucional, determinando que as diretrizes gerais sejam fixados na Lei Federal nº 10.257, de 10 de julho de 2001 (Estatuto da Cidade), sendo que a política de desenvolvimento urbano será executada pelo Poder Público municipal, por meio do Plano Diretor, tendo um papel medular de organização urbanística da cidade (Figura 6).

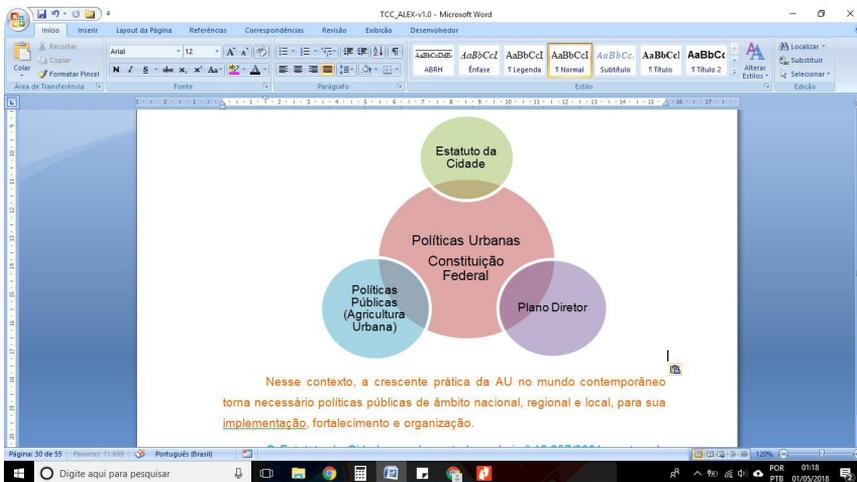


Figura 6. Tratamento constitucional de políticas que versam sobre sustentabilidade urbana.

Fonte: Elaboração própria (2018).

Contudo, as ações na esfera do Governo Federal Brasileiro têm seu início a partir de 2003, em consonância com um conjunto de políticas de Segurança Alimentar e Nutricional (Coutinho, 2011, p. 50).

Recentemente, o Ministério do Desenvolvimento Sustentável, por meio da Portaria nº 467, de 07 de fevereiro de 2018, instituiu o Programa Nacional de AU e Periurbana, que conta com iniciativas como: potencializar as ações de segurança alimentar e nutricional; contribuir para a inclusão social de moradores urbanos, em especial das mulheres; promover a utilização de tecnologias agroecológicas; promover a educação ambiental; estimular o reaproveitamento e reciclagem de resíduos orgânicos; estimular o convívio social e as atividades culturais relacionados com a produção agrícola; assegurar a capacitação técnica e de gestão aos agricultores urbanos; estimular hábitos saudáveis de alimentação; estimular hábitos sustentáveis; e, implantar a produção com fins pedagógicos em instituições de ensino, instituições de saúde, instituições religiosas, estabelecimentos penais e de interação socioeducativa dentre outras instituições e associações (Silva, 2018).

Essa mesma portaria, aduz como metas, em seu artigo 3º, o seguinte:

- I - formalizar parcerias na perspectiva de promover a agricultura urbana, na forma de produção agrícola sustentável, comunitária e/ou doméstica, por meio da introdução de tecnologias de produção sustentáveis como catalizador da segurança alimentar, geração de renda e inclusão social;
- II - fomentar o desenvolvimento de ações voltadas para a gestão e o aperfeiçoamento das ações de agricultura urbana e periurbana;
- III - promover a conscientização de possíveis financiadores para a agricultura urbana e periurbana;
- IV - sensibilizar as esferas estaduais e municipais para desenvolver políticas regionais e municipais de agricultura urbana e periurbana, principalmente nas escolas e associações comunitárias.

Chama a atenção o Projeto de Lei nº 906/2015, do Poder Legislativo Federal, que institui a Política Nacional de Agricultura Urbana. A proposta permite que o governo federal possa apoiar os municípios na definição de áreas aptas ao desenvolvimento de AU comunitária e individual, bem como auxiliar as prefeituras na prestação de assistência técnica e viabilizar a aquisição de produtos para os programas governamentais de aquisição de alimentos e a alimentação escolar. O projeto descreve como objetivos,

entre outros: ampliar a segurança alimentar e nutricional das populações urbanas vulneráveis; propiciar a ocupação de espaços urbanos ociosos; gerar alternativa de renda e de atividade ocupacional à população urbana; e articular a produção de alimentos nas cidades. Na situação atual, o referido projeto foi encaminhado ao Senado Federal, onde será apreciado.

O mencionado projeto de lei define ainda, em seu artigo 3º, que a AU deverá estar prevista nos institutos jurídicos, tributários e financeiros contidos no planejamento municipal, especialmente nos planos diretores ou nas diretrizes gerais de uso e ocupação do solo urbano, com o objetivo de abranger aspectos de interesse local e garantir as funções sociais da propriedade e da cidade.

Em contrapartida, já a nível local, a AU começou a ser incluída nas agendas políticas brasileiras, a partir da década de 1980, a começar de iniciativas de algumas Prefeituras municipais (Santandreu & Lovo, 2007, p. 59).

Aduz Santandreu & Lovo (2007, p. 51) que o Brasil carece de políticas públicas, quando se fala em AU.

Em termos gerais, não existe no Brasil uma política de AUP. Na maior parte dos casos existem as chamadas “hortas escolares” “hortas em quintais” ou “hortas comunitárias” que desenvolvem atividades de forma isoladas. Mais recentemente, com a implementação do Programa Fome Zero, muitas hortas vincularam-se às políticas de segurança alimentar e nutricional e muitos dos agricultores urbanos passaram a ser grupos alvos de programas como a Bolsa Família. Mas, a agricultura praticada por eles nem sempre são efetivamente apoiadas. O Brasil conta com políticas de combate à pobreza e fome, mas estas políticas não têm potencializado a agricultura urbana como solução ou “porta de saída” para a condição de pobreza e fome. Santandreu & Lovo (2007, p. 51).

Neste diapasão, para alcançar o objetivo principal do presente trabalho, os estudos se centraram em identificar a legislação específica em Agricultura Urbana a nível local.

Frisa-se que o artigo 151, da Lei Orgânica do município de João Pessoa, de 1990, alude que, para o planejamento municipal deve haver a integração entre políticas urbanas, sociais e econômicas, com a finalidade de atingir o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e o bem-estar dos seus habitantes.

O principal instrumento de organização da cidade é o Plano Diretor⁹, sob a perspectiva da sustentabilidade urbana. Convém destacar que a presente norma, da cidade de João Pessoa, foi instituída no ano de 1992 e teve sua última revisão no ano de 2009. Tal revisão tem disposição no Art. 40, § 3º do Estatuto da Cidade, onde disciplina que a lei que institui o plano deve ser revista, pelos menos, a cada dez anos. Portanto, o Plano Diretor é dinâmico, assim como a humanidade.

Após leitura detalhada do Plano Diretor, identifica-se que não há pontos essenciais no tocante a AU, contudo, observam-se pontos no que diz respeito à sustentabilidade, como: uso e ocupação do solo e mobilidade urbana.

Todavia, o artigo 4º, inciso XIII, da lei em comento, considera como exigência e condição fundamental para ordenamento e gestão do espaço urbano o interesse em matérias referentes ao meio ambiente e suprimento alimentar, conforme se ler:

XIII - o planejamento e a gestão municipais estabelecerão mecanismos estáveis de articulação entre o Município de João Pessoa, os Governos do Estado da Paraíba e da União e, os demais Municípios com interesses comuns, notadamente aqueles concernentes ao transporte coletivo, sistema viário, meio ambiente, suprimento alimentar, abastecimento de água, tratamento de esgotos, disposição final do lixo, energia, localização industrial, incentivos ao investimento privado e parcelamento do uso do solo.

Ainda nessa temática, o referido Plano Diretor trata como objetivos meios, entre outros, da política urbana, no artigo 3º, XI e XII, a garantia à sustentabilidade urbana, bem como o planejamento do desenvolvimento da cidade.

XI - garantia à cidade sustentável, à terra urbana, à moradia, ao saneamento ambiental, à infraestrutura urbana, ao transporte e aos serviços públicos, ao trabalho e ao lazer, para a população;

XII - planejamento do desenvolvimento da cidade, da distribuição espacial da população, do transporte e das atividades econômicas do Município e do território sob sua área de influência, de modo a evitar e corrigir as distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente.

9 O Plano Diretor da cidade de João Pessoa foi instituído pela Lei Complementar nº 3, de 30 de dezembro de 1992. Atualizada e consolidada até a Lei-Complementar no.4, de 30 de abril de 1993. Sendo consolidado por meio do Decreto n.º 6.499, de 20 de março de 2009.

Situação distinta foi identificada no Plano Diretor Estratégico do município de São Paulo, onde, por exemplo, a AU faz parte do plano¹⁰ (Seção X, Capítulo I), além disso, existe uma legislação específica de AUP recentemente aprovada, que inclui a Lei nº 13.727, de 12 de Janeiro de 2004, que cria seu Programa de Agricultura Urbana e Periurbana (PROAURP) e define suas diretrizes.

Merece menção a Lei nº 7.469, de 14 de dezembro de 1993, que autoriza¹¹ a Prefeitura Municipal de João Pessoa a celebrar comodatos¹², com os proprietários de terreno que queiram disponibilizar espaços visando à implantação de hortas comunitárias. Ainda na mesma lei¹³, a norma prevê um desconto de 50% no Imposto Predial Territorial Urbano (IPTU) para os proprietários dos terrenos.

O governo municipal também instituiu a Lei nº 8.002, de 30 de dezembro de 1995, que cria o Conselho de Alimentação Escolar, tendo como competência (artigo 4º, X), desenvolver programas que estimulem a AU, com a instalação e manutenção de hortas, nas escolas municipais, com objetivo de enriquecimento da alimentação escolar.

Cabe destacar a pesquisa realizada por [Silva \(2018\)](#), onde estudou a AU praticada na cidade de João Pessoa, particularmente as hortas urbanas, como resultado identificou 65 iniciativas de hortas implantadas no meio urbano, classificando-as como: horta comunitária, escolar, particular ou terapêutica, localizadas tanto em espaço público ou privado.

No contexto das hortas urbanas foi instituído o Projeto Criar Peixes do município, Lei nº 8.134, de 03 de dezembro de 1996, a ser implantado nas margens do Rio Jaguaribe, em conjunto com a implantação de hortas comunitárias, nesse mesmo local.

10 A Lei nº 13.430, de 13 de setembro de 2002, dispõe sobre o Plano Diretor Estratégico e o Sistema de Planejamento e Gestão do Desenvolvimento Urbano do Município de São Paulo.

11 Art. 1 da Lei nº 7.469, de 14 de dezembro de 1993: “fica a Prefeitura Municipal, de João Pessoa autorizado a celebrar contratos de comodato com proprietários de terrenos neste Município de João Pessoa, objetivando a utilização desses espaços a implantação de hortas comunitárias”.

12 Comodato é um empréstimo de algo que não pode ser substituído por outro da mesma espécie e qualidade, nesse caso, um terreno, tem previsão legal nos artigos 579 a 585 do Código Civil Brasileiro (Lei n.º 10.406 de 10 de janeiro de 2002).

13 Art. 1 da Lei nº 7.469, de 14 de dezembro de 1993: “em contrapartida, como compensação aos proprietários que desejam beneficiar-se dos comodatos, a Prefeitura Municipal fica autorizada a abater o percentual de 50% (cinquenta por cento) sobre o pagamento do IPTU devido pelo imóvel objeto de comodato que venha a ser calculado no ano seguinte ao da realização do comodato.

Nesse sentido tem-se a Lei nº 10.420 de 30 de dezembro de 2004, que cria o Programa Municipal de Agricultura Urbana em João Pessoa, destaca que as áreas urbanas ociosas poderão ser ocupadas com a finalidade de produção de alimentos, como o cultivo de hortaliças, plantas medicinais, produção de mudas, leguminosas, frutas e outros alimentos. Tal programa destina-se a complementação alimentar; otimizar o aproveitamento dos espaços urbanos; geração e complementação de renda; melhoria da segurança alimentar e da saúde da população; melhorar o meio ambiente urbano mediante o zelo dos espaços ociosos; e, desenvolver hortas comunitárias. Cabendo ressaltar que, o uso desses espaços deverá ser solicitar por escrito ao Poder Executivo.

Nessa mesma Lei, o artigo 8º, menciona a faculdade de particulares, que possuem terrenos ociosos, serem integrados ao Programa Municipal de Agricultura Urbana mediante o consentimento expresso. Essa participação deve ser na forma de contrato de comodato entre o proprietário e a entidade que administrará o cultivo no respectivo terreno. O que já era previsto na Lei nº 7.469, de 14 de dezembro de 1993, como visto anteriormente.

Numa mesma linha temática também foi criado o “Programa João Pessoa Cidade Verde”, instituído pela Lei nº 11.838, de 22 de dezembro de 2009, com objetivo de melhoria da qualidade de vida dos cidadãos e do ecossistema da cidade, visando o desenvolvimento de uma consciência ecológica urbana e proteção ao meio ambiente, incentivando o cultivo e plantio de árvores frutíferas e hortas comunitárias em terrenos e áreas desocupadas e lotes vazios da cidade.

Nessa perspectiva, foi instituída a Política Municipal de Apoio a Agricultura Urbana, Lei nº 12.515, de 21 de fevereiro de 2013, voltada para a segurança alimentar e nutricional sustentável da população, em bases sustentáveis. Para facilitar a operacionalização do programa, em seu parágrafo único, artigo 1º, a “Agricultura Urbana” foi definida como:

[...] o conjunto de atividades de cultivo de hortaliças, de plantas medicinais, de espécies frutíferas, de flores, de manejo florestal, bem como a criação de animais, a piscicultura e a produção artesanal de alimentos e bebidas para o consumo humano, a troca, a doação, a comercialização e prestação de serviços.

Em João Pessoa, esse é o primeiro instituto normativo a fazer menção expressa ao termo “Agricultura Urbana”.

De acordo com essa lei, as ações de apoio à AU dar-se-ão de forma integrada entre si, e com as ações de segurança alimentar e nutricional sustentável, de habitação, de assistência social, de saúde, de educação, de geração de emprego e renda, de formação profissional e de proteção ambiental, organizadas em redes, de forma a promover o diálogo entre os diversos setores governamentais e da sociedade civil.

Nesse diapasão, em contribuição ao tema políticas públicas voltadas para o incentivo e implementação da AU, Machado & Machado (2002, p. 11), ressaltam que é possível favorecer e promover o desenvolvimento local das periferias de grandes cidades.

Ainda no que diz respeito a normas é interessante observar a preocupação do município com políticas públicas que visam o desenvolvimento sustentável da cidade, cabendo destacar:

A Lei nº 13.437, de 04 de julho de 2017, que dispõe de Diretrizes para Elaboração da Lei Orçamentária para o exercício do corrente ano, 2018, tem como prioridade e metas para a Administração Municipal a instigação ao desenvolvimento sustentável e o planejamento urbano com bases sustentáveis, conforme descrito a seguir:

Art. 3º As prioridades e metas da Administração Municipal para o exercício financeiro de 2018 serão fixadas considerando os seguintes princípios orientadores:

X - indução ao desenvolvimento sustentável da produção local através do estímulo ao empreendedorismo, ao associativismo, ao cooperativismo e aos programas de geração de ocupação e renda;

XV – planejamento urbano voltado para a construção participativa de um projeto para a cidade, em bases sustentáveis, considerando o conjunto urbano, com qualidade de vida para os cidadãos e resgate da identidade municipal.

Já o Decreto nº 8.731, de 18 de maio de 2016, regulamenta a realização de cooperação com a iniciativa privada e a sociedade civil organizada para a manutenção de espaços públicos no município de João Pessoa. Para tanto, o titular do Poder Executivo Municipal, atendido o interesse público, poderá celebrar Termo de Cooperação com entidades da iniciativa

privada e da sociedade civil organizada, quais sejam associações de moradores, sociedades, amigos de bairros, centros comunitários, clubes de serviços, bem como terceiros interessados. Essa cooperação poderá ser de forma individual ou consorciada, a fim de promover melhorias urbanas mediante mútua colaboração nos serviços inerentes à implantação, reforma, manutenção e/ou conservação de parques, praças, áreas verdes, mobiliário urbano e demais espaços públicos ou livres do Município, buscando melhorias urbanas, ambientais e paisagísticas. Para fins de legislação, consideram-se melhorias urbanas, paisagísticas e ambientais os projetos, obras, serviços, ações e intervenções, relativos a bens públicos municipais e a bens privados ou públicos tombados em caráter provisório ou definitivo, ou preservados, nos termos da legislação municipal pertinente, que resultem no atendimento do interesse público e na melhoria da qualidade da vida urbana.

Nesse contexto de sustentabilidade urbana, a Secretaria de Desenvolvimento Sustentável foi transformada em Secretaria do Trabalho, Produção e Renda - Lei nº 12.465, de 25 de janeiro de 2013 - e tem por finalidade planejar e executar políticas de emprego e renda e de apoio à formação do trabalhador, de economia solidária e de fomento à produção agrícola e ao empreendedorismo. Além disso, compete a essa Secretaria participar de atividades que estimulem o desenvolvimento sustentável, o enfrentamento da pobreza e o exercício da cidadania, como políticas de promoção do trabalho.

Por fim, identificou-se a Lei nº 12.188, de 15 de setembro de 2011, que dispõe a Política Municipal de Segurança Alimentar e Nutricional no âmbito de João Pessoa, com o propósito primordial de garantir o exercício do direito humano à alimentação adequada, de forma sustentável.

Para melhor compreensão do marco legislativo e visualização da legislação relacionada à AU em João Pessoa, foi confeccionado uma linha do tempo de construção dessas políticas públicas (Figura 7).

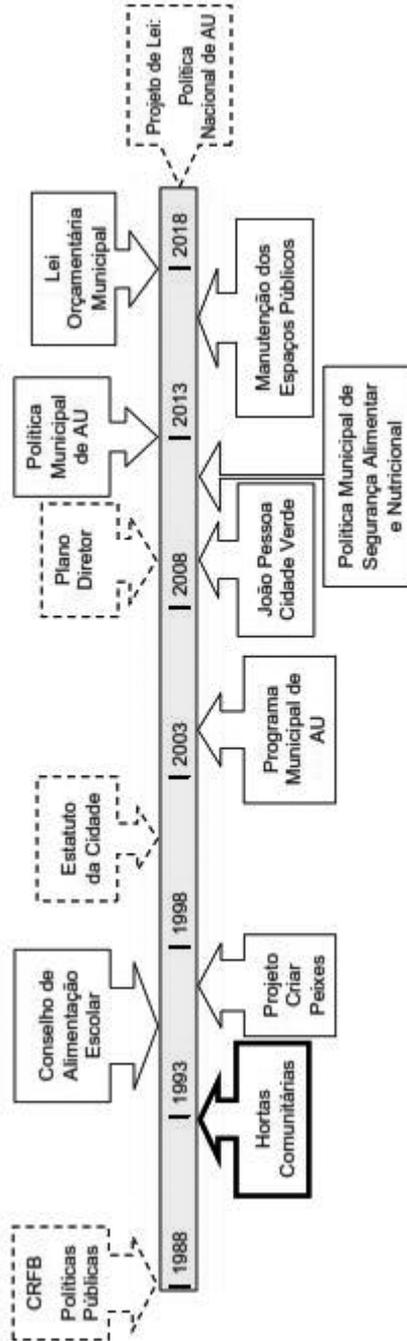


Figura 7. Linha do tempo de construção das políticas públicas em AU nas últimas três décadas.
Fonte: Elaboração própria (2018).

Os resultados relativos à identificação de políticas públicas em AU, em João Pessoa, foram positivos e revelou o papel do poder público na promoção da AU. Apresenta como marcos legal e institucional, o ano de 1993 com a instituição da Lei nº 7.479, de 14 de dezembro, que visa à implantação de hortas comunitárias em espaços de terrenos de particulares.

Entre a diversidade de normas, além do marco institucional supra-mencionado, em especial no que diz respeito a implantação de hortas, tem-se: a criação do Conselho de Alimentação Escolar (1995), o Projeto Criar Peixes (1996), o Programa Municipal de AU (2004), o Programa João Pessoa Cidade Verde (2009), a Política Municipal de Apoio a Agricultura Urbana (2013). O processo de formulação e implementação das políticas de AU ocorreu de maneira diferente e mais acelerada, quando comparada às políticas de AU a nível nacional.

Por fim, ressalta-se a existência de legislação correlata, que de algum modo, tem conexão com a AU, a saber: Política Municipal de Segurança Alimentar e Nutricional (2011), a criação da Secretaria do Trabalho, Produção e Renda (2013), a Manutenção de Espaços Públicos de Forma Sustentável (2016) e Diretrizes para Elaboração da Lei Orçamentária (2017).

Nesta perspectiva, tendo em vista a crescente prática da AU no cenário nacional e local, vislumbra-se a construção coletiva das bases de políticas públicas para seu fortalecimento e organização (Silva, 2018).

Considerações Finais

São evidentes as políticas de desenvolvimento urbano no município de João Pessoa, os marcos legais e diretrizes da AU surgem na legislação municipal dentro do escopo das Políticas Públicas, com vistas a assegurar o direito segurança alimentar, bem como a preservação do meio ambiente. Todavia, a concretização dessas diretrizes depende da prestação positiva do Poder Executivo e do controle e fiscalização da sociedade para que sejam aplicadas.

De forma geral, no município de João Pessoa se identificou legislação específica que promove o desenvolvimento de ações no sentido de incentivar as diversas formas de cultivo do solo para produção de alimentos na zona urbana. Inclui diversos subprogramas de AU como: hortas privadas; hortas comunitárias; hortas escolares e hortas institucionais. Essa legislação prevê uma gestão integrada e cooperação entre os entes federados na consecução das políticas.

Pode-se inferir que a promoção da AU contribui para tornar as cidades mais sustentáveis e socialmente mais justas, podem dá a oportunidade de acesso à terra para aqueles que estão sendo excluídos pelo processo de modernização capitalista. A harmonização entre essas políticas e a segurança alimentar amplifica o espaço dos agricultores familiares, ampliando assim a oferta de alimentos e reduzindo a pobreza e desigualdade.

Diante desses fatos, não há como negar que nos últimos trinta anos houve uma verdadeira revolução quanto às políticas públicas no ambiente urbano nacional, em especial a AU em João Pessoa. No entanto, há de se considerar os desafios para sua implantação, fiscalização e sustentação.

Outra situação que merece destaque é que a AU não foi incluída no atual Plano Diretor do município de João Pessoa, restando esse desafio para ações futuras, no tocante a revisão do referido Plano.

Por fim, deve-se considerar o diálogo das legislações já em vigência nas esferas Federal, Estadual e Municipal, para alcançar uma eficácia e efetividade das políticas públicas voltadas para o desenvolvimento da AU sustentável. Com certa intervenção governamental e empresarial, é possível que as noções de sustentabilidade invadam o meio urbano e o transforma numa espécie de ecocracia, favorecendo a criação de marcos regulatórios governamentais que auxiliem a implantação de uma consciência ambiental urbana.

A AU é um campo de inovação promissor, e deve ser desenvolvida e consolidada, juntamente, com os programas de políticas urbanas, como uma estratégia de melhoria da qualidade nutricional e geração de renda das famílias urbanas.

Referências

- Barbieri, J. C., & Cajazeira, J. E. R. (2009). *Responsabilidade social empresarial e empresa sustentável: da teoria à prática*. São Paulo: Atlas.
- Brasil. (1981). *Lei n° 6.938, de 31 de agosto de 1981*. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio ambiente, seus fins e mecanismo de formulação e aplicação, e dá outras providências. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm.
- Brasil. (1985). *Lei n° 7.347, de 24 de julho de 1985*. Disciplina a ação civil pública de responsabilidade por danos causados ao meio-ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, estético, histórico,

- turístico e paisagístico (VETADO) e dá outras providências. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L7347orig.htm.
- Brasil. (1988). *Lei n° 9.605, de 12 de fevereiro de 1988*. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9605.htm.
- Brasil. (1988). *Constituição Federal da República (CF/88)*. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm.
- Brasil. (2001). *Lei n° 10.257, de 10 de julho de 2001*. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/LEIS_2001/L10257.htm.
- Brasil. (2002). *Lei n.º 10.406, de 10 de janeiro de 2002*. Institui o Código Civil. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/CCivil_03/Leis/2002/L10406.htm.
- Brasil. (2015). *Projeto de Lei n° 906, de 25 de março de 2015, do Poder Legislativo Federal*. Institui a Política Nacional de Agricultura Urbana e dá outras providências. Recuperado de <http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/ficha?i1150824>.
- Câmara Municipal de São Paulo. (2002). *Lei n° 13.430, de 13 de setembro de 2002*. Dispõe sobre o Plano Diretor Estratégico e o Sistema de Planejamento e Gestão do Desenvolvimento Urbano do Município de São Paulo. Recuperado de <http://www.prefeitura.sp.gov.br>.
- Câmara Municipal de São Paulo. (2004). *Lei n° 13.727, de 12 de janeiro de 2004*. Cria o Programa de Agricultura Urbana e Periurbana (PROAURP) no município de São Paulo e define suas diretrizes. Recuperado de http://www3.prefeitura.sp.gov.br/cadlem/secretarias/negocios_juridicos/cadlem/integra.asp?alt=13012004L%20137270000.
- Casa de Napoleão Laureano. (1990). *Lei Orgânica para o Município de João Pessoa, de 1990*. Recuperado de http://www.joaopessoa.pb.gov.br/portal/wp-content/uploads/2012/04/Lei_Organica_de_Joao_Pessoa.pdf.
- Casa de Napoleão Laureano. (1992). *Lei Complementar n° 3, de 30 de dezembro de 1992*. Institui o Plano Diretor da Cidade de João Pessoa. Recuperado de <http://www.joaopessoa.pb.gov.br/secretarias/seplan/plano-diretor/>.

- Casa de Napoleão Laureano. (1993). *Lei nº 7.469, de 14 de dezembro de 1993*. Autoriza a prefeitura municipal de João Pessoa a celebrar comodatos visando a implantação de hortas comunitárias, e dá outras providências. Recuperado de <https://leismunicipais.com.br/a/pb/j/joao-pessoa/lei-ordinaria/1993/747/7469>.
- Casa de Napoleão Laureano. (1995). *Lei nº 8.002, de 30 de dezembro de 1995*. Institui, na administração municipal o Conselho de Alimentação Escolar, a que se refere a Lei Federal nº 8.913, de 12 de julho de 1994. Recuperado de <https://leismunicipais.com.br/a/pb/j/joao-pessoa/lei-ordinaria/1995/801/8002>.
- Casa de Napoleão Laureano. (1996). *Lei nº 8.134, de 03 de dezembro de 1996*. Autoriza a criação do Projeto Criar Peixes. Recuperado de <https://leismunicipais.com.br/a/pb/j/joao-pessoa/lei-ordinaria/1996/814/8134/lei-ordinaria-n-8134-1996-autoriza-a-criacao-do-projeto-riar-peixes>.
- Casa de Napoleão Laureano. (2004). *Lei nº 10.420, de 30 de dezembro de 2004*. Institui o Programa Municipal de Agricultura Urbana em João Pessoa e adota outras providências. Recuperado de <https://leismunicipais.com.br/a/pb/j/joao-pessoa/lei-ordinaria/10420>.
- Casa de Napoleão Laureano. (2009). *Lei nº 11.838, de 22 de dezembro de 2009*. Autoriza o Poder Executivo a criar e implantar o “Programa João Pessoa Cidade Verde” e dá outras providências. Recuperado de <https://leismunicipais.com.br/a/pb/j/joao-pessoa/lei-ordinaria/2009/1184/11838>.
- Casa de Napoleão Laureano. (2011). *Lei nº 12.188, de 15 de setembro de 2011*. Dispõe sobre a Política Municipal de Segurança Alimentar e Nutricional no âmbito do município de João Pessoa e dá outras providências. Recuperado de <https://leismunicipais.com.br/a/pb/j/joao-pessoa/lei-ordinaria/2011/1219/12188-dispoe-sobre-a-politica-municipal-de-seguranca-alimen>.
- Casa de Napoleão Laureano. (2013). *Lei nº 12.465, de 25 de janeiro de 2013*. Transforma a Secretaria de Desenvolvimento Sustentável da Produção em Secretaria do Trabalho, Produção e Renda – Secretaria do Trabalho; dispõe sobre sua estrutura, seus cargos em comissão e dá outras providências. Recuperado de <https://leismunicipais.com.br/a/pb/j/joao-pessoa/lei-ordinaria/2013/1246/12465/lei-ordinaria-n-12465-2013-transforma-a-secretaria-de-desenvolvimento-sustenta>

vel-a-producao-em-secretaria-do-trabalho-producao-e-renda-secretaria-do-trabalhoispor-sobre-sua-estrutura-seus-cargos-em-comissao-e-da-outras-providencias-2013-01-25.html.

Casa de Napoleão Laureano. (2013). *Lei nº 12.515, de 21 de fevereiro de 2013*. Institui a “Política Municipal de Apoio a Agricultura Urbana”, e dá outras providências. Recuperado de <https://leismunicipais.com.br/a/pb/j/joao-pessoa/lei-ordinaria/2013/1252/12515/lei-ordinaria-n-12515-2013-institui-a-politica-municipal-de-apoio-a-agricultura-urbana-e-da-outras-providencias>.

Casa de Napoleão Laureano. (2016). *Decreto nº 8.731, de 18 de maio de 2016*. Regulamenta a realização de cooperação com a iniciativa privada e a sociedade civil organizada para a manutenção de espaços públicos no município de João Pessoa. Recuperado de <https://leismunicipais.com.br/a/pb/j/joao-pessoa/decreto/2016/874/8731/decreto-n-8731-2016-regulamenta-a-realizacao-de-cooperacao-com-a-iniciativa-privada>.

Casa de Napoleão Laureano. (2018). *Lei nº 13.437, de 04 de julho de 2017*. Dispõe sobre as Diretrizes para Elaboração da Lei Orçamentária para o exercício de 2018, e dá outras providências. Recuperado de http://www.joaopessoa.pb.gov.br/portal/wp-content/uploads/2017/07/2017_1588-Especial-LDO_2018-01.pdf.

Coutinho, M. N. (2010). *Agricultura Urbana: práticas populares e sua inserção em políticas públicas*. Dissertação de Mestrado – Geografia/UFMG. Recuperado de <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/MPBB-87YHD5>.

Damásio, C., & Machado, G. (2013). *Plano Diretor participativo: leitura da realidade*. Prefeitura Municipal de Feliz. Feliz. Recuperado de <http://www.feliz.rs.gov.br/web/imgs/arquivos/leitura-da-realidade-244-mb.pdf>.

Guareschi, N., Comunello, L. N., Nardini, M., & Hoenisch, J. C. (2004). *Problematizando as práticas psicológicas no modo de entender a violência*. In: Violência, gênero e Políticas Públicas. Orgs: Strey, M. N.; Azambuja, M. P. R.; Jaeger, F. P. Ed: EDIPUCRS, Porto Alegre. Recuperado de http://pt.wikipedia.org/wiki/Pol%C3%ADtica_p%C3%BAblica.

- Kremer, P., & Deliberty, T. L. (2011). Local food practices and growing potential: Mapping the case of Philadelphia. *Applied Geography*. Vol. 31, pp. 1252-1261. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.01.007>.
- Machado, A. T., & Machado, C. T. T. (2002). *Agricultura Urbana*. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. (Documentos/Embrapa Cerrados). Recuperado de http://bbeletronica.cpac.embrapa.br/versaomodelo/html/2002/doc/doc_48.shtml.
- Ministério do Desenvolvimento Social. (2018). *Portaria nº 467, de 07 de fevereiro de 2018*. Institui o Programa Nacional de Agricultura Urbana e Periurbana.
- Moreira, C. (2008). Trajetória contemporânea da agricultura urbana. In: HISSA, Cássio Eduarno Viana. *Saberes Ambientais: desafios para o conhecimento disciplinar*. Belo Horizonte: UFMG. pp. 243-257.
- Mougeot, L. J. A. (2000). *Urban Agriculture: Definition, Presence, Potentials And Risks*. In: Growing Cities, Growing Food, Urban Agriculture on the Policy Agenda, DSE, pp. 1-41. Recuperado de <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/bitstream/handle/10625/26429/117785.pdf?sequence=12>.
- Onu. (2015). *Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. Recuperado de <https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2015/10/agenda2030-pt-br.pdf>.
- Pinto, R. F. (2007). *Hortas Urbanas: espaços para o desenvolvimento sustentável de Braga*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Municipal, Área de especialização em Planejamento Urbanístico, Universidade do Minho, Braga, p. 54. Recuperado de <http://hdl.handle.net/1822/7988>.
- Ruppenthal, J. E. (2014). *Gestão ambiental*. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria; Rede e-Tec Brasil.
- Santandreu, A., & Lovo, I. (2007). *Panorama da Agricultura Urbana e Periurbana no Brasil e Diretrizes Políticas para sua Promoção: identificação e caracterização de iniciativas de agricultura urbana e periurbana em regiões metropolitanas brasileiras*. Belo Horizonte: IPES; REDES.

- Silva, A. D. (2018). *Produção de alimentos na cidade: uma estratégia para o desenvolvimento local sustentável a partir de experiências em João Pessoa-PB*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. Recuperado de <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/14025>.
- Stewart, R., Korth, M., Langer, L., Rafferty, S., Silva, N. R., & Van Rooyen, C. (2013). What are the impacts of urban agriculture programs on food security in low and middle-income countries? *Environmental Evidence*, v. 2, n. 1, p. 1-10. Recuperado de <https://doi.org/10.1186/2047-2382-3-21>.
- Tabosa, R. M. R., Afonso, F. V., Silveira, J. A. R., & Donegan, L. (2018). (Re)pensando Espaços Livres Públicos em João Pessoa: Uma proposta para os bairros Expedicionários, Tambauzinho e Miramar. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, [S.l.], v. 6, n. 38. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.17271/2318847263820181546>.
- Veiga, J. E (2010). *Desenvolvimento sustentável: o desafio do século XXI*. Rio de Janeiro: Garamond.



Integrando el concepto de servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial

Integrating the concept of *ecosystem services* in territorial planning

*Daniel Francisco Avendaño-Leadem*¹
Universidad Nacional, Costa Rica
*Bepsy Cristina Cedeño-Montoya*²
Universidad Nacional, Costa Rica
*Michael Steven Arroyo-Zeledón*³
Universidad Nacional, Costa Rica

Resumen

El presente artículo realiza un análisis sobre la importancia del abordaje de los servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial, iniciando con una revisión bibliográfica del concepto de servicios ecosistémicos y los beneficios que se obtienen al trabajar bajo este enfoque, incluyendo las principales formas de clasificación de dichos bienes y servicios. Se repasa el concepto y los objetivos de ordenamiento territorial y cómo el plan regulador se constituye como la principal herramienta para incidir en el territorio en Costa Rica, para luego analizar la importancia del ordenamiento para garantizar la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos y por lo tanto la necesidad de considerar dichos servicios en los procesos de planificación del territorio sin omitir los desafíos que implica este abordaje. A manera de ejemplo se examina la experiencia de la ciudad de Damasco (Oregon, EEUU) y se exponen los principales criterios para la consideración de los servicios ecosistémicos

- 1 Geógrafo con maestría en planificación urbana y regional y maestría en eficiencia de los recursos aplicado en la planificación. Académico de la Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional, Costa Rica. Correo electrónico: daniel.avendano.leadem@una.cr, danavenda@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-8097-3942>
- 2 Geógrafa con maestría en gestión del turismo de naturaleza, estudiante del Programa de Doctorado en Agricultura y Recursos Naturales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Académica de la Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional, Costa Rica. Correo electrónico: bpsy.cedeno.montoya@una.cr. <https://orcid.org/0000-0002-1986-0006>
- 3 Biólogo especialista en manejo de recursos naturales. Académico de la Escuela de Planificación y Promoción Social, Universidad Nacional, Costa Rica. Correo electrónico: michael.arroyo.zeledon@una.cr. <https://orcid.org/0000-0001-7360-1630>

en los Planes Reguladores. Finalmente, se presentan una serie de conclusiones en las que se evidencia que aún falta mucho camino por recorrer en este ámbito, destacando que la incorporación del enfoque de servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial se torna imperativo para alcanzar los objetivos de desarrollo sustentable.

Palabras clave: servicios ecosistémicos, servicios ambientales, ordenamiento territorial, planes reguladores.

Abstract

The present article analyzes the importance of addressing *ecosystem services* in territorial planning, starting with a bibliographic review of the concept of *ecosystem services* and the benefits obtained by working under this approach, including the main ways of classifying these goods and services. The concept and objectives of territorial planning and the way in which zoning (known in Costa Rica as *Regulatory Plan*) is the main tool influencing Costa Rican territorial planning are reviewed. Next, the importance of planning to guarantee the sustainability of *ecosystem services* was analyzed and, therefore, the need to consider these services in territorial planning processes without omitting the challenges underlying this approach. As an example, the experience in the city of Damascus (Oregon, USA) is examined and the main criteria for the consideration of *ecosystem services* in its zoning plan are presented. Finally, a series of conclusions are exhibited that expose the long road ahead in this area, while highlighting the imperativeness of incorporating the *ecosystem services* approach in territorial planning to achieve the objectives of sustainable development.

Keywords: Ecosystem services; Environmental services; Territorial planning; Regulatory (zoning) plans.

Introducción

Los servicios ecosistémicos, definidos como los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas, son esenciales para el bienestar humano (Millennium Ecosystem Assessment - MEA, 2005). Esto es particularmente cierto en ámbitos urbanos donde la productividad económica, la calidad de vida, la seguridad y la salud pública están ligadas al entorno natural de manera única y habitualmente poco apreciada, tanto dentro como fuera de los límites de una ciudad (Grêt-Regamey, Celio, Klein & Wissen, 2013). A pesar de la importancia de los servicios ecosistémicos en dichos entornos, éstos continúan erosionándose debido principalmente a la fuerte presión ejercida por el crecimiento urbano y la expansión de la frontera agropecuaria, entre otros factores, que eclipsa su contribución a la calidad de vida de los seres humanos.

Las poblaciones urbanas dependen de los ecosistemas ubicados dentro y afuera de las ciudades para obtener servicios como recreación, regulación microclimática, control de la erosión y filtración del aire (Niemelä & otros, 2010). Los habitantes de las ciudades también dependen de la

huella ecológica proporcionada por los ecosistemas que se localizan fuera de las ciudades para verse beneficiados por el suministro de alimentos, fibras, agua, aire y otros servicios (Folke, Jansson, Larsson y Costanza, 1997). En este sentido, las poblaciones urbanas son grandes consumidores de servicios ecosistémicos y una fuente relevante de impactos ambientales globales en una época en que los ecosistemas están en rápido declive (Millennium Ecosystem Assessment - MEA, 2005). Un desafío clave de la gobernanza urbana es encontrar maneras de hacer visible la dependencia que tienen las poblaciones urbanas de los ecosistemas locales y distantes y considerarlo tanto en el ordenamiento territorial como en los respectivos procesos democráticos de toma de decisiones (Wilkinson, Saarne, Peterson & Colding, 2013).

Los impactos del acelerado proceso de urbanización sobre el ambiente son complejos, abarcando aspectos sociales, ecológicos y económicos a diferentes escalas que se extienden desde cambios en las estructuras sociales hasta la pérdida de funciones ecosistémicas y la prestación de sus respectivos servicios (Grimm & otros, 2008).

En general, el uso de la tierra se está desvinculando de las condiciones ecológicas locales y se ve cada vez más impulsado e impactado por procesos a gran escala resultando en la pérdida de paisajes tradicionales (Antrop, 2004).

Al relacionar la salud de los sistemas naturales con el bienestar humano, los servicios ecosistémicos proporcionan una oportunidad para promover un desarrollo urbano sostenible y resiliente (Biggs, Schlüter & Schoon, 2015). Caracterizar la función de los ecosistemas como servicios centrados en el ser humano, sin perder la perspectiva respecto a aspectos ecológicos, ofrece una serie de ventajas, tales como la oportunidad de medir y evaluar diferentes patrones de desarrollo, forma urbana y su respectivo diseño (Logsdon & Chaubey, 2013). Esta visión partiendo desde los servicios ecosistémicos ayuda a identificar y equilibrar mejor las disyuntivas inherentes a las decisiones de desarrollo (Biggs, Schlüter & Schoon, 2015 y Millennium Ecosystem Assessment - MEA, 2005).

Investigaciones recientes han comenzado a argumentar que la incorporación explícita de los servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial podría orientar mejor la protección del ambiente ante el desarrollo urbano como parte de procesos de planificación local, regional y nacional

(Albert, Aronson, Fürst & Opdam, 2014; Haase & otros, 2014; Nin, Soutullo, Rodríguez – Gallego; & Di Minin, 2016; y Woodruff & BenDor, 2016). Al reconocer el valor de los ecosistemas urbanos en función del bienestar humano y social, (y el del mismo ecosistema los servicios ecosistémicos podrían contribuir a mejorar las decisiones respecto al uso de la tierra debido a que se reflejaría mejor las disyuntivas entre los distintos escenarios de desarrollo (Logsdon & Chaubey, 2013). No obstante, la integración de los servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial y el respectivo proceso de toma de decisiones sigue estancado (Albert, Aronson, Fürst & Opdam, 2014; Mascarenhas, Ramos, Haase & Santos, 2015; y Woodruff & BenDor, 2016).

En tiempos recientes se han hecho esfuerzos considerables para mejorar la cartografía, cuantificación y valoración de los servicios ecosistémicos (Albert, Aronson, Fürst & Opdam, 2014; y Hubacek & Kronenberg, 2013). Sin embargo, un meta-análisis de estudios sobre servicios ecosistémicos urbanos encontró que pocos abordan su contemplación dentro del ordenamiento territorial ni tampoco proporcionan recomendaciones a los tomadores de decisiones responsables (Haase & otros, 2014). De hecho, es hasta hace poco que las investigaciones han propuesto la modificación y el desarrollo de nuevos marcos para integrar los servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial y el respectivo proceso de toma de decisiones.

En diferentes latitudes, particularmente Europa y Norteamérica, existen planes de sostenibilidad y ordenamiento territorial a diferentes escalas que reconocen los beneficios de los ecosistemas al promover la conservación y la infraestructura verde en el territorio. A pesar de lo anterior, hay una orientación limitada sobre cómo deben conceptualizar y utilizarse los servicios ecosistémicos en el contexto del uso de la tierra y el ordenamiento territorial (Woodruff & BenDor, 2016). En el caso de Costa Rica, recién en el 2018 se aprobó el *Reglamento para la gestión y reconocimiento de servicios ecosistémicos* - N° 41124 del Ministerio de Ambiente y Energía. A pesar de ello, ninguno de sus artículos hace referencia a la importancia de contemplar los servicios ecosistémicos dentro los instrumentos de ordenamiento territorial.

El presente artículo pretende brindar un aporte a la discusión sobre la importancia de considerar los servicios ecosistémicos dentro del ordenamiento territorial, partiendo de una amplia revisión bibliográfica. Se hace

referencia a las definiciones de los dos conceptos centrales en discusión (servicios ecosistémicos y ordenamiento territorial) incluyendo el abordaje de los beneficios y la clasificación de los servicios ecosistémicos. Se detallan las consideraciones a tomar en cuenta para la incorporación de los servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial por parte de varios autores provenientes de distintos contextos. Se describe la experiencia del Plan Integral de la ciudad de Damasco (estado de Oregon, Estados Unidos) como caso práctico en el que se incorporan los servicios ecosistémicos en una herramienta de ordenamiento territorial. Asimismo, se aborda la situación de los servicios ecosistémicos y el ordenamiento territorial en Costa Rica como aporte a la urgente necesidad de su discusión y consideración.

Los servicios ecosistémicos y su importancia para los territorios

• **Definición**

Una de las primeras definiciones de servicios ecosistémicos fue la formulada por [Costanza y otros \(1997\)](#), quienes afirman que los servicios ecosistémicos son los beneficios directos e indirectos que obtienen las poblaciones humanas de las funciones del ecosistema. Entre las definiciones que se cita con más frecuencia está la de la iniciativa Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, principal referente sobre el tema impulsado por la ONU, que los establece como los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas ([Millennium Ecosystem Assessment - MEA, 2005](#)). El objetivo principal de introducir el concepto de servicios ecosistémicos es básicamente el de incluir las preocupaciones ecológicas en términos económicos, destacar la dependencia de la sociedad en los ecosistemas naturales, así como promover el interés público en la conservación de la biodiversidad.

Existe un sinnúmero de definiciones de servicios ecosistémicos que aparecen reiteradamente en la literatura, por lo que es importante mencionar que no existe una definición ampliamente aceptada que abarque todas las características importantes de los servicios ecosistémicos ([Kowalczyk & Sudra, 2014](#)). En su revisión sobre el marco conceptual y la respectiva clasificación de los servicios ecosistémicos, [Camacho & Ruiz \(2012, p. 6\)](#) recopilan un listado de definiciones ordenadas conforme fueron propuestas por sus respectivos autores y que son importantes de destacar en esta

discusión. En este sentido, los servicios ecosistémicos son definidos por diferentes autores de la siguiente manera:

- Las condiciones y procesos a través de los cuales los ecosistemas naturales, y las especies que lo constituyen, sustentan y satisfacen a la vida humana (Daily, 1997).
- Los bienes (como alimentos) y servicios (como asimilación de residuos) de los ecosistemas, que representan los beneficios que la población humana obtiene, directa o indirectamente, de las funciones de los ecosistemas (Costanza & otros, 1997).
- Funciones del ecosistema: capacidad de los procesos y componentes naturales para proporcionar bienes y servicios que satisfacen las necesidades humanas, directa o indirectamente (De Groot & otros, 2002).
- Los beneficios que la población obtiene de los ecosistemas (Millennium Ecosystem Assessment - MEA, 2003).
- Aquellas funciones o procesos ecológicos que directa o indirectamente contribuyen al bienestar humano o tienen un potencial para hacerlo en el futuro (Environmental Protection Agency, 2004)
- Son componentes de la naturaleza, disfrutados, consumidos o directamente usados para producir bienestar humano (Boyd & Banzhaf, 2007).
- Son los aspectos de los ecosistemas utilizados (activa o pasivamente) para producir bienestar humano (Fisher, Turner, & Morling, 2009).

- **Beneficios de la aplicación del enfoque de servicios ecosistémicos**

El enfoque de servicio ecosistémico puede ser promulgado para muchos propósitos, sin embargo, son tres las razones principales que se recalcan en la literatura concerniente a la ecología. En primer lugar, el enfoque de servicio ecosistémico permite la identificación de un conjunto más amplio de beneficios que obtienen los seres humanos de los ecosistemas en un intento de destacar servicios que por lo general han permanecido desapercibidos. Con este propósito, la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio ha clasificado los servicios ecosistémicos en cuatro tipologías dependiendo del tipo de beneficio que éstas proporcionan a los seres humanos (Millennium Ecosystem Assessment - MEA, 2005):

- Los servicios de soporte son los que subyacen a todos los demás, en otras palabras, los necesarios para la producción de todos los demás servicios ecosistémicos, por ejemplo: el ciclo del agua, los ciclos de nutrientes y la biodiversidad.
- Los servicios de **aprovisionamiento** son productos propios del ecosistema que mantienen la producción de bienes, por ejemplo: alimentos, madera y agua dulce.
- Los servicios de **regulación** son los servicios que regulan los procesos ecosistémicos, por ejemplo: la polinización, la regulación climática y la purificación del agua.
- Los servicios **culturales** son servicios que proporcionan a los seres humanos beneficios intangibles y tienen un valor significativo para el bienestar social, psicológico y físico, por ejemplo: valores estéticos y recreativos.



Figura 1. Clasificación de los servicios ecosistémicos
 (Adaptado de: Millennium Ecosystem Assessment - MEA, 2005 y Camacho & Ruiz, 2012)

El sistema de clasificación más reciente es la Clasificación Internacional Común de Servicios Ecosistémicos (CICES en sus siglas en inglés), desarrollada por la Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA) y publicada en 2018. Esta clasificación difiere de la del Millennium Ecosystem Assessment (MEA) al no establecer la clase servicios de soporte pues los considera procesos y estructuras ecológicas básicas, que no proveen servicios o productos finales como sí lo hacen los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento, regulación y mantenimiento, y culturales (Haines-Young & Potschin, 2018).

En segundo lugar, el enfoque de servicio ecosistémico aumenta la conciencia de que los seres humanos dependen de los ecosistemas y de que la tasa actual de pérdida de biodiversidad es perjudicial para el bienestar humano. Esto es muy importante ya que, según (Rockström & otros, 2009), existen nueve límites planetarios (Cambio climático, acidificación oceánica, agotamiento del ozono estratosférico, interferencia con los ciclos mundiales de fósforo y nitrógeno, tasa de pérdida de biodiversidad, uso global de agua dulce, cambios en los usos de la tierra, carga de aerosoles y contaminación química) que no deben ser excedidos por la humanidad para poder asegurar un futuro sostenible. Lamentablemente tres de estas fronteras ya se han cruzado. Actualmente el nivel de cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la eliminación de nitrógeno de la atmósfera son demasiado grandes para que el sistema terrestre siga funcionando de la misma manera en que la sociedad humana está acostumbrada. En este sentido, existe un riesgo importante de que el planeta entre en un estado estacionario con condiciones inadecuadas para la existencia humana si se siguen trasgrediendo estos límites (Sundler, 2013).

Sobre esa misma línea, la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA) publicó en el 2005 una amplia investigación que evalúa las consecuencias para el bienestar humano del deterioro ambiental producto del cambio en los ecosistemas. Dicha entidad también trató de establecer una base científica para las acciones que la sociedad debe tomar para mejorar la conservación y el uso sostenible de los ecosistemas. En este estudio, los principales hallazgos mostraron que durante los últimos cincuenta años los seres humanos han transformado los ecosistemas de forma más rápida y extensiva que nunca, provocando una pérdida sustancial e irreversible de la biodiversidad del planeta. Si bien es cierto que estos cambios han

contribuido a un aumento significativo –aunque mal distribuido- de la riqueza económica humana, ésta ha sido a costa de la degradación de los servicios ecosistémicos que se ha presentado a nivel mundial y que aumenta considerablemente el riesgo para la humanidad según se trate de satisfacer las necesidades de una población en crecimiento. Los desafíos de revertir esta degradación son enormes, mas no imposibles ([Millennium Ecosystem Assessment - MEA, 2005](#)). Para hacerle frente a estos desafíos, se requiere de nuevas perspectivas y puntos de vista del mundo que se necesita y que el desarrollo humano se reconecte con la capacidad de la biosfera para poder sostener los servicios ecosistémicos ([Folke & otros, 2011](#)).

El tercer objetivo que se pretende lograr con el enfoque de servicios ecosistémicos es permitir la valoración, tanto monetaria como no monetaria, de dichos servicios a fin de asegurar mejores decisiones de compensación a través de los procesos de política pública ([Heal, 2000](#)). El concepto de servicio ecosistémico resalta los vínculos ecológicos y económicos, poniendo especial énfasis en los valores económicos de los ecosistemas y facilitando así una mayor consideración de estos en los marcos de valoración económica ([Daily, 1997](#); y [Norgaard, 2010](#)). En las décadas de 1980 y 1990 se propusieron varios métodos de valoración de servicios ecosistémicos y desde entonces el concepto se ha considerado de manera más holgada en el ámbito de las políticas económicas asociadas, incorporándose asimismo en varios mercados y mecanismos de pago y compensación ([Wilkinson, Saarne, Peterson & Colding, 2013](#)).

Reconocer explícitamente el valor del servicio ecosistémico y considerarlo como referencia dentro del ordenamiento territorial, permitiría a los encargados equilibrar mejor las disyuntivas de uso de la tierra y examinar múltiples escenarios de desarrollo. Los planes deben describir las compensaciones o pérdidas que se presentan entre los diferentes usos y servicios de la tierra y cómo evaluarlas. Los planes también deben reconocer las disyuntivas que se presentan entre los diferentes servicios ecosistémicos, la producción o generación de un servicio puede venir a expensas de otro; por ejemplo, la silvicultura de plantaciones forestales para la fijación de carbono podría disminuir la cantidad de agua ([Brauman, Daily, Duarte & Mooney, 2007](#)). En última instancia, decidir entre disyuntivas es un juicio de valor, ¿qué valora más la comunidad: la fijación de carbono o la disponibilidad de agua? Dado que las decisiones dependen en gran medida de los valores de

la comunidad, los estudiosos han argumentado que hay una necesidad de métodos de ordenamiento territorial que incorporen los valores culturales de una manera significativa. Los planes reguladores deben tener en cuenta varios tipos de datos, como encuestas, grupos focales y aportaciones públicas, además de datos ecológicos (Woodruff & BenDor, 2016).

Resulta interesante la experiencia desarrollada por (Borges, y otros, 2017) en la que se combinan talleres participativos de actores y métodos de decisión multicriterio para realizar el análisis de disyuntivas entre servicios ecosistémicos y objetivos conflictivos, que permitan dar soluciones consensuadas a problemas de provisión de servicios ecosistémicos, mediante procesos de planificación colaborativos.

El ordenamiento territorial y su importancia para la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos

• Objetivos del ordenamiento territorial

El ordenamiento territorial se refiere a los métodos utilizados por el sector público, en su mayoría gobiernos nacionales o locales, para influir en la distribución de personas y actividades en el espacio geográfico. Es simultáneamente una disciplina científica, una técnica administrativa y una política estratégica que se relaciona directamente con la gestión espacial y el desarrollo territorial (Sánchez, 2009). El ordenamiento se lleva a cabo en varios niveles administrativos, incluyendo locales (municipales), regionales, provinciales/estatales, nacionales e incluso internacionales. Actualmente lo percibimos como un conjunto de métodos para lograr un desarrollo sostenible vinculando aspectos ecológicos, económicos y sociales (Geneletti, 2012). El ordenamiento territorial posee varias funciones significativas que incluyen la creación del orden espacial (configuración del paisaje), garantizar una alta calidad de vida para los ciudadanos, la racionalización del uso de la tierra, la protección de los bienes públicos y la armonización de los intereses de entidades socioeconómicas (Kowalczyk & Sudra, 2014).

Por lo general, para lograr estos objetivos, las autoridades responsables establecen un plan espacial o plan de desarrollo territorial. En el caso de Costa Rica, este plan espacial se denomina Plan Regulador, el cual es definido por la Ley de Planificación Urbana 4240 como: “el instrumento de planificación local que define en un conjunto de planos, mapas,

reglamentos y cualquier otro documento, gráfico o suplemento, la política de desarrollo y los planes para distribución de la población, usos de la tierra, vías de circulación, servicios públicos, facilidades comunales, y construcción, conservación y rehabilitación de áreas urbanas.” ([Ley de Planificación Urbana, 1968](#)).

Uno de los aspectos más importantes del ordenamiento territorial es la dimensión ambiental y su relación con el desarrollo sostenible. Es precisamente en éste ámbito que se debería contemplar la evaluación de los servicios ecosistémicos ya que los Planes Reguladores deben ser vistos como una herramienta de ordenamiento territorial al servicio de la conservación del ambiente en la que las propuestas de zonificación de uso de la tierra juegan un papel importante ([Kowalczyk & Sudra, 2014](#)). La zonificación sirve a la protección de áreas ecológicamente ricas, precisando éstas como áreas que están excluidas del desarrollo, sirviendo como espacios abiertos, áreas recreativas, corredores de aireación, corredores ecológicos y zonas de amortiguación (por ejemplo, parques urbanos y otras áreas de vegetación urbana) ([Woodruff & BenDor, 2016](#)). Este es uno de los ámbitos en el que se podrían contemplar la evaluación de los servicios ecosistémicos.

Adicionalmente, los planes reguladores establecen algunas regulaciones suplementarias sobre la protección ambiental que se derivan de regulaciones externas, por ejemplo: el establecimiento de una zona de protección que rodea una fuente de agua subterránea como área amortiguadora para restringir la urbanización a cierta distancia de la fuente o la prohibición de construir en pendientes donde exista riesgo de producirse deslizamiento. Por último, pero no menos importante, un plan regulador puede establecer algunos indicadores o lineamientos espaciales a través de reglamentos que son de acatamiento obligatorio, como el caso de un porcentaje máximo de área construida en una propiedad o un porcentaje mínimo de área con cobertura boscosa en una parcela ([INVU, 2017](#)).

- **Incorporación de los servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial**

La integración de los servicios ecosistémicos en los procesos de toma de decisiones es deficiente y limitada, aún más específicamente si se consideran procesos como el ordenamiento territorial, la planificación del desarrollo, las leyes y políticas ambientales, así como la planificación y gestión del paisaje

(Mascarenhas, Ramos, Haase y Santos, 2015). Esto genera problemas significativos para la gobernanza ecológica ya que es probable que una atención inconsistente signifique que los ecosistemas y los servicios que ésta genera sean poco comprendidos y mal supervisados (Onur & Tezer, 2015).

Lo anterior evidencia la necesidad de una integración explícita y sistemática de los servicios ecosistémicos en la toma de decisiones a escala individual, corporativa y gubernamental, apoyados por un rápido avance en la ciencia de los servicios ecosistémicos (Daily & otros, 2009). Por lo tanto, considerar los servicios ecosistémicos como marco referencial dentro del ordenamiento territorial permitiría una comprensión ecológica más completa (Wilkinson, Saarne, Peterson & Colding, 2013) y su incorporación en las decisiones de manejo de los recursos naturales y de la planificación de los usos de la tierra (Daily & otros, 2009).

El ordenamiento territorial es un proceso de toma de decisiones particularmente relevante, en el que instrumentos como los Planes Reguladores se constituyen en documentos políticos utilizados para articular posiciones ideológicas. Cómo se enmarcan las relaciones entre el ser humano y la naturaleza y qué asuntos ambientales particulares se priorizan es precisamente una parte importante de esa posición ideológica (Sandercock & Friedmann, 2000).

Consideraciones para la incorporación de los servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial

Según Kowalczyk & Sudra (2014), en la discusión acerca de la importancia de considerar los servicios ecosistémicos dentro del ordenamiento territorial, existen al menos tres inconvenientes principales que se deben considerar en su abordaje. Estos se conocen como las “3 M” y se refieren a las variables de: multiescala, multiusuario y multiservicio.

Se considera la variable "multiescala" por el hecho de que los servicios ecosistémicos se proveen y utilizan a diferentes escalas espaciales. Asimismo, su abordaje se ha basado en unidades administrativas, mientras que los procesos ambientales ocurren dentro de unidades naturales (por ejemplo, cuencas hidrográficas) y se extienden más allá de los límites administrativos. Uno de los problemas relacionados con las escalas espaciales es que un Plan Regulador se centra en un área delimitada geográficamente, mientras que la provisión y el uso de servicios ecosistémicos puede

tener lugar dentro de un área mucho más amplio que la establecida por los límites del plan. En consecuencia, las diferencias entre el territorio que se está ordenando y el territorio que se está viendo afectado en términos de servicios ecosistémicos están dando lugar a dificultades para predecir los efectos de la implementación de un Plan Regulador (Geneletti, 2012).

La otra complicación relacionada con la escala espacial consiste en la identificación y consideración de los servicios ecosistémicos en función de los niveles de ordenamiento territorial (nacional, regional, local). Este problema se puede ilustrar por el papel de los bosques y los espacios verdes o simplemente por las funciones de los árboles como tal (Woodruff & BenDor, 2016). A escala nacional e incluso internacional, las funciones cruciales de los bosques y los espacios verdes incluyen la regulación climática, la fijación de carbono, la reducción del efecto invernadero y la producción de madera, entre otros. A escala regional, los servicios ecosistémicos proveídos por los espacios verdes están relacionados con la protección contra inundaciones, corredores ecológicos, paisaje cultural, producción de madera, aguas subterráneas (similar a lo ocurrido a escala nacional) y otros. Sin embargo, a escala local y urbanístico la importancia de los espacios verdes y sus funciones son muy diferentes. Los servicios ecosistémicos provenientes de las zonas verdes urbanas están relacionados con la recreación, los valores estéticos, la protección acústica y la regulación de la calidad del aire (Onur & Tezer, 2015).

El segundo problema que surge al tratar de integrar los servicios ecosistémicos en el ordenamiento del territorio está asociado con el aspecto "multiusuario". La evaluación de los servicios ecosistémicos sirve para documentar los valores que las personas asignan a los ecosistemas y evaluar los beneficios derivados de la naturaleza (Costanza & otros, 1997; De Groot, Wilson & Boumans, 2002; y Wallace, 2007). Una de las características más importantes del concepto de servicios ecosistémicos es que vincula el entorno con sus usuarios, lo que significa que si los servicios que no cuentan con demanda, no existen. En este sentido, se puede decir que el concepto tiene una dimensión antropocéntrica (Kowalczyk & Kulczyk, 2012). Desde el punto de vista del ordenamiento territorial, es crucial la participación de la mayor cantidad de partes interesadas en el proceso. El ordenamiento debe resolver los conflictos entre los diferentes grupos de beneficiarios que compiten por el uso de la tierra y los recursos naturales.

Es difícil identificar y describir la demanda relacionada con los servicios ecosistémicos debido al número de participantes y grupos de interés que tienen diferentes preferencias en cuanto al uso del medio ambiente. Un grupo de partes interesadas puede preferir conservar el medio natural en un área determinada, mientras que los demás preferirían utilizar los recursos naturales de una manera diferente, es decir, para la construcción o para la industria. Por lo tanto, es necesario una investigación social detallada, para describir qué servicios y en qué medida son cruciales (Kowalczyk & Sudra, 2014).

El tercer aspecto que genera conflicto es el de “multiservicio”, que se refiere al uso de los servicios ecosistémicos para el ordenamiento territorial en términos de la identificación y evaluación de la distribución de múltiples servicios ecosistémicos, lo cual está conectado en cierta medida con los dos inconvenientes anteriores. En otras palabras, un ecosistema puede proveer diferentes servicios y éstas pueden cambiar dependiendo del alcance territorial. La importancia de los servicios ecosistémicos puede cambiar dependiendo del consumidor de servicios, lo que significa que es necesario elaborar diferentes escenarios para el uso de los servicios ecosistémicos.

Aparte de los tres inconvenientes tratados con anterioridad, es importante considerar que el Plan Regulador, como herramienta de ordenamiento territorial, podría afectar la distribución y combinación de servicios ecosistémicos dentro de una región o municipio al compensar el aumento de un servicio con una disminución relativa en otro (Geneletti, 2012). En este sentido, es necesario identificar los servicios ecosistémicos de un área en particular y establecer cuáles son los más trascendentales. Esto podría lograrse mediante el análisis de múltiples funciones del ecosistema en diferentes escenarios de desarrollo territorial, sin embargo, se requeriría una gran cantidad de datos y el proceso de análisis podría complicar el proceso de ordenamiento territorial (Kowalczyk & Sudra, 2014). Este ejercicio debe incluir la opinión e intereses de los diferentes actores e idealmente responder a un consenso, aumentando así la complejidad del análisis.

Woodruff & BenDor (2016) agregan que es importante considerar múltiples estrategias que se deben contemplar en los esfuerzos de ordenamiento territorial a futuro. Estas estrategias incluyen:

- a. Utilizar el servicio ecosistémico para decidir dónde colocar instalaciones públicas para que estas instalaciones puedan cumplir múltiples objetivos.
- b. Integración de los servicios ecosistémicos en la planificación de la infraestructura.
- c. Contemplar las disyuntivas de los servicios ecosistémicos afectados por los procesos de desarrollo.

Los instrumentos de ordenamiento territorial también pueden considerar estrategias para analizar el cambio de uso del suelo, como por ejemplo el asociado a los procesos de urbanización (Haase & otros, 2014), identificar aquellos usos de la tierra que favorecen la provisión de servicios ecosistémicos prioritarios, sugerir soluciones basadas en la naturaleza como la inversión en infraestructura verde y crear mercados de servicios ecosistémicos, entre otros.

- **Caso de estudio donde se incorporan los servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial: Plan integral de la ciudad de Damasco**

En la ciudad de Damasco (estado de Oregón, Estados Unidos) los servicios ecosistémicos son considerados como una referencia útil para relacionar la protección del ambiente con los objetivos de planificación a escala comunitaria y guiar el desarrollo a futuro. El ordenamiento territorial de la ciudad proporciona pruebas convincentes de que la integración de los servicios ecosistémicos en la planificación permite contemplar los beneficios de la protección ambiental para alcanzar otros objetivos como los relacionados con infraestructura y espacios abiertos o parques.

El Plan Integral de la ciudad define los servicios ecosistémicos como "...los servicios únicos e insustituibles prestados por los recursos naturales existentes" (Damascus, 2010, p. 95). El plan en sí identifica una serie de servicios que incluye aire limpio, hábitats acuícolas y vida silvestre, fijación de carbono, así como valores culturales y espirituales, los cuales son vinculados con hábitats y características particulares dentro de la comunidad y son considerados como un activo que requiere ser protegido. Al abordar la gestión de las aguas pluviales, por ejemplo, el plan exige la protección de las áreas boscosas, los humedales y los corredores riparios o

riberieños con el fin de reducir la cantidad de escorrentía y mejorar la gestión de las aguas pluviales. En este sentido, el Plan Integral de Damasco incluye más de cincuenta políticas relacionadas con los servicios ecosistémicos. Muchas estrategias se centran en la creación de capacidades, como el inventario de recursos naturales y la inclusión de esta información en el ordenamiento territorial y la planificación futura de la ciudad (Woodruff & BenDor, 2016).

Damasco es un vivo ejemplo de cómo los servicios ecosistémicos podrían beneficiar el ordenamiento territorial ya que va más allá de reconocer los servicios ecosistémicos en los planes de ordenamiento a utilizar explícitamente los servicios ecosistémicos para apoyar las decisiones relacionadas con el uso de la tierra y desarrollo, así como a vincular múltiples objetivos comunitarios con los servicios ecosistémicos. No obstante, el Plan Integral de la ciudad no considera todo el potencial de los servicios ecosistémicos; el plan analiza los servicios ecosistémicos a nivel general sin detalles sobre la cantidad, el valor y la escala de los servicios. La falta de detalle plantea inquietudes sobre cómo se utilizarán realmente los servicios ecosistémicos en el proceso de toma de decisiones.

A partir de la experiencia del Plan Integral de Damasco y complementado con revisión literaria sobre servicios ecosistémicos, Woodruff & BenDor (2016) proponen veinte criterios adicionales para ayudar a mejorar la integración de los servicios ecosistémicos en los objetivos de los planes de ordenamiento territorial, incluyendo el proceso de participación pública, la base de datos e información requerida y las políticas de ordenamiento territorial a proponer (Ver Tabla 1). Estos criterios están destinados a complementar la orientación de calidad del plan existente, a identificar fortalezas y áreas de mejora y son aplicables a la planificación en otros países y a diferentes escalas.

Propuesta de criterios para la consideración de los servicios ecosistémicos en los Planes Reguladores

- 1 **Objetivos:** el plan debe identificar y explicar claramente los resultados (outcome) deseados del servicio ecosistémico
 - 1.1 Se definen/identifican los servicios ecosistémicos?
 - 1.2 Los resultados (outcomes) de los servicios ecosistémicos están vinculados con los resultados ambientales, sociales y económicos más amplios
 - 1.3 Los objetivos de los servicios ecosistémicos están conectados con otras metas en las comunidades (ex. Mitigación de riesgos, desarrollo económico)
- 2 **Participación:** el plan debe integrar los servicios ecosistémicos en la participación ciudadana para comunicar información y solicitar retroalimentación
 - 2.1 ¿Se utilizan los servicios ecosistémicos como herramienta para comunicar información durante el proceso de participación ciudadana?
 - 2.2 ¿Se utilizan los servicios ecosistémicos al presentar compensaciones entre diferentes escenarios de desarrollo durante el proceso de participación ciudadana?
 - 2.3 ¿El proceso de participación considera los valores y preferencias de la comunidad hacia los servicios ecosistémicos?
- 3 **Base de datos:** el plan debe construirse sobre una base sólida de datos
 - 3.1 ¿Se identifican los servicios ecosistémicos? ¿Se diferencian los tipos de servicios ecosistémicos (por ejemplo: recreación, fijación de carbono, mitigación de inundaciones)?
 - 3.2 ¿Se identifican las características y los procesos que proporcionan los servicios ecosistémicos?
 - 3.3 ¿Se discute la escala del plan o alcance del servicio?
 - 3.4 ¿Se identifican los beneficiarios de los servicios?
 - 3.5 ¿Se identifican y discuten las amenazas a los servicios ecosistémicos?
 - 3.6 ¿La información y los datos son específicos para el área del plan y su contexto?
 - 3.7 ¿El plan considera o hace uso de múltiples tipos de datos (por ejemplo: encuestas públicas, estudios ecológicos)?
 - 3.8 ¿Se discute claramente la metodología para la cuantificación, la valoración y las compensaciones?
 - 3.9 ¿Se discuten las compensaciones entre los diferentes servicios ecosistémicos?
 - 3.10 ¿Se presentan las compensaciones entre los diferentes usos de la tierra y las opciones de gestión territorial?
 - 3.11 ¿Se presentan las fuentes de la información base y los datos?
- 4 **Políticas:** el plan debe proporcionar políticas específicas para guiar la toma de decisiones y el ordenamiento territorial
 - 4.1 Invertir en infraestructura verde o incorporar servicios ecosistémicos en la planificación y toma de decisiones relacionado con infraestructura
 - 4.2 Crear mercados de servicios ecosistémicos y asegurar la mitigación de impactos en los servicios protegidos
 - 4.3 Integrar los servicios ecosistémicos en las propuestas de zonificación y desarrollo de uso de la tierra y en la toma de decisiones

Fuente: adaptado de [Woodruff & BenDor \(2016\)](#)

El plan de Damasco identifica los servicios ecosistémicos de interés y las características que proporcionan estos servicios, pero no incluye detalles específicos sobre cuantificación, valoración y compensaciones, información que se considera importante para establecer prioridades y tomar decisiones de desarrollo. [Hernández-Morcillo, Plieninger, & Bieling \(2013\)](#) discuten múltiples tipos de indicadores para cuantificar los servicios ecosistémicos, como indicadores de condición (por ejemplo, indicadores químicos y biológicos que evalúan la capacidad de un ecosistema para apoyar los servicios), indicadores (por ejemplo, medir procesos que prestan servicios) e indicadores de beneficios (por ejemplo, medidas de proyectos tangibles como el número de visitas turísticas o el nivel de nitrógeno disuelto).

Adicionalmente, es posible encontrar en la actualidad una serie de programas para modelado espacial (por ejemplo: MIMES, Co\$ting Nature, EcoAIM, GUMBO, ECOMETRIX, SWAT, FIESTA, InVEST) que permiten cuantificar, mapear y valorar los servicios ecosistémicos en el territorio, aplicaciones que tienen un gran potencial para el apoyo en la toma de decisiones relacionadas principalmente con la planificación del uso del suelo ([Ochoa Cardona, Cuellar, & Urbina-Cardona, 2015](#)), elemento fundamental del ordenamiento territorial.

Servicios ecosistémicos y ordenamiento territorial en Costa Rica

Costa Rica es reconocida internacionalmente por albergar una gran riqueza de especies, aproximadamente el 3,6% de la biodiversidad esperada para el planeta (entre 13 y 14 millones de especies) ([MINAE, 2015](#)) lo que ha motivado a desarrollar esfuerzos en defensa de esa riqueza natural. Entre estas acciones destaca el establecimiento del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) que permite que 25,44% de la superficie terrestre costarricense y 2,63% del área marina total nacional se encuentren protegidas dentro de alguna de las 145 Áreas Silvestres Protegidas ([SINAC, 2019a](#)).

Sin embargo, el ordenamiento territorial en el país se ha concentrado en los espacios urbanos y ha sido guiado principalmente por los Planes Reguladores municipales, esta visión es la principal responsable de varios de los problemas ambientales que enfrentamos actualmente ([Presidencia de la República, 2008](#)).

Según el (SINAC, 2019b), la Política Nacional de Ordenamiento Territorial, las metas de la Administración Chinchilla 2010-2014 y el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014, incentivaron la inclusión de la variable ambiental en el ordenamiento territorial del país. Lo anterior se concretó con la entrada en vigencia del Manual de Instrumentos Técnicos para el proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (Manual de EIA), publicado vía decreto N°32967 en el año 2016, mediante el establecimiento de los Índices de Fragilidad Ambiental como elemento obligatorio en los Planes Reguladores u otra planificación de uso del suelo.

En lo que respecta propiamente al concepto de servicios ecosistémicos, según (Louman & otros, 2005) con la entrada en vigor en 1996 de la Ley Forestal 7575, el Gobierno de Costa Rica reconoció formalmente los servicios ambientales brindados por los bosques y desarrolló un sistema de pagos por servicios ambientales (PSA). Este sistema reconoce cuatro servicios ambientales que proveen los bosques y las plantaciones forestales: mitigación de los gases de efecto invernadero (fijación, reducción y almacenamiento de CO₂), protección del recurso hídrico, protección de la biodiversidad y protección de la belleza escénica (Oficina Nacional Forestal, 2019).

A pesar de que el sistema de pago tiene más de 20 años de haber sido implementado en Costa Rica, siendo el primer esquema gubernamental de PSA en el mundo (Mora-Vega, Saenz-Segura & Le Coq, 2012), que permitió revertir la deforestación (la cobertura forestal del país pasó de representar un 21% a finales de los años ochenta a un 52% en la actualidad) (Gobierno de Costa Rica, 2018), su vinculación con el ordenamiento territorial es prácticamente nula pues se limita a un reconocimiento financiero que el Estado costarricense otorga, mediante el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO), a los propietarios (as) de fincas que establecen plantaciones forestales, sistemas agroforestales y/o realizan proyectos de regeneración natural, protección y manejo de los bosques (Oficina Nacional Forestal, 2019).

En Costa Rica, el concepto de servicios ecosistémicos se ha asociado principalmente a la biodiversidad, es decir, con una visión limitada solo a aquellos bienes y servicios vinculados a la biodiversidad. Ejemplo de esto es la Estrategia Nacional de Biodiversidad que, a pesar de esa visión limitada, reconoce que los instrumentos de ordenamiento territorial - espacial (planes reguladores, planes regionales) son los que deben establecer las

reglas bajo las que se deben regir las actividades económicas en el territorio, conciliando los intereses de los distintos actores sociales.

Esta estrategia señala también las dificultades que existen para la aprobación de esos instrumentos (tramitología, multiplicidad de instituciones implicadas, necesidad de consultas públicas, entre otros) y cómo esto finalmente se traduce en falta de información para los actores sobre el estado de los ecosistemas. En el documento se recomienda la planificación del territorio en el ámbito más local para la identificación de las limitaciones y necesidades socioeconómicas de cada territorio de forma que se diferencien en el espacio las medidas que deberían implementarse para garantizar un aprovechamiento sostenible de la biodiversidad, los recursos naturales en general y los servicios ecosistémicos asociados (MINAE; CONAGEBIO; SINAC, 2016).

Adicionalmente, en el 2018 se publicó vía decreto el Reglamento para la gestión y reconocimiento de servicios ecosistémicos N° 41124-MINAE cuyos objetivos son: a) Establecer las normas para la gestión y reconocimiento de los servicios ecosistémicos que brinda el Patrimonio Natural del Estado (PNE) y los terrenos privados de importancia para la conservación, y b) Desarrollar los mecanismos económicos y no económicos que establece la Ley de Biodiversidad con el fin de contribuir a la sostenibilidad financiera de las Áreas Silvestres Protegidas (ASP) y la gestión del SINAC (Acevedo, Avendaño, Arroyo & Hartley, 2019).

Este reglamento constituye un paso más en el reconocimiento de la importancia de los servicios ecosistémicos, sin embargo, se limita a encomendar al SINAC (mediante la figura del Programa de Servicios Ecosistémicos) el establecimiento de una serie de incentivos (económicos y no económicos) que se otorgan a iniciativas, principalmente de tipo comunal, que favorezcan aquellos bienes, servicios y cadenas de valor asociados, una vez más, a la biodiversidad.

La crítica y las buenas intenciones en torno al tema de incorporación de los servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial en Costa Rica no han logrado un cambio en los instrumentos de ordenamiento territorial. Por ejemplo, al revisar el Manual de Planes Reguladores (INVU, 2017), principal instrumento de planificación a nivel regional y municipal, no incluye ni una sola vez el término servicios ecosistémicos, situación que se repite en el Plan Nacional de Desarrollo (MIDEPLAN, 2019) que solo

menciona un par de veces el concepto servicios ambientales pero asociado al programa PSA.

Finalmente, el gobierno lanzó en 2018, un ambicioso Plan Nacional de Descarbonización ([Gobierno de Costa Rica, 2018](#)) en cuyo décimo eje plantea la gestión del territorio rural, urbano y costero orientado a conservación y uso sostenible incrementando los recursos forestales y servicios ecosistémicos a partir de soluciones basadas en la naturaleza, para el que propone dos actividades relacionadas con servicios ecosistémicos:

- Diseñar y lanzar nueva generación de Pagos por Servicios Ecosistémicos (de PSA a PSE2.0).
- Fortalecer la captura de carbono en otros ecosistemas altos en carbono, evitando inversiones (inmobiliarias, actividades agropecuarias) expansivas que propicien destrucción de áreas boscosas, manglares, humedales.

Se observa que aún falta mucho camino por recorrer en cuanto a la inclusión de los servicios ecosistémicos como elemento a considerar en el ordenamiento territorial, pues la visión de esos bienes y servicios es aún limitada y asociada principalmente al PSA pero, actividades como la intención de limitar las actividades expansivas abre una pequeña ventana para pensar que se puede empezar a generar un cambio a través de las propuestas de zonificación de uso de la tierra presentes en los planes reguladores.

Conclusiones

A partir de una extensa revisión bibliográfica este artículo ha discutido la importancia, la necesidad y la forma en que pueden integrarse los servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial. Teniendo en cuenta los hallazgos de diferentes autores y contextos, parece estar claro que el concepto de servicios ecosistémicos tiene una alta aplicabilidad en el ámbito del ordenamiento territorial. Además, éstos deben contemplarse para adecuar las necesidades sociales y económicas de la sociedad a las condiciones ecológicas y a los posibles impactos ambientales de las acciones que se están adoptando. Existe la expectativa de que esta operacionalización conduzca al desarrollo de regiones urbanas ecológicamente sostenibles.

Se reconoce que estas ambiciones siguen por demostrarse empíricamente, al mismo tiempo identificando la necesidad de una mayor

investigación científica sobre el fundamento socio-ecológico de los servicios ecosistémicos, establecer cómo las acciones humanas afectan a los ecosistemas y cómo este entendimiento puede incorporarse a la toma de decisiones, en este caso particular al ordenamiento territorial.

En este artículo se analizó la definición y las clasificaciones existentes de los servicios ecosistémicos y su utilidad para el ordenamiento territorial. Se hizo una recopilación de varias definiciones de distintos autores como contribución a la discusión acerca de la temática. Además de hacer referencia a la clasificación habitual de la MEA de los servicios ecosistémicos según sus beneficios (soporte, aprovisionamiento, regulación y culturales), se resaltó la importancia de aumentar la conciencia de que los seres humanos, y todos los seres vivos, dependen de los ecosistemas y la necesidad de nuevas perspectivas de desarrollo que consideren la capacidad de la biosfera para poder sostener los servicios ecosistémicos.

Se hace hincapié en el hecho de que dentro del ordenamiento territorial es importante reconocer explícitamente el valor, tanto monetario como no monetario, de los servicios ecosistémicos y considerarlos como referencia a la hora de planificar el espacio. Esto permite un mayor equilibrio en cuanto a las disyuntivas que se presentan entre los diferentes usos y servicios de la tierra y cómo se analizan estas relaciones. Los planes también deben reconocer las disyuntivas entre los diferentes servicios ecosistémicos y que la provisión de estos servicios está asociada a los usos de la tierra y que, por lo tanto, la propuesta de zonificación que forma parte de los planes de ordenamiento territorial es un instrumento de planificación con un gran potencial en este tema.

Existen múltiples herramientas que permiten plasmar la distribución espacial de los servicios ecosistémicos permitiendo relacionarlos con los usos de la tierra en el territorio. Identificar qué usos favorecen o degradan esos servicios contribuiría a analizar el efecto que tendrían las proyecciones de cambio de uso de la tierra en la provisión de los servicios que permitan tomar decisiones más acertadas sobre los escenarios y proponer zonificaciones que realmente incorporen este componente ambiental. Sin embargo, no es un proceso sencillo y su complejidad aumenta al incluir la opinión, necesidades y aspiraciones de los diferentes actores que inciden en territorio. Lograr un consenso es difícil pero no imposible, requiere de una valoración previa de los servicios ecosistémicos que guíe hacia su

priorización, con una visión de mediano y largo plazo, dirigida fundamentalmente por el bien común.

El plan integral de la ciudad de Damasco sirvió de caso de estudio para mostrar cómo se pueden tomar los servicios ecosistémicos como marco para conectar la protección del medio ambiente con otros objetivos comunitarios y guiar el desarrollo futuro. El plan proporciona pruebas convincentes de que la integración de los servicios ecosistémicos en el ordenamiento permite la identificación de beneficios de la protección del medio ambiente para otros objetivos como la infraestructura y el espacio abierto. Sin embargo, se sugiere que esta teoría y experiencia debe ser probada mediante el análisis de una muestra más grande de planes de ordenamiento territorial, considerando que este abordaje se centró exclusivamente en el contenido del plan y no propiamente en sus resultados. Queda por establecer si un plan que incorpora servicios ecosistémicos mejora realmente la protección del medio ambiente, el bienestar social y otros objetivos de sostenibilidad con el tiempo.

En Costa Rica no parece estar cerca la inclusión de los servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial, pues la visión que se tiene del tema es aún muy limitada. Por el lado de los servicios ecosistémicos, las experiencias se han desarrollado principalmente entorno a la valoración económica de los bienes y servicios que ofrecen ecosistemas específicos (como los humedales o los bosques), mientras que, en el ordenamiento territorial, específicamente en los planes reguladores, la componente ambiental analizada se confina a lo establecido por los IFAS.

Se vislumbran pequeños espacios de cambio cuando en un plan nacional se mencionan acciones tendientes a limitar las actividades expansivas, pues es a través de los usos de la tierra donde se puede incidir de forma más efectiva y beneficiosa (o perjudicial) sobre los servicios ecosistémicos. Sin embargo, la articulación entre los planes locales, regionales y nacionales es limitada, los procesos de planificación y el ordenamiento del territorio suele ser procesos muy politizados y enfocados en el corto plazo (periodos administrativos del gobierno nacional y local), lo que dificulta la posibilidad de dar continuidad o retomar acciones valiosas conducentes a la búsqueda de la sostenibilidad.

En tiempos tan críticos para la relación ambiente – sociedad en los que a diario se discute sobre temas como cambio climático, riesgo ante

eventos naturales, desigualdad, seguridad alimentaria, entre otros, es fundamental identificar campos de investigación y acción de gran incidencia que permitan mejorar y revertir muchas de las tendencias negativas que se observan. El ordenamiento territorial es uno de esos campos, pues contempla instrumentos que aplicados a diferentes escalas pueden tener un efecto positivo en el corto, mediano y largo plazo sobre el territorio. Su impacto positivo será aún mayor si la componente ambiental considera los servicios ecosistémicos, acercando el territorio a los objetivos de sostenibilidad que se requieren lograr.

Referencias

- Albert, C., Aronson, J., Fürst, C. & Opdam, P. (2014). Integrating ecosystem services in landscape planning: requirements approaches, and impacts. *Landscape Ecology*, 29, 1277–1285.
- Acevedo, H., Avendaño, D., Arroyo, S. & Hartley, M. (2019). Mapeo participativo de servicios ecosistémicos para la planificación territorial en Costa Rica. En A. Mora, J. Garrido, y R. Alexandre, *Planeamiento sectorial: recursos hídricos, espacio rural y fronteras* (págs. 331-344). Navarra, España: Thomson Reuters Arazandi.
- Antrop, M. (2004). Landscape change and the urbanization process in Europe. *Landscape and urban planning*, 67, 9-26.
- Biggs, R., Schlüter, M. & Schoon, M. (2015). *Principles for building resilience: sustaining ecosystem services in social-ecological systems*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Borges, J., Marques, S., García-Gonzalo, J., Ur Rahman, A., Bushenkov, V., Sottomayor, M. & Nordström, E. M. (2017). A multiple criteria approach for negotiating ecosystem services supply targets and forest owners' program. *Forest Science*, 63, 49-61.
- Boyd, J. & Banzhaf, J. (2007). What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecological Economics*, 63, 616–626.
- Brauman, K., Daily, G., Duarte, T. & Mooney, H. (2007). The nature and value of ecosystem services: an overview highlighting hydrologic services. *Annual Review of Environment and Resources*, 32, 67–98.
- Camacho, V. & Ruiz, A. (2012). Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. *Bio Ciencias* (4), 3-15.

- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farberk, S., Grasso, M., Hannon, B. & Van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* (387), 253–260.
- Daily, G. (1997). *Nature's services: societal dependence of ecosystems*. Washington, D. C.: Island Press.
- Daily, G., Polasky, S., Goldstein, J., Kareiva, P., Mooney, H., Pejchar, L. & Shallenberger, R. (2009). Ecosystem services in decision making: time to deliver. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7, 21–28.
- Damascus. (2010). *Envision Damascus: Comprehensive Plan*. Damascus, Oregon: Damascus City Council.
- De Groot, R., Wilson, M. & Boumans, R. (2002). Typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41, 393–408.
- Environmental Protection Agency. (2004). *Ecological benefits assessment strategic plan*. Washington D.C.: SAB Review Draft.
- Fisher, B., Turner, K. & Morling, P. (2009). Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, 68, 643–653.
- Folke, C., Jansson, A., Larsson, J. & Costanza, R. (1997). Ecosystem appropriation by cities. *Ambio*, 26, 167–172.
- Folke, C., Jansson, Å., Rockström, J., Olsson, P., Carpenter, S., Chapin, F. & Walker, B. (2011). Reconnecting to the Biosphere. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 40, 719–738.
- Geneletti, D. (2012). *Integrating Ecosystem Services in Land Use Planning: Concepts and Applications*. CID Research Fellow and Graduate Student Working Paper No. 54.: Center for International Development at Harvard University.
- Gobierno de Costa Rica. (2018). *Plan Nacional de Descarbonización*. San José: Gobierno de Costa Rica.
- Grêt-Regamey, A., Celio, E., Klein, T. & Wissen, U. (2013). Understanding ecosystem services trade-offs with interactive procedural modeling for sustainable urban planning. *Landscape and Urban Planning*, 109, 107–116.
- Grimm, N., Faeth, S., Golubiewski, N., Redman, C., Wu, J., Bai, X. & Briggs, J. (2008). Global change and the ecology of cities. *Science*, 319, 756–760.

- Haase, D.; Larondelle, N.; Andersson, E.; Artmann, M.; Borgström, S.; Breuste, J.; Gomez-Baggethun, E.; Gren, A.; Hamstead, Z.; Hansen, R.; Kabisch, N.; Kremer, P.; Langemeyer, J.; Lorange Rall, E.; McPhearson, T.; Pauleit, S.; Qureshi, S.; Schwarz, N.; Voigt, A.; Wurster, D. & Elmqvist, T. (2014). A quantitative review of urban ecosystem service assessments: concepts models, and implementation. *AMBIO*, 43, 413–433.
- Haines-Young, R., & Potschin, M. (2018). *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 - Guidance on the Application of the Revised Structure*. Nottingham, Reino Unido: CICES.
- Heal, G. (2000). *Nature and the marketplace: capturing the value of ecosystem services*. Washington D.C.: Island Press.
- Hernández-Morcillo, M., Plieninger, T. & Bieling, C. (2013). An empirical review of cultural ecosystem service indicators. *Ecological Indicators*, 29, 434–444.
- Hubacek, K. & Kronenberg, J. (2013). Synthesizing different perspectives on the value of urban ecosystem services. *Landscape and Urban Planning*, 109, 1–6.
- INVU. (2017). *Manual de Planes Reguladores como Instrumento de Ordenamiento Territorial*. San José, Costa Rica: Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo.
- Kowalczyk, M. & Kulczyk, S. (2012). Ecosystem services in tourism research: case study of aquatic recreation. *Economy and Environment*, 2, 200-2008.
- Kowalczyk, M. & Sudra, P. (2014). Ecosystem services in spatial planning. *EUROPA XXI* (27), 5-18.
- Ley de Planificación Urbana, N° 4240 (ASAMBLEA LEGISLATIVA DE LA REPÚBLICA DE COSTA RICA 15 de noviembre de 1968).
- Logsdon, R. & Chaubey, I. (2013). A quantitative approach to evaluating ecosystem services. *Ecological Modelling*, 257, 57–65.
- Louman, B., Garay, M., Yalle, S., Campos, J., Locatelli, B., Villalobos, R. & Carrera, F. (2005). Efectos del pago por servicios ambientales y la certificación forestal en el desempeño ambiental y socioeconómico del manejo de bosques naturales en Costa Rica. Turrialba: CATIE.

- Mascarenhas, A., Ramos, T., Haase, D. & Santos, R. (2015). Ecosystem services in spatial planning and strategic environmental assessment - A European and Portuguese profile. *Land Use Policy* (48), 158-169.
- MIDEPLAN. (2019). Plan nacional de desarrollo e inversión pública 2019 - 2022. San José: Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica.
- Millennium Ecosystem Assessment - MEA. (2003). *Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment*. Washington, DC: Island Press.
- Millennium Ecosystem Assessment - MEA. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. Washington, DC: World Resources Institute.
- MINAE. (2015). *Política Nacional de Biodiversidad 2015-2030 Costa Rica*. San José, San José, Costa Rica: Ministerio de Ambiente y Energía.
- MINAE; CONAGEBIO; SINAC. (2016). *Estrategia Nacional de Biodiversidad*. San José: FMAM-PNUD, Fundación de Parques Nacionales-Asociación Costa Rica por Siempre.
- Mora-Vega, R., Saenz-Segura, F. & Le Coq, J.-F. (2012). *Servicios ambientales y ecosistémicos: conceptos y aplicaciones en Costa Rica*. Puentes entre el Comercio y el Desarrollo Sostenible, 20-23.
- Niemelä, J., Saarela, S., Söderman, T., Kopperoinen, L., Yli-Pekkonen, V., Väre, S. & Kotze, J. (2010). Using the ecosystem services approach for better planning and conservation of urban green spaces: A Finland case study. *Biodiversity Conservation*, 19, 3225-3243.
- Nin, M., Soutullo, A., Rodríguez-Gallego, L. & Di Minin, E. (2016). Ecosystem services - Based land planning for environmental impact avoidance. *Ecosystem Services*, 17, 172-184.
- Norgaard, R. (2010). Ecosystem services: from eye-opening metaphor to complexity blinder. *Ecological Economics* 69, 69, 1219-1227.
- Ochoa Cardona, V., Cuellar, S. & Urbina-Cardona, N. (2015). *Herramientas para el análisis y modelado de servicios ecosistémicos: tendencias espacio-temporales y desafíos futuros*. Tesis de maestría. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- Oficina Nacional Forestal. (2019). Oficina Nacional Forestal. Obtenido de Programa de Pago por Servicios Ambientales: <http://www.onfcr.org/article/psa/>

- Onur, C. & Tezer, A. (2015). Ecosystem services based spatial planning decision making for adaptation to climate changes. *Habitat International*, 47, 267e278.
- Presidencia de la República. (2008). *Iniciativa Paz con la Naturaleza*. San José: Poder Ejecutivo del Gobierno de Costa Rica.
- Rockström, J., Steffen, W.; Noone, K.; Persson, A.; Chapin, F.; Lambin, E.; Lenton, T.; Scheffer, M.; Folke, C.; Schellnhuber, H.; Nykvist, B.; De Wit, C.; Hughes, T.; van der Leeuw, S.; Rodhe, H.; Sörlin, S.; Snyder, P.; Costanza, R.; Svedin, U.; Falkenmark, M.; Karlberg, L.; Corell, R.; Fabry, V.; Hansen, J.; Walker, B.; Liverman, D.; Richardson, K.; Crutzen, P.; & Foley, J. (2009). Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, 14, 32.
- Sánchez, R. (2009). *Ordenamiento territorial: bases y estrategias metodológicas para la ordenación ecológica y ambiental de tierras*. Buenos Aires: Orientación gráfica editora.
- Sandercock, L. & Friedmann, J. (2000). Strategizing the metropolis in a global era. *Urban Policy and Research*, 18, 529-533.
- SINAC. (2019a). Informe Anual Estadísticas SEMEC 2018: SINAC en Números. San José: SINAC.
- SINAC. (2019b). *Sistemas Nacional de Áreas de Conservación*. Obtenido de Ordenamiento territorial y cuencas hidrográficas: <http://www.sinac.go.cr/ES/ordeterrcuc/Paginas/default.aspx>
- Sundler, S. (2013). *Ecosystem Services in Spatial Planning: Towards sustainable development in the Swedish physical planning process*. Östersund, Sweden: Mid Sweden University.
- Wallace, K. (2007). Classification of ecosystem services: problems and solutions. *Biological Conservation* (139), 235–246.
- Wilkinson, C., Saarne, T., Peterson, G. & Colding, J. (2013). Strategic Spatial Planning and the Ecosystem Services Concept – an Historical Exploration. *Ecology and Society*, 18(37).
- Woodruff, S. & BenDor, T. (2016). Ecosystem services in urban planning: Comparative paradigms and guidelines for high quality plans. *Landscape and Urban Planning* (152), 90–100.



ESTUDIOS DE CASO

CASE STUDIES



Cambios en la superficie sembrada de palma aceitera en el cantón de Osa, Puntarenas. Período 2014-2018

Changes in the area cultivated with oil palm in the canton of Osa, Puntarenas. 2014-2018 period

Denis Mauricio Salas-González¹
Universidad Nacional, Costa Rica

Resumen

El cultivo de palma aceitera muestra un acelerado crecimiento a nivel mundial. Según datos oficiales, solo en la región latinoamericana se evidencia un crecimiento del 150,8% en el área cultivada de palma de aceite al pasar de 443 000 hectáreas en 2001 a 1 111 000 hectáreas sembradas en 2014, de las cuales 818 000 se encontraban en etapa productiva aportando cerca del 6% del aceite de palma producido en el mundo (González, 2016). Estas plantaciones han impactado los paisajes tropicales por la disminución de la vegetación natural, pastos o por el reemplazo de otros cultivos. La expansión del cultivo de palma de aceite aumentó en Costa Rica y de acuerdo con la tendencia de los últimos años, seguirá en aumento. En los últimos años se han realizado censos y encuestas agropecuarias que muestran el crecimiento general, pero no detallan las áreas geográficas donde se da ese crecimiento y el consecuente impacto a la dinámica natural de las áreas cultivadas, información clave para los procesos de ordenamiento territorial regional y local que tenemos en el país. Por tal motivo, los objetivos de esta investigación fueron: analizar el cambio en la superficie sembrada con palma aceitera en el cantón de Osa, provincia de Puntarenas en el periodo 2014-2018 y evaluar la expansión del cultivo de palma aceitera en los distritos del cantón. Para esto, se analizaron datos de instituciones gubernamentales y se identificaron y digitalizaron las plantaciones de palma aceitera de los seis distritos del cantón de Osa.

Palabras clave: cambio de uso, SIG, palma aceitera, frontera agrícola, Zona Sur.

1 Licenciado en Geografía. Universidad Nacional, Costa Rica. Investigador del Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET). Correo electrónico: denis.salas.gonzalez@una.cr <https://orcid.org/0000-0003-2390-7177>

Abstract

Oil palm cultivation shows accelerated growth worldwide. According to official data, the Latin American region alone has seen 150.8% growth of area destined to oil palm cultivation, expanding from 443,000 hectares in 2001 to 1,111,000 hectares in 2014, of which 818,000 hectares were in the harvesting stage whereby contributing to approximately 6% of worldwide palm oil production (González, 2016). Oil palm plantations have impacted tropical landscapes by the decrease of natural vegetation, pastures or by replacing other crops. Oil palm cultivation increased in Costa Rica and, according to the trend of recent years, will continue to rise. In recent years, agricultural censuses and surveys have been carried out that show the general growth of cultivated land but omit to detail the geographical areas of expansion, nor depict the consequent impact on the natural dynamics of the cultivated area; both aspects constitute key information for regional and local territorial planning processes taking place in the country. Thus, the objectives of the present research were: to analyze the change in oil palm cultivated area in the canton of Osa, province of Puntarenas in the 2014-2018 period, and evaluate the expansion of oil palm cultivation in the districts of the canton. Accordingly, data from government institutions were analyzed and the oil palm plantations of the six districts of the Osa canton were identified and digitized.

Keywords: Land-use change; GIS; Oil palm; Agricultural frontier; Costa Rica's Southern Zone.

Introducción

La demanda mundial de cultivos básicos, forrajeros y biocombustibles aumenta a un ritmo sin precedentes y se refleja en el incremento del cultivo agrícola. Este incremento agrícola y expansión de monocultivos tienen consecuencias ambientales graves para los ecosistemas tropicales, como erosión, pérdida de nutrientes del suelo, competencia por el recurso hídrico, pérdida de biodiversidad y deterioro del paisaje (Beggs & Moore, 2013).

En el caso específico de la palma aceitera, este monocultivo ha aumentado, principalmente en Malasia e Indonesia y se ha expandido rápidamente a regiones de África, Centroamérica y el Amazonas (Hernández et al., 2017). Se calcula que las plantaciones de palma aceitera actuales ocupan 17 millones de hectáreas y un potencial para su cultivo de 200 millones de hectáreas (Pirker *et al.*, 2016).

La palma fue introducida en Costa Rica en 1944 y la primera planta extractora de aceite fue construida en Damas (Aguirre) en el año 1950 y fue traída de Inglaterra. Para 1951 ya Costa Rica contaba con 3 926 ha. de palma. En 1996 el área total plantada fue de 27 698 ha. y en octubre de 1997 el área total de palma era de casi 29 000 ha. (MAG, 2008). Para el año 2017, se tenía un total de 92 456 ha. de palma aceitera sembradas, convirtiéndose en el cultivo de más área cultivada (La Nación, 2018) y además de tener un potencial de cultivo de 670 800 hectáreas (MINAET, 2011).

Según datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, el área sembrada aumentó de 66 419 hectáreas en 2014 a 92 456 hectáreas en 2017 (INEC, 2018), siendo Corredores, Osa y Golfito los cantones con mayor crecimiento de las plantaciones. En el cantón de Osa, específicamente, la expansión del cultivo de palma aceitera fomentó la pérdida y transformación de la vegetación natural de los distritos estudiados, así como el cambio de otro tipo de cultivos y pastos presentes en el cantón.

Además, después de décadas de esta expansión gradual de las áreas cultivadas de palma aceitera en el cantón de Osa y transformación de la vegetación natural, según diversos autores se menciona el impacto negativo que puede tener esta expansión sobre el clima, los suelos, los recursos hidrológicos, el desarrollo socioeconómico y la biodiversidad (Vitousek *et al.* 1997, Lambin *et al.* 2003). Este monocultivo acelera la pérdida de la biodiversidad, principalmente, por el incremento de la destrucción, degradación y fragmentación de los hábitats relacionados con el cambio de uso y cobertura de la tierra (Velázquez *et al.*, 2002, Lambin *et al.*, 2003). La conversión de la vegetación natural en espacios antrópicos causa un deterioro de los ecosistemas (Challenger 1998) por alterar la composición e interacción de especies, los procesos ecológicos y los regímenes de perturbación en todos los niveles (Hansen *et al.* 2004). La consecuente reducción de hábitats naturales influencia directamente el tamaño de las poblaciones y de la diversidad genética y puede llevar a una pérdida irreversible de especies (Flather *et al.* 1998). Este cambio y la deforestación de bosque para el cultivo de palma, trae consigo paisajes más homogéneos, con una menor diversidad original de ecosistemas y de especies sustentada por procesos ecológicos. Los remanentes de ecosistemas naturales están siendo reducidos por debajo del umbral del área requerida para su permanencia (Brooks *et al.* 1999) que determina directamente la persistencia de la biodiversidad, sólo preservada actualmente por las áreas protegidas del cantón y la presión que ejerce esta expansión agrícola sobre ellas.

Este escenario de expansión requeriría evaluar el impacto de este cultivo en el cambio de uso de la tierra, identificar los cultivos o coberturas reemplazados y la presión que se ejerce sobre las áreas protegidas presentes en el cantón.

Marco Conceptual

Dentro del análisis de las modificaciones realizadas por los seres humanos por la expansión gradual de las áreas cultivadas sobre la superficie terrestre y sobre el tema de este artículo se plantea la siguiente pregunta, ¿Hay diferencia entre uso actual de la tierra o cobertura?

Es importante diferenciar estos dos conceptos, aunque en muchos estudios de uso de la tierra no se les da la debida importancia. La importancia radica en la selección adecuada de las escalas de magnitud en el levantamiento de información básica. Posteriormente, esta se procesará para obtener resultados que permitan definir políticas de uso de la tierra a nivel nacional, local o de finca (Lucke, 1986). Forero hace una revisión de literatura y concluye que “cuando la tierra es explotada o empleada por el ser humano, se puede decir que es uso de la tierra”. La cobertura terrestre la define como un ambiente natural producto de un sistema ecológico, mientras que el uso de la tierra es un ambiente artificial creado por el ser humano (Forero, 1981).

Además, a menudo se puede ver en el quehacer técnico diario, así como en la literatura científica relacionada con el manejo de los recursos naturales, cierta tendencia a confundir uso de la tierra con uso del suelo.

La FAO desde 1976 define el concepto tierra como un concepto más amplio que el suelo, estableciendo que las tierras comprenden el ambiente físico, incluyendo el clima, relieve, suelos, hidrología y vegetación en la medida que estos influyen en el potencial de empleo de tierras. El concepto incluye las actividades humanas presentes y del pasado con sus resultados tanto favorables como adversos. Las características puramente económicas y sociales pertenecen al contexto económico y social y no se incluyen en el concepto (Lucke, 1986).

Además, en la literatura se encuentran diversos conceptos en torno al cambio uso de la tierra/cobertura, definiendo en unos casos como el tipo de transformación ocurrida en una unidad espacial (Turner *et al.*, 1995), la consecuencia de las relaciones causales establecidas entre sucesivos estados del mundo real (Allen *et al.*, 1995), la extensión superficial de un tipo de cubierta que cambia a otra categoría (Briassoulis, 1999), o el proceso dinámico que refleja una secuencia de decisiones tomadas por los usuarios de la tierra (Walker, 2003). En otros casos, se asocia el cambio en el uso de la tierra a la expresión material de la dinámica humana, ambiental y sus interacciones

(Briassoulis, 1999) o se enuncian las diferencias entre uso y cobertura, al definir los cambios en el uso como las transformaciones acumuladas de la cobertura (Lambin *et al.*, 1997) y los cambios de la cobertura como un producto de la acción deliberada o inadvertida del uso (Taylor *et al.*, 2000).

Las diferencias entre uso y cobertura son remarcadas por algunos autores, en tanto que el tipo de ocupación de la superficie terrestre es obtenida de la información captada por sensores remotos, específicamente, sobre la señal emitida por los objetos, la cual no siempre indica el uso al que se destinan los mismos (Chuvienco, 2002; Seto *et al.*, 2002). Por lo tanto, los límites de la cobertura no necesariamente coinciden con los del uso (Jansen y Di Gregorio, 2002). Sobre estos argumentos también se apoyan Seto *et al.* (2002) para establecer diferencias entre cambios en la cobertura y cambios en el uso, siendo este último más difícil de cartografiar, por cuanto necesita de información adicional que no es registrada por los sensores remotos. Estas consideraciones permiten explicar el empleo del término uso/cobertura en los títulos de algunas publicaciones, por ejemplo, en los estudios sobre detección de cambios que se apoyan en mapas levantados de la interpretación de imágenes satelitales, donde se delimita tanto la vegetación natural como el uso agrícola implícito en las cubiertas de cultivos registrados en los espacios considerados; tal es el caso que nos ocupa.

Para la tipificación de los cambios en el uso/cobertura de la tierra, se parte en la literatura de dos perspectivas o dimensiones que se exponen seguidamente:

La dimensión temporal

En estudios dinámicos o de análisis de series temporales esta dimensión es examinada mediante la estimación de las tasas a que progresan los cambios ocurridos en más de dos momentos del tiempo (Roy & Tomar, 2001).

En análisis estáticos o casi estáticos (Briassoulis, 1999), también calificados por Marceau *et al.* (2001) como modelo foto (snapshot), se evalúa la información de las entidades y atributos presentes en un espacio, pero sólo en dos fechas específicas. Desde esta óptica los patrones de cambios identificados dependen de la extensión del intervalo de tiempo analizado, pero no reflejan la dinámica que puede ocurrir dentro del mismo. Sin embargo, limitaciones de recursos y de las fuentes de datos, disponibilidad

tecnológica y otros factores conducen a muchos investigadores a utilizar este modelo (Aldana y Bosque, 2008).

La dimensión espacial

Con el auge de los Sistemas de Información Geográfica y su inclusión en diversos campos científicos como las ciencias sociales y naturales (Geografía, Ciencias Forestales, Ciencias Ambientales, Ecología), el estudio de la dimensión espacial se concreta, en la mayoría de los trabajos, a la localización, distribución y organización de las unidades transformadas y a la identificación de las estructuras o patrones espaciales (Aldana y Bosque, 2008). En menor medida se aborda en algunos trabajos específicos, los factores causales de los cambios y los procesos subyacentes. Aunque Briassoulis (1999) agrega al tema otros aspectos como: los flujos de interacción y los cambios en la disponibilidad de factores de producción. El patrón espacial refleja entonces la localización, distribución, organización (Pan *et al.*, 2004), estructura (Lausch y Herzog, 2002) y dirección del cambio (Ochoa y González, 2000) de las unidades consideradas. A nivel regional y local, se han desplegado otros términos como: conversión para describir el cambio de un tipo de cubierta por otra y modificación cuando no se operan cambios de categoría, pero si se detecta algún nivel de afectación en uno o varios atributos de esta (Lambin *et al.*, 2003).

Por otra parte, para el cómputo de los cambios en el uso/cobertura de la tierra se distinguen en la literatura tres tendencias generales: los trabajos en que sólo se estima el cambio neto mediante la diferencia entre las superficies ocupadas por cada categoría en las fechas consideradas (Perz y Skole, 2003); aquellos en que se emplean funciones específicas desplegadas en SIG raster como ArcGis e Idrisi, para interceptar dos mapas de uso/cobertura de la tierra de dos fechas distintas, generándose un mapa de cruce y una matriz de transición, la cual aporta los datos para el cálculo del cambio neto, las ganancias y las pérdidas ocurridas en cada cubierta terrestre (Xiuwan, 2002); y, en tercer lugar, los trabajos que se apoyan en el procedimiento anterior pero, además de las categorías enunciadas incluyen una recientemente diferenciada por Pontius *et al.* (2004), es decir, el intercambio o la superficie perdida por una cubierta en un lugar determinado, que simultáneamente, se incrementa en otro. Este nuevo componente es incorporado por el autor en el cómputo del cambio total, el cual se divide

por 2 para evitar la duplicidad de superficies en las operaciones realizadas, por cuanto el cambio en un píxel representa simultáneamente la pérdida de una categoría y la ganancia de otra.

Metodología

El análisis del cultivo de palma aceitera en el cantón de Osa se realizó en dos etapas: 1) compilación de información sobre área sembrada en el cantón y distritos de Osa, y 2) análisis del cambio de área sembrada de los años 2014 al 2018.

Para la etapa n°1, los datos del área sembrada de palma aceitera se obtuvieron de los Censos Nacionales Agropecuarios (INEC, 2014), del año 2014. Además, la Encuesta Nacional Agropecuaria (INEC, 2017), del año 2017. Estos datos eran importantes para conocer el área sembrada en 2014 y 2017 y comparar esos resultados con el proceso de digitalización y trabajo de campo desarrollado para el mapeo del área sembrada de la palma aceitera de esos años. Cabe destacar que el INEC sólo presentó datos generales del área sembrada de palma aceitera y por confidencialidad no se obtuvieron mapas de distribución de la palma. El estudio se realizó en el cantón de Osa, Puntarenas (Mapa 1), adscrito al proyecto código 0537-15 "Tendencias, riesgos e impactos asociados al cultivo de la palma aceitera en el Pacífico Sur, como insumo para la previsión de prácticas y políticas que promuevan una producción sustentable y segura en Costa Rica PIPAL-Sur", del Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET), de la Universidad Nacional.

Mapa 1. Ubicación cantón de estudio.



En la etapa n° 2, el análisis del cambio en áreas de cultivo de palma aceitera se realizó identificando y digitalizando la ubicación de las áreas cultivadas con palma aceitera en los años 2014 y 2018. Para el proceso de digitalización, se usaron las imágenes de Google Earth® disponibles para el cantón de Osa y las imágenes “basemap” del programa ArcGis que se pudieron obtener al contar la Universidad Nacional con las licencias respectivas. En total se digitalizaron 737 polígonos de palma aceitera, de los cuales el 37% correspondieron al 2014 y el 63% al 2018, donde el tamaño promedio fue de 16 hectáreas, con una variación de tamaños entre 0,1 hectáreas y las 779 hectáreas. Las áreas donde se digitalizaron los polígonos de palma aceitera fueron en las plantaciones maduras, ya que las características de textura, color y forma son muy características y permiten distinguirlas de otros usos/coberturas. Figura 1.

Además, se realizó una conversión de los archivos de palma aceitera en formato vectorial al formato ráster, para identificar el cambio de uso/coberturas hacia el cultivo de palma, específicamente, la transición que había entre el año 2012 y el año 2018. Para ello, se realizó una matriz transicional de la palma de 2018 con otros usos/coberturas que se obtuvieron a partir de imágenes satelitales RapidEye 2012, realizado por el Ministerio de Ambiente y Energía. Los usos y coberturas que se seleccionaron fueron: bosque, bosque secundario, cultivos, pasto y manglar. Cabe mencionar, que el archivo de uso y coberturas 2012 se obtuvo en formato vectorial del Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT) y las imágenes satelitales 2014 y 2018 se encontraban con su respectiva corrección radiométrica y geométrica. Esto porque la casa



Figura 1. Ejemplo delimitación palma aceitera con imagen de Google Earth®.

ESRI, creadora del programa ArcGis presenta las imágenes en el software para su uso respectivo.

Como se mencionó anteriormente, se realizó una matriz transicional para mostrar la dinámica espacio temporal del cambio usos/coberturas y el cultivo de palma aceitera. Para ello, la cartografía vectorial del cultivo de palma aceitera de 2018 fue transformada a formato ráster con una resolución de celda de 10 m, la cual fue utilizada para calcular la matriz de transición para el período 2012-2018. Este análisis consiste en la superposición cartográfica y una tabulación cruzada empleando dos fechas (fecha 1 y fecha 2), para definir un intervalo de tiempo. Como resultado se obtuvo una matriz, que es una tabla de arreglos simétricos que contiene en el eje horizontal las categorías de uso y cobertura de la tierra para la primera fecha, mientras que en el eje vertical tiene la información proveniente de la siguiente fecha (Cuadro 1). La diagonal de la matriz representa la superficie de cada categoría de uso y cobertura de la tierra que permaneció sin cambios durante el periodo considerado, mientras que en el resto de las celdas muestra la superficie que experimentó un cambio hacia algún otro tipo de categoría. En nuestro caso nos interesa la primera columna porque allí se presentan las categorías de uso/cobertura que cambiaron a palma aceitera entre el 2012 y 2018. A partir de la matriz de cambio se estimó la ganancia, la pérdida y la estimación del intercambio entre palma aceitera y los usos/coberturas. Para el presente estudio, las celdas 21,31,41,51 y 61 son las que cambiaron de uso/cobertura de 2012 a palma aceitera en 2018 y los números 11, 22, 33, 44, 55 y 66 mantuvieron el mismo uso/cobertura (Farfán *et al.*, 2008).

Cuadro 1. Matriz transicional usos/coberturas 2012-2018.

Matriz de cambio de uso/ cobertura de la tierra			Año 2018					
			Palma	Bosque	Bosque secundario	Cultivos	Pasto	Manglar
			1	2	3	4	5	6
Año 2012	Palma	10	11	12	13	14	15	16
	Bosque	20	21	22	23	24	25	26
	Bosque secundario	30	31	32	33	34	35	36
	Cultivos	40	41	42	43	44	45	46
	Pasto	50	51	52	53	54	55	56
	Manglar	60	61	62	63	64	65	66

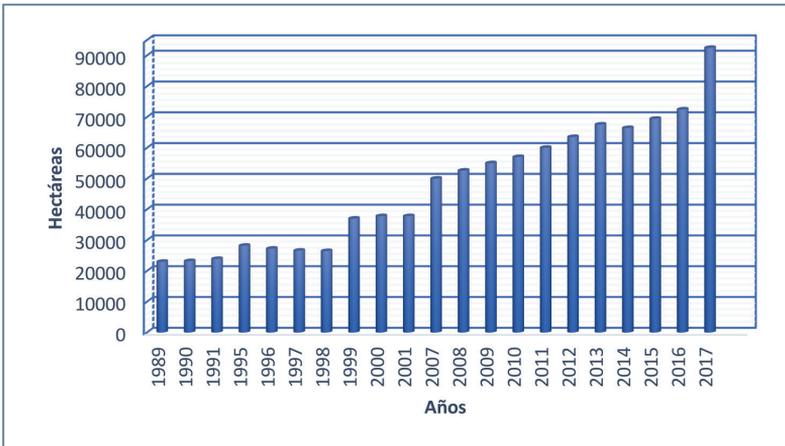
Fuente: elaboración propia

Resultados

La zona de estudio comprende el cantón de Osa de la provincia de Puntarenas, Costa Rica. El objetivo general de la investigación fue analizar el cambio en el área sembrada con el cultivo de palma aceitera durante el periodo 2014-2018 y estimar el crecimiento y distribución espacial del cultivo.

El área de cultivo de palma aceitera en Costa Rica aumentó, aproximadamente, cinco veces en los últimos treinta años. En 1989 se tenían poco más de 20 000 hectáreas (SEPSA, 2018) y 92 456 en el año 2017 (INEC, 2018). Gráfico 1.

Gráfico 1. Cultivo de palma aceitera en Costa Rica, período 1989-2017.



Fuente: elaboración propia

La tendencia nacional en la expansión de la plantación se refleja en los cantones de Osa y Golfito, donde los pequeños propietarios y grandes propietarios reciben a la fecha los beneficios de cosechas predecibles todo el año e igualmente una demanda consistente. Debido a la historia de fracasos y vulnerabilidad de mercados experimentada con productos agrícolas previos en la región (cacao, banano, arroz, ganadería), la palma aceitera es vista como motor de la actividad económica, que puede o no ser sostenible en el largo plazo a nivel social, económico y ambiental. Sin embargo, este sector continúa en crecimiento (Beggs & Moore, 2013).

De acuerdo con Mingorance et. al., (2014), las condiciones óptimas para el cultivo de palma aceitera son de una altitud máxima de 500 msnm con pendientes menores a 23%, los suelos deben ser planos o poco ondulados, suelos francos y con buen drenaje, el pH debe ser neutro o moderadamente ácido, máximo con pH de 4. La temperatura debe oscilar entre los 23° y 33° C, siendo está la más alta, precipitaciones entre 1 800 mm y 2 200 mm anuales y humedad relativa de 80%.

Tales características han permitido que muchas zonas del territorio nacional se conviertan, en zonas sumamente aptas para este cultivo, y de allí el gran crecimiento de este durante los últimos 30 años. También en ese lapso se han dado fluctuaciones en la producción de palma debido a cambios a nivel mundial del precio del aceite, enfermedades como la flecha seca, políticas estatales de fideicomisos para el sector palmero y la incorporación a planes del sector energía de nuestro país de aceite de palma para biocombustibles.

El área sembrada en el año 2014 en el cantón de Osa fue de 6 593,56 hectáreas (CENAGRO, 2014). Estos cultivos se establecieron en terrenos que anteriormente contaban con otro tipo cultivos agrícolas y explotación comercial (cacao, banano, arroz, ganadería) que no perduraron por una historia de fracasos y vulnerabilidad de mercados (Begg & Moore, 2013). Además, eran cultivos sembrados en pendientes menores a 5% para facilitar los procesos de producción. La distribución del área sembrada por distrito para el año 2014 se observa en el cuadro 2, donde los distritos de Sierpe, Piedras Blancas y Palmar contaban con la mayor cantidad de palma aceitera sembrada, mientras que, en Bahía Ballena, Puerto Cortés y Bahía Drake, los cultivos de palma apenas contaban con unas centenas de hectáreas, ya que eran distritos con una vocación turística y zona de paso entre las ciudades del Valle Central y la Zona Sur del país.

Cuadro 2. Datos principales del cultivo de palma aceitera 2014-2018.

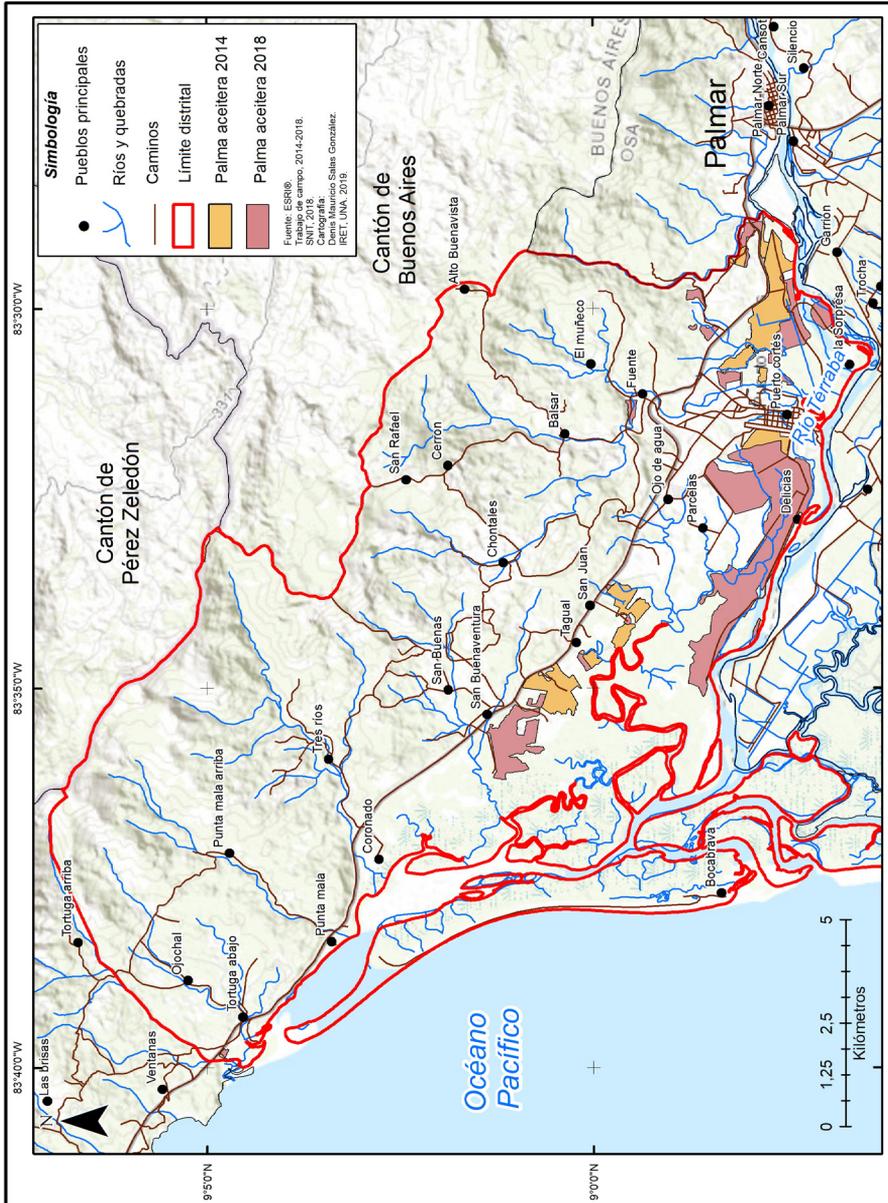
Distrito	Área en ha. del distrito	Ha. de palma en 2014	Ha. de palma en 2018	% área de palma por distrito en 2018	% del total de palma en 2018	% de aumento 2014/2018
Bahía Ballena	16018,4	0	3	0,02	0,03	-
Bahía Drake	39025,1	256,2	368,3	0,94	3,17	35,41
Puerto Cortés	21796,3	183	1344	6,17	11,56	632,16
Sierpe	59623,9	2908,82	4181	7,01	35,96	39,98
Palmar	24444,2	1294,95	2930	11,99	25,20	124,11
Piedras Blancas	26429,1	1950,59	2800	10,59	24,08	41,83
Total	187337	6593,56	11626,3		100,00	76,33

Fuente: elaboración propia

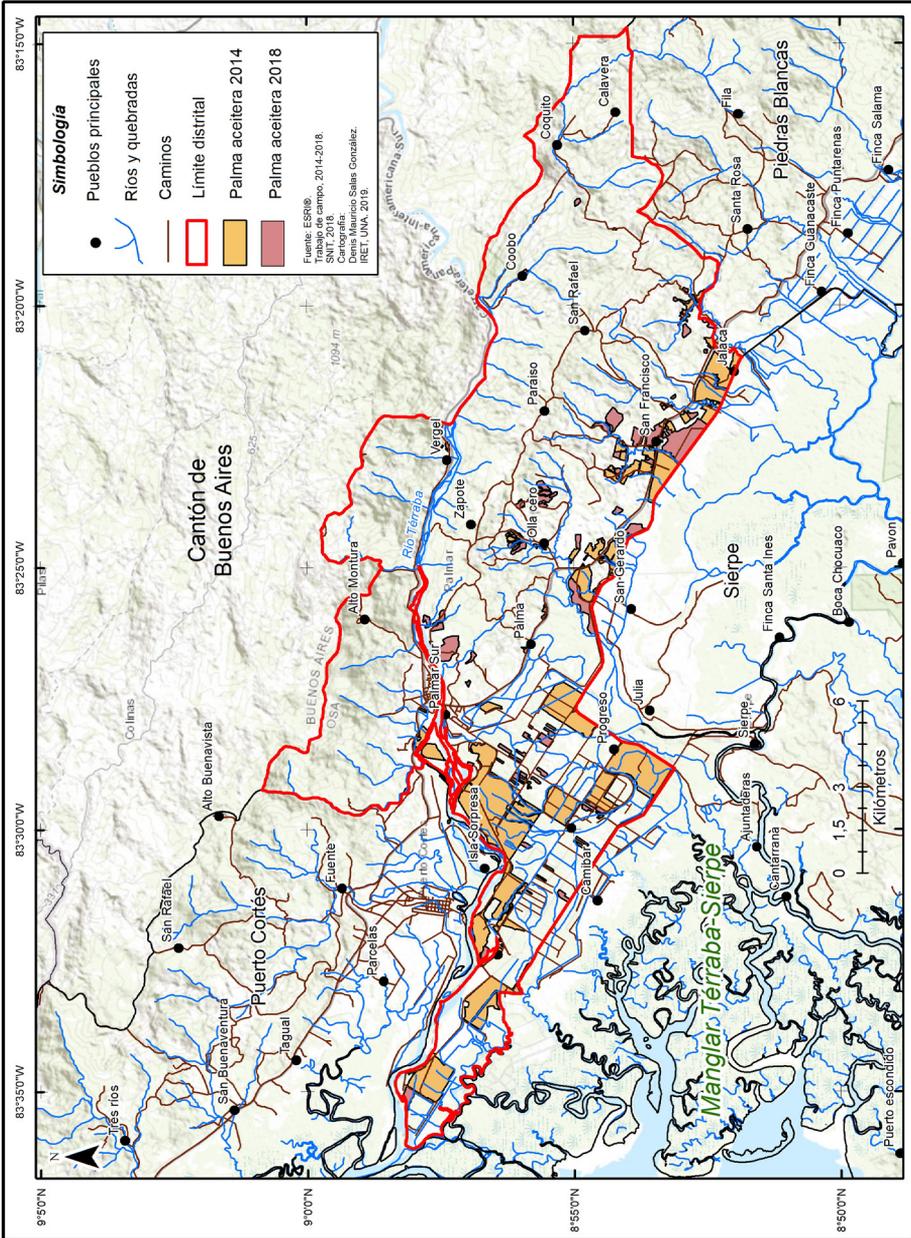
En el año 2018, la palma aceitera se convirtió en el cultivo principal del cantón de Osa, con un total sembrado de 11 626 hectáreas, aproximadamente que fueron determinadas durante el presente estudio. A nivel distrital, Bahía Ballena se ubica con la menor cantidad de palma sembrada, pues solo cuenta con tres hectáreas en el año 2018, pues su principal actividad económica es el turismo. Cabe destacar que, en el año 2014, el Censo Nacional Agropecuario no reportó cultivo de palma aceitera en este distrito. En cuanto al crecimiento de palma aceitera sembrada en los otros distritos para el mismo periodo, se puede observar crecimientos acelerados de más de un 600% en el distrito de Puerto Cortés, pasando de 183 a 1 344 hectáreas; sumándose a los distritos con más de 1 000 hectáreas de palma sembrada. En tanto Sierpe, Palmar y Piedras Blancas continúan con crecimientos de más del 40%, dentro de los que sobresalen los distritos de Palmar y Piedras Blancas donde más del 10% de su territorio está cubierto de palma aceitera. En los mapas siguientes las áreas sembradas de palma aceitera del año 2014 se mantuvieron también en el año 2018 (Mapas 2,3,4,5 y 6).

Este crecimiento ha sido favorecido por los ingresos económicos constantes que reciben los productores, el respaldo gubernamental como el fideicomiso 955-001 MH/BNCR y el Decreto Ejecutivo N° 35091-MAG-MINAET, el Reglamento de Biocombustibles publicado en La Gaceta N° 53 del 17 de marzo de 2009, que tiene por objetivo propiciar el desarrollo de una industria nacional de biocombustibles (MAG, 2012). Esto podría ser posible modificando el artículo 6 de la Ley de Monopolio de la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE) que permitiría su incursión en el tema de biocombustibles.

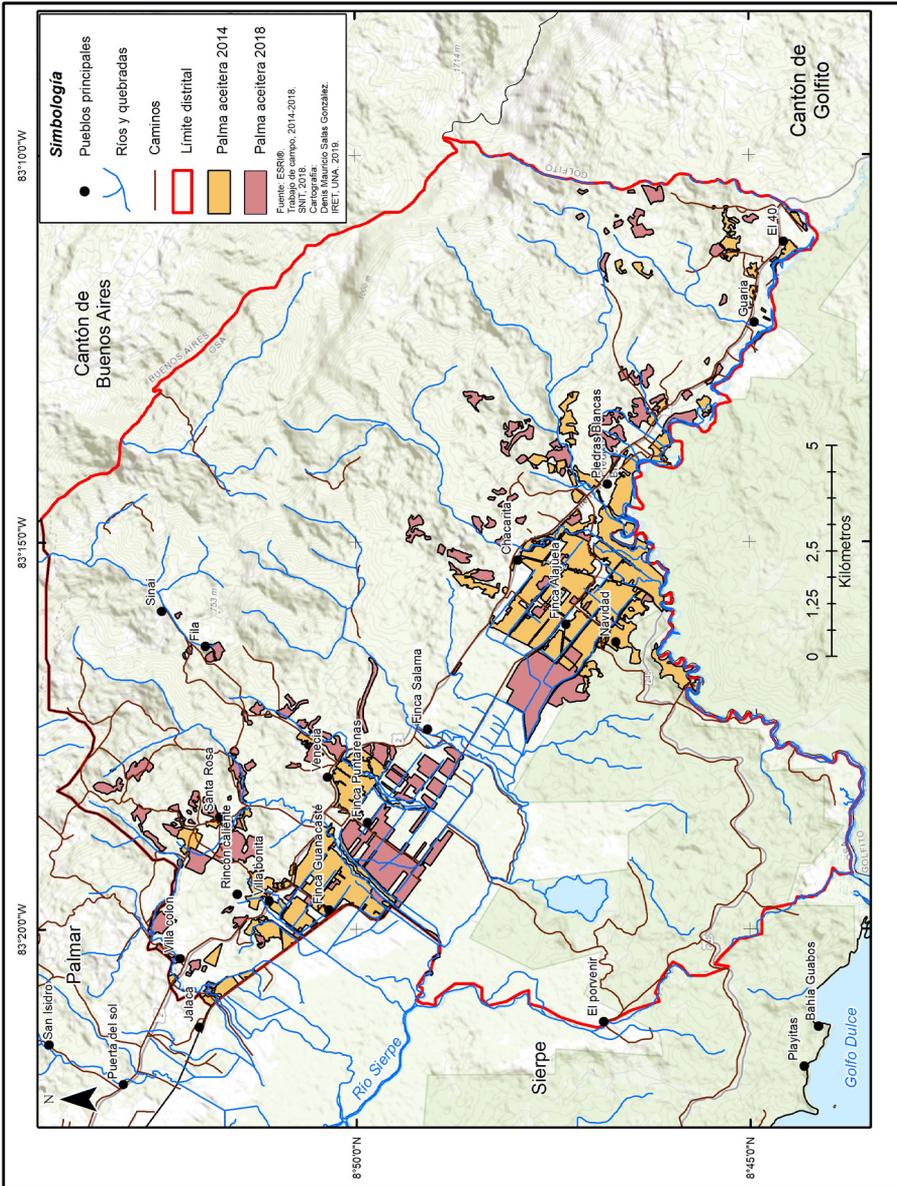
Mapa 2. Cultivo de palma aceitera en el distrito de Puerto Cortés, período 2014-2018.



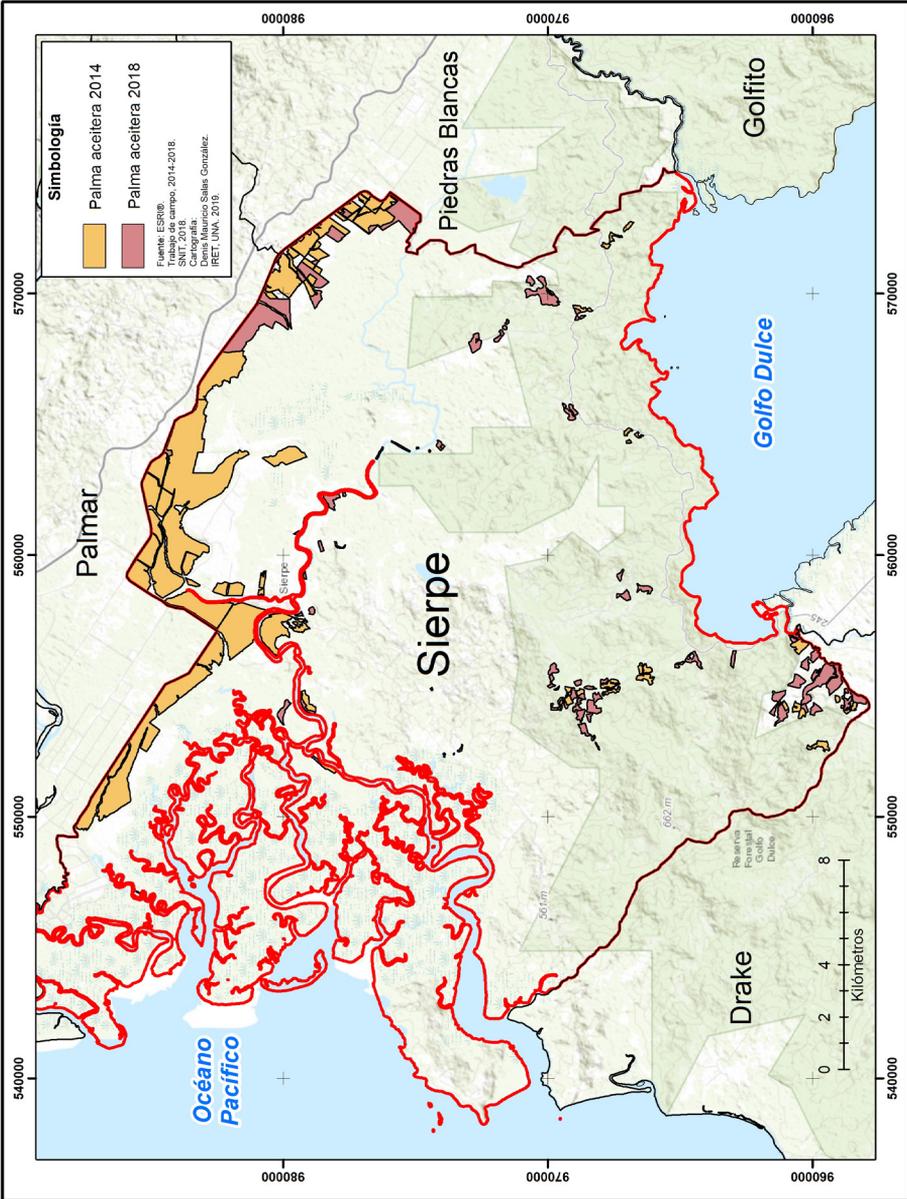
Mapa 3. Cultivo de palma aceitera en el distrito de Palmar, período 2014-2018.



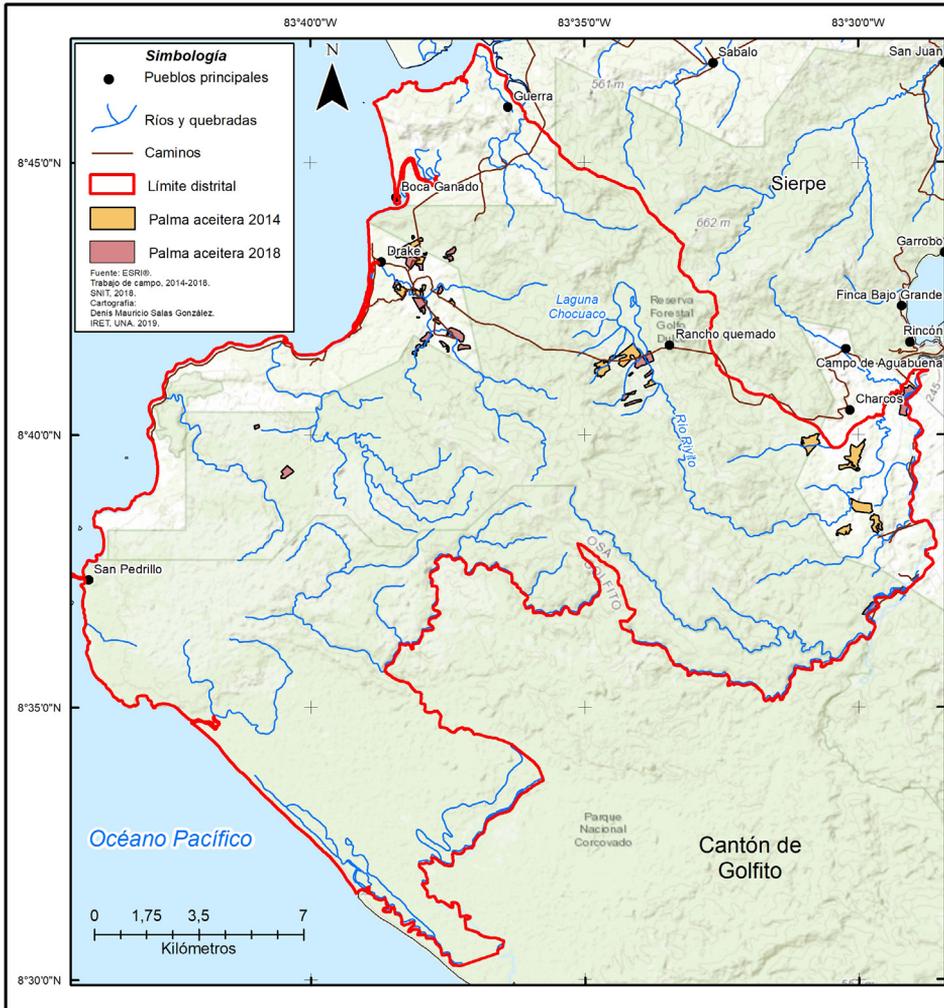
Mapa 4. Cultivo de palma aceitera en el distrito de Piedras Blancas, período 2014-2018.



Mapa 5. Cultivo de palma aceitera en el distrito de Sierpe, período 2014-2018.



Mapa 6. Cultivo de palma aceitera en el distrito de Drake, período 2014-2018.

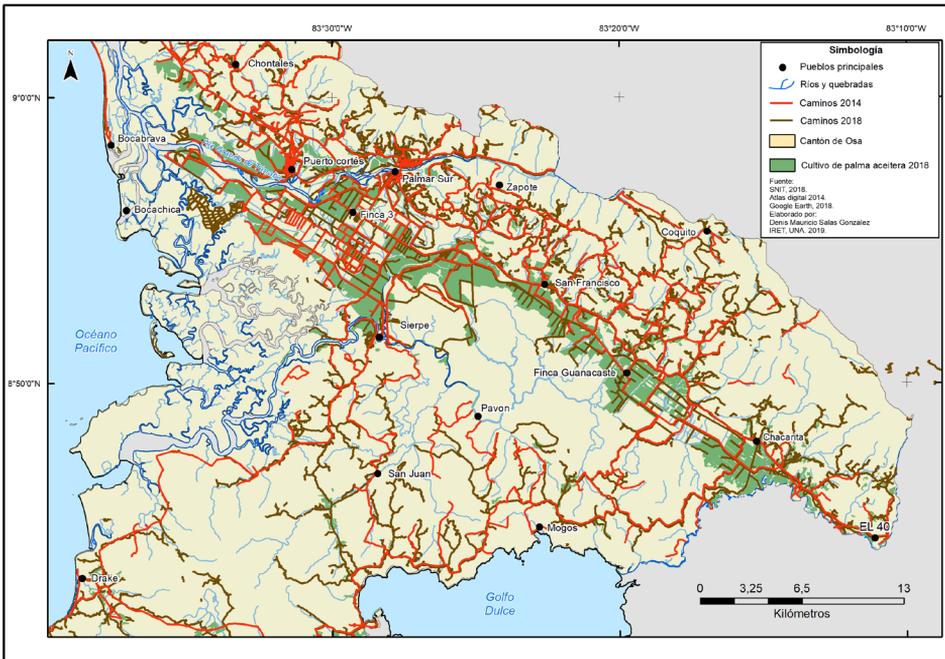


Otro cambio en la dinámica de siembra en el cantón de Osa fue, que las plantaciones de palma aceitera establecidas al año 2014, en su mayoría se realizaban en terrenos con pendientes de 0 a 3%. Estas plantaciones estaban ubicadas en los valles de los ríos, que era lo característico para este cultivo y que se refleja en las 9 417 hectáreas de palma que se mantienen en ese rango de pendientes en el año 2018.

A partir de ese mismo año las plantaciones se comenzaron a ubicar en pendientes ligeramente onduladas hasta fuertemente onduladas de más del 60%, constituyendo unas 2227 hectáreas, esto fomentado por la gran cantidad de caminos, caminos no sólo asfaltados, sino artesanales hechos con maquinaria precaria (caminos de tierra), que facilitan la extracción de bosque, plantaciones forestales y las nuevas plantaciones de palma. Mapa 7.

Sólo en el cantón de Osa el promedio era de dos kilómetros de caminos por cada kilómetro cuadrado en el 2014, pasando a cuatro kilómetros por kilómetro cuadrado, esto influenciado por el asfaltado de la ruta hacia Puerto Jiménez, pasando de pocos caminos en pobres condiciones a convertirse según [Beggs & Moore, \(2013\)](#), “una frontera emergente para la expansión de palma aceitera dentro de la región Brunca”.

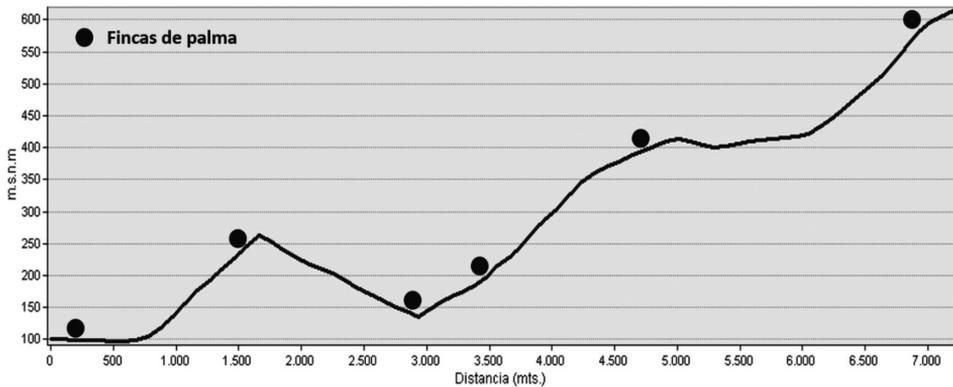
Mapa 7. Red de caminos en el cantón de Osa, período 2014-2017.



Además, aunque no es característico que las plantaciones de palma se ubiquen en estas fuertes pendientes, es claro que la búsqueda de alternativas para el cantón ha dado lugar a que más de tres mil hectáreas lo estén, lo que trae consigo mayores costos en la siembra, en la cosecha y mayores

costos de mantenimiento general, aportando menos beneficios a los productores y posibles efectos aún no determinados de uso de agroquímicos y pérdida de cobertura boscosa. La figura 2 muestra el cambio de pendiente y altitud en las plantaciones de palma aceitera en el cantón de Osa.

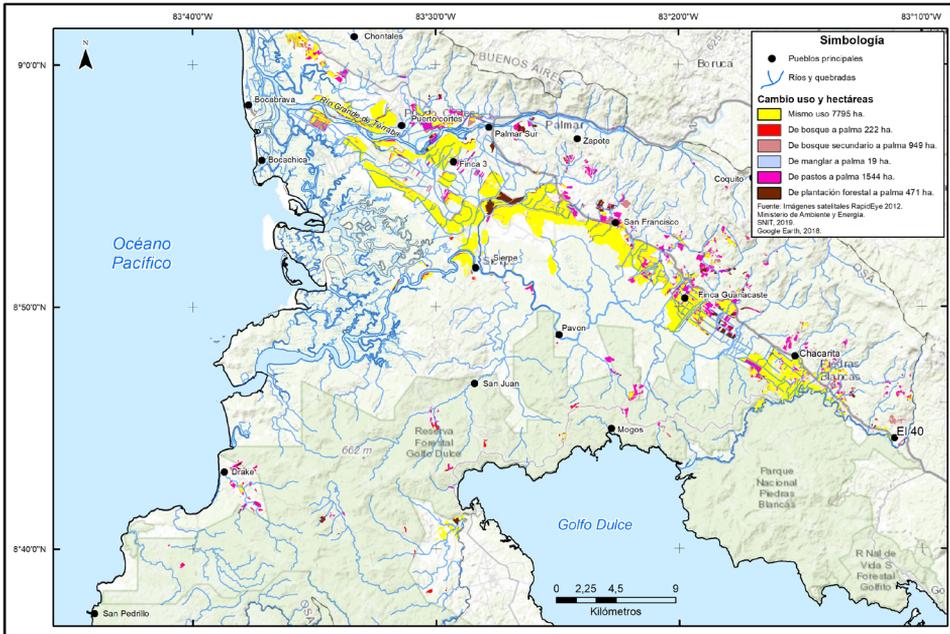
Figura 2. Cambio en pendientes y altitud de las plantaciones de palma, Sector El 40. Cantón de Osa.



Este estudio también determinó un aproximado de las coberturas vegetales que fueron reemplazadas por la palma aceitera en el periodo 2012-2018. Utilizando el mapa de uso de la tierra a partir de imágenes satelitales RapidEye 2012, realizado por el Ministerio de Ambiente y Energía, permitió usar los usos y coberturas vegetales de ese año, para determinar las áreas que ocupaban las plantaciones de palma en el año 2018, donde tres tipos de coberturas, principalmente, fueron las que cedieron su lugar a la palma aceitera.

En primer lugar, las áreas de pastizales con aproximadamente 1 544 hectáreas, un 30,68% de las nuevas plantaciones de palma, el bosque secundario con 949 hectáreas, un 18,35% y plantaciones forestales con una superficie aproximada de 471 hectáreas, representando un 9,36% de las nuevas plantaciones entre 2014 y 2018. La figura 12 muestra como ese cambio se da principalmente en las plantaciones de pendientes onduladas y muy onduladas del cantón.

Mapa 8. Cambios de coberturas a cultivos de palma aceitera, período 2012-2018.



Este crecimiento de la palma aceitera en pendiente y el cultivo histórico en zonas planas, tiene una importante incidencia en la presión sobre las áreas protegidas, no solo del cantón, sino de toda la Zona Sur del país, ya que las áreas de amortiguamiento que antes se tenían con respecto a estas áreas, cambiaron para dar paso a este monocultivo, trayendo consigo las consecuencias de la deforestación, la creación, como se mencionó anteriormente, de nuevos caminos y generando sobre los productores falta de tierras para la expansión de otros cultivos, así como aumento en el precio de éstas.

Esta expansión contempla una nueva ampliación de la frontera agrícola y como menciona Dirzo et al (2012), permanecen vacíos significativos lo que no permite comprender el impacto socioeconómico y ambiental de la expansión de la palma aceitera. Ya suceda o no, que las plantaciones estén comprometiendo los ecosistemas locales y la biodiversidad, lo cual sigue siendo desconocido.

Conclusiones

Los polígonos identificados para este estudio son una muestra significativa del cultivo de palma aceitera en el cantón de Osa y un esfuerzo por conocer la configuración, ubicación y tamaño de sus plantaciones, así como donde se están ubicando las nuevas plantaciones respecto a la pendiente y la altitud, algo que cambia el patrón de siembra que se ha dado desde el inicio del proceso de cultivo de palma aceitera en Costa Rica.

El remplazo de bosque secundario, plantaciones forestales y pastos por cultivos de palma aceitera muestra la competencia por el uso y cobertura de la tierra y el problema que se puede tener por la presión que se ejerce sobre las áreas protegidas y la expansión de la frontera agrícola.

Los ingresos económicos que los productores obtienen por la siembra de palma aceitera son el gran atractivo para que las tendencias de expansión de la palma se mantengan y continúen. Esto genera problemas, porque, aunque el uso de agroquímicos, herbicidas y fertilizantes son bajos para el cultivo, por el proceso de cambio de pendientes puede ser un problema, pues facilitan los procesos de erosión y el lavado por de éstos, y por lo tanto su posible incursión dentro de los procesos hidrológicos de las cuencas de la zona.

Se debe realizar cooperación con la municipalidad de Osa, para tomar en cuenta estos informes en planes reguladores y planes de ordenamiento regional, para la regulación de este cultivo y si se pudieran realizar procesos de certificación de plantaciones sustentables de palma aceitera, ya que iniciativas a nivel mundial comienzan a darse con respecto a ésta, como por ejemplo Noruega, donde como parte del compromiso de este país para eliminar la deforestación en el mundo, el parlamento votó a favor de prohibir la compra de biocombustibles con productos de palma que no demuestren que fueron producidos de manera sostenible y evitará su compra a partir del primero de enero del año 2020, ya que según Greenpeace, la industria de la palma de aceite –junto a la ganadería vacuna y la soya– se han convertido en los peores motores de la deforestación en todo el planeta (El Espectador, 2019).

Referencias

- Aldana Dezzeo, A. & Bosque Sendra, J. (2008). Cambios ocurridos en la cobertura/uso de la tierra del Parque Nacional Sierra de la Culata. Mérida-Venezuela. Período 1988-2003, *GeoFocus* (Artículos), n° (8), p. 139-168, ISSN: 1578-5157.
- Allen, E., Edwards, G., y Bédard, Y. (1995). Qualitative causal modeling in temporal GIS”, en Frank y Kuhn (Eds.), *Spatial information theory – a theoretical basis for GIS (COSIT’95)*, (397-412). Lecture Notes in Computer Science. Austria, Springer-Verlag.
- Beggs, E. & Moore, E. (2013). *El Paisaje Social de la Producción de Aceite de Palma Africana en la Región de Osa y Golfito, Costa Rica*. San José, Costa Rica. INOGO, Stanford Woods Institute for the Environment.
- Briassoulis, H. (1999). Analysis of land use change: Theoretical and modeling approaches. *The web Book of Regional Science, Regional Research Institute, West Virginia University*. Recuperado de <http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/>.
- Brooks, T. & Tobias J. et al. (1999). Deforestation and bird extinctions in the Atlantic forest, *Animal Conservation* 2, 211-222.
- Clare Rhoades, P. (2011). *Los cambios en la cadena de producción de la palma aceitera en el Pacífico costarricense: Una historia económica, socioambiental y tecnocientífica, 1950-2007*. 1a edición - San José, Costa Rica, Sociedad Editora Alquimia 2000 258 p.; ilus., maps.; 25 x 18 cm.
- Challenger, A. (1998). *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México, pasado presente y futuro*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Instituto de Biología, UNAM, Agrupación Sierra Madre S.C., México.
- Chuvieco Salinero, E. (2002). *Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio*. Barcelona, España, Ariel Ciencia.
- Díaz Beltrán, A. (2017). *Análisis multitemporal del crecimiento del área sembrada en palma africana (Elaris guincensis) y su efecto en los espacios naturales en la zona de los Llanos Orientales de Colombia*. Facultad de Ingeniería. Universidad Militar Nueva Granada.
- Dirección Provincial de Ordenamiento Urbano y Territorial (DPOUT). (2011). *Sistemas de Información Geográfica para el ordenamiento*

- territorial*. Recuperado de http://www.mosp.gba.gov.ar/sitios/urbanoter/sig/Manual_SIG_UT.pdf.
- Farfán G., Michelle, G. Rodríguez-Tapia & Mas, J. F. (2016). Análisis jerárquico de la intensidad de cambio de cobertura/uso de suelo y deforestación (2000-2008) en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, México, *Investigaciones Geográficas*, (90), 89-104. Instituto de Geografía, UNAM, México, <http://dx.doi.org/10.14350/rig.48600>.
- Flather, C.H., Knowles, M.S. & Kendall, I.A. (1998). Threatened and endangered species geography. *BioScience* (48): 365–376.
- Forero, M.C. (1981). *Levantamiento de cobertura terrestre y uso de la tierra*. Centro Interamericano de Fotointerpretación, Unidad de Suelos y Agricultura. Bogotá, Colombia.
- Hansen A.J., DeFries R., Turner W. (2004). Land Use Change and Biodiversity: A Synthesis of Rates and Consequences during the Period of Satellite Imagery. In: Gutman G. and Justice C. (eds.) 2004. *Land Change Science: Observing, Monitoring, and Understanding Trajectories of Change on the Earth's Surface*. (227-299) Springer Verlag, New York, NY.
- Hernández Rojas, D., López Barrera, F. & Bonilla Moheno, M. (2017). Análisis preliminar de la dinámica de uso de suelo asociada al cultivo palma de aceite (*Elaris guincensis*) en México. *Agrociencia* 52: 875-893.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2015). *VI Censo Nacional Agropecuario. Atlas Estadístico Agropecuario / Instituto Nacional de Estadística y Censos*. -- 1 ed. --San José. Costa Rica.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2018). *Encuesta Nacional Agropecuario*. Recuperado de <http://www.inec.go.cr/content/encuesta-nacional-agropecuaria-publicacion-de-cultivos-2018>.
- Jansen, L. y Di Gregorio, A. (2002): "Parametric land cover and land-use classifications as tools for environmental change detection", *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 91, (1-3), 89-101.
- Lambin E.F., Geist H.J. & Lepers, E. (2003). Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Review of Environment and Resources* 28: 205-241.

- Lausch, A y Herzog, F. (2002). Applicability of landscape metrics for the monitoring of landscape change: issues of scale, resolution and interpretability. *Ecological Indicators*, 2, 1-2, 3-16.
- Lucke, O. (1986). *Escalas y niveles de detalle. Documento del curso de planificación del uso de la tierra*. INFORAT, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.
- Lucke, O. (1986). *Consideraciones básicas sobre la aplicación de metodologías de análisis en la planificación del uso de la tierra y la toma de decisiones*. Turrialba, Costa Rica. CATIE. (mimeogr).
- Marceau, D., Guindon, L., Bruel, M. y Marois, C. (2001). Building temporal topology in a GIS database to study the land-use changes in a rural-urban environment. *Professional Geographer*, 53, (4), 546-558.
- Marvin Barquero (20 de noviembre de 2018). Café, palma aceitera y caña de azúcar son los cultivos con más área en Costa Rica. La Nación. Recuperado de <https://www.nacion.com/economia/agro/cafe-palma-aceitera-y-cana-de-azucar-son-los/KS4WMY6R3ZDOJL3BJO2UWRYFHI/story/>.
- Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones. (2011). *Diagnóstico sector energía de Costa Rica. VI Plan Nacional de Energía 2012-2030*.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2008). *Plan estratégico de la cadena productiva: Palma Aceitera. Período 2008-2010*. Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E70-4277.pdf>.
- Mingorance, F., Minelli, F. & Le Du, H. (2004). *El cultivo de la Palma Africana en el Chocó. Legalidad Ambiental, territorial y Derechos Humanos. Human Rights Everywhere*. Diócesis de Quibdó.
- Ochoa, S. y González, M. (2000). Land use and deforestation in the highlands of Chiapas, Mexico. *Applied Geography*, 20, 17-42.
- Pan, W., Walsh, S., Bilsborrow, R., Frizzelle, B., Erlien, C. & Baquero, F. (2004). Farm-level models of spatial patterns of land use and land cover dynamics in the Ecuadorian Amazon", *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 101, 2/3, 117-135.
- Perea Álvarez, R., Mayor Salazar, J. (2014). La cartografía como instrumento de comunicación en la planificación del espacio geográfico. *Entorno Geográfico* N°(10), 180-193.

- Perz, S. y Skole, D. (2003). "Social determinants of secondary forests in the Brazilian Amazon", *Social Science Research*, 32, (1), 25-61.
- Pirker, J., Mosnier, A., Kraxner, F., Havlik, P. & Obersteiner, M. (2016). What are the limits to oil palm expansion? *Global Environmental Change* 40(1):73-81. https://ac.els-cdn.com/S0959378016300814/1-s2.0-S0959378016300814-main.pdf?_tid=bb75db78-b556-499d-ac49-4f7390aa8382&acdnat=1548692588_dfd507792e960a-53f2106c9650f2e137.
- Pontius, R., Shusas, E. & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 101, 2/3, 251- 269.
- Redacción-Vivir. (2019). Noruega, primer país en prohibir aceite de palma que causa deforestación. *El Espectador*. Recuperado de <https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/noruega-primer-pais-en-prohibir-el-aceite-de-palma-que-causa-la-deforestacion-articulo-833082>.
- Seto, K., Woodcock, C., Song, C., Huang, X., Lu, J., & Kaufmann, R. (2002). Monitoring land-use change in the Pearl River Delta using Landsat TM, *International Journal of Remote Sensing*, 23, 10, 1985–2004.
- Soto Méndez, M. (2018). Crisis de la palma aceitera oprime a productores de Costa Rica. *Especial Palma al Límite. Series de Mongabay*. Recuperado de <https://es.mongabay.com/2018/11/palma-de-aceite-crisis-productores-costa-rica>.
- Taylor, J., Brewer, T. y Bird, A. (2000). Monitoring landscape change in the National Parks of England and Wales using aerial photo interpretation and GIS, *International Journal of Remote Sensing*, 21, (13), 2737-2753.
- Turner, M., Pearson, S., Bolstad, P. & Wear, D. (2003). Effects of land-cover change on spatial pattern of forest communities in the Southern Appalachian Mountains (USA), *Landscape Ecology*, 18, (5), 449-464.
- Velázquez, A., Mas, J. F., Díaz-Gallegos, J. R., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, P. C., Castro, R., Fernández, T., Bocco, G., Ezcurra, E. & Palacio, J. L. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta* 62: 21-37.

- Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J. & Melillo, J. M. (1997). Human domination of Earth's ecosystems. *Science* 277, 494-499.
- Xiuwan, C. (2002). "Using remote sensing and GIS to analyse land cover change and its impacts on regional sustainable development", *International Journal of Remote Sensing*, 23, (1), 107-125.



Diferenciación de tierras agrícolas en el municipio de Tequisquiapan, Querétaro

Differentiation of agricultural lands in the municipality of Tequisquiapan, Querétaro

Genaro Aguilar-Sánchez¹

Universidad Autónoma Chapingo, México

Resumen

El municipio de Tequisquiapan, estado de Querétaro, México, ha tenido cambios en el uso de la tierra por el crecimiento urbano. El objetivo es realizar una diferenciación de tierras según el condicionamiento ambiental, para después valorar y clasificar tipos de tierras. La metodología se basa en la clasificación de tierras, propuesta por la (FAO, 1997). Como resultado se obtienen 7 clases de tierras: clase I, cuya limitante es el clima semiseco, al igual que las clases II y III, donde la profundidad del suelo, son poco limitantes, para la producción agrícola. En las clases IV y V, además, de las piedras, poca profundidad del suelo, clima semiseco, tiene relevancia la inclinación del terreno de más del 15 %, que se puede usar para el pastoreo de ganado. En las clases VI y VII, cobra importancia la alta cantidad de rocas, > 50 % de pedregosidad; así como una inclinación mayor del 25 %, se recomienda que se usen para la preservación de la vegetación.

Palabras clave: Clases de tierras agrícolas, Periodos de crecimiento, Tequisquiapan, México

Abstract

The municipality of Tequisquiapan, state of Querétaro, Mexico, has suffered changes in land use due to urban growth. The objective of the present research is to differentiate land according to environmental conditioning and then assess and classify land types. The methodology is based on land classification guidelines as proposed by (FAO, 1997). As a result, 7 classes of land are obtained: Class I, whose limitation is semi-dry climate; Classes II and III, where soil depth is non-limiting for agricultural production. Classes IV and V, which in addition to having rocky, shallow depth soils, present a semi-dry climate and over 15% inclination that make them only suitable for grazing cattle.

1 Doctor en Geografía, DCRU- Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco Km 38.5. Correo electrónico: g_aguila@correo.chapingo.mx <https://orcid.org/0000-0003-1518-0801>

In classes VI and VII, the substantial stoniness (>50%) character of soils as well as greater than 25% slopes result in their recommendation as vegetation preservation land.

Keywords: Agricultural land classes; Growth periods; Tequisquiapan; Mexico.

Introducción

El uso de la tierra a través del tiempo ha cambiado debido a nuevas actividades, como el cambio fines agrícolas por actividades industriales y recreativas, es decir, actividades turísticas. El estado de Querétaro, por la cercanía al centro metropolitano más grande del país, formado por la Ciudad de México, antes Distrito Federal, y el Estado de México, y otros estados como Hidalgo, Morelos, Tlaxcala, Guanajuato y Michoacán, ha tenido grandes cambios en el uso de la tierra de sus municipios, en particular en los municipios más cercanos a los centros conurbados, como es el caso del Municipio de Tequisquiapan, por lo que surge la problemática de indagar la situación actual del uso de sus tierras, para verificar si el uso de los recursos naturales como suelo, agua, relieve, clima, que le dan contenido a cada clase de tierra tiene o no el uso adecuado.

Además, el cambio de uso de la tierra en los últimos 30 años, por las políticas neoliberales ha traído como consecuencia cambios en la tenencia de la tierra, traslado paulatino de la administración y manejo del agua de las instituciones de gobierno a los grupos de productores, además, del decremento del área agrícola, que se manifiesta en la disminución de la producción, y la mayor importación de productos básicos como el maíz y el frijol, lo anterior obliga a valorar la situación del uso de la tierra, así como de la producción a nivel municipal y de sus comunidades

En este trabajo se usa el concepto de tierra, que es más amplio que el de suelo, ya que el concepto de tierra engloba al relieve, geología, suelo, vegetación, con relativa estabilidad y homogeneidad, con un clima definido, es decir, se incluye la parte terrestre de una unidad cartográfica, así como la parte de la atmosfera, como es el clima, con su temperatura, periodo de lluvias, heladas, sequías. Así como las actividades productivas pasadas y presentes que ha realizado el hombre. (Ortiz y Cuanalo, 1978).

El objetivo general es realizar una delimitación de unidades cartográficas, agroambientes, relativamente homogéneas, según el condicionamiento ambiental, para después valorar y diferenciar clases de tierras agrícolas.

Marco Teórico

El suelo es uno de los componentes de la tierra, en el que desarrollan las actividades económicas de la sociedad, sin embargo, existen situaciones en las que este recurso se utiliza de manera inadecuada provocando procesos de degradación, lo cual implica una disminución de su capacidad para producir bienes o prestar servicios para sus beneficiarios y pérdida de la salud edáfica (FAO, 1997). Uno de los procesos de degradación de suelo es la erosión hídrica en la cual influyen de manera directa varios factores, tales como el nivel de precipitación, la permeabilidad definida por la clase textural de los suelos presentes, la pendiente, la cubierta vegetal y en el caso de suelos de uso agrícola-pecuarios las obras de conservación. Por ello es muy importante incorporar la estimación de erosión en la evaluación agroecológica de tierras, ya que nos permiten conocer el grado de influencia que tienen los diferentes factores y de esta manera proponer estrategias para atenuarlas o potenciarlas según sea el caso.

También es importante estimar la humedad que existe en el suelo, producto de la lluvia de temporal, así como la existencia de heladas, para obtener el periodo de crecimiento, PC., es decir, la duración en meses y días, que tienen los cultivos para completar su ciclo agrícola, desde la germinación de la semilla hasta la maduración del producto. Como lo indican (Pájaro y Ortiz 1988) y (Aguilar Sánchez, 1995)

La clasificación de tierras agrícolas es una propuesta realizada por la (FAO, 1997), a través del trabajo Zonificación agroecológica de tierras de la FAO, donde propone diferenciar las tierras en 8 clases. Aunque también en México existe el trabajo del Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática, (INEGI, 2005), con su propuesta de uso potencial de suelos, donde indica que las tierras se deben diferenciar de acuerdo al uso potencial más adecuado. Propone clases de capacidad de uso agrícola con 5 clases, para uso pecuario 5 clases y para uso forestal 4 clases. La clasificación que se usa en este trabajo es la de FAO, ya que el uso actual de la tierra está muy mezclada en los diversos territorios de México, y el estado de Querétaro no es la excepción

Metodología

Para la delimitación de Ambientes agrícolas se usó la Metodología del condicionamiento ambiental en la agricultura, propuesta por, Romero P.J, *et al.* (2003), a escala 1: 500.000

Para diferenciar la clase de tierras se usó la propuesta de Zonificación agroecológica de tierras de la [FAO \(1997\)](#), la que indica la diferenciación de ocho clases de tierra. Encada ambiente agrícola diferenciado, se obtiene el periodo de crecimiento en base a la propuesta de [Pájaro y Ortiz \(1988\)](#)

Procedimiento de Estimación del Periodo de Crecimiento

Cuando se cuenta con la información básica para el establecimiento del PC de crecimiento se realizan los siguientes pasos:

- a) Se graficaron los valores mensuales de precipitación, evapotranspiración potencial (estimada a partir de 0.8 Ev), la mitad de la evapotranspiración potencial, ETP, y el .33 % de la ETP corresponde al Punto de Marchitamiento Permanentes (PMP), estableciéndose una curva para cada dato (P, ETP, 0.5 ETP y PMP).
- b) Se estableció el inicio y terminación de los periodos de crecimiento de acuerdo a las normas indicadas en los conceptos básicos y se definió el tipo de periodo de crecimiento (normal, intermedio, seco todo el año, húmedo todo el año).
- c) Se determinó la temperatura media o mínima del periodo menor a 6.5°C, (Matías, L. F. O. & G. F. Centro Nacional de Prevención de Desastres., 2001) y
- d) Se estableció la duración del periodo de crecimiento, restando el número de días con temperaturas menores a 6.5°C al número de días determinados con disponibilidad de humedad.

En caso que no exista un periodo húmedo y humedad almacenada, el final del periodo de crecimiento coincide con la terminación de la estación lluviosa.

Periodo de Crecimiento

Inicio del periodo de crecimiento: Coincide con el comienzo de la estación lluviosa. Específicamente cuando $P=0.5$ ETP y después $P>0.5$ ETP.

Periodo Húmedo: Un periodo húmedo es el intervalo de tiempo, en el cual la precipitación es mayor a la evapotranspiración potencial ($P>ETP$).

Inicio de periodo húmedo cuando $P=EPT$ (antes $P<ETP$ y después $P>ETP$). Final del periodo húmedo cuando $P=EPT$ (antes $P>ETP$)

y después $P < ETP$). Final de la estación lluviosa: Termina cuando $P < 0.5 ETP$).

Terminación del periodo de crecimiento: Cuando existe periodo húmedo y Humedad almacenada, al final de la estación lluviosa se considera el número de días hasta que se agotan las reservas de humedad del suelo (no pueden ser mayores a 100 mm).

Cuando no existe periodo húmedo y humedad almacenada, el final del periodo de crecimiento coincide con la terminación de la estación lluviosa.

Modelos de Regresión

Se utilizaron modelos de regresión que permites estimar estos periodos de crecimiento en cualquier región con sólo disponer del dato de la precipitación total anual (PT), como este:

$PC = 0.24089 PT - 0.0000372 PT^2 - 33.1019$; donde: PC = Periodo de crecimiento, en días PT = Precipitación total anual, en mm

Con la finalidad de determinar el inicio del periodo de crecimiento (IPC) en días julianos, se desarrolló el siguiente modelo:

$IPC = 210.3526 - 0.3976 PC$; donde:

IPC = inicio del periodo de crecimiento en días julianos (1 para el 1 de enero y 365 para el 31 de diciembre). PC = Periodo de crecimiento en días estimado por el modelo anterior

Periodo de Heladas

Se utilizó un modelo para determinar la duración del periodo libre de heladas (PLH), la fecha de la última helada (UH) y la fecha de la primera helada (PH):

$PLH = 1.7713 + 31.0214 T_{min} - 0.6361 (T_{min})^2$; donde: PLH = Periodo libre de heladas, en días

T_{min} = Temperatura mínima media anual, en °C

$UH = 225.3605 - 0.7396 PLH + 0.0004385 (PLH)^2$; donde: UH = fecha de la última helada en días julianos

PLH = período libre de heladas, en días

$PH = 229.5781 + 0.2262 PLH + 0.0005098 (PLH)^2$; donde: PH = fecha de la primera helada en días julianos

PLH = Periodo libre de heladas, en días.

Información utilizada

El periodo de crecimiento se hizo a partir de la información climática que proporcionan el Sistema Meteorológico Nacional y CONAGUA, ubicando seis estaciones climatológicas dentro de los límites y la periferia del municipio de Tequisquiapan que corresponden a las estaciones; 22031 Presa Paso de Tablas, periodo 1951-2010; Estación 22025 Presa Centenario, periodo 1951-2010; Estación 22042 La llave, periodo 1951-2010; estación 22009 La palma periodo 1951-2010; estación 22034 Villa Bernal 1951-2010; estación 22046 Nogales periodo 1951-2010. Posteriormente, se extrajeron los datos promedios mensuales y anuales de temperatura y precipitación.

Para indagar el uso actual se recurrirá al trabajo en campo para aplicar entrevistas semiabiertas con los productores de las diversas clases de tierras, como indican ([Rojas, 2012](#), [Lafuente &Marin, 2008](#)).

Calculo de la precipitación mediante el método de Thiessen

El cálculo de la precipitación dentro del municipio, fue mediante el método de los polígonos de Thiessen, basándose en las precipitaciones en cada estación en función de un área de influencia mediante el Programa ArcGIS 9.31. Para la determinación de las zonas de influencia de las estaciones, se unieron las estaciones trazando las mediatrices de los triángulos y uniéndolas convenientemente, formando polígonos limitados exteriormente por los límites de municipio, cuyas superficies corresponden a las zonas de influencia de cada estación (([Sánchez, F., 2016, 2016 Noviembre](#)) y ([Becerra Moreno, 1999](#))):

$$P = 1/A \sum_{i=1}^n A_i P_i$$

$$i=1$$

Donde A_i = Área del polígono en la estación i

P_i =Precipitación en estación i

En la estimación de la erosión hídrica se usa la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, EUPS, propuesta por ([Wischmeir, 1978](#)), modificada y mejorada por ([Colegio de Postgraduados, 1991](#)). Dicha metodología combina la erosividad de la lluvia, la erodabilidad del suelo, la longitud y pendiente del terreno, las prácticas de manejo del terreno y, la presencia o ausencia de obras de conservación, ([Fernández Reynoso, 2015](#))

Resultados

El estado de Querétaro es uno de los estados más pequeños del país, sin embargo, también es uno de los más heterogéneos. La cantidad de atractivos que encierra lo convierten en un estado fascinante, dinámico, colorido y diverso. Su capital es Santiago de Querétaro, tiene 18 municipios en una extensión de 11.699 km², o sea un 0.60 % del territorio nacional, tiene una población de 2'038.372 habitantes, el 1.7 % del total del país. Su distribución es 70 % urbana y 30 % rural; a nivel nacional el dato es de 78 y 22 % respectivamente. El sector que más aporta al PIB es el sector terciario, con un 2.2 % anual. Respecto a los hablantes de lenguas indígenas, 2 de cada 100 personas. A nivel nacional 7 de cada 100 personas hablan lengua indígena. (INEGI, 2015)

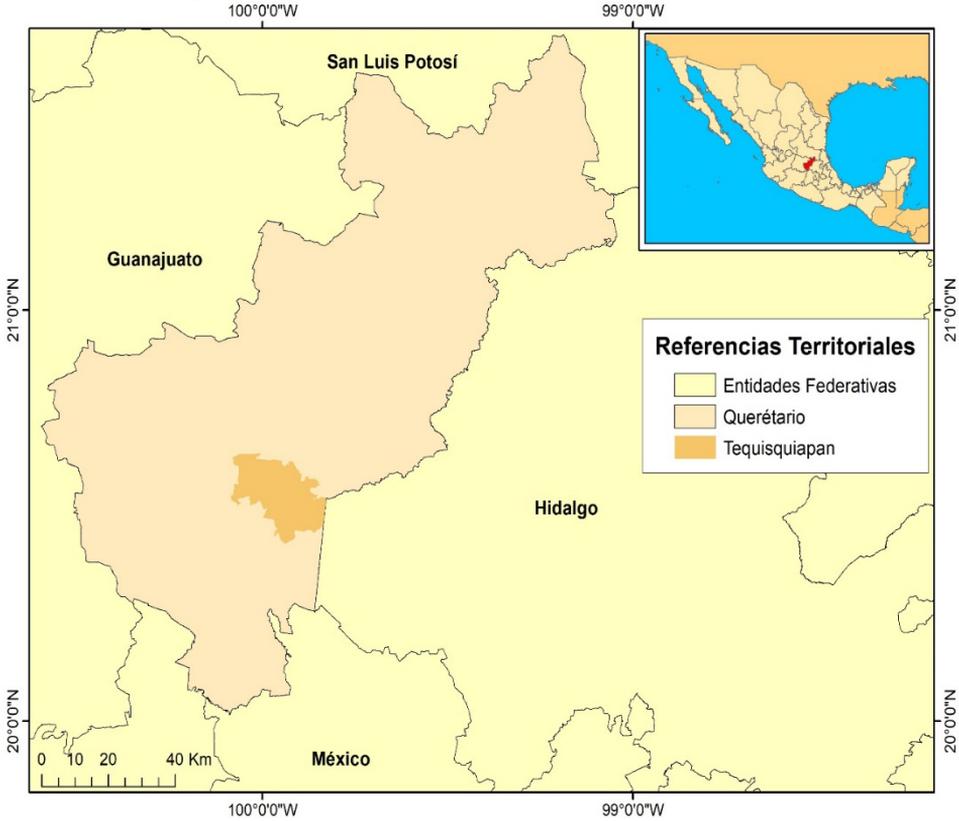
La regionalización agropecuaria del Estado de Querétaro se deriva de la Ley de Distritos de Desarrollo Rural (1988), (SEDEA-Qro., 2018), que determina formar los Distritos de Desarrollo Rural como zonas con características ecológicas y socio-económicas homogéneas para la actividad agropecuaria, forestal, de las agroindustrias y de acuacultura bajo condiciones de riego, de drenaje y de temporal con objeto de planear, fomentar y promover el Desarrollo Rural Integral. Para lo anterior se consideró la división política municipal, la sub-regionalización establecida por el Comité Estatal para la Planeación del Desarrollo, las condiciones agroecológicas y agroeconómicas municipales, el uso del suelo, la infraestructura de irrigación y drenaje, así como las vías de comunicación e infraestructura de apoyo. Estas regiones son consideradas unidades de desarrollo económico y social circunscritas a un espacio territorial, para articular y dar coherencia a las políticas de desarrollo rural, se clasifica en cuatro regiones agropecuarias, la Región Jalpan comprendida por los municipios Pinal de Amoles, Arroyo Seco, Jalpan de Serra y Landa de Matamoros, Región Cadereyta con los municipios Cadereyta de Montes, Colón, Ezequiel de Montes, Peñamiller, San Joaquín y Tolimán, Región Querétaro que contiene los municipios Corregidora, Huimilpan, El Marqués y Querétaro. Así como nuestra región de interés, San Juan del Río que comprende los municipios de Amealco de Bonfil, Pedro Escobedo, San Juan del Río y Tequisquiapan, es la más productiva y en general cuenta con mejor infraestructura de apoyo: carreteras, presas, maquinaria, organizaciones de productores y centros de consumo y comercialización. Características generales de los recursos naturales en Tequisquiapan

De acuerdo al INEGI (1995). El municipio de Tequisquiapan está sujeto mayormente a climas áridos templado, semiárido templado con estación de lluvias bien marcada y altas temperaturas durante verano. La lluvia invernal no rebasa el 5 por ciento del total de la precipitación anual. En la parte baja de la zona delimitada se ubica un clima templado con lluvias invernales superiores al 10 por ciento. En el área predominan temperaturas medias anuales entre 16 y 18°C. En estos climas la precipitación media anual es relativamente escasa entre los 400 - 600 mm anuales.

El territorio del municipio de Tequisquiapan (INAFED, 2010) se encuentra situado en la altiplanicie mexicana, en las estribaciones australes de la Sierra Gorda, se localizan zonas relativamente planas que forman pequeños valles y planicies que se han convertido en áreas de cultivo. Por el sur del territorio entra la corriente superficial del río San Juan, nombre que toma a su paso por la localidad de San Juan del Río; este caudal alimenta la Presa Centenario, sigue su curso al noreste a la Presa Paso de Tablas, límite con el Estado de Hidalgo (CONAGUA, 2016). En la mayor parte de la región afloran rocas ígneas extrusivas, y sedimentarias continentales recientes. La vegetación es de matorral espinoso, nopaleras y relictos de selva baja caducifolia. Con la conjugación de relieve, geología, clima y vegetación, en las tierras de Tequisquiapan se encuentra suelos que se clasifican como regosol, R., feozem haplico, Hh y luvico, Hl, vertisol pelico, Vp., y rendzina, E.

El municipio Tequisquiapan, palabra de origen náhuatl que significa "lugar de tequesquite", ya que está formado por las palabras tequexquitl: tequesquite; apan: lugar. Tequisquiapan en término mexicano quiere decir tierra baja tequexquitosa, donde abunda el salitre que se hace visible a la vista (Edo de Qurétaro, 2016), y viendo así tierra baja de suelo de Tequisquiapan y abundan muchos parajes de su centro, fuera de él y en sus riveras con esta materia, de ahí viene el nombre de Tequisquiapan". Se localiza en la parte Sureste del Estado de Querétaro Cuenta con una superficie de 343.6 kilómetros cuadrados y representa el 2.3 % de la superficie del Estado. Tequisquiapan se encuentra situado en la altiplanicie mexicana, en las estribaciones australes de la Sierra Gorda, y donde se localizan zonas relativamente planas que forman pequeños valles y planicies que se han convertido en áreas de cultivo. Mapa 1.

Mapa 1. Ubicación del municipio de Tequisquiapan



Por el Sur del territorio entra la corriente superficial del río San Juan, nombre que toma a su paso por la localidad de San Juan del Río; este caudal alimenta la Presa Centenario, sigue su curso al Noreste a la Presa Paso de Tablas, límite con el Estado de Hidalgo. En este sitio se aprovechaba el caudal hidráulico para producir energía eléctrica, lugar donde se encuentra instalada una planta hidroeléctrica fuera de uso. Río abajo se une al río Moctezuma y desemboca en el Golfo de México. Presenta tanto agricultura de riego como de temporal, tiene una vegetación de matorral, principalmente, seguido de bosque de encino, pastizal inducido y mezquital, (Universidad Autónoma de Querétaro, 1995).

El clima de Tequisquiapan es templado, con dos épocas bien definidas al año. La precipitación pluvial se da en los meses de junio a octubre, en tanto que la temporada de secas comprende los meses de noviembre a

abril, en mayo lluvias aisladas. El índice promedio de precipitación pluvial es de 78 días con una media anual de 511.8 mm. Los veranos son cálidos y el invierno no muy extremo, ya que la temperatura media anual es de 17.5 °C. Los vientos dominantes son en dirección Noreste -Suroeste. Las heladas se presentan en los meses de octubre a febrero y esporádicamente en marzo y fines de septiembre. El índice promedio es de 18 días al año. En el año 2003, el promedio anual se rebasó en forma considerable hasta alcanzar los 600 mm. La fórmula climática es BS1kw(w) representa un 99 % de la superficie del municipio con 367.99 km² y BS1hw apenas un 1 % del municipio, con 1.62km².

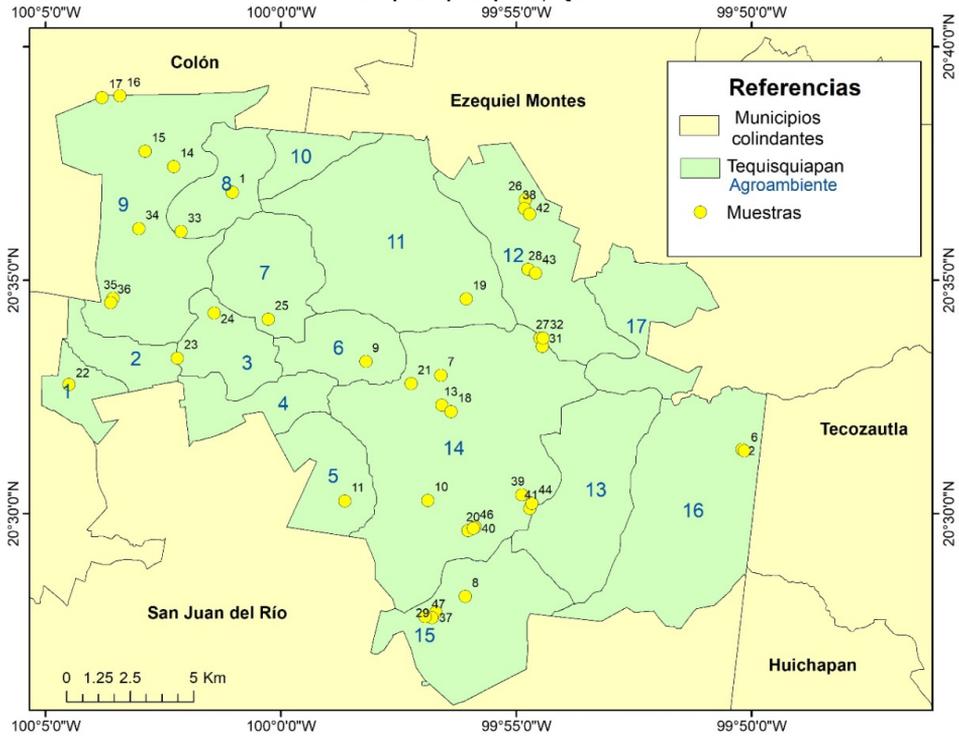
Periodos de crecimiento

Para el cálculo del periodo de crecimiento (PC), se obtuvieron datos de las estaciones meteorológicas de CONAGUA cercanas a Tequisquiapan, los cálculos se basaron en la metodología de estimación del periodo de crecimiento por disponibilidad de agua y libre de heladas para la República Mexicana, [Pájaro y Ortiz \(1988\)](#). Los resultados se concentran en el cuadro 3.

Agroambientes del municipio de tequisquiapan

Dentro del municipio se delimitaron 17 agroambientes, considerando la fisiografía, geología, clima, tipo de suelo, vegetación y uso actual dentro de la región, obteniéndose un mapa con los polígonos de cada unidad de estudio (Mapa 2).

Mapa 2. Mapa de Agroambientes y sitios de muestreo, municipio de Tequisquiapan, Qro.



También en el mapa 2, se observan los sitios de muestreo por cada agroambiente. En base a la información obtenida en gabinete y con el trabajo en campo se elaboraron cuadros, donde se concentra la información, que se muestra a continuación

En el cuadro 1, se observa un total de 17 agroambientes, los grandes son: 14, 9 y 11, los más pequeños tienen los números 1, 10 y 2. La geología que domina es de rocas ígneas extrusivas, como el basalto. En las unidades de suelo domina el Feozem haplico, Hh, y Feozem luvico, Hl; con pocos agroambientes con suelo Vertisol pelico, Vp; de manera secundaria están los Litosol, I, y Regosol, R. El clima dominante es semiseco. La vegetación es de Matorral craucicable, pastizal y, poco Bosque de encino. El uso agrícola actual, en el ciclo de primavera-verano se compone de siembra de maíz, pocas hortalizas en invernaderos. Y en el ciclo de otoño-invierno se siembra cebada y avena.

Cuadro 1. Recursos Naturales de los Agro ambientes del municipio de Tequisquiapan, Qro.

Aa	Área (Km ²)	%	Geología	Suelo	Clima	Vegetación	Uso actual
1	5.76	1.557	Ígnea extrusiva, B	Vp	BSIKw(w)	Inducida	Cultivos anual
2	6.92	1.870	Ígnea extrusiva, B	Vp	BSIKw(w)	Inducida	Cultivo anual
3	10.97	2.955	Ígnea extrusiva, R	L, R	BSIKw(w)	MSS	Veg. natural
4	9.25	2.500	Ígnea extrusiva, R	Hh	BSIKw(w)	Inducida	Cultivo anual
5	11.99	3.240	Ígnea extrusiva, R	L, R	BSIKw(w)	BQ	Veg. natural
6	10.59	2.862	Ígnea extrusiva, R	Hh	BSIKw(w)	MCS	Veg. natural
7	15.9	4.297	Ígnea extrusiva, R	Hh	BSIKw(w)	MC, arbustos	Veg. natural
8	10.77	2.910	Ígnea extrusiva, B	Vp	BSIKw(w)	Inducida	Cultivo anual
9	42.55	11.499	Ígnea extrusiva, B	Hh	BSIKw(w)	Inducida, MCS	Cultivo anual
10	6.04	1.632	Ígnea extrusiva, B	Vp	BSIKw(w)	Inducida, MCS	Cultivo anual
11	42.36	11.447	Ígnea extrusiva, B	Hh	BSIKw(w)	Inducida, MCS	Cultivo anual
12	26.62	7.194	Ígnea extrusiva, B	HI	BSIKw(w)	Inducida	Cultivo anual
13	25.15	6.797	Ígnea extrusiva, B	Hh	BSIKw(w)	MC, arbustos	Veg. natural
14	65.57	17.720	Ígnea extrusiva, B	HI	BSIKw(w)	MC, arbustos	Ca/Vn
15	24.12	6.518	Ígnea extrusiva, B	Hh	BSIKw(w)	Inducida	Cultivo anual
16	39.74	10.739	Ígnea extrusiva, B	Hh	BSIKw(w)/ BSIhw	MC/BQ/inducida	Veg. Natural
17	15.74	4.254	Ígnea extrusiva, B	L, R	BSIKw(w)	MCI/inducida	Veg. Natural

Fuente: Síntesis Geográfica de Querétaro, 1995.

Aa: Agroambiente, B: basalto, R: riolita; BS1Kw(w): semiseco, MC: matorral caucicaule.

BQ: bosque de encino, MSS: matorral subtropical subinorme, MCI: matorral caucicaule inorme,

MCS: matorral caucicaule subinorme. Ca: cultivo anual, Vn: vegetación natural

Además, se elaboró el cuadro 2, donde se concentró la información de las características edáficas de cada agroambiente y se agruparon en base a su similitud.

Cuadro 2. Características edáficas de los agroambientes del municipio de Tequisquiapan

Aa	Textura	Prof.	Fase física	M.O	p ^H	Piedras	Estructura	m %
1	Arcillosa	>50	Dp	mucha	7-8	pocas	Bp	1-5
2	Arcillosa	>50	Dp	mucha	7-8	pocas	Bp	1-5
3	Arenosa	<20	Np	poca	8	muchas	granular	5-10
4	Ma	21-50	D	media	7	media	Bs	1-5
5	Arenoso	21-30	Np	poca	8	muchas	granular	>11
6	Ma	21-50	D	media	6-7	muchas	Bs	>11
7	Ma	21-50	D	mucha	7	media	Bs	>11
8	Arcillosa	>50	Dp	mucha	7-8	pocas	Bp	1-5
9	Ma	21-50	D	media	7	media	Bs	1-5
10	Arcillosa	>50	Dp	mucha	7-8	pocas	Bp	1-5
11	Ma	21-50	D	media	6-7	media	Bs	1-5
12	Ma	>50	Dp	mucha	6-7	media	Bs	1-5
13	Ma	21-50	D	mucha	6-7	media	Bs	>11
14	Ma	>50	Dp	media	6-7	media	Bs	1-5
15	Ma	21-50	D	mucha	6-7	media	Bs	>11
16	Ma	21-50	D	mucha	7	media	Bs	>11
17	Arenoso	<20	Np	poca	8	muchas	granular	>11

Fuente: trabajo en campo

Aa: agroambiente, m: pendiente, Ma: migajón arcilloso, D: Dúrica, Dp: Dúrica profunda,

Bp: bloque prismático, Bloque subangular

La ubicación de los sitios de muestreo, por cada agroambiente y las características de los periodos de crecimiento, PC., se detallan en el cuadro 3. Donde se muestra que el PC., que predomina es del 28 de mayo al 29 de septiembre, es decir, se tienen 124 días con humedad suficiente y sin problemas de heladas. Para sembrar cultivos de ciclo medio como maíz, frijol, avena, haba, etc. En segundo lugar, están los agroambientes donde dura el ciclo del PC, del 2 de junio al 13 de octubre, con 133 días con humedad y sin heladas. Donde se siembra cultivo de maíz de ciclo intermedio. En tercer lugar, está el PC., del 16 de mayo al 14 de octubre, 150 días, para sembrar variedades de maíz u otros cultivos, de ciclo largo. Aunque en estos sitios del agroambiente 9, ubicado a más de 2000 msnm, se corre el riesgo de una helada a inicios de octubre, pero los cultivos de 140-150 días tienen muchas posibilidades de prosperar. En el anterior, faltan los sitios 3,4 y 5, porque son sitios que quedan fuera del municipio de estudio.

Cuadro 3. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo y agroambientes

Punto	Coordenadas		Aa	Altitud (msnm)	Periodo
	Latitud (Norte)	Longitud (Oeste)			De Crecimiento
1	20° 36' 53.1"	100° 1' 1.8"	8	2093	25-5 al 29 -9
2	20° 31' 22.8"	99° 50' 12.3"	16	1956	28-5 al 29 -9
6	20° 31' 20.9"	99° 50' 09.1"	16	1941	28-5 al 29-9
7	20° 32' 57.8"	99° 56' 36.1"	14	1920	28-5 al 29-9
8	20° 28' 13.6"	99° 56' 05"	15	1916	28-5 al 29-9
9	20° 33' 15.5"	99° 58' 11.8"	6	1925	28-5 al 29-9
10	20° 30' 17"	99° 56' 52.7"	14	1917	28-5 al 29-9
11	20° 30' 16.1"	99° 58' 38.5"	5	2222	07-6 al 12-9
13	20° 32' 19.6"	99° 56' 35.1"	14	1919	28-5al 29-9
14	20° 37' 26"	100° 02' 16.7"	9	2051	16-5 al 14-10
15	20° 37' 45.7"	100° 02' 53.0"	9	2040	16-5 al 14-10
16	20° 38' 57.2"	100° 03' 25.2"	9	2026	16-5 al 14-10
17	20° 38' 54.8"	100° 03' 47.9"	9	2043	16-5 al 14-10
18	20° 32' 11"	99° 56' 23"	14	1907	28-5 al 29-9
19	20° 34' 36"	99° 56' 4"	11	1742	02-6 al 13-10
20	20° 29' 38.5"	99° 56' 01.68"	14	1900	28-5 al 29-9
21	20° 32.7' 05.1"	99° 57' 14.1"	14	1910	28-5 al 29-9
22	20° 32' 46"	100° 4' 30"	1	1903	15-5 al 13-10
23	20° 33' 20"	100° 2' 12"	3	1911	28-5 al 29-9
24	20° 34' 17.7"	100° 01' 25.2"	3	1934	28-5 al 29-9

Punto	Coordenadas		Aa	Altitud (msnm)	Periodo
	Latitud (Norte)	Longitud (Oeste)			De Crecimiento
25	20° 34' 10"	100° 0' 16"	7	1983	02-6 al 13-10
26	20° 36' 43.4"	99° 54' 48.5"	12	1958	02-6 al 13-10
27	20° 33' 45.7"	99° 54' 29.9"	12	1893	02-6 al 13-10
28	20° 35' 14.1"	99° 54' 45.1"	12	1910	02-6 al 13-10
29	20° 27' 53.3"	99° 56' 42.4"	15	1966	28-5 al 29-9
31	20° 33' 35.1"	99° 54' 26.9"	14	1893	28-5 al 29-9
32	20° 33' 45.5"	99° 54' 25.8"	12	1888	02-6 al 13-10
33	20° 36' 02.7"	100° 02' 07.3"	8	1976	02-6 al 13-10
34	20° 36' 06.18"	100° 3' 1"	9	1978	02-6 al 13-10
35	20° 34' 37"	100° 03' 34"	9	1952	02-6 al 13-10
36	20° 34' 31"	100° 3' 37"	9	1942	02-6 al 13-10
37	20° 27' 46.3"	99° 56' 47.3"	15	1920	28-5 al 29-9
38	20° 36' 32"	99° 54' 49.5"	12	1928	02-6 al 13-10
39	20° 30' 24.1"	99° 54' 53.1"	14	1916	29-5 al 29-9
40	20° 29' 42.8"	99° 55' 52.4"	14	1887	29-5 al 29-9
41	20° 30' 6.8"	99° 54' 42.7"	14	1888	29-5 al 29-9
42	20° 36' 25"	99° 54' 43.1"	12	1927	02-6 al 13-10
43	20° 35' 9.1"	99° 54' 35.3"	12	1919	02-6 al 13-10
44	20° 30' 13.3"	99° 54' 40.2"	14	1902	29-5 al 29-9
46	20° 29' 41.3"	99° 55' 54.8"	14	1887	29-5 al 29-9
47	20° 27' 47.6"	99° 56' 56.2"	15	1900	29-5 al 29-9

Fuente: trabajo en campo y con datos climáticos de CONAGUA

Nota. En el cuadro no aparecen los puntos 2, 4,3.5.12 y 30, porque se localizan fuera del Mpio.

El cuadro 4, muestra de manera detallada las características de la forma de las tierras: pendiente, textura, profundidad, pH, reacción del suelo al HCl para estimar la presencia de carbonato. Para medir la materia orgánica se usa el agua oxigenada. Además, se estima la cantidad de piedras y rocas en por ciento. Asimismo, se calcula la cubierta vegetal, las unidades de suelo. Con todo lo anterior y los aspectos climáticos se calcula erosión hídrica. Así como las clases de tierra por cada sitio de muestreo. En los 17 agroambientes se obtienen datos en 47 sitios. Los datos de los agroambientes 4 y 10 se obtienen con información de gabinete, de la Síntesis Geográfica de Querétaro, INEGI (1995). En el agroambiente 13 no hay datos, porque es la parte urbana del municipio

Cuadro 4. Características de los agroambientes y clases de tierras agrícolas

Punto	Aa	m (%)	Forma	Prof. (cm)	P (%)	R (%)	Vegetación (%)	Unidad suelo	Clase de Tierra	Erosión (t/Ha/año)
1	8	6	Ladera	>50	0	25	Pd (60)	Vp	II0i	67.2
2	16	10	Ladera	20	50	10	Pz (80)	Fh	III0s	0.11
6	16	20	Lomerío	>50	8	10	Pz (80)	Vp	IVt	10.84
7	14	0	Plano	>60	0	0	ME 50, Pz 50	Vp	Ic	0.14
8	15	6	Ladera	40	90	0	ME 40, Pz 60	Hh	V0s	1.27
9	6	3	Plano	40	5	0	CA 90	Vp	Ic	0.48
10	14	2	Plano	60	10	0	CM 100	Vp	Ic	0.49
11	12	14	Lomerío	10	30	70	ME 60, Pz 40	I	IVc	5.07
13	14	3	Plano	45	0	0	Pz 70, H 30	Vp	Ic	0.05
14	9	16	Loma	30	40	2	H 70, Ar: 10 Ca 10	Hh	VII0s	11.0865
15	9	8	Lomerío tendido	40	30	15	Pz 60, Ar 10 Ca: 10	Hh	VI0s	4.8439
16	9	2	Lomerío tendido	>50	3	No	Cf: 40 Pz: 15	Hh	IIc	11.5450
17	9	4	Lomerío tendido	40	2	No	C M: 85	Hh	IIIc	38.5
18	14	2	Planicie	>50	2	0	Pz: 90, H: 10	E	Ic	1.51
19	11	3	Planicie	20	35	0	C M	Hh	V0s	3.85
20	14	10	Lomerío	45	60	0	ME 10, Ca: 20 Pz 40,	E	III0s	241
21	14	2	Planicie	30	2	0	ME 100	E	Ic	1.51
22	1	1	Planicie	>50	2	0	CM 50, CA 50	Vp	Ic	0.722
23	3	1	Planicie	>50	0	0	CM 50, CA 25 CF 25	Vp	Ic	1.0424
24	3	3	Lomerío tendido	20	40	0	ME, CA (90)	R	III0s	0.733
25	7	8	Lomerío	20	20	0	CA, Ar, Pz	Hh	III0s	2.723
26	12	20	Lomerío	10	10	70	Pz (100)	R	VI0i	8.2

Punto	Aa	m (%)	Forma	Prof. (cm)	P (%)	R (%)	Vegetación (%)	Unidad suelo	Clase de Tierra	Erosión (t/Ha/año)
27	12	4	Lomerío	10	5	0	Pz y Ar (80)	E	Vp	2.91
28	12	5	Planicie	30	2	0	CM (100)	Vp	IIc	5.83
29	15	24	Cerro	36	35	40	ME (40), PZ (15) y Ca(10)	Hh	V0i	25.67
31	14	7	Ladera	>30	5	0	ME (50), Ar(30), Pz(20)	Hh	IIIc	9.86
32	12	2	Planicie	>40	5	0	Pz(85), Ca (5)	HI	IIc	0.22
33	8	2	Planicie	>50	3	0	CM (100)	Vp	Ic	3.12
34	9	2	Lomerío	>50	2	0	CM (100)	E	Ic	10.09
35	9	5	Lomerío	20	80	0	ME(40), Ca (50) y ME(10)	R	II0s	21.97
36	9	4	Lomerío	30	70	0	ME (45) y Pz(50)	Hh	II0s	5.24
37	15	22	Lomerío tendido	15	80	10	H10, ME 50 Ar 20	R	V0s	18.3
38	12	2	Planicie	20	5	0	CA y CM	Vp	Ic	37.06
39	14	5	Ladera	30	20	0	Pz 60, ME 25, Ca10	Hh	IV0s	14.8
40	14	4	Cóncava	32	10	0	Pz 80, ME 10, Ca 10	E	IIIc	14.8
41	14	9	Planicie	35	10	70	M 40, Pz 60	J	III0s	48.34
42	12	6	Planicie	>50	20	0	CM 100	HI	IIc	33.38
43	12	3	Planicie	>50	5	0	H70	HI	IIc	6.87
44	14	9	Lomerío tendido	15	10	20	H 40, Ar10 ME 30	I	IIIc	6.72
45	F	4	Planicie	>50	0	0	H75	Hh	IIc	5.19
46	14	2	Planicie	>50	3	5	Pz 90	Hh	Ic	3.11
47	15	5	Valle	30-50	80	0	H20,ME 40 Ar30	Hh	V0s	6.61
48	4	2	Planicie	40	3	0	CM 100	Hh	Ic	0.60
49	10	2	Planicie	>50	2	0	CM 100	Vp	Ic	0.50

Fuente: Trabajo en campo

En el cuadro no aparecen los puntos 2,4,3.5.12 y 30, porque se localizan fuera del Mpio.

Aa: agroambiente, m: pendiente, P: pedregosidad, R: rocosidad, M.O: Materia Orgánica.

HCl: ácido clorhídrico al 10 %, se usa para detectar la presencia de carbonatos en el suelo,

NR: No reacciono, RM: Reacción media, RA: Reacción alta

pH: Se mide con tiras de plástico pH, con rangos de 0.0 a 14.0

Cuadro 5. Significado de las literales usadas en el cuadro 4.
Diferenciación de clases de tierras

Vegetación	Suelo	Limitante en tierra
Pz: pastizal	I: litosol	c: clima
ME: matorral espinoso	R: regosol	p: profundidad
Ca: cactáceas	E: rendzina	Oi: obstrucción interna dada por la rocosidad,
H: herbáceas	J: fluvisol	Os: obstrucción superficial (pedregosidad)
Ar: Arboles	Vp: vertisol pelico	t: topografía
Pd: plantación de durazno	Hh: feozem haplico	
CM: cultivo de maíz	HI: feozem luvico	
CA: cultivo de alfalfa		
Cc: cultivo de cebolla		
Cf: cultivo de frijol		
Cav. Cultivo de avena		
Cf: Cultivo de flor		

La diferenciación de tierras agrícolas se realizó como se indica en la metodología, siguiendo la propuesta de la (FAO, 1997).

En el municipio de Tequisquiapan se identificaron siete clases de tierras, tomando en cuenta toda la información de gabinete y con los puntos de muestreo. La clasificación de tierras, se puede observar en el cuadro 4, que van de la clase I a la Clase VII, con limitantes manifiestas de alta cantidad de rocas y piedras, topografía, clima y profundidad del suelo, las que se describen a continuación.

De acuerdo a los datos obtenidos, la clase I, es la más adecuada para realizar agricultura, la mayoría de los puntos catalogados en esta clase cuentan con superficies de riego, pendientes ligeras, así como mayor profundidad en los suelos. Los puntos determinados en la clase II, coinciden en tener una pendiente de 4 a 7 %, así como una disminución considerable de profundidad en los suelos, y el nivel de pedregosidad comienza a ser evidente en la superficie.

En la clase III encontramos áreas con mayor dificultad de acceso por la pendiente, la cual abarca del 8 al 12 %, y una mayor población forestal. Otra característica de esta clase es la alta susceptibilidad a la erosión. Una de las restricciones que se identificó en un punto fue el alto porcentaje de pedregosidad por lo cual se obtiene la subclase III s.

La clase IV en Tequisquiapan presenta pendientes muy pronunciadas entre 13 y 20 %, con un desarrollo de cultivos limitado. La pedregosidad que se observa está entre 11 a 20 %. Se observó susceptibilidad a la erosión. Presenta suelos poco profundos, en este caso la concentración de materia orgánica es alta. Para la clase IVs la única restricción que presenta es la alta rocosidad. En estas clases de tierra se observó actividad pecuaria. La clase V se definió por la presencia de pedregosidad y rocosidad mayor a 20 %, aunque se encontraron pendientes no tan ligeras, el factor de obstrucción superior e interior son grandes limitantes para el desarrollo de cultivos. Se observó la presencia de pastizales y actividades pecuarias.

Clase VI, son tierras con pendientes adecuadas para soportar una vegetación permanente. Con suelos que deben permanecer bajo bosque, bien sea natural o plantado. No son adecuados para ningún tipo de cultivo a causa de procesos erosivos severos y muy poca profundidad efectiva. Las pendientes suelen ser mayores del 25 %. La explotación ganadera debe hacerse de forma extensiva muy controlada, bajo sistemas silvopastoriles y en ocasiones es necesario dejar los terrenos desocupados por largos periodos de tiempo para su recuperación. En estas tierras son necesarias prácticas de recuperación de suelos como terrazas, terrazas de inundación, filtros y drenajes en espina de pescado, y que exista vegetación permanente.

Clase VII, son tierras con pendientes mayores del 25 % y restricciones muy fuertes por pedregosidad, rocosidad, baja fertilidad, suelos muy superficiales, litosol y regosol, y erosión de media a alta. Son áreas de protección que deben permanecer cubiertas por vegetación densa de matorral

espinoso, y bosque de encino. Su principal uso es para la protección de suelos, aguas, flora y fauna. Solo son aptos para mantener coberturas arbóreas permanentes.

Análisis y Conclusiones

En la clasificación de tierras agrícolas, interacciones de los aspectos de relieve, clima, geología, suelo, y el uso actual. La combinación de las características de los cinco aspectos nos muestra una gran diversidad de tierras, que por afinidad los podemos agrupar en clases, a escala detallada 1:50,000 o a nivel 1:10,000, o incluso si queremos un detalle particular lo podemos reducir al tamaño de una parcela de 1 ha. De manera general, las clases de tierras más afines se pueden agrupar por agroambientes, a escala 1:250,000.

El clima es relevante para el ciclo agrícola de los cultivos, por lo que para los agricultores que siembran con lluvia del temporal, es vital conocer los cambios del clima en el tiempo y en los diversos espacios, ([Granados R., 2004](#); [Bautista, 2016](#)), para poder sembrar con menos incertidumbre, por lo mismo los 4 PC obtenidos en los 17 agroambientes son aceptables a escala general.

La erosión hídrica que se obtiene en los 49 sitios de muestreo y los 17 agroambientes, es una estimación que ayuda a diagnosticar el estado actual de la pérdida de suelo, sin embargo, vale comentar que la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, EUPS, tiene la limitante de la aplicación de la ecuación general para estimar la erosividad de la lluvia, ([Colegio de Postgraduados, 1991](#)), y que la EUPS se realizó en condiciones particulares como lo indica ([Wischmeir, 1978](#)). Sin embargo, la EUPS, si nos ayuda a conocer la erosión en unidades cartográficas generales ([Aguilar, G., y Estrada, J 1982](#))

La geología contribuye a la formación de suelo, al igual que la vegetación, en función de lo anterior la geología de rocas ígneas extrusivas y basalto, contribuye a la formación y predominancia de suelos I, R, Hh, y Vp, Y sólo existe suelo E, en tres agroambientes. La pendiente de más del 10 % y la presencia de la vegetación en los lomeríos y ladera de los cerros, junto con las lluvias torrenciales, se combinan para que exista erosión media. En contraparte en áreas planas del menos de 5 % de inclinación la erosión es poca.

Así tenemos que todos los elementos del medio natural y el uso actual de las tierras contribuye a que la clasificación de tierras, fluctúe de clase I, cuya limitante es el clima semiseco, al igual que las clases de II y III, donde la profundidad del suelo y la presencia de un porcentaje pequeño de piedras son poco limitantes, para la producción agrícola de maíz, frijol, o para huertas de nopal, durazno, uva, etc. En las clases IV y V, además de las piedras, poca profundidad, clima semiseco, tiene más relevancia la inclinación del terreno de más del 15 %. Tierras que se pueden usar para el pastoreo de ganado extensivo, o semiestabulado, controlando la rotación de potreros. En las clases VI y VII cobra importancia la presencia media y alta de rocas, > 50 % de pedregosidad; así como una inclinación mayor del 25 %, tierras que se recomienda se usen para la preservación de la vegetación, o un uso controlado de cultivos de la región como huertas de nopal, durazno o de maguey.

El trabajo es aceptable a escala 1:250,000, sin embargo, para tener mayor certeza es necesario hacer una investigación a escala 1:20,000, pero tendríamos la limitante de la falta de datos climáticos más precisos y, realizar el muestreo de suelo más intensivo.

Referencias

- Aguilar S, G. y Estrada B.J. (1982). Perdidas de suelo en México. *Chapingo*, 79-84.
- Aguilar Sánchez, G. (1995). *Diferenciación agroclimática de la región Queréndaro-Morelia, Michoacán, México*. México, DF: Insituto de Geografía-UNAM.
- Bautista, F. (2016). *Zonificación agroclimática de la región de infiernillo. Biodiversidad del estado de Michoacán*. México, DF.: CONABIO.
- Becerra Moreno, A. (1999). *Escorrentía, erosión, y conservación de suelos*. Texcoco, Estado de México: UACH.
- Colegio de Postgraduados (1991). *Manual de predicción de perdidas de suelo por erosión*. México, DF: SARH.
- CONAGUA (14 de Agosto de 2016). www.conagua.gob.mx. Obtenido de CONAGUA.
- Edo de Querétaro. (18 de Septiembre de 2016). *Querétaro está entre nosotros*. Recuperado de <http://www.queretaro.gob.mx/municipios.aspx>. Obtenido de queretaro.gob.

- FAO. (1997). *Boletín de suelos de la FAO: Zonificación agroecológica*. Roma Italia: ONU.
- Fernández Reynoso, D. S. (2015). *Estimación de la erosión del suelo*. Texcoco, Edo. México: UACH.
- Granados R., R. T. (2004). *Aptitud agroclimática en la Mesa Central de Guanajuato, México*. México, DF: Instituto de Geografía-UNAM.
- INAFED (2010). *Enciclopedia de municipios. Tequisquiapan*. Querétaro, Qro.: Edo.Qro.
- INEGI (1995). *Síntesis geográfica del estado de Querétaro*. México, DF: Inegi.
- INEGI (2005). *Uso potencial del suelo*. Aguascalientes, Ags: INEGI.
- INEGI (2015). *Anuario estadístico y geográfico del estado de Querétaro*. México: INEGI.
- Lafuente, C. (2008). *Metodologías de la investigación en las ciencias sociales: fases, fuentes y selección de temas*. México: Escuela de Administración de Negocios.
- Matías, L. F. O. & G. F. Centro Nacional de Prevención de Desastres (2001). *Heladas*. Ciudad de México.
- Ortiz, C., & Cuanalo, H. (1984). *Metodología del Levantamiento Fisiográfico, un sistema de clasificación de tierra*. Texcoco, México: COLPOS.
- Pájaro, D. (1988). *Estimación del Periodo de Crecimiento por disponibilidad y libre de heladas para la República Mexicana*. Estado de México: Colegio de Postgraduados: Centro de Edafología.
- Rojas, S. (2012). *Métodos para la investigación social*. México D.F: Plaza y Valdés.
- Romero Peñaloza, J. (1992). *El condicionamiento ambiental y el análisis regional de la agricultura; una experiencia*. Texcoco, estado de México: Dirección de Centros Regionales-UACH.
- Romero, P.J. (2003). Agricultura y recursos naturales en la cuenca del lago de Cuitzeo, Michoacán. *Cuaderno de Centro Regionales No. 25*. Chapingo, México.: DCRU-UACH,.
- Sánchez, F.(24 de Noviembre de 2016 Noviembre). *Cálculo de la Precipitación areal mediante Sistemas de Información Geográfica*. [En línea] Recuperado de: http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45221/componente45219.pdf . Obtenido de /api.eoi.es.

- SEDEA-Qro. (15 de 7 de 2018). Recuperado de www.sedea.queretaro.gob.mx/regiones. Obtenido de sedea queretaro.
- SIAP., 2003-2015 (15 de agosto de 2016). SIAP 2003-2015. Recuperado de www.Servicio de Información Agroalimentaria.. Obtenido de www.infosiap.gob.mx/agricola_siao_gb/ientidad/index.jsp.inade
- UNAL (2016). *Marco conceptual de la erosión*. Bogota, Colombia: Uni. Nal. de Colombia.
- Universidad Autónoma de Querétaro. (1995). *Enciclopedia Temática del Estado de Querétaro, Tomo 1 Geografía de Querétaro*. México, DF. Talleres de Artículos Gráficos de México, S.A.
- USDA.. (1962). *Land-capability Classification, Soil Conservation Service U.S.* Washington.: Department of Agriculture.
- Wischmeir, W. A. (1978). *Predicting rainfall erosionlosses a guide to conservation planning*. Whashington D.C.: USDA.



Soja, glifosato y salud humana. Algunas evidencias en el Chaco Seco Argentino (1990 - 2012)

Soy, glyphosate and human health. Some evidence in the Argentinian Dry Chaco Region (1990-2012)

Fernando Longhi¹

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina

Sebastian Bianchi²

Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, Argentina

Resumen

En las últimas décadas del siglo XX y las primeras del siglo XXI el Chaco Seco Argentino (conocido también como Chaco Salteño o Umbral al Chaco), atravesó un intenso proceso de deforestación asociado al avance de la frontera agropecuaria. El paquete soja transgénica-glifosato (su herbicida asociado) fue el principal protagonista de dicho proceso. En el amplio debate existente sobre los efectos del glifosato sobre la salud humana no es suficiente la evidencia epidemiológica sobre dicha relación. Estos son los principales aportes de esta propuesta, los cuales operan sobre bases estadísticas de mortalidad.

Palabras clave: soja; glifosato; salud humana; chaco seco argentino

Abstract

In the last decades of the 20th century and the first decades of the 21st century, the Argentinian Dry Chaco Region (also known as Chaco Salteño or Umbral al Chaco), went through an intense process of deforestation associated with the advance of the agricultural frontier. The transgenic soybean-glyphosate agrotechnological package was the main protagonist of this process. In the

- 1 Dr. en Ciencias Sociales. Investigador adjunto de Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) en el Instituto Superior de Estudios Sociales. Correo electrónico: fernandolonghi@hotmail.com <https://orcid.org/0000-0003-4616-8960>
- 2 Ingeniero mecánico Becario de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica en el Instituto Superior de Estudios Sociales. Correo electrónico: bianki_pda@hotmail.com <https://orcid.org/0000-0002-1159-5287>

broad ongoing debate pertaining to the effects of glyphosate on human health, epidemiological evidence on this relationship is not enough. That is why this article focuses on the use of mortality statistics, and therefore, its main contribution will be to make a first approach to the study of the epidemiological profile evolution of the region associated with the use of said package.

Keywords: Soy; Glyphosate; Human health; Argentine Dry Chaco Region

Introducción

En las últimas décadas del siglo XX y las primeras del siglo XXI el Chaco Seco Argentino, conocido también como Chaco Salteño o Umbral al Chaco (mapa 1)³, atravesó un intenso proceso de deforestación asociado al avance de la frontera agropecuaria (Paolasso y Krapovickas, 2012). Dicho avance operó como resultado de la expansión de empresas agrícolas, mayormente extrarregionales, dedicadas a la producción de *commodities* (principalmente oleaginosas y entre ellas, soja transgénica fundamentalmente).

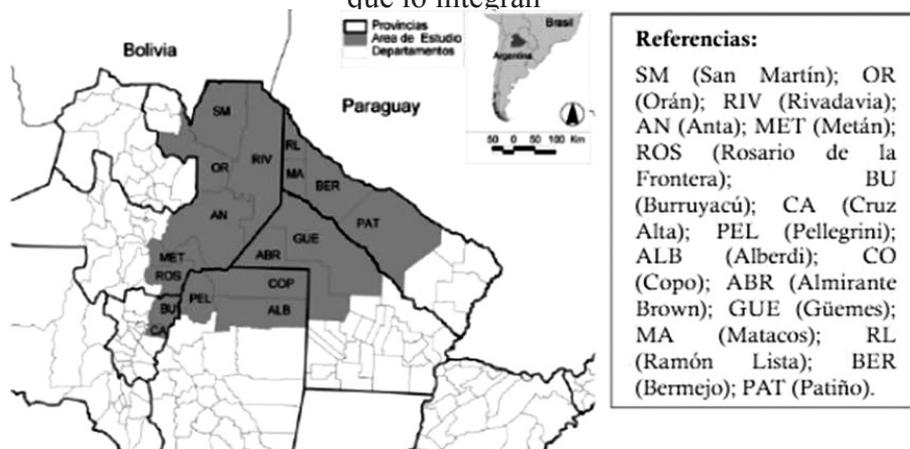
La magnitud de estas transformaciones es tal que la superficie implantada se incrementó entre el 2000 y el 2012 un 185% (pasó de 756.000 ha a 2.152.000 ha). La que corresponde a los cultivos con soja transgénica pasó de 455.000 a 1.044.000 has (un incremento del 130%). Paralelamente, en ese mismo lapso se deforestaron alrededor de 1,5 millón de ha.

Esto ha sido posible debido a la implantación de una agricultura moderna, altamente tecnificada, con importante utilización de insumos y vinculada a mercados globales, aplicada sobre un territorio históricamente marginado, que concentra la más alta proporción de población indígena del país, y donde los modos productivos (y de vida) locales, requieren del uso de grandes superficies de bosque. En este contexto, la relación entre soja transgénica, su socio inseparable (el glifosato) y la salud humana es amplia y polémica, no obstante existe evidencia científica importante -como se verá más adelante- que identifica los efectos nocivos del glifosato sobre la salud, evidencia que en estudios epidemiológicos en nuestro país no se ha puesto de manifiesto aun.

3 La región bajo estudio comprende una porción significativa del Chaco Seco y Subhúmedo occidental Argentino, correspondiente a diecisiete departamentos de cinco provincias argentinas: Almirante Brown, General Güemes (Chaco); Bermejo, Mataros, Patiño y Ramón Lista (Formosa); Anta, General José de San Martín, Metán, Orán, Rivadavia y Rosario de la Frontera (Salta); Alberdi, Copo y Pellegrini (Santiago del Estero); Burruyacu y Cruz Alta (Tucumán).

En este contexto, este trabajo busca caracterizar de qué manera cambió el perfil epidemiológico de las causas de muerte en la región. El análisis parte desde el año 1990, cuando todavía la soja transgénica no era predominante, y alcanza hasta el año 2012. Esta pregunta tiene su correlato en las siguientes hipótesis: a) los cambios en el perfil epidemiológico no fueron trascendentes; o b) hubo un cambio en el perfil epidemiológico de la población del Chaco Seco. La segunda pregunta, amparada bajo la hipótesis b) buscará entonces, bajo distintas herramientas metodológicas, detectar asociaciones entre el incremento de determinadas causas de muerte con la adopción de este nuevo cultivo. En los últimos años se ha abierto un áspero debate acerca de los efectos que dicho producto –y la batería de químicos asociados al nuevo paquete tecnológico- podría tener sobre la salud de las poblaciones humanas.

Mapa 1. Chaco Seco Argentino: ubicación geográfica y departamentos que lo integran



Glifosato y salud humana ¿qué evidencias existen sobre esta relación?

Sobre la relación que aquí nos ocupa existe un amplio y tenso debate. En los últimos años, la aparición de nuevos estudios independientes comienza a ampliar la información sobre los posibles efectos y relaciones entre algunos herbicidas y la aparición de ciertos tipos de cáncer. En un trabajo publicado en 1999 en el Journal of American Cancer Society por

Hardell y Eriksson (Pengue, 2003) se revela la relación entre glifosato y Linfoma No-Hodgkin (LNH). Los investigadores sostienen –sobre la base de un estudio realizado entre 1987 y 1990 en Suecia– que la exposición al herbicida puede incrementar los riesgos de contraer esta enfermedad. En efecto, según Ibáñez (2002), el Roundup (nombre comercial del glifosato) se encuentra en varios países entre los primeros plaguicidas que causan incidentes de envenenamiento en humanos (Bravo *et al.*, 2010). La mayoría de estos han involucrado irritaciones dérmicas y oculares en trabajadores, después de la exposición, durante la mezcla, carga o aplicación. También se han reportado náuseas y mareos después de la exposición, así como problemas respiratorios, aumento de la presión sanguínea y reacciones alérgicas. Entre 1990 y 1995 se presentaron 33 demandas y 34 casos por intoxicación (Pengue, 2003). En California, el glifosato se encuentra entre los herbicidas más comúnmente reportados como causa de enfermedad o daños entre los trabajadores que manipulan herbicidas. Las presentaciones más comunes tienen relación con efectos oculares e irritación de la piel. Las autoridades norteamericanas recomiendan no reingresar por un período de 12 horas en aquellos sitios donde el herbicida haya sido aplicado en situaciones de control agrícola o industrial (Pengue, 2003).

En un plano más general, es conocido que desde las ciencias biológicas e ingenierías se suele utilizar el concepto “transgénico” para designar a todo organismo que ha sufrido modificaciones genéticas con el objetivo de aportarle determinadas características. En el caso específico de la denominada soja transgénica, la modificación que la semilla ha sufrido persigue un fin concreto, que es el de resistir la aplicación de un potente herbicida: el glifosato. Esto permite que los cultivos de soja transgénica fumigados con glifosato puedan desarrollarse sin la proliferación de hierbas no deseadas.

Los mayores avances en ingeniería genética aplicada a alimentos⁴ se produjeron gracias al impulso que el descubrimiento del efecto

4 El objetivo de la ingeniería genética aplicada a organismos es la manipulación *in vitro* de del ADN de un ser vivo (bacteria, virus, vegetal, animal y humano), la introducción de este ADN así modificado en células vivas de otro organismo y la incorporación del mismo como parte del material hereditario de dichas células, que transmitirá las características deseadas. Para dimensionar el crecimiento de esta disciplina en las últimas décadas, se puede tomar como indicador el número de permisos otorgados por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) (país líder en ingeniería genética) para pruebas en campos con cultivos modificados genéticamente. Dicho número creció de 4 en 1985 a 1194 en 2002. Para septiembre de 2013, alrededor de 7800 nuevos permisos habían sido otorgados para maíz, más de 2200 para granos de soja, más de 1100 para algodón, y alrededor de 900 para papas. Los permisos para pruebas de tolerancia a los herbicidas fueron 6772, en resistencia a insectos 4809, calidad del producto como sabor o nutrición

herbicida del glifosato le imprimió a partir de 1970. Dicho descubrimiento fue realizado por investigadores de la firma internacional Monsanto, empresa pionera y actual líder mundial en la modificación genética de células vegetales.⁵

Uno de los resultados de las investigaciones de Monsanto fue la semilla de soja transgénica denominada *Roundup Ready*, lanzada al mercado por primera vez en Estados Unidos en 1996 luego de ser aprobada por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de ese país (EPA, por sus siglas en inglés).

A partir de su incorporación al mercado mundial, la utilización de dicha semilla ha crecido exponencialmente reemplazando casi en su totalidad a las semillas tradicionales de soja en aquellos grandes países productores de este alimento. Según los datos del ISAAA (International Service for the Acquisition of Agro-Biotech Applications) en el año 1998 el porcentaje de soja producido con semillas transgénicas respecto a la soja tradicional era del 20%, mientras que en el año 2017 el mismo ascendía a 77%, con un máximo del 82% en el año 2015 (ISAAA, 2017). Los tres principales productores mundiales de soja transgénica son Estados Unidos con un 36.2% del total mundial de hectáreas sembradas, Brasil con un 35.8% y Argentina con un 19.2% (ISAAA, 2017). Entre los tres países suman más del 91% del total de superficie mundial sembrada con este cultivo.⁶

En Argentina, la primera campaña en la que se cultivó soja transgénica fue en 1996/97 (Rodríguez, 2010), desde entonces, esta producción ha ascendido sustancialmente, alcanzando en 2017 las 18.100.000 de hectáreas cultivadas, constituyendo en su totalidad soja transgénica (ISAAA, 2017).⁷

4896, propiedades agronómicas como resistencia a sequías 5190 y resistencia a virus y hongos 2616. Las instituciones con mayor número de autorizaciones son Monsanto con 6782, Pioneer/DuPont con 1405, Syngenta con 565, y el Servicio de Investigación Agrícola del Departamento de Agricultura de Estados Unidos con 370. Para esa fecha, el Departamento de Agricultura había recibido propuestas para habilitar campos para arroz, chayote, ciruela, tabaco, lino y achicoria genéticamente modificados (Fernandez, Wechsler, Livingston, & Mitchell, 2014).

- 5 Asimismo, el papel de Monsanto en la industria química fue y continúa siendo principal, sustentado en el diseño y fabricación de productos químicos como el insecticida DDT o los herbicidas Agente Naranja y Roundup (cuyo principio activo es el glifosato).
- 6 En el año 2017 la proporción de superficie de soja transgénica respecto al total de soja sembrada en Estados Unidos fue del 94%, mientras que en Brasil fue del 97% (ISAAA, 2017).
- 7 Es claro además el dominio de la soja entre la producción transgénica argentina: sobre un total de 23.6 millones de hectáreas sembradas con cultivos transgénicos en 2017, el 77% fueron de soja el 22% de maíz y el 1% de algodón (ISAAA, 2017).

No obstante esto, el proceso de sojización del territorio argentino había comenzado su etapa expansiva en la década de 1970, mucho antes de la llegada de la soja transgénica; sin embargo, con la irrupción de esta última la superficie total sembrada con soja de primera (único cultivo anual en esa superficie) creció de manera abrupta, pasando de 3.500.000 has en la campaña 1996-1997 a 9.500.000 has en 2004-2005 (Rodríguez, 2010). Este proceso no fue uniforme, ni en ritmo, ni en las formas adoptadas en su expansión en los distintos territorios del país. Comenzó su desarrollo en la región pampeana, donde se expandió a través de la sustitución de los tradicionales cultivos de trigo, maíz, girasol, y del desplazamiento de la ganadería hacia nuevas regiones.⁸ Sin embargo, en regiones extra-pampeanas, sobre todo en el norte del país, la forma de expansión fue diferente. Allí se desarrolló un proceso de pampeanización del agro, en el cual se impusieron los usos del suelo de la región pampeana sustituyendo a cultivos extrapampeanos como el algodón y el arroz (Rodríguez, 2010) e impulsando la agriculturización por deforestación⁹. Entre los años 1988 y 2011 la superficie cultivada con soja en el norte del país creció un 12% anual en promedio, pasando de 280.000 has a 2.680.255 has a fines del período (Ortega, 2014). Sin embargo, se pueden observar diferencias en la expansión a escala subregional. En la provincia de Chaco se percibe claramente la expansión de la frontera agrícola, por un lado basada en la deforestación, pero también por medio del reemplazo de cultivos preexistentes como el algodón.¹⁰ En cambio, en la provincia de Santiago del Estero y el oeste de

8 Nótese la magnitud de la tasa de crecimiento de la superficie sembrada con cereales en la región pampeana en el período 1970-2000, de una magnitud de 1,007 decreciente, mientras que la de las oleaginosas fue de 6,620 creciente (Pizarro, 2003).

9 Este proceso, que Bruniard (1975/78) llamó "pampeanización del Chaco", se asoció principalmente con las explotaciones de mayor tamaño. Las excluidas fueron las pequeñas pues el reemplazo significaba menor rentabilidad por unidad de superficie, aún con el creciente descenso de los precios del algodón. El efecto inmediato fue la reducción del 30 por ciento de la superficie sembrada con algodón entre 1960 y 1970. Cabe mencionar además que entre 1998 y 2002 se registraron 618.500 has desmontadas en las provincias de Salta, Chaco y Santiago del Estero en conjunto, un valor equivalente al 79% de los desmontes totales en Argentina. En el período 2002-2006 en las mismas provincias se desmontaron 1.057.600 has, correspondiendo al 89% del total del país (Ortega, 2014).

10 Entre los años 1988 y 2002, la superficie dedicada a cultivos en la provincia de Chaco se incrementó en un 66.8%, pasando de unas 700.000 has a más de 1 millón. Este incremento se ha dado en gran parte sobre el monte nativo (solamente entre 1998 y 2002 la provincia perdió 117.000 has de montes), pero también por la sustitución de actividades agropecuarias preexistentes como el cultivo de algodón por cultivos transgénicos (soja y algodón). En el caso de la soja, ha pasado de 14.000 ha en 1988 a ocupar más de 640.000 ha en 2002 (Domínguez & Sabatino, 2010).

Chaco, el proceso de agriculturización fue enteramente desarrollado sobre áreas deforestadas y tuvo como único protagonista al cultivo de soja.¹¹

Puede observarse entonces, que a pesar de que el proceso de sojización comenzó casi tres décadas antes de la llegada de la soja transgénica al país, ésta impulsó fuertemente la expansión de la superficie destinada a dicho cultivo y de la mano de este proceso se consolidó el glifosato como el herbicida más utilizado en el territorio argentino. Según [Gómez Lende \(2017\)](#) el consumo de agrotóxicos en Argentina aumentó un 858% entre 1991 y 2012, pasando de 39 millones de litros/año en 1991 a 335 millones de litros/año en 2012, e incluso en algunas provincias el volumen aplicado fue de cuatro a seis veces el permitido en otros países. Otro informe indica que el volumen de pesticidas aplicados en Argentina en 2013 fue de 281 millones de litros, de los cuales un 65% fue glifosato ([Bravo, 2015](#)). A pesar de las variaciones en los datos, es claro que el volumen de glifosato aplicado es de una magnitud considerable y que exige un estudio profundo sobre sus posibles efectos en el medio ambiente y la salud humana.

En este contexto de consolidación de la actividad sojera transgénica se reconoce la existencia de un importante debate sobre los efectos nocivos del uso del glifosato en la salud humana, es sobre dicho debate donde pretende profundizar el presente artículo.

A nivel internacional, en 1993 la EPA y la Organización Mundial de la Salud (OMS) clasificaron al glifosato como agente de baja toxicidad, clase III (en una escala que va del I, mayor toxicidad, al IV) ([EPA, 1997](#)). En el año 2000 la EPA realizó una revisión de esta categorización y se concluyó que no presentaba riesgos para la salud humana ([Williams, Kroes, & Munro, 2000](#)). A su vez, la Unión Europea en noviembre de 2017 determinó la extensión del permiso de utilización del glifosato por cinco años más, luego de una evaluación científica que determinó que “el glifosato no provoca cáncer” (Unión Europea, 2017: 1). Sin embargo, la OMS en su última revisión en marzo de 2015 lo catalogó como “probablemente cancerígeno en humanos y cancerígeno en animales (Grupo 2^a)” ([IARC-OMS, 2015: 1](#)), que es la segunda en gravedad.

En el orden nacional, por una resolución de la entonces Secretaria de Agricultura de la Nación, Argentina autorizó en 1996 a través de la

11 “En la campaña 2002/2003, [...] el 80% de la agricultura (con la soja como principal cultivo) se hizo sobre áreas que en 1988 tenían vegetación natural” ([Ortega, 2014, págs. 47-48](#)).

Resolución 167/1996 la producción y comercialización de las semillas de soja transgénica y los productos y subproductos derivados de éstas (Rodríguez, 2010). En cuanto al glifosato, el máximo órgano estatal de control de productos fitosanitarios (SENASA), permitió por primera vez su utilización en el país en 1977 y revalidó el permiso en 1999¹² siguiendo los parámetros y la clasificación de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés) y la OMS.

En el año 2009, el Poder Ejecutivo Nacional creaba la Comisión Nacional de Investigación sobre Agroquímicos (CNIA)¹³ y un Consejo Científico Interdisciplinario en el ámbito del CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas), que debía realizar una evaluación minuciosa de los trabajos científicos nacionales e internacionales referentes a los efectos del glifosato sobre la salud humana y el ambiente y presentar sus conclusiones. El informe publicado en julio del año 2009 concluyó que, si se aplica responsablemente, el uso del herbicida no presenta riesgos para la salud humana o el medio ambiente (CNIA, 2009).

En contraste con los estudios e informes presentados por instituciones estatales y organismos internacionales, existen diversos estudios sobre los efectos del glifosato en la salud humana realizados por investigadores independientes en colaboración con organizaciones sin fines de lucro, que comprobarían la existencia de un vínculo entre el herbicida y enfermedades como el cáncer, alteraciones genéticas, abortos espontáneos, entre otras. En el contexto nacional Carrasco (2010) comprobó los efectos nocivos del glifosato en embriones de vertebrados, produciendo alteraciones en su morfogénesis. Estos resultados permiten suponer efectos similares en embriones humanos, sobre todo teniendo en cuenta que estudios previos han demostrado que el riesgo de alteraciones inducidas por el medio ambiente en el desarrollo humano es mayor durante el período crítico de gestación (2 a 8 semanas) y que la placenta humana es permeable al

12 Resolución 350/99 SENASA.

13 Órgano dependiente del Ministerio de Salud de la Nación, cuyos objetivos eran investigar los hechos denunciados, sus causas y efectos y reunir información estadística para poder coordinar e implementar acciones concretas desde el Estado. Dicha comisión prestaba especial atención a la denuncia por parte de vecinos de un barrio periférico de la ciudad de Córdoba (caso conocido como Barrio Ituzaingó Anexo), en la cual se exponían los efectos nocivos que el glifosato, pulverizado en las plantaciones aledañas al barrio, habría provocado en la población.

glifosato (Carrasco, 2010).¹⁴ Del mismo modo (Benachour & Seralini, 2009) comprobaron que los otros componentes adyuvantes de la fórmula Roundup no son inertes, y que pueden causar daños o incluso la muerte de células humanas umbilicales, embrionarias o de placenta. Asimismo, existen evidencias que corroboran la relación entre el glifosato y el linfoma de células B, los cuales incluyen tanto a los linfomas Hodgkin como a los no-Hodgkin (Schinasi & Leon, 2014). Lo nocivo del producto fue expuesto también por Samsel y Seneff (2013), quienes demostraron que el glifosato inhibe la enzima CYP, cuyas consecuencias pueden ser trastornos gastrointestinales, obesidad, diabetes, enfermedad del corazón, depresión, autismo, infertilidad, cáncer y la enfermedad de Alzheimer. La evidencia se extiende también hacia el efecto genotóxico del glifosato sobre linfocitos humanos (Álvarez, y otros, 2014), como así también sobre el ADN de hígado y sangre de ratones, los cuales presentaron daños significativos en su estructura tras la exposición al glifosato (Mañas, y otros, 2013).

Se puede observar entonces que existen una serie de estudios que comprobarían los efectos nocivos del glifosato en la salud humana, principalmente desde las ciencias médicas y biológicas, pero que aún el posible efecto nocivo del producto no ha sido abordado desde una perspectiva epidemiológica y social.

Precisiones metodológicas

Para el abordaje propuesto se siguieron los lineamientos metodológicos que se enumeran a continuación:

- a) Análisis bibliográfico. Con el objeto de conformar un marco conceptual que permita poner en debate las distintas investigaciones sobre la relación entre glifosato y salud se analizaron los antecedentes sobre este problema, tanto desde las ciencias médicas y biológicas como desde las sociales. Esto permitió individualizar, por un lado, causas específicas de muerte presuntamente asociadas al uso del glifosato y, por otro, niveles de aplicación y uso del mismo inferidos a partir de variables agrícolas.

¹⁴ En la misma línea, Anadón y otros (2009) estudiando la toxicocinética del herbicida determinaron, por un lado, que una vez ingresado el glifosato al organismo tiene la capacidad de llegar a la mayoría de los tejidos por su alto volumen de distribución y, por otro lado, que tiene una lenta eliminación del organismo, lo que le permite entrar en contacto con los tejidos el tiempo suficiente como para producir efectos sistémicos.

Fue de singular importancia distinguir aquellas causas de mortalidad que ocupan mayor relación con el glifosato en la bibliografía. Se destacaron como principales a los tumores, malformaciones congénitas, alzheimer, abortos espontáneos y linfoma no hodgkin; y como secundarias al autismo, celiacía, enfermedad renal crónica, depresión y parkinson.

- b) Procesamiento de las bases de datos. Una vez definidas las variables a observar, fue necesario confeccionar y/o depurar las bases de datos que se utilizaron para el análisis estadístico. Se trabajó con las Estadísticas Vitales 1990-2012 y, desde el aspecto agrícola-territorial, con los Censos Nacionales Agropecuarios 1988, 2002, 2008, las Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) 2000, 2001, 2005, 2007 y las bases de Producción Agropecuaria 2009-2012, consultándose además bases de datos de cada distrito, integrando la información a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG) que permitió identificar, analizar y exponer de forma clara los patrones de distribución de los perfiles epidemiológicos de las poblaciones analizadas.
- c) Análisis estadístico. Se definió un Índice de Riesgo en Salud por Glifosización (IRSAG), el cual conjuga el efecto de una variable de riesgo con una de exposición, y se clasificaron, sobre la base de éste, cinco niveles o grupos departamentales de riesgo/exposición, para luego calcular tasas específicas de muerte para cada uno de dichos niveles. Luego, con el objetivo de observar cambios o permanencias en los perfiles epidemiológicos de las áreas de estudio, se analizó la evolución en todo el período de la tasa de mortalidad según niveles IRSAG y causas de muerte, y se compararon tanto valores absolutos entre niveles, como cambios en los ritmos de crecimiento de las tasas de mortalidad por medio de regresiones lineales.

El área de estudio y los niveles de sojización

El Chaco Seco constituye una vasta llanura sedimentaria, modelada esencialmente por la acción de los ríos Juramento-Salado, Bermejo y Pilcomayo que la atraviesan en sentido noroeste-sudeste. Sus altas cuencas se encuentran fuera de la región, en la cordillera, desde donde transportan una gran cantidad de sedimentos que forman albardones a los costados del

cauce o bien colmatan los cauces y dan origen a la divagación de los ríos (Torrella y Adámoli, 2005).

El Chaco fue siempre una región marginal, poco conocida y poco dominada por el control estatal, aunque no por ello menos codiciada. La ocupación y dominación del territorio representó grandes esfuerzos para los poderes centrales (primero coloniales y luego del Estado Argentino). La empresa no fue nada fácil, tal como lo relatan las crónicas de las primeras entradas (ya sean estas exploratorias, misionales o militares) (Paolasso y Krapovickas, 2012). Desde fines del siglo XIX se produjo la efectiva ocupación del territorio por el hombre blanco, la que se fue generalizando con diversos proyectos de colonización y el ingreso masivo de pequeños ganaderos de otras zonas del país, que se convertirán en los actuales puesteros criollos (Van Dam, 2002). De esta manera, durante la mayor parte del siglo XX el Chaco atrajo a pequeños productores ganaderos que se asentaron uniformemente en la región y con la llegada del ferrocarril se fundaron pequeños pueblos en las estaciones. Sin embargo, la escasez de infraestructuras, la baja densidad de población y los condicionamientos ambientales continuaron marginando a la región hasta el último cuarto del siglo pasado.

En términos productivos, tuvo una tradición profundamente ganadera sobre la que también operó el extractivismo forestal¹⁵. Desde 1970, sin embargo, se asiste a un proceso de avance de la frontera agraria sin precedentes en la región. El mismo se enmarca en las nuevas tendencias de carácter global inauguradas por aquel entonces, tales como la revolución tecnológica y científica, la reestructuración de los Estados, la privatización de actividades productivas y de servicios y la globalización de la economía mundial. Después de la segunda guerra mundial, el crecimiento de las ramas agroalimentarias y agroindustriales modificó sustancialmente

15 La explotación forestal se practicó históricamente como una extracción minera y no como el aprovechamiento sustentable de un recurso renovable. Esto llevó a que las especies más buscadas vieran diezgadas sus poblaciones y que llegaran muchas veces al límite de la extinción comercial, que difiere de la extinción biológica porque en ella la especie está presente, pero no en diámetros ni en volúmenes comercializables. Una de las especies más afectadas tanto por la explotación forestal como por la ganadería fue el quebracho colorado santiagueño. Por la dureza de su madera fue una de las primeras especies en ser explotadas comercialmente, al punto de que en vastas extensiones perdió su carácter de dominante en el bosque, y han quedado prácticamente sólo sus “tocones” muertos en el piso. Además, la renovación de sus poblaciones se ve afectada por la ganadería en distintos aspectos: sus renovales son preferidos por el ganado por sobre otras especies leñosas; sus ejemplares jóvenes son deformados por el ramoneo; y el mantillo de hojarasca que naturalmente actúa favoreciendo su germinación es eliminado (Torrella y Adámoli, 2005).

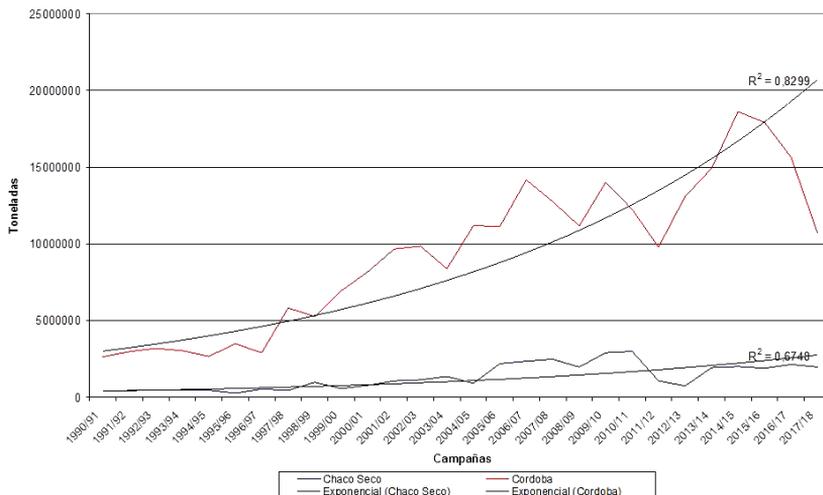
las estructuras productivas y sociales agrarias de la mayoría de los países (Giarracca y Teubal, 2006).

Así pues, en Argentina, tierras consideradas “marginales” para el modelo de agricultura industrial asentado sobre la pampa húmeda comenzaron a ser de interés para grandes productores agropecuarios y fondos de inversión volcados al agro, principalmente a partir de la última década del siglo pasado (Teubal, 2006). Desde 1996, con la aparición en el mercado argentino de las semillas de soja transgénicas, el llamado “proceso de modernización” de la agricultura, basado en la utilización de semillas mejoradas, agroquímicos y maquinaria de alta capacidad operativa comenzó a hacerse más evidente (Rofman, 1999).

Este avance es, sin dudas, el proceso de mayor impacto sobre el paisaje y la mayor amenaza para la conservación de la biodiversidad de la región en la actualidad. Opera sobre la base del desmonte de grandes extensiones de bosques y, al hacerse sin una regulación o un plan ambiental de manejo, implica la pérdida y la fragmentación de ambientes y hábitats, lo que pone en peligro la conservación de la biodiversidad y la sustentabilidad del proceso.

En la figura 1 se observa la evolución de la producción de soja en esta región desde la campaña 1990/91 hasta 2017/18. Nótese el crecimiento constante durante estas tres décadas, llegando a representar la producción del Chaco Seco el 6.7% de la producción sojera nacional en el año 2008 con aproximadamente 7 millones de toneladas producidas. Si se compara esta producción con la provincia de Córdoba, aquella con mayor producción de soja de la Argentina, se distingue el paralelismo y la simetría -salvando las magnitudes- entre ambos contextos territoriales.

Figura 1. Áreas seleccionadas. Evolución de producción de soja (Tn). 1999/2018



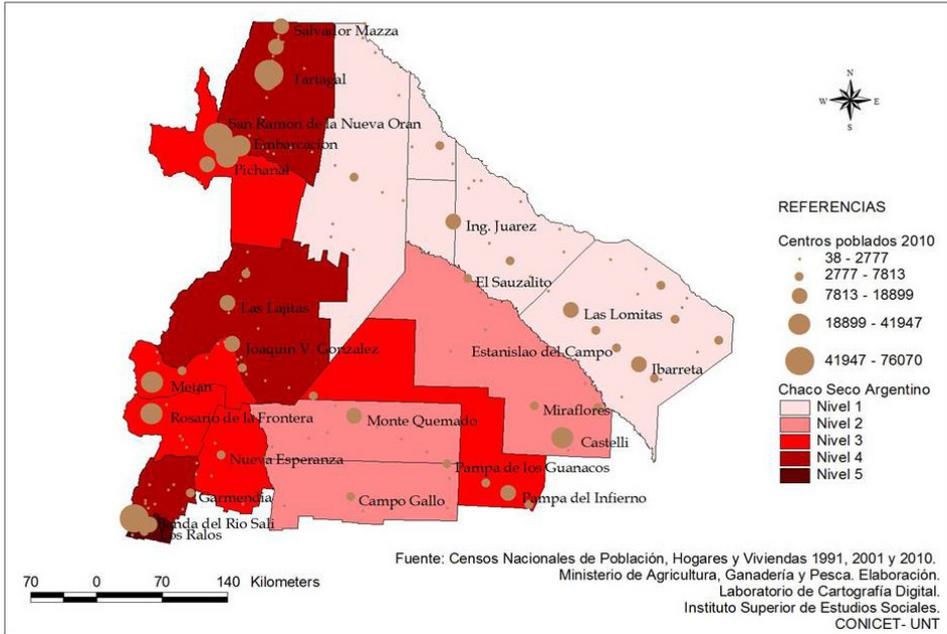
Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Datos y estimaciones agrícolas.

<http://datosestimaciones.magyp.gob.ar/>

Este proceso de expansión de la agricultura extensiva, ha sido caracterizado por un uso masivo de insumos químicos y maquinaria potente y sofisticada, donde los primeros -asociados al uso de glifosato- podrían tener consecuencias sobre la salud humana, o mejor dicho, sobre las 951.443 personas que se asientan sobre esta área según el Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas del año 2010. Es esta conjetura la que guía el ejercicio posterior donde, a partir de dos variables: a) la proporción que representa la superficie implantada con soja respecto a la superficie departamental (*variable de riesgo*), y b) la población total promedio del departamento entre los años 1991, 2001 y 2010 (*variable de exposición*), se calculó -mediante el producto de ambas variables- el Índice de Riesgo en Salud por Glifosización (IRSAG). Una vez calculado este valor fue necesario realizar una tipología según niveles del IRSAG, para ello se detectaron *quiebres naturales*¹⁶ en la distribución de la variable, definiendo los cinco niveles que se observan en el mapa 2:

16 Este método calcula las diferencias de valores entre los individuos estadísticos ordenados de forma creciente. Luego coloca un límite para separar los grupos donde las diferencias de valores son mayores, y así determinar los límites de cada clase o intervalo. Los cortes de clase se caracterizan porque agrupan mejor los valores similares y maximizan las diferencias entre clases.

Mapa 2. Chaco Seco Argentino. Niveles del Índice de Riesgo en Salud por Glifosización (IRSAG) y centros poblados 2010 según tamaño demográfico.



Asimismo, en la tabla 1 se sintetiza el peso demográfico según los niveles definidos.

Tabla 1: Chaco Seco Argentino. Total de población y proporción según niveles de IRSAG. (1990-2012)

Nivel IRSAG	Cantidad de departamentos	Total de Hogares	Proporción de hogares respecto al total del Chaco Seco
I	5	141113	14.8
II	3	115788	12.2
III	5	262771	27.6
IV	3	251272	26.4
V	1	180499	19.0
Total Chaco Seco	17	951443	100.0

Fuente: Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2001. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Datos y estimaciones agrícolas. <http://datosestimaciones.magyp.gob.ar/>. Elaboración propia.

El perfil epidemiológico regional: estructura y dinámica

El estudio de las causas de muerte ha sido frecuentemente utilizado para dar cuenta del grado y características del sistema de salud de determinadas áreas. En el caso de nuestro estudio, el Chaco Seco se configura como una de las áreas más pobres de la Argentina según distintos indicadores de bienestar. Una rápida mirada sobre la concentración de hogares pobres detenta, por ejemplo, en esta región un 27.1% de hogares con NBI en el año 2010, mientras el promedio nacional alcanzaba en la misma fecha al 9.2% de la población.

Lo caracteriza también el grado de variabilidad interna de este indicador, donde los extremos lo representan Ramón Lista y Rosario de la frontera, el primero con 68.1% de hogares pobres mientras el segundo incluye al 14.8% de sus hogares bajo esta condición.

Gran parte de la actual carga de patologías y causas de muerte que presenta el Chaco Seco pueden asociarse al estadio que ocupa dentro del modelo de transición epidemiológica. Este último sostiene una evolución desde la prevalencia de causas infecciosas de carencias nutricionales hacia un estadio donde dominan las enfermedades crónico-degenerativas o enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT) (Frenk *et al.*, 1991).

Como insumo para el estudio de dicha transición, es de vital importancia la calidad del registro de la información, principalmente las causas de muerte. En nuestro país, en relación al mencionado registro, existe gran preocupación respecto a dicha calidad, ya que constituye la principal fuente para obtener información sobre la morbilidad/mortalidad de la población y las características de su perfil epidemiológico, como así también el grado de avance en su transición epidemiológica; a su vez, es un dato esencial para la formulación de programas y políticas de salud.¹⁷

Para analizar estadísticas de mortalidad por causas es necesario contar con un instrumento que permita organizar todas las causas registradas

17 En este sentido Córdoba *et al.* (1989) presentan tres grandes limitaciones del registro de la causa de muerte:

- a) La capacitación en el registro, pasando desde la información relevada por personal médico en algún hospital al registro realizado por personal sin ningún tipo de entrenamiento médico.
- b) La distinta naturaleza de los padecimientos que conducen a la defunción; esto está relacionado con las diferentes etiologías, tiempos de evolución, grados de letalidad, etc., lo cual puede de alguna manera encubrir la causa básica de la defunción.
- c) El variado mosaico de contextos en el que transcurre la vida y la muerte de una población, lo cual conduce a considerar los contextos socioculturales en los que estos ocurren; de esto se deduce la posibilidad de defunciones o nacimientos no registrados o mal registrados.

en el certificado médico de defunción. La Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE) satisface este requisito, ya que es útil para almacenar las causas registradas en los certificados de defunción en forma sintética. Esto permite recuperar esa información y facilita su análisis, interpretación y la comparación entre diferentes regiones o épocas. La CIE se define a sí misma como un sistema de categorías a las cuales se asignan entidades morbosas. Si bien el número de categorías es limitado y son mutuamente excluyentes, la clasificación en sí es capaz de abarcar a todas las entidades existentes o posibles de registrarse (OPS, 2017)¹⁸.

Otra limitación de las estadísticas de causas de muerte se refiere al cambio en la metodología aplicada en el país para codificar las muertes. Hubo una modificación a partir del año 1997 (utilizándose a partir de entonces la 10ª revisión), lo cual implicó la homologación de los grupos de causas para poder analizar la evolución durante el periodo analizado. En este sentido fue necesario agrupar las causas de muerte codificadas en ambas clasificaciones siguiendo los lineamientos de OPS (2017) en relación a la lista de mortalidad según causas seleccionadas de Argentina y la propuesta por Morales (Morales *et al.* 2005). La tabla 2 exhibe los grupos constituidos y las causas incluidas dentro de cada clasificación.

18 Las categorías se organizan con un criterio estadístico basado en la salud pública. Si una enfermedad es poco frecuente pero muy relevante desde el punto de vista de la salud de la población, tiene su propia categoría; lo mismo sucede con aquellas entidades de alta frecuencia. Asimismo, hay afecciones que serán representadas en una categoría junto a otras afecciones relacionadas. Por otro lado, la clasificación también prevé categorías residuales para aquellos diagnósticos que no pueden ser ubicados en categorías específicas. Además del agrupamiento de diagnósticos, la CIE ha establecido lineamientos para estandarizar el registro y la codificación, tanto de las afecciones mórbidas como de las causas de muerte, y reglas para seleccionar la causa básica de defunción (CBD) y la afección principal en los registros de morbilidad (OPS, 2017).

Tabla 2. Homologación de causas de muerte en grupos según Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE) 9º Revisión y CIE 10º Revisión.

CAUSA DE MUERTE		
DESCRIPCION	CODIGO CIE- 9	CODIGO CIE-10
CIERTAS ENFERMEDADES INFECCIOSAS	1-139	A00-B99
Enf. infecciosas intestinales	001-009, 136.5	A00-A09
Tuberculosis	010-018	A15-A19 B90
Tétanos	037	A33-A35
Septicemias	038	A40-A41
Infección meningocócica	036	A39
Meningitis viral	047-049	A87
Sarampión	055	B05
Dengue	061	A90-A91
Rubéola	056	B06
Hepatitis viral	070	B15-B19
Enf. por Virus de la Inmunodeficiencia Humana (VIH)	279	B20-B24
Tripanosomiasis	086	B57
Las demás enfermedades infecciosas y parasitarias	Resto 1-139	Todas las demás categorías A y B
TUMORES 140-239		C00-D48
Malignos-	140-208	C00-C97
Esófago	150	C15
Estómago	151	C16
Colon, recto y de la porción rectosigmoidea y ano	153-154	C18-C21
Hígado y de los conductos biliares intrahepáticos	155	C22
Vesícula biliar y otras partes de las vías biliares	156	C23-C24
Páncreas	157	C25
Traquea, de los bronquios y del pulmón	162	C33-C34
Mama	174-175	C50
Útero	179-182	C53-C55
Ovario	183	C56
Próstata	185	C61
Riñón y otros órganos urinarios excepto vejiga	189	C64-C66; C68
Vejiga urinaria	188	C67
Encéfalo y otras partes del sistema nervioso central	191	C69-C72
Linfoma no Hodgkin	201	C82-C85

CAUSA DE MUERTE		
DESCRIPCION	CODIGO CIE- 9	CODIGO CIE-10
Leucemias	204-207	C91-C95
Tumor maligno de sitios no especificados	199	C80
Todos los demás tumores malignos	Resto 140-208	Todas las demás categorías C
Carcinomas in situ, tumores benignos y de comportamiento incierto o desconocido	210-239	D00-D48
DIABETES MELLITUS	250	E10-E14
DEFICIENCIAS DE LA NUTRICION Y ANEMIAS NUTRICIONALES	260-269; 280-281	E40-E64 D50-D53
TRASTORNOS METABÓLICOS	270-277	E70 -E90
MENINGITIS	320-322	G00-G03
ENFERMEDAD DE ALZHEIMER	290, 331	G30
ENFERMEDADES MENTALES Y DEL COMPORTAMIENTO	291-319	F00-F99
Síndrome de dependencia del alcohol	303	F10
ENFERMEDADES DEL SIST. CIRCULATORIO	390-459	I00-I99
Enfermedades Hipertensivas	402-404	I10-I14
Enfermedades isquémicas del corazón	410, 413-414	I20-I25
Insuficiencia cardíaca	428	I50
Las demás enfermedades del corazón	Resto 390-429	Las demás categorías I00-I52
Enfermedades Cerebrovasculares	430-438	I60-I69
Arteriosclerosis	440	I70
Demás enfermedades del Sist. Circulatorio	Resto 390-459	Todas las demás categorías I
ENFERMEDADES DEL SIST. RESPIRATORIO	460-519	J00-J99
Neumonía e influenza	480-487; 514	J09-J18
Bronquitis y bronquiolitis aguda	466	J20-J21
Las demás infecciones respiratorias agudas	Resto 460-466	Las demás categorías J00-J22
Enf. crónicas de las vías respiratorias inferiores	J40-J47	490-493
Neumonitis debidas a sólidos y líquidos	507	J69
Insuficiencia respiratoria no clasificada en otra parte	519	J96
Las demás enfermedades del sistema respiratorio	Resto 460-519	Todas las demás categorías J
APENDICITIS, HERNIA DE LA CAVIDAD ABDOMINAL Y OBSTRUCCION INTESTINAL	540-553; 560	K35-K46; K56

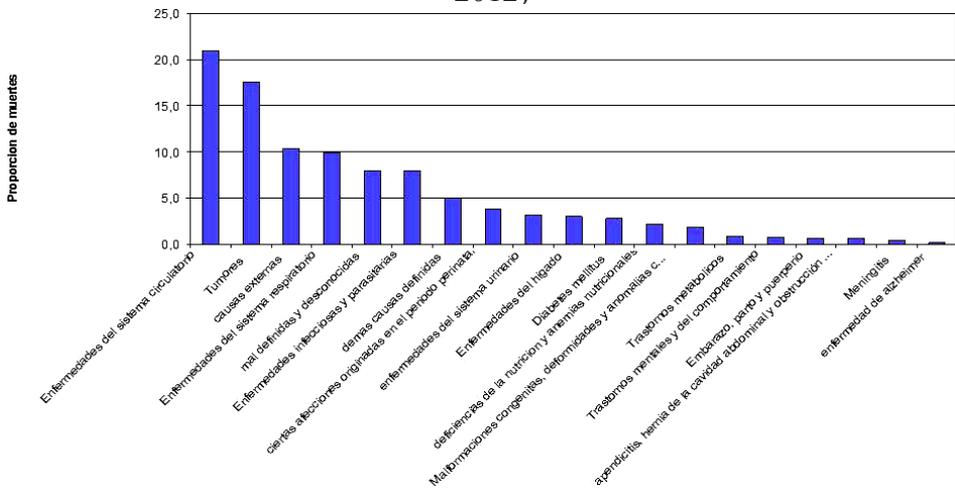
CAUSA DE MUERTE		
DESCRIPCION	CODIGO CIE- 9	CODIGO CIE-10
ENFERMEDADES DEL HIGADO	570-573	K70-K77
Ciertas enfermedades crónicas del hígado y cirrosis	571-573	K70; k73- k74; k76
ENFERMEDADES DEL SISTEMA URINARIO	580-629	N00-N39
Nefritis y nefrosis	580-589	N00-N07; N17-N19; N25-N27
Las demás enfermedades del sistema urinario	Resto 580- 629	Todas las demás categorías N00-N39
COMPLICACIONES DEL EMBARAZO, PARTO Y PUERPERIO	630-676	O00-099
ANOMALIAS CONGENITAS	740-759	Q00-Q99
CIERTAS AFECCIONES ORIGINADAS EN EL PERIODO PERINATAL	760-779	P00-P96
CAUSAS EXTERNAS	800-999	V01-Y98
Accidentes de Trafico de vehículo de motor	800-825	V02-V04 con cuarto dígito 1 ó 9; V051; V092 y V093; V12-V15 y V20-V28 con cuarto dígito 4, 5 ó 9; V30-V38, V40-V48, V50-V58, V60-V68, V70-V78 con cuarto dígito 5, 6, 7 ó 9; V19, V29, V39, V49, V59, V69 y V79 con cuarto dígito 4, 5, 6 ó 9; V803 - V805; V811; V821; V830-V833; V840-V843 ; V850-V853; V860 - V863; V870 - V878; V892 y V899
Otros accidentes de transporte, inclusive secuelas	Resto 800-848	Las demás categorías V01-V99; Y85
Ahogamiento y Sumersión Accidental	910	W65-W74
Otras causas externas de traumatismos accidentales, inclusive secuelas	880-888; 929	W00-W64; W75-X58; Y86
Suicidios, inclusive secuelas	950-959	X60-X84
Agresiones, inclusive secuelas	960-969	X85-Y09; Y871
Eventos de Intención no determinada, inclusive secuelas	980-989	Y10-Y34; Y872

CAUSA DE MUERTE		
DESCRIPCION	CODIGO CIE- 9	CODIGO CIE-10
Complicaciones de la atención medica y quirúrgica	870-879	Y40-Y84
Demás causas externas	Resto 800-899	Todas las demás categorías V01-Y98
DEMÁS CAUSAS DEFINIDAS	Resto excepto 800-899	Resto de categorías, excepto R00-R99
MAL DEFINIDAS Y DESCONOCIDAS	780-799	R00-R99

Fuente: OPS (2017) y Morales *et al.* (2005). Elaboración propia

De acuerdo a esta construcción, se observa que el perfil general en los veintidós años que van de 1990 a 2012, destaca la preeminencia de causas relacionadas con el aparato circulatorio (21% de las defunciones) (Figura 2). Le siguen en importancia los tumores (17.6%), causas externas (10.4%), enfermedades respiratorias (9.9%), estados morbosos mal definidos (8%) e infecciosas (8%).

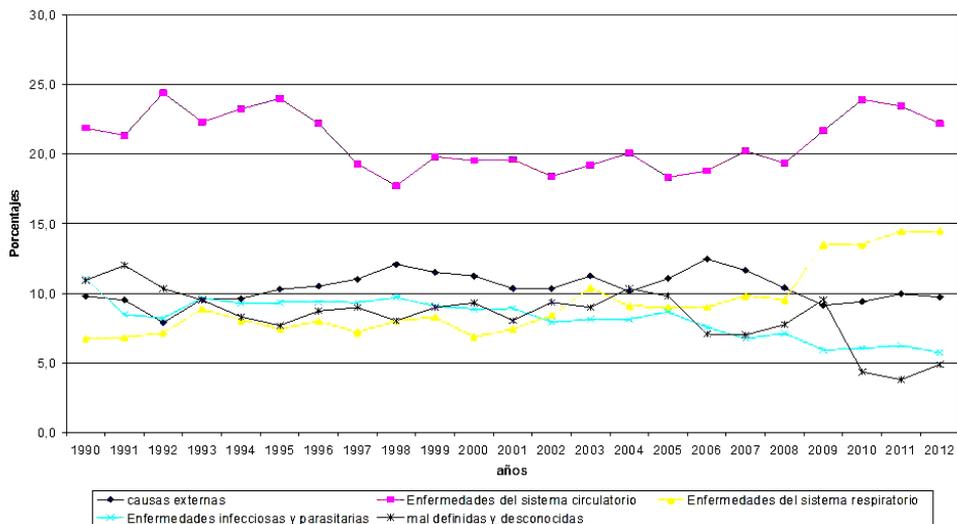
Figura 2. Chaco Seco Argentino. Perfil epidemiológico general. (1990 - 2012)



Fuente: Estadísticas Vitales 1990-2012. Elaboración propia

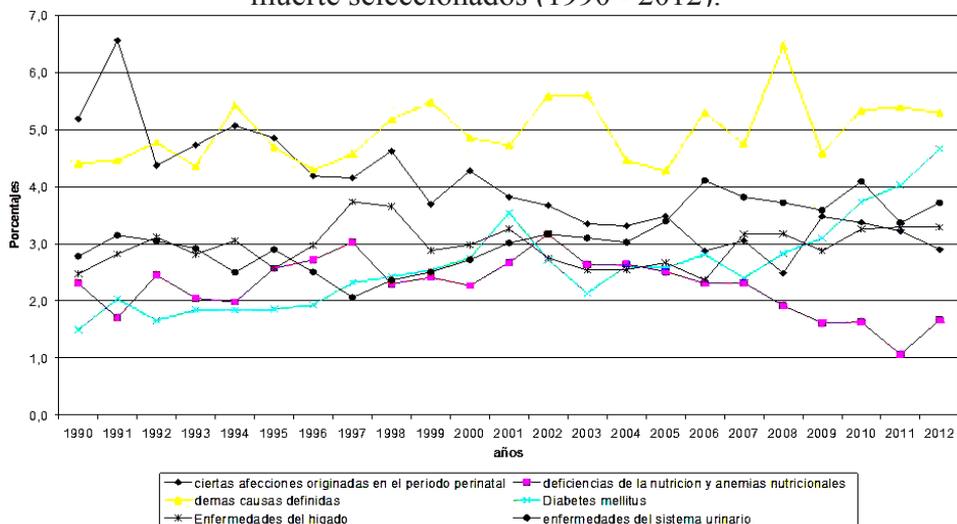
Las figuras 3, 4 y 5 presentan la evolución de todos los grupos de causas entre 1990 y 2012. Se observa un patrón acorde con la transición epidemiológica argentina.

Figura 3. Chaco Seco Argentino. Evolución de grupos de causas de muerte seleccionados (1990 - 2012).



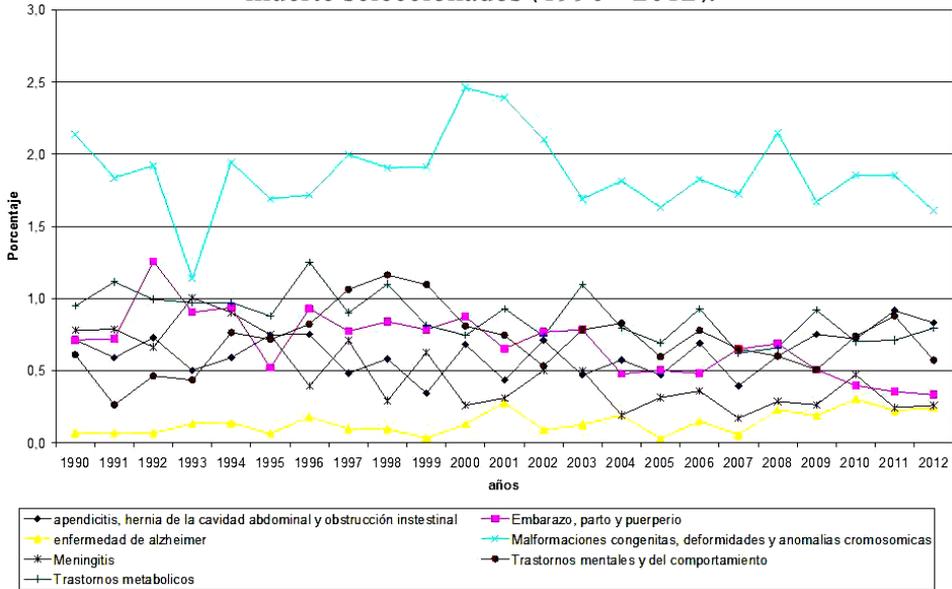
Fuente: Estadísticas Vitales 1990-2012. Elaboración propia

Figura 4. Chaco Seco Argentino. Evolución de grupos de causas de muerte seleccionados (1990 - 2012).



Fuente: Estadísticas Vitales 1990-2012. Elaboración propia

Figura 5. Chaco Seco Argentino. Evolución de grupos de causas de muerte seleccionados (1990 - 2012).



Fuente: Estadísticas Vitales 1990-2012. Elaboración propia

A partir de este análisis es posible detectar que los grupos de causas que han presentado una tendencia mayor al aumento son la enfermedad de Alzheimer (51% de variación relativa), meningitis (8.4%), apendicitis (7%) y diabetes mellitus (6.5%). Por otro lado, los grupos que más han disminuido son las enfermedades infecciosas y parasitarias (-2.5%), las mal definidas (-1.6%) y las afecciones originadas en el periodo perinatal (-1.4%), proceso coincidente con los postulados del modelo de transición epidemiológica.

El perfil epidemiológico regional según niveles de glifosización

De las hipótesis de investigación planteadas podrían esperarse ciertas evidencias estadísticas. Una de ellas sería una relación directa entre las tasas de mortalidad en relación a cada nivel IRSAG, es decir, a mayor nivel IRSAG, mayores tasas, sobre todo a partir del año 1996 (momento a partir se inicia el cultivo de soja transgénica).

Otro indicio que sostendría las conjeturas sería una variación en la pendiente de la tasa de mortalidad (independientemente de su magnitud) a

partir del año 1996 o años subsiguientes, que sería indicador de un cambio del perfil epidemiológico. Por último, dichas tasas deberían mostrar también una relación directa con los niveles de IRSAG (a mayor nivel, mayor pendiente) a pesar de que no se evidenciara ningún quiebre significativo en todo el período.

Si prestamos atención a la relación entre los niveles del IRSAG definidos con anterioridad y determinadas causas de muertes específicas, tales como tumores, linfoma no hodgkin, enfermedad de Alzheimer y anomalías congénitas (todas asociadas a efectos del glifosato según los antecedentes revisados) encontramos los resultados que se presentan a continuación. Como puede observarse no hallamos asociación significativa entre los niveles de glifosización y el aumento de causas de muerte que podrían estar asociadas a dicho químico. Las causas analizadas tanto en magnitud, tendencias y ritmo de crecimiento no han mostrado asociación con el creciente proceso de sojización del Chaco Argentino.

La categoría tumores -aquella más estudiada en la bibliografía por su posible relación con el glifosato- exhibe claramente un comportamiento creciente durante todo el periodo en todos los niveles, no obstante se puede distinguir, en el nivel 5, una clara ruptura de la tendencia en el año 1999 (figura 6), mostrando a partir de entonces -y a diferencia del comportamiento anterior- una clara pendiente ascendente. Si bien esto no constituye una prueba concluyente de la correlación esperada, si se destaca como un argumento que sostiene parte de las hipótesis planteadas. Por otro lado, si comparamos las tendencias para los tres niveles en el período 2000-2012 (figura 9), si bien se observa que los valores absolutos de las tasas de mortalidad por tumores para los niveles 1 y 3 son mayores que para el nivel 5, en este último la tendencia al aumento de estas patologías es claramente mayor.

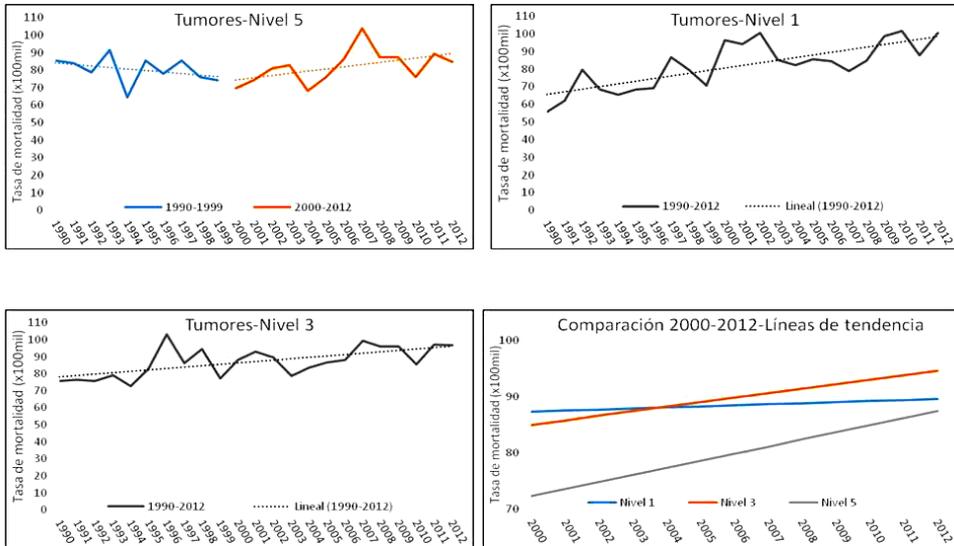
Se analizaron también las tasas de mortalidad por enfermedad de Alzheimer y Linfoma No Hodgkin en la región, sin embargo, las escasas muertes registradas por estas patologías atentan contra el análisis estadístico, impidiendo poder establecer tanto una tendencia de evolución definida como una correlación clara con los niveles IRSAG (figuras 10 a 17).

Finalmente, en cuanto a malformaciones congénitas, las figuras 18 a 20 exhiben que a medida que aumenta el nivel IRSAG, menor es la pendiente de variación de la mortalidad. Además, la Figura 21 muestra que los valores de la tasa de mortalidad son incluso mayores en los niveles 1 y 3

que en el nivel 5 para casi todo el período. Ambos comportamientos son opuestos a lo esperado según las hipótesis de investigación planteadas.

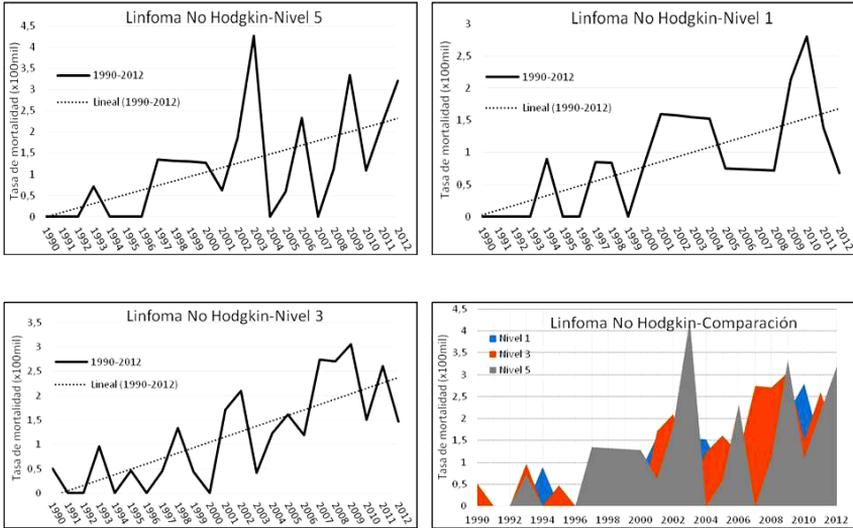
No obstante, la valoración general de los resultados es mínimamente concluyente. El cambio de tendencia en la tasa de mortalidad por tumores en el mayor nivel de IRSAG en 1999 es claro para sostener esta valoración. Se conjetura que distintas líneas alternativas de trabajo nutrirían con más argumentos esta conjetura. Entre tales líneas una extensión en el lapso de estudio (que llega hasta 2012) podría generar dichos argumentos: también la aplicación del método desarrollado en otras regiones argentinas donde la soja transgénica tiene incluso un mayor protagonismo; finalmente, el estudio de la morbilidad de la población, a partir de las Estadísticas de Egresos Hospitalarios elaboradas por la Dirección de Estadísticas de Salud del Ministerio de Salud de la Nación, podría argumentar la relación glifosato-salud con mayores evidencias, sin llegar al caso extremo aquí analizado como lo es la muerte.

Figura 6. Tasa de mortalidad por tumores período 1990-2012 según niveles 5, 3 y de IRSAG y comparación de tendencias (2000-2012)



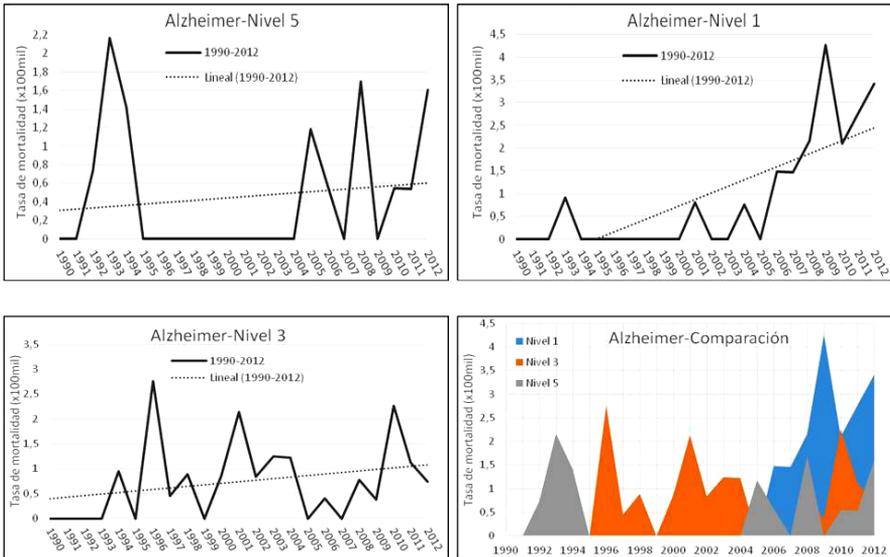
Elaboración propia sobre la base del Programa Nacional de Estadísticas de Salud

Figura 7. Tasa de mortalidad por linfoma no Hodgkin período 1990-2012 según niveles 5, 3 y de IRSAG y comparación de niveles



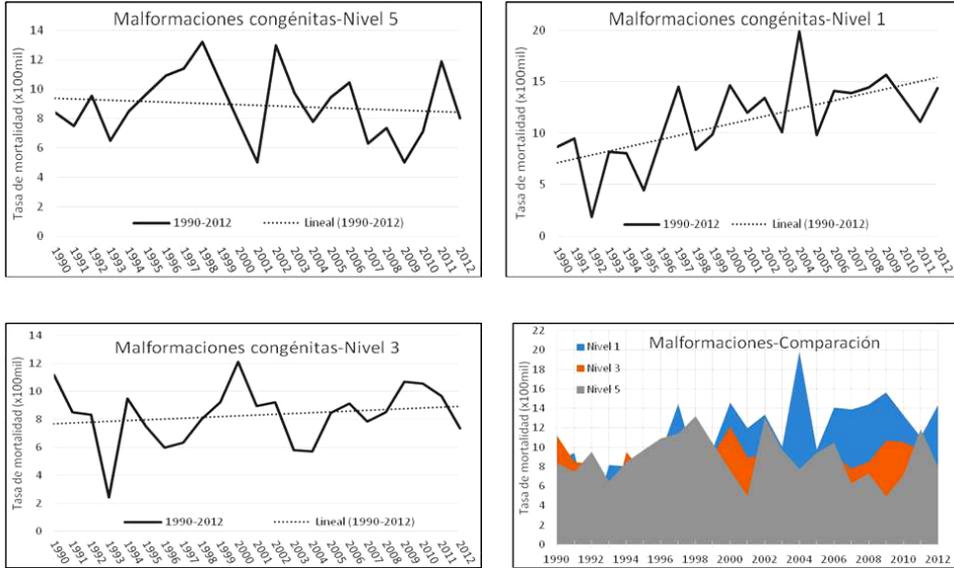
Elaboración propia sobre la base del Programa Nacional de Estadísticas de Salud

Figura 8. Tasa de mortalidad por enfermedad de Alzheimer período 1990-2012 según niveles 5, 3 y de IRSAG y comparación de niveles



Elaboración propia sobre la base del Programa Nacional de Estadísticas de Salud

Figura 9. Tasa de mortalidad por malformaciones congénitas período 1990-2012 según niveles 5, 3 y de IRSAG y comparación de niveles



Elaboración propia sobre la base del Programa Nacional de Estadísticas de Salud

Conclusiones

El Chaco Seco Argentino constituye un territorio de trascendente transformación productiva en las últimas décadas sin que ello lo haga abandonar su condición marginal en la estructura productiva argentina. Se suma a dicha condición el posible efecto que el glifosato -hermano dilecto de la soja transgénica- podría haber tenido sobre la salud de sus habitantes.

Ante la ausencia de investigaciones epidemiológicas que analicen esta relación se postuló una propuesta metodológica de análisis que operó estadísticamente sobre la base de las estadísticas vitales de mortalidad, consolidadas entre 1990 y 2012.

El objetivo que guio el análisis fue entonces la búsqueda de evidencia sobre la incidencia en la salud humana -a partir de un análisis epidemiológico- del glifosato como agente asociado al aumento de determinadas causas de muerte, tales como tumores, linfoma no Hodgkin, anomalías congénitas, abortos espontáneos y enfermedad de Alzheimer, todas asociadas desde el marco teórico con dicho agente contaminante. Dicho enfoque operó sobre la base de la única información de causas de muerte existentes (estadísticas

vitales de mortalidad), las cuales, de acuerdo sus limitaciones intrínsecas, no permiten conocer ubicación residencial exacta del fallecido ni historia clínica del mismo, lo cual podría haber contribuido a detectar posibles variables confusoras. En virtud de todo lo mencionado detectamos que las evidencias halladas no son suficientes para concluir una relación estadísticamente significativa entre la exposición al agroquímico y su efecto.

En términos de mortalidad no es posible distinguir en este territorio una asociación entre el glifosato y la salud humana. Dicha asociación no se pudo establecer en términos de magnitud, tendencia ni tampoco en ritmo de crecimiento. Existe sólo una evidencia que se distinguió a favor de la hipótesis planteada, el cual argumenta un cambio ascendente en la tendencia de la mortalidad por tumores en el mayor nivel de IRSAG en 1999, coincidente con el momento de aplicación del herbicida. Más allá de esto no encontramos mayor asociación en ninguna de las patologías mencionadas, no obstante es preciso mencionar que en el caso específico de los abortos espontáneos -si hubiera relación- no podemos analizarla con las fuentes utilizadas, dado que el aborto -en cualquier momento de la gestación y en su condición de no nacido- no se registra en las estadísticas de mortalidad.

No obstante, dada la evidencia teórica existente, se sugiere profundizar en estudios futuros sobre dos líneas independientes: por un lado se estudiará según los niveles de IRSAG establecidos en el Chaco Seco la morbilidad de la población a partir de estadísticas de Egresos Hospitalarios; por otro lado, se continuará el análisis de la mortalidad en los departamentos argentinos donde los niveles del IRSAG alcancen los valores más elevados.

Referencias

- Álvarez, C., Reynoso, M. V., Gómez, D., León, R., Canales, A. & Feria, A. (2014). Comparision of the in vivo and in vitro genotoxicity of glyphosate isopropylamine salt in three different organisms. *Genetics and Molecular Biology*, 1 (37), 105-110.
- Anadón, A., Martínez Larrañaga, M. R., Martinez, M. A., Castellano, V., Martínez, M., Martin, M. & Bernal, J. (2009). Toxicokinetics of glyphosate and its metabolite aminomethyl phosphonic acid in rats. *Toxicology Letters* (190), 91-95.

- Benachour, N. & Seralini, E. (2009). Glyphosate Formulations Induce Apoptosis and Necrosis in Human Umbilical, Embryonic, and Placental Cells. *Chemical Research in Toxicology* (22), 97-105.
- Bravo, E. (2015). *Un mal cabalga con el viento. La toxicidad y carcinogenicidad del glifosato*. Quito: Third World Network.
- Bravo, A.; Rodríguez, J.; Centurión Mereles, H.; Domínguez, D.; Bravo, M.; Sabatino, P.; & Poth, C. (2010). *Los señores de la soja: la agricultura transgénica en América Latina*. CICCUS - CLACSO: Buenos Aires.
- Bruniard, E. (1975/78). *El gran Chaco argentino*. UNNE: Resistencia.
- Carrasco, A. (2010). Glyphosate-Based Herbicides Produce Teratogenetic Effects on Vertebrates by Impairing Retinoic Acid Signaling. *Chemical Research in Toxicology* (23), 1586-1595.
- CNIA. (2009). *Evaluación de la información científica vinculada al glifosato en su incidencia sobre la salud humana y el ambiente*. Buenos Aires: Comisión Nacional de Investigaciones sobre Agroquímicos-CONICET.
- Córdoba, A.; Leal, G. & Martínez, C. (1989). El problema del diagnóstico médico en la investigación de la mortalidad por causa. En R. Jiménez Ornelas, *Investigación multidisciplinaria de la mortalidad y morbilidad en niños menores de cinco años (Primer Seminario de Demografía Formal)*. México DF: UNAM / Centro de Investigaciones Multidisciplinarias, 39-46.
- Domínguez, D. I. & Sabatino, P. (2010). La muerte que viene en el viento. La problemática de la contaminación por efecto de la agricultura transgénica en Argentina y Paraguay. En A. L. Bravo, H. Centurión, D. I. Domínguez, P. Sabatino, C. M. Poth, & J. L. Rodríguez, *Los señores de la soja. La agricultura transgénica en América Latina* (págs. 31-122). Buenos Aires: CLACSO.
- EPA. (1997). Glyphosate; Pesticide Tolerances. *Environmental Protection Agency*. US Federal Register.
- Fernandez, J., Wechsler, S., Livingston, M. & Mitchell, L. (2014). *Genetically Engineered Crops in the United States*. United States Department of Agriculture, Economic Research Service. Economic Research Report.

- Frenk, J., Frejka, T., Bobadilla, J. L., Stern, C., Lozano, R., Sepúlveda, J. & José, M. (1991). La transición epidemiológica en América Latina. *Bol. of. Sanit. Panam.* 111, (6)
- Giarracca, N. y Teubal, M. (2006). Democracia y neoliberalismo en el campo argentino. Una convivencia difícil”, en GRAMMONT, H. (Ed.) *La construcción de la democracia en el campo latinoamericano*. Buenos Aires, CLACSO, Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales.
- Gómez, S. (2017). Usos del territorio, acumulación por desposesión y derecho a la salud en la Argentina contemporánea: el caso de la soja transgénica. *Geographia*, XIX (39), 3-15.
- Ibáñez, M. (2002). ¿Qué usan en Colombia? El nuevo agente naranja. Efectos sobre la salud y el ambiente de herbicidas que contienen glifosato. En <www.rebellion.org>.
- IARC-OMS. (2015). *Carcinogenicity of tetrachlorvinphos, parathion, malathion, diazinon and glyphosate*. IARC Monographs.
- ISAAA. (2017). *Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops in 2017: Biotech Crop Adoption Surges as Economic Benefits Accumulate in 22 Years*. ISAAA Briefs (53).
- Mañas, F., Peralta, L., Ugnia, L., Weyers, A., García, H., & Gorla, N. (2013). Oxidative stress and comet assay in tissues of mice administered glyphosate and AMPA in drinking water for 14 days. *Journal of Basic & Applied Genetics*, XXIV (7), 67-75.
- Morales, M. Á. M., Peña, E. Z., Mesa, A. C., Machado, D., & Álvarez, R. C. (2005) *Clasificación Internacional de Enfermedades y Problemas relacionados con la Salud.(CIE). Estudio comparativo entre revisiones sucesivas CIE-9 & CIE-10. Experiencia Cubana*. La Habana.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2017). *Lineamientos básicos para el análisis de la mortalidad*. Washington, D.C.
- Ortega, L. (2014). La soja y el debate sobre el desmonte. *Documentos de CEIA* (10), 43-59.
- Paolasso, P., Krapovickas, J. & Gasparri, N. I. (2012). Deforestación, Expansión Agropecuaria y Dinámica Demográfica en el Chaco Seco Argentino Durante la Década de los Noventa. *Latin American Research Review*, 47 (1), 35-63.
- Pengue, W. (2003). El glifosato y la dominación del ambiente. *Biodiversidad* (37), 1-7.

- Pizarro, J. (2003). La evolución de la producción agropecuaria pampeana en la segunda mitad del siglo XX. *Revista Interdisciplinaria de Estudios Agrarios* (18), 63-125.
- Rodríguez, J. (2010). Consecuencias económicas de la difusión de la soja transgénica modificada en Argentina, 1996-2006. En A. L. Bravo, H. F. Centurion Mereles, D. I. Domínguez, P. Sabatino, C. M. Poth, & J. L. Rodríguez, *Los señores de la soja. La agricultura transgénica en América Latina* (págs. 155-258). Buenos Aires: CLACSO.
- Rofman, A. (1999). "Modernización productiva y exclusión social en las economías regionales". *Revista Realidad Económica*, N° 162, Argentina, Ed. IADE.
- Samsel, A. & Seneff, S. (2013). Glyphosate's Suppression of Cytochrome P450 Enzymes and Amino Acid Biosynthesis by the Gut Microbiome: Pathways to Modern Diseases. *Entropy* (15), 1416-1463.
- Schinasi, L. & Leon, M. (2014). Non-Hodgkin Lymphoma and Occupational Exposure to Agricultural Pesticide Chemical Groups and Active Ingredients: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health* (11), 4449-4527.
- Teubal, M. (2006). "Expansión del modelo sojero en la Argentina", en *Revista Realidad Económica*, N° 220, Bs. As.
- Torrella, S. A. & Adámoli, J. (2005). Situación ambiental de la ecorregión del Chaco Seco. En *La situación ambiental Argentina, 2005*, 73-75.
- Unión Europea. (2017). *Preguntas y respuestas: la Comisión responde a la Iniciativa Ciudadana Europea sobre el glifosato y anuncia más transparencia en las evaluaciones científicas*. Estrasburgo: Unión Europea. Hoja informativa.
- Van Dam, C. (2002). *Ocupación, degradación ambiental, cambio tecnológico y desarrollo sostenible: los efectos de la introducción del paquete soja/siembra directa en el chaco salteño*. Tesis de Maestría, FLACSO.
- Williams, G., Kroes, R. & Munro, I. (2000). Safety Evaluation and Risk Assessment of the Herbicide Roundup and Its Active Ingredient, Glyphosate, for Humans. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* (31), 117-165.



El periurbano de Mar del Plata (Argentina): clasificación digital de los usos del suelo y análisis de las transformaciones en el cinturón hortícola

The peri-urban Mar del Plata (Argentina): digital classification of
land uses and analysis of transformations in the horticultural belt

Daiana Yael Daga¹

*CONICET-Universidad Nacional del Centro de la Provincia
de Buenos Aires Argentina*

Laura Zulaica²

CONICET-Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina

Patricia Vazquez³

*CONICET-Universidad Nacional del Centro de la Provincia
de Buenos Aires, Argentina*

Resumen

La sustentabilidad de las ciudades constituye uno de los propósitos más relevantes de los últimos tiempos. En ese contexto, las áreas periurbanas adquieren un rol prioritario ya que conjugan problemáticas sociales y ecológicas asociadas con las actividades que allí se desarrollan. En este marco, el objetivo del presente trabajo es identificar los usos del suelo presentes en el periurbano de Mar del

- 1 Doctoranda del programa de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Rosario (Santa Fe, Argentina). Lic. en Diagnóstico y Gestión Ambiental. Becaria doctoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Centro de Estudios Sociales de América Latina, Facultad de Ciencias Humanas, CONICET-Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Paraje Arroyo Seco s/n, Tandil, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: daianadaga@conicet.gov.ar. <http://orcid.org/0000-0001-7578-8478>
- 2 Doctora en Geografía. Investigadora Adjunta del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Instituto del Hábitat y del Ambiente, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Universidad Nacional de Mar del Plata. Funes 3350, Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: laura-zulaica@conicet.gov.ar. <https://orcid.org/0000-0001-8101-5957>
- 3 Doctora en Ciencias Agrarias. Investigadora Adjunta del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Centro de Estudios Sociales de América Latina, Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Paraje Arroyo Seco s/n, Tandil, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: patriciavazquez@conicet.gov.ar. <https://orcid.org/0000-0002-4209-4901>

Plata hacia el año 2018 y caracterizar la evolución de la actividad hortícola desde sus inicios hasta la actualidad. En el Partido se clasificaron sobre imágenes satelitales 6 usos principales, entre los cuales las “áreas hortícolas” abarcan apenas un 7%, pero contribuyen significativamente a la economía local. A partir del análisis de la expansión e intensificación de estas áreas, se espera profundizar en los impactos generados por la actividad hortícola, a fin de alcanzar una mayor sustentabilidad en el territorio local.

Palabras clave: clasificaciones satelitales, sistemas de información geográfica, horticultura, interfase urbano- rural.

Abstract

The sustainability of cities is one of the most relevant purposes of recent times. In this context, peri-urban areas acquire a priority role as they combine social and ecological problems associated with the activities that are developed there. Within this framework, the objective of the present work is to identify the land uses present in the peri-urban area of Mar del Plata (Argentina) in the year 2018 and characterize the evolution of the horticultural activity from its beginnings to the present. In the County, 6 main uses, were classified on satellite images, among which “horticultural areas” cover only 7% but contribute significantly to the local economy. From the analysis of the expansion and intensification of these areas it is expected to deepen the discussion regarding the impacts generated by the horticultural activity with the finality of achieving greater sustainability in the local territory.

Keywords: satellite classifications, geographic information systems, horticulture, urban- rural interface.

Introducción

La gestión de las ciudades hacia objetivos de sustentabilidad constituye uno de los desafíos más apremiantes de nuestros tiempos. Lograr que los asentamientos humanos sean seguros, inclusivos y resilientes es uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible promovidos por los Estados Miembros de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en la Agenda fijada hacia 2030. En este contexto, las áreas periurbanas adquieren un papel prioritario ya que conjugan numerosas problemáticas y conflictos ambientales asociados con la heterogeneidad de actividades que se desarrollan en estos espacios, involucrando una multiplicidad de actores.

Considerando los usos del suelo, el periurbano puede definirse como un sistema en mosaico donde coexisten agroecosistemas, ecosistemas consumidores o aglomeraciones urbanas y ecosistemas naturales remanentes cada vez más reducidos (Di Pace, 2001). Además, se caracteriza por ser un territorio frágil, en mutación y transición, de difícil permanencia en el tiempo y susceptible a nuevas intervenciones (Barsky *et al.*, 2010).

Una de las particularidades de las áreas periurbanas es su contribución a la producción y abastecimiento de alimentos frutihortícolas a las ciudades sobre las que se asientan y también a la región, a través de mercados concentradores y de distribución.

En función de lo mencionado, una de las manifestaciones paisajísticas y sociales más características de estas áreas es el entramado de explotaciones primario-intensivas que conforman los denominados cinturones verdes. Estos cinturones se emplazan en cuñas, intersticios, áreas vacantes características de los espacios de interfase urbano-rural. En comparación con otras producciones agrarias extensivas que operan a mayor escala y manejan grandes volúmenes, la ventaja competitiva de las explotaciones primario-intensivas radica en la proximidad a la ciudad (Barsky, 2010). Se trata de quintas o huertas familiares, como así también otras más empresariales, cuya producción se destina especialmente a verduras de hoja y hortalizas de estación y cumplen funciones de abastecimiento alimentario a la población de las ciudades (Di Pace y Bartrons, 2004).

En Argentina, la provincia de Buenos Aires concentra el 19,7% del total de la superficie hortícola (INDEC, 2002) y alberga una importante variedad de producciones. Se estima que los cinturones hortícolas bonaerenses producen alrededor de 16 tipos de hortalizas (Ministerio de Educación de la Nación, 2010). Desde la última década, los cinturones de las ciudades de La Plata y Mar del Plata, se caracterizan por la intensificación de la producción hortícola respecto de otros cercanos a la ciudad de Buenos Aires, donde la urbanización generó una dinámica de desplazamiento de estas actividades (Barsky, 2005).

De acuerdo con lo anterior, los sistemas hortícolas se encuentran localizados en áreas periurbanas complejas y conflictivas en sus actividades, que se hallan en permanente transformación y redefinición. Por este motivo y considerando el rol preponderante que poseen para las ciudades, resulta relevante la identificación y el análisis de la distribución espacial de estos sistemas a fin de caracterizar el área en la que se asientan y monitorear su evolución a lo largo del tiempo.

En este sentido, las imágenes satelitales constituyen una importante fuente de información para mapear y caracterizar los usos del suelo y la estructura del paisaje tanto a escala regional (Alperín *et al.*, 2002), como así también local. Además, representan una herramienta efectiva para

identificar las actividades, recursos naturales y monitorear sus transformaciones de una manera relativamente sencilla y a bajo costo (Vazquez y Rivas, 2009).

Desde la perspectiva metodológica, la clasificación digital constituye uno de los procedimientos más utilizados en teledetección para transformar los datos contenidos en las imágenes satelitales en información temática (Argañaraz y Entraigas, 2011), destacándose numerosos estudios en regiones latinoamericanas (Beuchle *et al.*, 2015; Piazza *et al.*, 2016; Jaramillo y Antunes, 2018) y argentinas (Lara y Gandini, 2014; Volante y Paruelo, 2015; Sequeira *et al.*, 2016; Vazquez *et al.*, 2019).

Por otra parte, aquellos datos procedentes de la teledetección pueden ser combinados con otra información geoespacial en el entorno de un Sistema de Información Geográfica (SIG) (Richards y Jia, 2006). De forma general, ambas herramientas poseen la capacidad de simplificar la tarea de recolección de datos para caracterizar las cubiertas terrestres, paisajes, usos del suelo, recursos naturales en general, y examinar su variación en distintos períodos de tiempo. De esta manera, la identificación de los usos del suelo y el análisis de sus cambios, cobra importancia en la gestión ambiental de territorios urbanos, periurbanos y rurales. Asimismo, es posible afirmar que, en el caso de áreas de características complejas y en constante transformación como son las áreas periurbanas, este tipo de análisis y técnicas poseen un papel destacado.

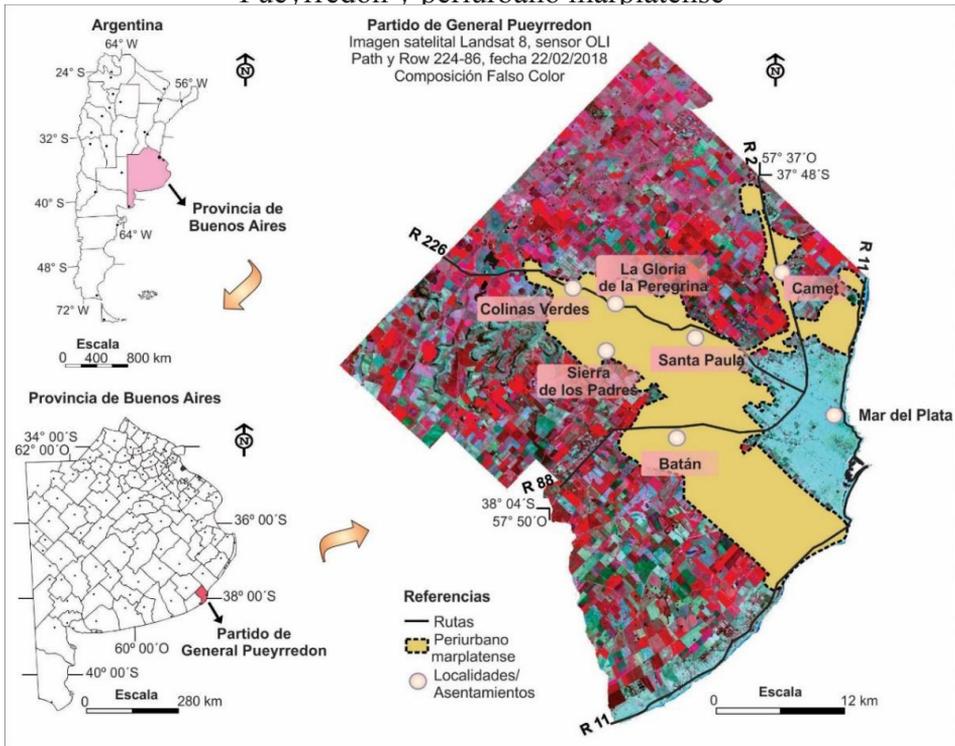
La ciudad de Mar del Plata es la cabecera del partido de General Pueyrredon y se dispone sobre el océano Atlántico con una extensión urbana costera de aproximadamente 50 km. El Partido ocupa 1460,74 km² y se localiza al sudeste de la provincia de Buenos Aires, limitando al noroeste con el partido de Mar Chiquita, al sudoeste con General Alvarado, al noroeste con el partido de Balcarce y al sudeste con el océano Atlántico (Figura 1). Si bien en el área conviven diversos usos, se destaca el hortícola, conformando la segunda actividad en términos de valor agregado del sector primario local (Atucha *et al.*, 2012). De esta forma, contribuye significativamente al Producto Bruto Geográfico (PBG) y posiciona a Mar del Plata como el segundo cinturón verde en importancia del país, después de La Plata, abasteciendo tanto al mercado local como regional.

El cinturón comprende una franja de 25 km de largo que bordea a la ciudad, principalmente en torno a las rutas 226 y 88; formando parte de su

periurbano, el cual abarca el 23,49% del Partido y fue definido en trabajos previos (Ferraro *et al.*, 2013; Zulaica y Ferraro, 2013). La horticultura se extiende mayoritariamente en áreas próximas a las localidades de Batán y Sierra de los Padres y en otros asentamientos del periurbano entre los que se destacan La Gloria de la Peregrina, Santa Paula y Colinas Verdes. Con el arribo de cambios tecnológicos en los años '90, representados por la aparición del invernáculo, riego por goteo, plantines y materiales genéticos resistentes (Carrozzi y Viteri, 2002), el cinturón hortícola de Mar del Plata se vio inmerso en una etapa de expansión e intensificación. Según datos de INTA (2017), la superficie destinada a la horticultura es de aproximadamente 95 km² a campo y 6,5 km² bajo cubierta.

En función de lo señalado, el objetivo del presente trabajo es identificar los usos del suelo presentes en el periurbano de Mar del Plata hacia el año 2018 y caracterizar la evolución de la actividad hortícola desde sus inicios hasta la actualidad. Previo a ello, es necesario definir la ocupación de suelos en el partido de General Pueyrredon. Si bien a nivel internacional y regional existen antecedentes donde se emplea la teledetección como insumo para analizar estas áreas (Baldini *et al.*, 2016; Borràs *et al.*, 2017; Mari, 2018; Suez *et al.*, 2018; Lone y Mayer, 2019), en el partido de General Pueyrredon este tipo de estudios aún son escasos (Zulaica *et al.*, 2012; 2013). De esta manera, se espera establecer una tipología de usos mediante clasificación digital que permita analizar espacios heterogéneos, como son los periurbanos, especialmente asociados con áreas de producción intensiva.

Figura 1. Localización del área de estudio: partido de General Pueyrredon y periurbano marplatense



Fuente: Elaboración personal sobre la base de Zulaica et al. (2018).

Materiales y métodos

Determinación de usos del suelo presentes en el partido de General Pueyrredon

Para llevar a cabo la identificación de los usos de suelo, se prosiguió a la selección y descarga de una imagen satelital Landsat 8 sensor OLI (Path/ Row: 224/86). La misma fue obtenida del portal de imágenes satelitales *EarthExplorer* (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) del Servicio Geológico de los Estados Unidos y su fecha de adquisición corresponde al 22/02/2018⁴. De modo general, el procesamiento se dividió en tres etapas: preprocesamiento, procesamiento propiamente dicho y posprocesamiento.

4 Se pretendió que la imagen haya sido tomada en época primavera-estival (del hemisferio sur), ya que en ese momento del año se visualiza la mayor producción intensiva, característica del cinturón hortícola marplatense.

Para ello se empleó el software ENVI 4.5 (*Reserch System Inc.*, Boulder, CO, USA).

Preprocesamiento:

Esta primera etapa incluyó la corrección radiométrica. Primeramente, se transformaron los ND (niveles o números digitales) almacenados para cada banda y píxel a valores de radiancia ([Chander et al., 2009](#)). En segundo lugar, estos valores se convirtieron en valores de reflectividad a tope de la atmósfera (TOA), sin considerar efectos atmosféricos y asumiendo una superficie uniforme Lambertiana bajo condiciones libre de nubes. Luego, se realizó una corrección atmosférica en la cual la reflectividad TOA se transformó a reflectividad de superficie asumiendo también una superficie uniforme Lambertiana bajo condiciones libre de nubes ([Schroeder et al., 2006](#)).

Por otra parte, la corrección geométrica no fue necesaria, ya que la imagen utilizada en este trabajo fue preprocesada por el Sistema de Generación de Productos Landsat y corresponde a un nivel de procesamiento L1TP. Esta nomenclatura hace referencia a que las imágenes se encuentran georreferenciadas (además de que están calibradas radiométricamente en ND). La imagen adquirida se encuentra en la proyección UTM, Zona 21 Sur, y datum WGS-84. Una vez realizada la corrección radiométrica y atmosférica, se recortó el área de estudio sobre la imagen procesada mediante la aplicación del vector correspondiente al partido de General Pueyrredon. Luego, se efectuó una composición falso color con las bandas del infrarrojo cercano, rojo y verde (5, 4, 3 respectivamente), ya que facilita principalmente la visualización de vegetación, aunque también permite distinguir cuerpos de agua, suelo desnudo, áreas urbanizadas, entre otras ([Richards y Jia, 2006](#); [Jones y Vaughan, 2010](#)).

Procesamiento propiamente dicho:

En este trabajo, la segunda etapa consiste en la realización de una clasificación supervisada. La misma requiere tener conocimiento previo del terreno, ya que las categorías son definidas por el intérprete de acuerdo a sus objetivos y necesidades ([Chuvieco, 1996](#)). A fin de efectuar la clasificación, en primer lugar, se dividió el área de estudio en dos secciones, un área que incluye “áreas construidas” y otra que las excluye. Este procedimiento debió efectuarse para que el clasificador discrimine la “superficie construida” de los “invernáculos”, ya que poseen una reflectancia similar.

Se construyeron dos máscaras y se realizó la clasificación supervisada de manera individual.

A continuación, se orientaron las Regiones de Interés (ROIs) que definen las clases de uso de suelo distinguibles en el área de estudio y que luego empleará el clasificador (tanto para la clasificación como para los datos de referencia o “verdad de terreno”). Las clases que se identificaron fueron: “áreas construidas”; “áreas verdes-vacíos urbanos-residenciales abiertos”; “áreas hortícolas bajo cubierta”; “otras áreas productivas” y “cuerpos de agua superficiales”. Las “áreas hortícolas a campo” no se incluyeron en la clasificación supervisada, por la dificultad que presentan este tipo de imágenes (resolución espacial media: 30 m en las bandas consideradas) para distinguir cultivos hortícolas de otras áreas agrícolas extensivas. Sin embargo, estas áreas se superpusieron como vectores al finalizar la clasificación.

En este sentido, se actualizó la digitalización⁵ de áreas hortícolas a campo y bajo cubierta presentadas en trabajos previos (Daga *et al.*, 2017), a valores del año 2018. Respecto de las áreas bajo cubierta, fue necesario contar con datos precisos para determinar la exactitud de la clasificación considerando valores de superficie y de distribución espacial y, además, para identificar los invernáculos localizados en la imagen que incluye las “áreas construidas”, que deberán superponerse como vectores al final del procedimiento.

Para orientar las ROIs y llevar a cabo la digitalización mencionada, se obtuvieron puntos GPS (*Global Positioning System*) mediante salidas de campo y del visor de imágenes de mayor resolución espacial del software *Google Earth Pro*; y se efectuaron entrevistas a informantes clave.

Previo a la clasificación, fue evaluada la separabilidad de las ROIs⁶. Seguidamente, se seleccionó y aplicó el clasificador *Support Vector Machine* (Máquinas de Soporte Vectorial) con el kernel *radial basis function* para ambas clasificaciones, situación fundamentada en los resultados satisfactorios obtenidos en comparación con otros clasificadores. En relación con ello, las Máquinas de Soporte Vectorial poseen la habilidad de manejar adecuadamente cantidades pequeñas de áreas de entrenamiento, con niveles de precisión más elevados que otros métodos tradicionales (Mantero *et al.*, 2005).

5 Para ello se empleó el software ArcGIS 10.4.1. (*Environmental Systems Research Institute, Inc.* Redlands, California, USA).

6 En la imagen que incluye las “áreas construidas”, la separabilidad fue de 1,88, y en la imagen que las excluye los valores obtenidos variaron entre 1,82 y 1,99.

Consecuentemente, si bien el algoritmo más empleado en clasificaciones supervisadas es el de Máxima Verosimilitud, en los últimos años se evidencia un gran interés en las Máquinas de Soporte Vectorial (Argañaraz y Entrai-gas, 2011; Mountrakis *et al.*, 2011; Cavallaro *et al.*, 2015).

Posprocesamiento:

Esta etapa incluyó, inicialmente, la construcción de la matriz de confusión para evaluar la efectividad de la clasificación a partir de los valores de Precisión Global o Total y el coeficiente Kappa (Congalton, 1991; Foody, 2002; Lillesand *et al.*, 2004). Posteriormente, se obtuvieron los estadísticos para cada clase a partir de la función *class statistics* localizada en el menú de *post classification*. Para conocer el valor de superficie de las áreas hortícolas a campo, se creó y aplicó una máscara sobre ambas clasificaciones. El mismo procedimiento se realizó para identificar la superficie ocupada por las áreas hortícolas bajo cubierta que se encontraban en la imagen que incluye las “áreas construidas”. Finalmente, las imágenes resultantes de la clasificación se unieron mediante la herramienta *overlay*, se superpusieron las áreas hortícolas a campo y las bajo cubierta (de la imagen que incluye las “áreas construidas”), se exportó en formato imagen y se confeccionó el mapa temático final.

Identificación de usos del suelo en el periurbano marplatense

En primera instancia, se llevó a cabo la digitalización del periurbano de Mar del Plata sobre la base de trabajos previos (Zulaica *et al.* 2012; 2018), mediante la utilización del software ArcGIS 10.4.1. Dicha capa de información se utilizó para recortar la clasificación supervisada original del Partido, a través de la creación de una máscara⁷.

Consecutivamente, se extrajeron los estadísticos para las clases de uso del suelo identificadas anteriormente. Con el fin de obtener el valor de superficie de las áreas hortícolas a campo y bajo cubierta (las que se encuentran en la imagen que incluye las “áreas construidas”), se creó y aplicó una máscara de estas áreas sobre ambas clasificaciones.

Luego, al igual que en la clasificación del Partido, las imágenes obtenidas se unieron mediante la herramienta *overlay*. Por último, se incorporaron como vectores las áreas hortícolas a campo y las áreas bajo cubierta (de la imagen que incluye las “áreas construidas”), se exportó el resultado en formato imagen y se confeccionó el mapa temático final.

7 Esta máscara se aplicó tanto a la imagen que incluye las “áreas construidas” como a la que las excluye.

Evolución de la actividad hortícola

La caracterización de la evolución de la superficie hortícola demandó el análisis de la variación de la superficie dedicada a esta actividad y de las principales transformaciones socioproductivas. En primer lugar, se efectuó una comparación de los resultados obtenidos en la clasificación supervisada a nivel de Partido, con estadísticos de trabajos previos (Zulaica *et al.*, 2013; Adlercreutz *et al.*, 2018), datos de INTA (2017) y Censos hortícolas locales y provinciales (CHGP, 1994; CHB, 2001; CHFBA, 2005).

Finalmente, las transformaciones socioproductivas se abordaron a través de trabajos antecedentes realizados en el área de estudio (Bocero, 2002; Carrozzi y Viteri, 2002; Burmester, 2004; Bocero y Prado, 2007; Manzoni *et al.* 2015; González *et al.*, 2017; Adlercreutz *et al.*, 2018; Zulaica *et al.*, 2019) y entrevistas a informantes clave que desarrollan sus tareas en el territorio: técnicos del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)-Mar del Plata; presidente de la Asociación Frutihortícola de Productores y afines del partido de General Pueyrredon; presidente de la Asociación de Pequeños Productores de Mar del Plata, Batán y El Boquerón; representante de la Unión de Trabajadores de la Tierra-Mar del Plata.

Resultados y discusión

Los usos del suelo en el Partido y en el periurbano marplatense

De acuerdo con lo expresado en el apartado de materiales y métodos, en primera instancia se exponen los resultados alcanzados respecto de la clasificación de los usos del suelo presentes en el Partido. A fin de determinar la exactitud del proceso de clasificación y observar posibles errores cometidos por el clasificador al asignar cada una de las clases, se elaboró una matriz de confusión. Esta es una manera efectiva de representar la exactitud de un mapa debido a que se describen los errores de inclusión (comisión) y errores de exclusión (omisión) de la clasificación para cada categoría o clase (Congalton, 1991).

En este sentido, la clasificación de la imagen que incluye las “áreas construidas” obtuvo una Precisión Global de 99,14% y Coeficiente Kappa de 0,97, mientras que la imagen que las excluye alcanzó un valor de 99,82% y Coeficiente Kappa de 0,90. Los resultados evidencian una alta

precisión, considerando que los valores de Kappa⁸ varían entre +1 y -1 (Cohen, 1960) y que es esperado que éstos sean positivos debido a la correlación positiva que debiera existir entre la clasificación y los datos de referencia o “verdad de terreno” (Congalton y Green, 2002). Respecto de la Precisión Global, si bien no hay un rango establecido, se recomienda comúnmente que los valores superen el 85% (Foody, 2002).

Una vez determinada la exactitud de la clasificación, es posible observar que en el partido de General Pueyrredon conviven 6 usos del suelo principales (Figura 2). A continuación, en la Tabla 1, se observan los estadísticos obtenidos para cada uno de ellos.

Tabla 1. Usos del suelo presentes en el partido de General Pueyrredon al año 2018

Clases de uso	Superficie ocupada (km ²)
Áreas construidas	125,23
Áreas verdes-vacíos urbanos-residenciales abiertos	105,36
Áreas hortícolas bajo cubierta	6,58
Áreas hortícolas a campo	96,18
Otras áreas productivas	1122,97
Cuerpos de agua superficiales	4,42
Total	1460,74

Fuente: Elaboración personal.

- Las “áreas construidas” ocupan el 8,57% del total de los usos del Partido. No se circunscriben únicamente a zonas predominantemente urbanas, sino que también incluyen a aquellas localidades y asentamientos ubicados en el periurbano marplatense.

El Partido cuenta con un diagnóstico realizado en colaboración entre el BID y MGP (2013) donde, entre otras cuestiones, se analizó la evolución de la huella urbana a partir de imágenes satelitales. Los resultados demostraron que entre los años 1985 y 2001, la huella urbana creció casi un 10%, de 114,22 a 124,33 km². Entre 2001 y 2011 (124,56 km²), en contraste, el crecimiento fue prácticamente nulo de apenas un 0,15%.

8 Landis y Koch (1977) determinaron posibles rangos del coeficiente Kappa: valores mayores a 0,80 representan una aceptación fuerte; valores entre 0,40 y 0,80 refieren a una aceptación moderada; y valores debajo de 0,40 evidencian una aceptación pobre.

El cambio registrado en la huella urbana en el primer período podría explicarse principalmente por la ocupación de espacios abiertos y áreas de cultivos, registrándose en especial desarrollos de densidades medias y altas. Esta información coincide con los resultados obtenidos en el presente trabajo, donde se conservaría el crecimiento lento planteado en el informe.

De acuerdo con datos del INDEC (2010), el Partido poseía 618.989 habitantes en ese año. El actual modelo de distribución de la población muestra una marcada concentración en la ciudad de Mar del Plata, particularmente en el área central, que disminuye paulatinamente hacia los bordes ejidales, siendo muy baja en el resto del Partido. Allí se destacan distintas localidades, parajes y barrios ligados a actividades primarias y terciarias (Sagua y Sabuda, 2015).

- Considerando las “áreas verdes-vacíos urbanos-residenciales abiertos”, estas comprenden el arbolado urbano, plazas, parques y terrenos baldíos que abarcan el 7,21% del total del área estudiada. Según datos del BID y MGP (2013), la ciudad posee 61,45 ha de espacio verde permanente por cada 100.000 habitantes, conformando un valor considerado aceptable según estándares internacionales (Sorensen et al., 1998). Sin embargo, según Karis (2017), quien identificó y cartografió los espacios verdes públicos del área urbana y periurbana de la ciudad, existiría una carencia de espacios verdes públicos en la mayor parte del área de estudio, siendo particularmente escasas las plazas y parques de más de 3,5 ha.

Por otra parte, los principales parques y reservas naturales (mayores a 10 ha) presentes en el Partido son parque Camet, parque de los Deportes, reserva Natural del Puerto y parques de Punta Mogotes, reserva integral Laguna de Los Padres y espacios verdes presentes en el paseo Costanero Sur. En relación con ello, los espacios verdes proveen diferentes servicios ecosistémicos, entre los que se destaca el servicio urbano de regulación de temperatura. En las áreas periurbanas de Mar del Plata aquel también se verifica, pero favorecido además por la vegetación proveniente de áreas agrícolas extensivas e intensivas y barrios residenciales de baja densidad (Mujica et al., 2019).

- Respecto de las “áreas hortícolas bajo cubierta”, representan apenas el 0,45% de la superficie total del Partido y comprenden el 6,40% del total de la superficie hortícola. Es importante mencionar que los estadísticos obtenidos para esta clase se asemejan a las estimaciones del [INTA \(2017\)](#), que refieren a un valor de 6,50 km². Además, el valor también resulta similar al conseguido con la digitalización realizada (7,26 km²). Por otro lado, las “áreas hortícolas a campo” alcanzan un 6,58% de la extensión del Partido y representan casi la totalidad de las áreas hortícolas (93,60%). El resultado obtenido también concuerda con lo planteado en [INTA \(2017\)](#), donde se precisó un área de 95,50 km². De acuerdo con el organismo, los principales cultivos realizados a campo son choclo, lechuga y zanahoria; y bajo cubierta, tomate, pimiento y lechuga o espinaca.
- El uso denominado “otras áreas productivas” ocupa la mayor superficie del Partido (76,89%), y hace referencia a otras actividades relevantes del área: la agricultura extensiva, ganadería, avicultura, minería e industria.

En este sentido, el sector primario posee una participación menor en el PBG, distribuido entre agricultura, ganadería, pesca y minería. Si bien la pesca no fue considerada al momento de determinar los usos del suelo, se trata de la actividad principal dentro del sector ([Roveretti et al., 2013](#)). Respecto de la ganadería, se produce ganado bovino (cría e invernada), ovino y equino, también se incluye la cría de aves de corral, huevos, lana y cuero, la producción de leche, entre otros ([Mikkelsen et al., 2015](#)). En cuanto a la producción de granos, se destacan como principales cultivos extensivos el trigo, la soja y el girasol. En el marco de procesos de “agriculturización” evidenciados ([Manuel-Navarrete et al., 2005](#)), como en el resto de la región pampeana, desde los años '70 hasta la actualidad se observaron marcadas reducciones en la superficie dedicada al girasol, el maíz y el trigo con la aparición de cultivares de soja en los años '80 ([Mikkelsen et al., 2015](#)). Según un estudio realizado por [Auer et al. \(2019\)](#) en la Cuenca Mar Chiquita, para la campaña 2013/14 se contabilizaban en el partido de General Pueyrredon unos 903,06 km² de áreas agrícolas-ganaderas. Si se considera que la superficie del Partido registrada dentro de la Cuenca es del 77%, y que en la clasificación supervisada se incluyeron otros usos del

suelo (agrupados en “otras áreas productivas”), los resultados coinciden con los obtenidos en el presente estudio.

En lo que respecta al sector minero, en General Pueyrredon esta actividad se encuentra instalada y desarrollada desde el año 1930, y puede dividirse en dos grandes grupos: minería de rocas de aplicación y minería de suelos -canteras ladrilleras- (Zulaica *et al.*, 2012). La explotación de rocas se desarrolla principalmente en las zonas de Estación Chapadmalal y Batán (sitios de canteras y plantas de trituración de ortocuarzitas), y le sigue en orden de importancia la localidad de Sierra de los Padres (Del Río *et al.*, 2007). Por su parte, las canteras ladrilleras alcanzan una importante difusión en Batán, Estación Chapadmalal y El Coyunco (Zulaica *et al.*, 2012).

Por otro lado, el desarrollo industrial es de mediana complejidad en la ciudad y se circunscribe en el periurbano a dos áreas específicas: el Parque Industrial (sobre eje Ruta Provincial N° 88) y un Distrito Industrial (sobre Av. Presidente Perón- Ruta Provincial N° 88), definido así por el Código de Ordenamiento Territorial, en el que predominan talleres y distribuidoras (Zulaica *et al.*, 2012). Hacia el interior del sector secundario, la industria manufacturera aportaba en el año 1999 el 61,70% del valor agregado al mismo, generado prioritariamente por tres ramas de la actividad: alimentación, textil y metalmecánica (Rearte y Ferraro, 2002).

- Por último, los “cuerpos de agua superficiales”, integrados por arroyos temporales y permanentes, áreas anegadas y lagunas; son la clase de uso de menor extensión, ocupando solamente un 0,3% del total. Dentro de esta clase, se destaca la Laguna de Los Padres como principal exponente de importancia turística y área de reserva. Posee una superficie aproximada de 2,2 km², que fluctúa de acuerdo a las precipitaciones regionales y su relación con el acuífero (Colasurdo *et al.*, 2011). Por su parte, la escorrentía superficial es pequeña y no existen cursos de agua permanente importantes, a excepción del pequeño arroyo de la Tapera (Bocanegra y Custodio, 1994) y el arroyo de Los Padres (efluente y afluente de la laguna, respectivamente). El afluente discurre a través de campos hortícolas antes de desembocar en la laguna, y en oposición se localiza el efluente con una pequeña compuerta que regula el régimen hídrico de dicho cuerpo (Esquiús *et al.*, 2008). En función de lo enunciado anteriormente, los resultados

obtenidos en la clasificación concuerdan, principalmente, con la superficie que abarca la laguna.

A continuación, se puntualiza en los usos del suelo presentes en el periurbano de Mar del Plata (Figura 2), cuyos límites han sido determinados en estudios previos (Ferraro *et al.*, 2013; Zulaica y Ferraro, 2013). En este sentido, considerando la dinámica de estas áreas de interfase, la definición de sus límites no es una tarea sencilla. Para la ciudad de Mar del Plata, Zulaica y Ferraro (2013) han precisado el límite interior “urbano-periurbano” a partir del análisis de la extensión de servicios de saneamiento básico (agua de red y cloacas) y de la existencia de amanzanamiento. Por otra parte, el límite externo (borde periurbano-rural), es más difícil de determinar a partir de un criterio específico. De acuerdo con las autoras, este límite conforma una franja difusa cuya extensión varía de acuerdo al proceso de expansión urbana, que en este caso tiene lugar sobre los principales ejes de comunicación. En términos generales, este límite incorpora las actividades agrícolas intensivas y excluye las agrícolas y pecuarias extensivas; sin embargo, en el periurbano pueden observarse áreas destinadas a estas últimas actividades que, debido a la proximidad con otras incluidas en este espacio, se integran al mosaico.

Según esta definición teórica y a la vez operativa, el periurbano marplatense abarca 23,49% de la superficie total del Partido y los usos del suelo identificados exhiben la siguiente distribución (Tabla 2):

Tabla 2. Usos del suelo en el periurbano marplatense al año 2018

Clases de uso	Superficie ocupada (km ²)
Áreas construidas	29,5
Áreas verdes-vacios urbanos-residenciales abiertos	76,15
Áreas hortícolas bajo cubierta	4,38
Áreas hortícolas a campo	63,63
Otras áreas productivas	166,61
Cuerpos de agua superficiales	2,92
Total	343,19

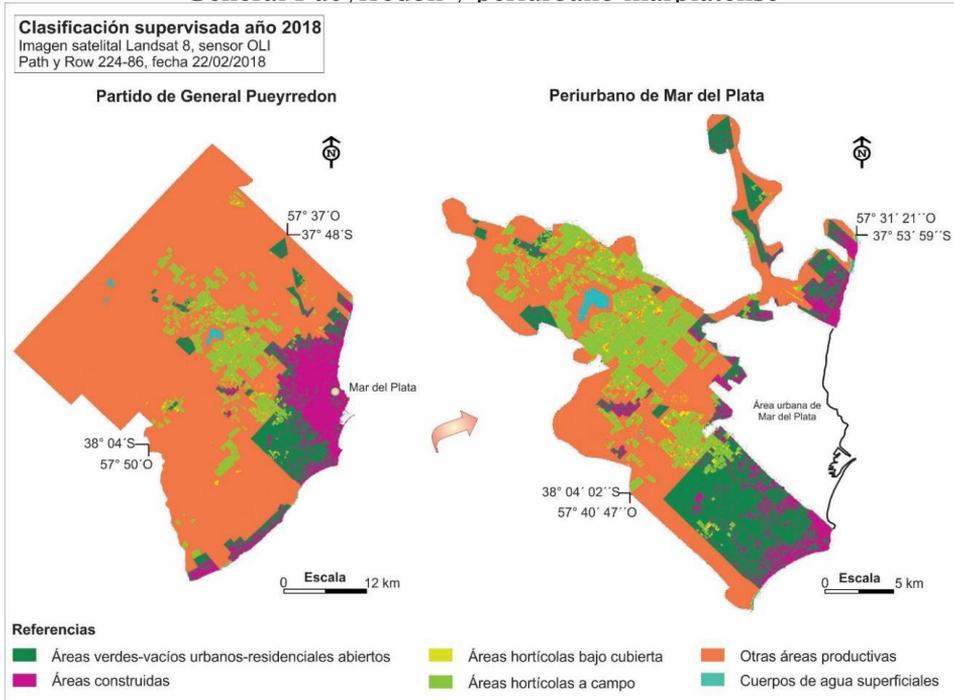
Fuente: Elaboración personal.

En función de lo observado, es posible afirmar que el uso que tiene mayor representatividad espacial es el de “otras áreas productivas”, abarcando un 48,55% del total. A su vez, representa un 14,84% de la superficie total de este uso a nivel de Partido. Luego, le sigue la clase de uso denominada “áreas verdes-vacíos urbanos-residenciales abiertos”, ocupando un 22,19% del periurbano. El 72,28% del total de estas áreas identificadas en el Partido se disponen en el periurbano, reafirmando lo planteado por [Mujica et al. \(2019\)](#) acerca de la participación de áreas verdes en zonas de interfase urbano-rural como fuentes de servicios ecosistémicos. Seguidamente, las “áreas hortícolas a campo” comprenden un 18,54% del total de usos a nivel de periurbano y, como es de esperarse, aquí se concentra la mayor cantidad de tierras destinadas a este uso, conformando un 66,16% del total.

Continuando con el orden de la importancia dada por la superficie que ocupan, le siguen las “áreas construidas”, abarcando un 8,59% del total y apenas un 23,56% del total de áreas construidas en General Pueyrredon, coincidiendo con la baja densidad de ocupación característica de los espacios periurbanos ([Rocca et al., 2014](#)). Sin embargo, es importante destacar que, en términos demográficos, entre los años 2001 y 2010 estas áreas evidenciaron un crecimiento mayor incluso al verificado en el conjunto del Partido y en los sectores específicamente urbanos y rurales ([Zulaica y Celemín, 2014](#)). Posteriormente, sobrevienen las “áreas hortícolas bajo cubierta” ocupando el 1,28% del periurbano y abarcando el 66,56% de las áreas bajo cubierta a nivel de Partido, observándose la preponderancia de estos sistemas en zonas de transición, al igual que sucede con el modo de producción a campo.

Finalmente, el uso del suelo con menor representación es el definido como “cuerpos de agua superficiales”, significando escasamente un 0,85% del total y configurando un 66,06% del total de cuerpos de agua relevados para el Partido en estudio.

Figura 2. Distribución de usos del suelo presentes en el partido de General Pueyrredon y periurbano marplatense



Fuente: Elaboración personal.

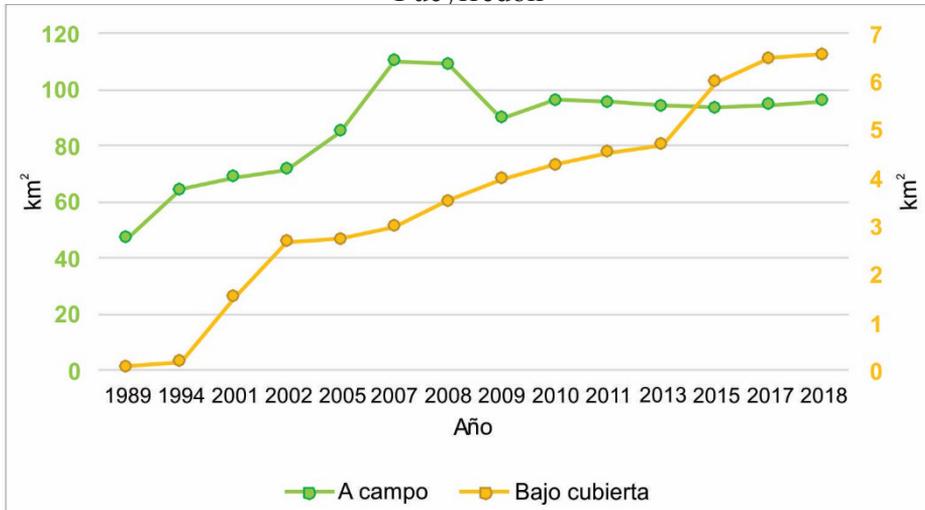
Transformaciones de la actividad hortícola

Si bien las áreas dedicadas a la horticultura abarcan una escasa extensión de las tierras del Partido (7,03%), son destacables desde el punto de vista económico, aportando significativamente al PBG, como se especificó en apartados anteriores. En función de ello, y teniendo en cuenta la expansión e intensificación de la actividad, resulta relevante analizar estas transformaciones en términos de variación de superficies y características socioproductivas.

Considerando trabajos previos (Zulaica *et al.*, 2013) y los resultados obtenidos en la clasificación supervisada, desde el año 1989 hasta la actualidad se evidencia una clara expansión de la actividad que asciende a un 115,88%. Al momento de discriminar entre áreas a campo y bajo cubierta (Figura 3), es posible afirmar que las primeras mostraban un crecimiento constante hasta el año 2007, donde comenzaron a descender. Desde el año

2010 hasta el presente las superficies se mantuvieron estables y sin mayores modificaciones, alcanzando valores entre 94 km² y 96 km². En relación con las áreas bajo cubierta, el avance fue paulatino, sin grandes saltos desde el mismo año.

Figura 3. Variación de la superficie hortícola en el partido de General Pueyrredon



Fuente: Elaboración personal sobre la base de CHGP (1994), Zulaica et al. (2013), INTA (2017), Adlercreutz et al. (2018) y clasificación supervisada del presente trabajo.

De acuerdo con las entrevistas efectuadas, los momentos de crecimiento se observan cuando hay buenos márgenes económicos y, principalmente, cuando hay rentabilidad de los cultivos bajo cubierta de tomate y pimiento, ya que en el Partido el reemplazo del tomate a campo fue prácticamente absoluto. Al respecto, es posible evidenciar que la implementación de invernáculos en las ciudades de Mar del Plata y en La Plata (principal cinturón hortícola de Argentina), no se dio de la misma manera. En esta última, las áreas bajo cubierta ocupan en la actualidad aproximadamente el 75% de la superficie hortícola total (Staviski, 2010), situación contraria a la visualizada en Mar del Plata.

La diferenciada implementación de invernáculos en ambos cinturones podría atribuirse a que en La Plata el reemplazo se dio fundamentalmente sobre los cultivos de hoja (principalmente lechuga), los cuales

representan un gran porcentaje (36%) de las tierras cultivadas, de acuerdo a datos del CHFBA (2005). Si esta situación hubiese ocurrido en el cinturón verde marplatense, la superficie bajo cubierta podría ser considerablemente más elevada, ya que en el mismo año el porcentaje de lechuga alcanzaba el 41% del total. En este sentido, en los últimos años se observa una aparente estabilización respecto de la implementación de invernáculos debido al incremento en el costo de los insumos, algunos de los cuales cotizan en dólares. Al comparar los datos calculados por INTA, con los obtenidos en los censos hortícolas bonaerenses de 2001 y 2005, resulta evidente que en estos últimos los resultados demuestran una subestimación. El mencionado escenario se manifiesta especialmente en las áreas a campo, arrojando valores entre 18,41% y 62,96% (año 2001 y 2005 respectivamente) por debajo a lo indicado por INTA.

Finalmente, en función de los estudios antecedentes revisados y de las entrevistas a informantes calificados efectuadas, a continuación, en la Tabla 3 se detallan las etapas y sucesos más relevantes que se sucedieron en la horticultura marplatense y que determinan la superficie ocupada por la actividad, sus variaciones y patrones de distribución.

Tabla 3. Transformaciones socioproductivas en el partido de General Pueyrredon

Etapas	Actores dinamizadores	Tecnologías y estrategias	Procesos
<p>Conformación: décadas de 1940 a 1960</p>	<p>Inmigrantes de ultramar que gestaron conjuntamente con productores argentinos la “Cooperativa de Horticultores del Partido de General Pueyrredon” (año 1953), génesis de la actividad frutihortícola por haber consolidado el circuito de producción hortícola (producción, distribución y consumo). Las empresas que desarrollan la actividad son familiares.</p>	<p>Escasa mecanización, tracción a sangre (antes de 1960). Riego por aspersión, tractor, uso de agroquímicos, siembra en hileras, cultivos genéticos (a partir de 1960).</p>	<p>Baja productividad por limitada apropiación de la naturaleza por parte del productor. Abastecimiento local. Expropiación de la Laguna de los Padres para parcelamiento (68,7%), reservas forestales, escuelas, centros recreativos, etc.</p>
<p>Consolidación: décadas de 1970 y 1980</p>	<p>Surgimiento de la producción por mediería, desarrollada por productores bolivianos sin tierra. La mano de obra más barata desplaza a la mano de obra familiar que predominaba hasta ese momento (inmigrantes europeos).</p>	<p>Mejoras genéticas en semillas, mayor mecanización, tractorización y riego, expansión y saturación de agroquímicos, difusión de prácticas agronómicas (INTA), nuevas prácticas de cosecha, almacenamiento en silos.</p>	<p>Incremento de la superficie cultivada, aumento de la productividad, reducción de tiempos de trabajo necesarios, mejora de calidad y cantidad. Superación del mercado local como ámbito de comercialización. (Abastecimiento nacional). Escaso uso de fertilizantes.</p>
<p>Intensificación: década del 1990</p>	<p>Incremento de presencia campesina boliviana. Legitimación de la mediería. Aparición de nuevos agentes comerciales y expansión de supermercados.</p>	<p>Aparición de los cultivos bajo cubierta plástica que requieren tareas de mayor precisión, prolijidad y asesoramiento agronómico. Mejoras en las tecnologías poscosecha.</p>	<p>Articulación de productores con la agroindustria local. Período de modernización que genera ganancia diferencial. Con el fin de dar respuesta a las necesidades alimentarias de familias vulnerables, surge el programa Pro Huerta (año 1992) (huertas de autoconsumo). También se crea el Programa Cambio Rural. Ambos implementados por INTA.</p>

Etapas	Actores dinamizadores	Tecnologías y estrategias	Procesos
<p>Intensificación y especialización: década del 2000</p>	<p>Déficit de mano de obra durante período recesivo 1998-2002 (caída de la mediería) y post 2002 también se observa menor disponibilidad de mano de obra, sobre todo boliviana, ya que el tipo de cambio no resulta favorable. Se evidencia el avance de agricultores de origen boliviano y andino. Fuerte avance de familias de origen boliviano sobre el eslabón comercial de la cadena agroalimentaria (durante crisis económica de 2001 y salida de convertibilidad). Se incrementa la venta directa en quinta y mercados concentradores. La venta vía consignación fue perdiendo importancia. Los productores de estratos medios sufren los mayores perjuicios en la crisis al no poder acceder a créditos ni a incorporar mano de obra familiar. Nuevas generaciones abandonan la actividad.</p>	<p>Aparente retracción en la expansión de invernáculos en el período 2001-2005. Sin embargo, se observa una intensificación de los mismos de la mano de grandes productores. Crecimiento constante de cultivos bajo cubierta (post 2005). Incremento del cultivo de frutilla. Surgen las primeras plantineras (a principios del 2000). Aparición de experiencias aisladas de manejo integrado de plagas y control biológico.</p>	<p>Caída de la demanda local luego de crisis de 2001. Abandono de la actividad de un gran número de establecimientos hortícolas. Surge la agricultura urbana con más fuerza como una buena alternativa de autoproducción de alimentos para movimientos sociales, comedores comunitarios, escuelas, organizaciones barriales (durante crisis de 2001 y salida de convertibilidad). Se incorporan políticas de apoyo a la agricultura familiar: Programa de Autoproducción de Alimentos (año 2004); Pro Huerta, que a partir del 2000 acompaña a productores familiares (no solo autoconsumo); Inicio de la Secretaría de Agricultura Familiar. Presión social por los efectos sanitarios ambientales del uso de agroquímicos. Aparición emergente de producciones en transición agroecológica. Surgimiento de la Feria Verde en la ciudad (año 2006).</p>

Etapas	Actores dinamizadores	Tecnologías y estrategias	Procesos
<p>Estabilización de la actividad y expansión de nuevas formas de producción: década del 2010 en adelante</p>	<p>La población de origen boliviano, andino y descendientes continúan siendo la mano de obra predominante en las quintas. Esto puede atribuirse a condiciones de mayor flexibilidad laboral y salarial.</p> <p>La mediería continúa siendo la principal forma de contratación. De todas formas, la mayor parte de las producciones emplean mano de obra familiar. Actualmente, sigue registrándose un déficit de mano de obra. Debido a la crisis socio-económica actual del país y mejoras en la calidad de vida en países vecinos, muchos productores de origen boliviano deciden permanecer en su país, a diferencia de años anteriores.</p> <p>En el año 2010 se crea la Asociación Frutihortícola de Productores y Afines del Partido de General Pueyrredon.</p> <p>Hacia el año 2015 aparece en escena la Unión de Trabajadores de la Tierra.</p>	<p>El incremento de la superficie de cultivo bajo cubierta sigue en crecimiento constante, pero sin saltos notables. Se observa cierta estabilización en la implementación de invernáculos a partir del año 2015.</p> <p>Aumentan las experiencias de manejo integrado de plagas y control biológico e implementación de “remedios caseros” para evitar la dependencia a los plaguicidas.</p> <p>También se verifican experiencias en cultivos hidropónicos.</p> <p>Se observa la producción y comercialización de plantines agroecológicos.</p> <p>En la actualidad hay únicamente dos plantineras (convencionales) que abastecen a productores.</p>	<p>Continúa evidenciándose la precupación social por los efectos en el uso de agroquímicos.</p> <p>Se observa un aumento de la cantidad de experiencias en transición agroecológica/ orgánica, principalmente de la mano de profesionales.</p> <p>Creciente organización de ferias de productos agroecológicos/ orgánicos en la ciudad.</p> <p>Creciente implementación de sistemas participativos de garantías.</p> <p>El acceso a la tierra sigue siendo una dificultad para numerosos productores.</p> <p>Respecto de la agricultura familiar, en los últimos años se observa una menor presencia del estado. El Programa de Autoproducción de Alimentos desaparece en el año 2015, hacia el año 2016 se dan de baja el 75% de los grupos de Cambio Rural, y se desarticula la Subsecretaría de Agricultura Familiar en el año 2018.</p>

Fuente: Elaboración personal a partir de Bocero (2002), Carrozzi y Viteri (2002), Burmester (2004), Bocero y Prado (2007), Manzoni et al. (2015), González et al. (2017), Adlerreutz et al. (2018), Zulaica et al. (2019) y entrevistas a informantes clave.

Conclusiones

El partido de General Pueyrredon exhibe una gran diversidad de actividades, que caracterizan los usos del suelo del periurbano marplatense. De acuerdo con la clasificación realizada, es posible distinguir seis usos predominantes, siendo la denominada “otras áreas productivas” aquella que ocupa la mayor superficie (76,89%) y “cuerpos de agua superficiales”, la de menor representatividad. Si bien en el área convergen diversos usos, se destaca el hortícola generando beneficios económicos a la ciudad y posicionándola como segundo cinturón verde en importancia del país. Esta actividad se emplaza principalmente en el periurbano de la ciudad; áreas complejas donde es significativa la coexistencia de distintas actividades o usos del suelo. Allí las “áreas hortícolas” (a campo y bajo cubierta) representan el 19,82% del total, siendo superadas, en términos de superficie ocupada, por “otras áreas productivas” y “áreas verdes-vacíos urbanos-residenciales abiertos”.

En función de lo indicado, es relevante señalar que la horticultura ha atravesado diferentes etapas, iniciando como actividad de subsistencia de la mano de inmigrantes europeos, hasta lograr abastecer tanto al mercado local como también regional. Es notable la expansión e intensificación que ha tenido la actividad, incorporando diferentes tecnologías, entre ellas la del invernáculo, para disponer de frutas y hortalizas en toda época del año. A pesar de ello, esta tecnología no reemplaza el cultivo a campo, sino que lo complementa.

Por otra parte, es importante considerar que, así como sucede en otros cinturones hortícolas del país, la población comienza a atestiguar diferentes problemáticas ambientales derivadas del actual modelo de producción. Surgen tensiones acerca de la aplicación de plaguicidas en áreas residenciales lindantes a los campos, especialmente debido a las implicancias en la salud (enfermedades por exposición crónica) y contaminación del recurso hídrico; y se exigen nuevos modos de producir superadores, como es la agroecología, evidenciándose cada vez más experiencias a nivel local.

Para finalizar, los resultados alcanzados conforman una base que permitirá analizar la evolución de los usos del suelo en diferentes cortes temporales, planteándose la necesidad de profundizar en estudios de impacto ambiental de la actividad para avanzar hacia sistemas hortícolas más

sustentables. Se espera que los resultados obtenidos en este trabajo y el procedimiento metodológico empleado contribuyan al diseño de estrategias de gestión conducentes a los Objetivos de Desarrollo Sostenible en la escala local, y transferibles a otras áreas periurbanas.

Referencias

- Adlercreutz, E., Francucci, M. y Szczesny, A. (2018). Análisis sobre la evolución de la superficie hortícola a campo y bajo cubierta en general y por cultivo (2000-2017) - información clave para orientar la evolución del cinturón hortícola de Mar del Plata. *Revista visión rural (nov-dic)*.
- Alperín, M. I., Borges, V. G. y Sarandón, R. (2002). Caracterización Espacial de los Tipos de Cobertura de Suelo usando Técnicas Geoestadísticas a partir de Información Satelital. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata, 105(1)*, 40-51.
- Argañaraz, J. P. y Entraigas, I. (2011). Análisis comparativo entre las máquinas de vectores soporte y el clasificador de máxima probabilidad para la discriminación de cubiertas del suelo. *Revista de Teledetección, 36*, 26-39.
- Atucha, A. J., Errazti, E., Lacaze, M. V., Labrunée, M. E., López, M. T. y Volpato, G. (2012). La estructura productiva del Partido de General Pueyrredon. *Faces, (38-39)*, 57-81.
- Auer, A., Maceira, N. y Mikkelsen, C. (2019). El proceso de agriculturización en territorios con diferente matriz ecológico-productiva. El caso de la cuenca Mar Chiquita, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de geografía Norte Grande, (72)*, 27-53.
- Baldini, C., Marasas, M. E., Palacios, P. y Drozd, A. A. (2016). Territorio en movimiento: Análisis de cambio del uso/cobertura del suelo en el partido de La Plata entre 2005 y 2015. En: I IUFRO Landscape Ecology Latin-American, Chile.
- Barsky, A. (2005). El periurbano productivo, un espacio en constante transformación. Introducción al estado del debate, con referencias al caso de Buenos Aires. *Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales, 9(194)*.
- Barsky, A. (2010). La agricultura de “cercanías” a la ciudad y los ciclos del territorio periurbano. Reflexiones sobre el caso de la Región

- Metropolitana de Buenos Aires. En A. Nemirovsky (Coord.), *Agricultura periurbana en Argentina y globalización. Escenarios, recorridos y problemas* (pp. 15-29). Buenos Aires: FLACSO.
- Barsky, A., Astelarra, S. y Galván, L. (2010). Horticultura periurbana: Implementación de un programa de “buenas prácticas” en Pilar. *Apuntes de Investigación del CECYP*, (17), 177-187.
- Beuchle, R., Grecchi, R. C., Shimabukuro, Y. E., Seliger, R., Eva, H. D., Sano, E. y Achard, F. (2015). Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. *Applied Geography*, 58, 116-127.
- BID (Banco Interamericano de Desarrollo) y MGP (Municipalidad de General Pueyrredon) (2013). *Plan de acción Mar del Plata sostenible*. Mar del Plata: Dirección General de Coordinación MGP. Recuperado de: <https://www.mardelplata.gob.ar/documentos/gobierno/plan%20de%20accion%20mdp-bid.pdf>. (Consultado en septiembre de 2019).
- Bocanegra, E. y Custodio, E. (1994). Utilización de acuíferos costeros para abastecimiento. Dos casos de estudio: Mar de plata (provincia de Buenos Aires, Argentina) y Barcelona (Cataluña, España). *Ingeniería del agua*, 1(4), 49-78.
- Bocero, S. (2002). *Cultivos protegidos y problemas ambientales: un estudio de la horticultura marplatense en la década del noventa* (Tesis de Maestría en Ciencias Sociales). FLACSO-UNMDP, Mar del Plata.
- Bocero, S. y Prado, P. (2007). Horticultura y territorio. Configuraciones territoriales en el cinturón hortícola marplatense a fines de la década del noventa. *Estudios Socioterritoriales. Revista de Geografía*, (7), 98-119.
- Borràs, J., Delegido, J., Pezzola, A., Pereira, M., Morassi, G. y Camps-Valls, G. (2017). Clasificación de usos del suelo a partir de imágenes Sentinel-2. *Revista de Teledetección*, (48), 55-66.
- Burmester, M. (2004). *Un estudio de caso: la problemática ambiental en la Cuenca Frutihortícola de la ciudad de Mar del Plata, Partido de General Pueyrredon* (Tesis Maestría en Gestión Ambiental del Desarrollo Urbano). FAUD, UNMDP, Mar del Plata.
- Cavallaro, G., Riedel, M., Richerzhagen, M., Benediktsson, J. A. y Plaza, A. (2015). On understanding big data impacts in remotely sensed image classification using support vector machine methods. *IEEE*

journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing, 8(10), 4634-4646.

- Carrozzi, L. y Viteri, M. L. (2002). Transformaciones en tecnología hortícola. Mar del Plata, Argentina. *Revista Facultad de Ciencias Agrarias, UNCuyo*, 34(2), 81-85.
- Chander, G., Markham, B. L. y Helder, D. L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote sensing of environment*, 113, 893-903.
- CHB (2001). *Censo Hortícola Bonaerense*. Buenos Aires: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de la Provincia de Buenos Aires, INDEC y Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación.
- CHFBA (2005). *Censo Hortiflorícola de Buenos Aires*. Buenos Aires: Dirección Provincial de Economía Rural del Ministerio de Asuntos Agrarios, Dirección Provincial de Estadísticas del Ministerio de Economía, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos de la Nación, Consejo Federal de Inversiones.
- CHGP (1994). *Censo hortícola del partido de General Pueyrredon*. Buenos Aires: Cooperativa de Horticultores del partido de General Pueyrredon y Secretaria de Agricultura Ganadería y Pesca (Buenos Aires).
- Chuvieco, E. (1996). *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Madrid: RIALP (568 p).
- Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales, *Educational Psychological Measurement*, 20(1), 37-46.
- Colasurdo, V., Díaz, O., Grosman, F. y Sanzano, P. (2011). Análisis de la calidad del agua de la laguna De los Padres: potencial uso para riego. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, 110 (1), 20-25.
- Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37, 35-46.
- Congalton, R. G. y Green, K. (2002). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. Boca Ratón, Florida: CRC press (Taylor & Francis group).
- Daga, D., Zulaica, L., Ferraro, R. y Vazquez, P. (2017). Expansión e intensificación hortícola en el partido de General Pueyrredon, Argentina: sustentabilidad ecológica e impactos ambientales. *Geografia Em Questão*, 10, 102-117.

- Del Río, L., Caballé, M., Osterrieth, M., Kirilovsky, E., Bó, M. J., Denisenia, N., ... y Álvarez, J. (2007). Aplicación de índices de calidad ambiental para recuperación de canteras en zonas periurbanas (Provincia de Buenos Aires, Argentina). En: Congreso Internacional sobre Desarrollo, Medio Ambiente y Recursos Naturales: sostenibilidad a múltiples niveles y escalas, Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba.
- Di Pace, M. (2001). *Sustentabilidad urbana y desarrollo local*. San Miguel: Curso de Postgrado en Desarrollo Local en Áreas Metropolitanas, Instituto del Conurbano, Universidad Nacional de General Sarmiento.
- Di Pace, M. y Bartrons, H. (2004). *Ecología de la ciudad*, Buenos Aires: Prometeo-UNGS.
- Esquiús, K., Escalante, A. y Solari, L. (2008). Algas epífitas indicadoras de calidad del agua en arroyos vinculados a la Laguna de Los Padres. *Biología acuática*, (24), 95-102.
- Ferraro, R., Zulaica, L. y Echechuri, H. (2013). Perspectivas de abordaje y caracterización del periurbano de Mar del Plata, Argentina. *Revista Letras Verdes*, (13), 19-40.
- Foody, G. M. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, 80, 185-201.
- González, V., Diurno, R., Caetano, F. y Rattin, J. (2017). Mar del Plata horticultural region evolution. Strategies and achievements for the productive adaptation before legal changes. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, 116 (N° especial), 97-106.
- INDEC (2002). *Censo Nacional Agropecuario*. Buenos Aires: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.
- INDEC (2010). *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas*. Buenos Aires: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.
- INTA (2017). *Descripción de la producción en el Cinturón Hortícola de Mar del Plata*. Mar del Plata: Oficina de Información Técnica Mar del Plata.
- Jaramillo, L. V. y Antunes, A. F. (2018). Detección de cambios en la cobertura vegetal mediante interpretación de imágenes Landsat por redes neuronales artificiales (RNA). Caso de estudio: Región Amazónica Ecuatoriana. *Revista de Teledetección*, (51), 33-46.

- Jones, H. G. y Vaughan, R. A. (2010). *Remote sensing of vegetation: principles, techniques, and applications*. New York: Oxford University Press (353 p).
- Karis, M. C. (2017). Caracterización de los espacios verdes públicos en la ciudad de Mar del Plata, Argentina. Trabajo presentado en ARQUI-SUR, San Juan.
- Landis, J. y Koch, G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33, 159–174.
- Lara, B. y Gandini, M. (2014). Quantifying the land cover changes and fragmentation patterns in the Argentina Pampas, in the last 37 years (1974–2011). *GeoFocus*, (14), 163–180.
- Lillesand, T., Kiefer, R. W. y Chipman, J. (2004). *Remote sensing and image interpretation*. New Jersey, USA: John Wiley & Sons.
- Lone, S. A. y Mayer, I. A. (2019). Geo-spatial analysis of land use/land cover change and its impact on the food security in District Anantnag of Kashmir Valley. *GeoJournal*, 84(3), 785–794.
- Mantero, P., Moser, G. y Serpico, S.B. (2005). Partially supervised classification of remote sensing images through SVM-based probability density estimation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43(3), 559–570.
- Manuel-Navarrete, D., Gallopín, G., Blanco, M., Díaz-Zorita, M., Ferraro, D., Herzer, H., ... y Celis, A. (2005). Análisis sistémico de la agriculturización en la pampa húmeda argentina y sus consecuencias en regiones extrapampeanas: sostenibilidad, brechas de conocimiento e integración de políticas. Santiago de Chile: CEPAL, Serie Medio Ambiente y desarrollo, División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos.
- Manzoni, M., Zulaica, L., Kemelmajer, Y., Bisso, V., Padovani, B., Lempereur, C., González, C. y Copello, S. (2015). Aportes metodológicos para la evaluación de la sustentabilidad en sistemas agrícolas hortícolas en el sureste de la pcia. de Buenos Aires. En: V Congreso Latinoamericano de Agroecología, SOCLA, Buenos Aires.
- Mari, N. (2018). Mapeo y Caracterización del CV: Dinámica territorial y los procesos de transformación Urbano-Rural. En B. Giobellina (comp.), *La alimentación de las ciudades, Transformaciones*

- territoriales y cambio climático en el Cinturón Verde de Córdoba* (pp.121-144). Córdoba, Argentina: Ediciones INTA.
- Ministerio de Educación de la Nación (2010). *La horticultura en Argentina. Informe final*. Recuperado de: http://catalogo.inet.edu.ar/files/pdfs/info_sectorial/horticultura-informe-sectorial.pdf. (Acceso en septiembre de 2019).
- Mikkelsen, C., Celemín, J. y Rivière, I. (2015). Aporte a la comprensión de lo rural en el partido de General Pueyrredon. En P. Lucero (Ed.), *Atlas de Mar del Plata y el partido de General Pueyrredon II: problemáticas socio-territoriales contemporáneas* (pp. 305-340). Mar del Plata: EUDEM.
- Mountrakis, G., Im, J. y Ogole, C. (2011). Support vector machines in remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66(3), 247-259.
- Mujica, C. M., Karis, C. M. y Ferraro, R. (2019). Paisaje urbano, infraestructura ecológica y regulación de la temperatura. *Estudios del hábitat*, 17(1), e062.
- Piazza, G., Vibrans, A., Liesenberg, V. y Refosco, J.L. (2016). Object-oriented and pixel-based classification approaches to classify tropical successional stages using airborne high-spatial resolution images. *GIScience & Remote Sensing*, 53(2), 206-226.
- Rearte, G. y Ferraro, C. (Comp.) (2002). *Mar del Plata productiva: diagnóstico y elementos para una propuesta de desarrollo local*. Buenos Aires: CEPAL.
- Richards, J. A. y Jia, X. (2006). *Remote Sensing Digital Image Analysis. An introduction*. Berlin, Alemania: Springer.
- Rocca, M.J., Lancioni, A., Sgroi, A., Carol, I. y Ríos, L. (2014). Sustentabilidad territorial e instrumentos de regulación del periurbano. En: XI Simposio de la Asociación Internacional de Planificación Urbana y Ambiente, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, UNLP, La Plata.
- Roveretti, M. J., Atucha, A. J. y Lacaze, M. V. (2013). Producto Bruto Hortícola del Partido de General Pueyrredon: reglas institucionales, relaciones insumo-producto y composición del valor agregado. En: VIII Jornadas Interdisciplinarias de Estudios Agrarios y Agroindustriales, Facultad de Ciencias Económicas, UBA.

- Sagua, M. C. y Sabuda, F. G. (2015). ¿Territorios jóvenes en una comuna envejecida a nivel poblacional? Las recientes dinámicas de crecimiento demográfico asociadas al hábitat en la ciudad de Mar del Plata y el Partido de General Pueyrredon. 1991-2001-2010. En P. Lucero (Ed.), *Atlas de Mar del Plata y el partido de General Pueyrredon II: problemáticas socio-territoriales contemporáneas* (pp. 23-50). Mar del Plata: EUDEM.
- Schroeder, T. A., Cohen, W. B., Song, C., Canty, M. J. y Yang, Z. (2006). Radiometric correction of multi-temporal Landsat data for characterization of early successional forest patterns in western Oregon. *Remote Sensing of Environment*, 103, 16-26.
- Sequeira, N., Vazquez, P. y Zulaica, L. (2016). Impactos sobre el ecosistema derivados de la agriculturización en el partido de Benito Juárez, Buenos Aires, período 2003-2011. *AMBIENS. Revista Iberoamericana Universitaria en Ambiente, Sociedad y Sustentabilidad*, 2, 30-51.
- Sorensen, M., Barzetti, V., Keipi, K. y Williams, J. R. (1998). *Manejo de las áreas verdes urbanas*. Washington D.C.: Inter-American Development Bank.
- Staviski, A. (2010). *Situación de la plasticultura en Argentina. Informe frutihortícola. Abril*. Recuperado de: http://www.infofrut.com.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=1069:plasticultura-en-la-argentina&catid=92:sanidad. (Consultado en octubre de 2019).
- Suez, L. S., Barchuk, A. H. y Locati, L. (2018). Mapa de cobertura y uso de la tierra en el área periurbana de la ciudad de Córdoba. Aportes para el ordenamiento territorial. En B. Giobellina (comp.), *La alimentación de las ciudades, Transformaciones territoriales y cambio climático en el Cinturón Verde de Córdoba* (145-168). Córdoba, Argentina: Ediciones INTA.
- Vazquez, P. y Rivas, R. (2009). Transferencia de Información Basada en Sensores Remotos para la Toma de Decisiones de Usuarios No Expertos. *Revista Ciencia*, 4(8), 49-59.
- Vazquez, P., Zulaica, L., Sequeira, N. y Daga, D. (2019). Expansión agrícola y potenciales implicancias sobre los servicios ecosistémicos en los paisajes del partido de Necochea, Buenos Aires, Argentina. *Acta Geográfica*, 13, 171-196.

- Volante, J. N. y Paruelo, J. M. (2015). Is forest or Ecological Transition taking place? Evidence for the Semiarid Chaco in Argentina. *Journal of Arid Environments*, 123, 21-30.
- Zulaica, L., Ferraro, R. y Vázquez, P. (2012). Transformaciones territoriales en el periurbano de Mar del Plata. *Revista Geograficando*, 8(8), 169-187.
- Zulaica, L. y Ferraro, R. (2013). Lineamientos para el ordenamiento del periurbano de la ciudad de Mar del Plata (Argentina), a partir de la definición de sistemas territoriales. *Revista Geografia em Questão*, 6(1), 202-230.
- Zulaica, L., Ferraro, R. y Vázquez, P. (2013). Transformaciones territoriales del periurbano de la ciudad de Mar del Plata (Argentina), entre 1989-1999 y 1999-2009. En: 14º Encuentro de Geógrafos de América Latina, Lima, Perú.
- Zulaica, L. y Celemín, J.P (2014). Condiciones de habitabilidad y crecimiento poblacional en el periurbano de la ciudad de Mar del Plata, Argentina. *Revista Espacio e Geografía*, 17, 281-321.
- Zulaica, L., Vázquez, P. y Daga, D. (2018). Estimación de la erosión actual y potencial de suelos destinados a actividades hortícolas en el periurbano de Mar del Plata. En: V Jornadas Nacionales de Investigación en Geografía Argentina, Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Tandil.
- Zulaica, L., Manzoni, M., Kemelmajer, Y., Bisso, V., Padovani, B., Lempereur, C., González, C. y Copello, S. (2019). Evaluación de la sustentabilidad en sistemas hortícolas del sudeste bonaerense: aproximación metodológica en el periurbano de Mar del Plata. *Horticultura Argentina*, 38(95), 41-61.



Estimación del impacto potencial de la contaminación difusa por métodos simplificados en el Área de Protección de Flora y Fauna, Pico de Tancítaro, Michoacán, México

Estimation of the potential impact of diffuse pollution (non-point source pollution) by simplified methods in the Area of Protection of Flora and Fauna, Pico de Tancítaro, Michoacán, Mexico

Alberto Ortiz-Rivera¹

Universidad Nacional Autónoma de México, México

José de Jesús Alfonso Fuentes-Junco²

Universidad Nacional Autónoma de México, México

Resumen

En este trabajo, se calculó el Índice Modificado de Contaminación No Puntual (MPNPI), en el Área de Protección de Flora y Fauna, Pico de Tancítaro, Michoacán, durante tres años con diferentes condiciones de precipitación 2004, 2007 y 2014; en esta área se encuentran 16 cuencas para la región, dentro de estas existen 10 localidades de la tipología Físico-Geográfica del estado de Michoacán. La forma de calcular el índice MPNPI requiere de cuatro indicadores: Uso del Suelo (LCI), Escorrentía (ROI), Distancia (DI) y Precipitación Anual (API). Los resultados indican que las cuencas con categorías de potencial de contaminación difusa que va del Medio a Muy alto, con coincidencia espacial durante los tres años son Chuanito, Chondo y Cutio al noroeste; San Francisco y Huan-diestacato al norte; Apo y Cuenca Rodada al oeste; al interior localidades físico-geográficas, XLIV, XVII y LX, esta conjunción permite delimitar espacios con características ambientales homogéneas

- 1 Doctor en Geografía. Posdoctorado. Universidad Nacional Autónoma de México, Escuela Nacional de Estudios Superiores Campus Morelia. Dirección: Antigua Carretera a Pátzcuaro 8701, Sin Nombre, Residencial San José de la Huerta, 58190 Morelia, Mich. Correo electrónico: aortiz@pmp.unam.mx. <https://orcid.org/0000-0002-0419-029X>
- 2 Doctor en Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México, Escuela Nacional de Estudios Superiores Campus Morelia. Dirección: Antigua Carretera a Pátzcuaro 8701, Sin Nombre, Residencial San José de la Huerta, 58190 Morelia, Mich. Correo electrónico: jfuentes@enesmorelia.unam.mx. <https://orcid.org/0000-0001-7056-3755>

dentro de la cuenca, esto ayuda a priorizar unidades que requieren implementar medidas de mitigación de la contaminación difusa hacia los sistemas acuáticos.

Palabras clave: Contaminación difusa; Índice MPNPI; Paisaje, Cuenca; SIG

Abstract

In this work, the Modified Nonpoint Pollution Index (MPNPI) was calculated in the Area of Protection of Flora and Fauna, Pico de Tancitaro, Michoacán, for three years with different precipitation conditions 2004, 2007 and 2014; this area accommodates 16 basins of the region, within these, 10 localities are representing the physical-geographic typology of the state of Michoacán. MPNPI index calculation requires four indicators: land use (LCI), runoff (ROI), distance (DI) and annual precipitation (API). The results indicate that basins categorized as ranging from medium to very high diffuse contamination potential (nonpoint source pollution potential), with spatial coincidence during the three considered years, are Chuanito, Chondo and Cutio to the northwest; San Francisco and Huandiestacato to the north; Apo and Cuenca Rodada to the west; which in turn cross physical-geographical localities XLIV, XVII and LX; such conjunction allows to delimit spaces with homogeneous environmental characteristics within the basin which, in turn, helps to prioritize units that need to implement mitigation measures against diffuse pollution of aquatic systems.

Keywords: Diffuse pollution; MPNPI Index; Landscape, Basin; SIG

Introducción

En México, las Áreas Naturales Protegidas se han empleado como mecanismos para la conservación de la biodiversidad. Aún y cuando, se reconocen los servicios ambientales que ofrecen, mediante el aprovechamiento de sus recursos naturales, esquemas de manejo sustentable, que permiten a la vez integrar la conservación de la riqueza natural con bienestar y desarrollo social; también es cierto que no están exentas de verse amenazadas por diversas circunstancias.

Uno de dichos servicios y que, como recurso reviste la mayor importancia para la vida, es el agua.

El agua como recurso se ha convertido, en muchas regiones del mundo, en un factor limitante para la salud humana, la producción de alimentos, el desarrollo industrial y el mantenimiento de los ecosistemas naturales y su biodiversidad; e incluso para la estabilidad social y política (Carabias, 2005).

Por otro lado, al ser un recurso vulnerable a las diferentes formas de contaminación más comunes como la que proviene de actividades de zonas agrícolas, urbanas e industriales domésticos e industriales, en todo el mundo se ha generado una preocupación sobre la contaminación difusa (dispersa o no puntual). Los contaminantes del agua, aire y suelo de

fuentes difusas incluyen: sedimentos, nutrientes, metales pesados, elementos traza, pesticidas, patógenos, productos farmacéuticos y otros químicos antropogénicos (Bravo, Saldaña, Izurrieta y Mijangos, 2013).

En cambio, cuando se hace referencia a la contaminación puntual en el agua, está es fácilmente identificable, representada por efluentes de agua residual puede ser controlada mediante acciones específicas, básicamente por medio del monitoreo y el cumplimiento de estándares de calidad en el tratamiento de aguas residuales y saneamiento. Sin embargo, la evaluación y el control de la contaminación difusa es más complejo, ya que al no haber un punto de concentración es muy difícil su identificación y control; es por ello, que excepto por unos pocos estudios, la contaminación difusa no se incluye y pocas veces es reconocida o evaluada.

Las fuentes difusas y sus impactos en la calidad del agua se correlacionan con los tipos de uso del suelo que existen en una cuenca hidrográfica (Aighewi, I. T., Nosakhare, O. K., y Ishaque, A. B., 2012; Yang, H., Wang, G., Wang, L., y Zheng, B., 2015). La contaminación derivada de fuentes difusas es impulsada por eventos meteorológicos, como la precipitación (Novotny, 2002). El transporte desde las fuentes difusas de contaminación se produce generalmente por escorrentía superficial (Carmargo y Alonso, 2007), mismo que por procesos erosivos arrastra una gran cantidad de suelo y sedimentos en conjunto con los contaminantes, cuyo destino final son los cuerpos de agua superficiales (Bravo *et al.*, 2013). La escorrentía superficial depende de variables como: pendiente, precipitación, permeabilidad y uso del suelo (IPCC, 2001; Jiang, Jiang, T., Huo, S., Xi, B., Su, J., Hou, H., Yu, H., y Li, X., 2014; Zhuang, Y., Hong, S., Zhan, F. B., y Zhang, L., 2015).

Entre los objetivos planteados en 2010, en México para la Agenda del Agua 2030 en el tema Ríos Limpios, se plantea textualmente el “Desarrollar una normatividad específica para la evaluación, monitoreo y control de la contaminación difusa. CNA, 2011:41.”

Otro elemento por resaltar es la poca cartografía del tema, la base principal del país solo incluye la “Contaminación potencial difusa por actividad agrícola”, el cual está generalizado para todo el país a través de la delimitación de 1718 de cuencas hidrográficas (Cotler, 2010).

Estudios de este tema se realizan bajo el contexto de cuenca, esta funciona como un sistema complejo, dinámico y abierto; es necesario

considerar que, al interior de esta, existen unidades de paisaje o geosistemas (Cotler, 2007), los cuales son unidades ambientales en cierta forma homogéneas que poseen características y una dinámica propia.

Por su parte, Valdés y Hernández (2018), consideran a las cuencas como unidades territoriales cuyo funcionamiento y estructura es posible evaluar por medio de la delimitación de unidades espaciales de menor superficie o unidades de paisaje físico-geográfico, posibilitando trabajar a nivel de detalle las características socio-ambientales y realizar un análisis focalizado de las problemáticas y potenciales que presentan.

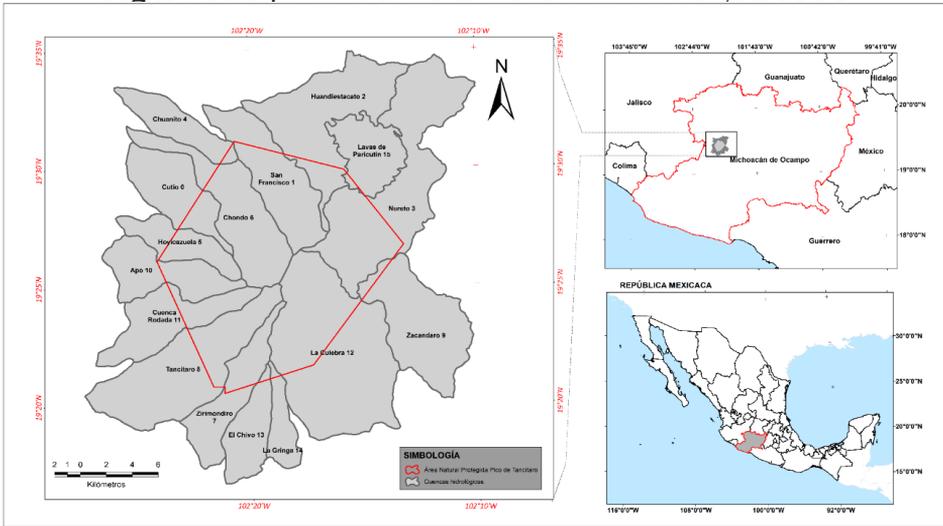
En particular, el índice denominado *Potential Non-point Pollution Index* (PNPI), es una herramienta SIG que evalúa el impacto potencial de la contaminación difusa sobre los cuerpos de agua a escala de cuenca hidrográfica (Munafò, Cecchi, Baiocco y Mancini, 2005). Es un modelo cualitativo que en su creación emplea una metodología multicriterio y la modelación física del territorio para la estimación de la contaminación difusa (Cecchi, Munafò, Baiocco, Andreani y Mancini, 2007). Requiere pocos datos de entrada y es sencillo de calcular e interpretar. Además, Contreras, Aguilar y Polo (2011) mejoraron el índice PNPI introduciendo un factor de precipitación, permitiendo añadir una caracterización anual e interanual al proceso, denominándolo *Modified Potential Non-point Pollution Index* (MPNPI).

Área de estudio

Se ubica al occidente del estado de Michoacán, con un área de protección de aproximadamente 234.05 Km² y comprende el territorio de los municipios de Tancítaro, Uruapan, Nuevo Parangaricutiro y Peribán de Ramos. En ella se encuentran especies endémicas y en alguna categoría de riesgo, según la Norma Oficial Mexicana NOM-059-Semarnat-2010. Uno de los servicios ambientales más importantes del Pico de Tancítaro, es proveer agua para el desarrollo social y económico de la región, debido a su sistema hidrológico conformado por 16 cuencas, las cuales constituyen la base del desarrollo socio-económico de habitantes, poblaciones y comunidades que se dedican principalmente al cultivo de aguacate, durazno, manzana y pera (figura 1). Estas cuencas en conjunto tienen una extensión aproximada de 676.65 Km², una región de gran importancia dentro del ciclo de captación de agua y recarga de acuíferos.

El Área de Protección de Flora y Fauna Pico de Tancitaro (APFFPT), es relativamente reciente y la primera para el estado de Michoacán, que recategoriza el anterior Parque Nacional Pico de Tancitaro, que fue establecido por el entonces presidente Lázaro Cárdenas el 27 de julio de 1940. El decreto de recategorización fue aprobado el 19 de agosto de 2009, con el objetivo de preservar mejor el área frente a las presiones del desarrollo urbano ([Diario Oficial de la Federación 2019, 19 de agosto](#)).

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio, APFFPT



Materiales y métodos

La generación y análisis cartográfico, base espacial de la investigación, se realizó con el programa ArcGis 10.6 y ArcGisPro 2.3.1. La parte metodológica comprendió tres fases:

Fase de preprocesamiento

En primera instancia se realizó la búsqueda, selección, adecuación y actualización de los insumos cartográficos, para posteriormente utilizarlos en el cálculo de cada indicador según se requiriera, la proyección y sistema de coordenadas utilizada fue WGS84 UTM zona 13N.

Se utilizaron la Cubierta de Uso de Suelo del 2004, 2007 y 2014 escala 1:50,000 ([Mas, Lemoine y González, 2016](#)).

Revisión del Mapa de localidades físico-geográficas de Michoacán (Velazco, 2014), y selección de las unidades que corresponden al Área de protección de flora y fauna Pico de Tancitaro.

En el caso de la información de Precipitación se obtuvo la siguiente:

- Distribución de la precipitación normal³ del país en el periodo 1981 a 2010
- Precipitación pluvial anual 2004, 2007 y 2014

La información se fundamenta en los cálculos realizados en el Servicio Meteorológico Nacional. Cabe aclarar que los datos de edafología, la red hidrológica y los límites de las cuencas, para el APFFPT fueron obtenidos por medios directos y descritos por Fuentes (2002), a partir de la información e interpretación de cartas físicas edafológicas y topográficas digitalizadas a escala 1:50,000.

Fase de indicadores

El Índice Modificado del Potencial de Contaminación Difusa (MP-NPI), está compuesto por cuatro indicadores: Indicador de Uso del Suelo (*Land Cover Indicator* = LCI), Indicador de Distancia (*Distance Indicator* = DI), Indicador de Escorrentía (*Runoff Indicator* = ROI) e Indicador de Precipitación Anual (*Annual Precipitation Indicator*= API).

Los datos de entrada del Índice MPNPI son:

- Uso del suelo y vegetación; Edafología, Modelo Digital del Terreno (MDT), Pendiente y Precipitación (Munafò *et al.*, 2005; Cecchi *et al.*, 2007; Contreras *et al.*, 2011).

Fase de Aplicación

Se empleó el método propuesto por Munafò *et al.*, (2005) y la modificación establecida por Contreras *et al.* (2011). Ellos calculan el MPNPI, en función de cuatro indicadores: LCI, DI, ROI y API de acuerdo a la **ecuación 1**, en la Tabla 1 se muestran los valores del coeficiente para cada indicador.

$$\text{MPNPI} = (5 * \text{LCI} + 3 * \text{DI} + 2 * \text{ROI}) * \text{API} \quad (1)$$

³ La precipitación normal se define como la precipitación medida para un periodo uniforme y relativamente largo, el cual debe tener como mínimo 30 años de datos.

Tabla 1. Valor del peso de los indicadores normalizada para una suma igual a 10

Indicador	Coficiente del indicador	Promedio del peso del indicador	Desviación estándar del peso del indicador
LCI	5	4.8	0.71
ROI	2	2.6	0.52
DI	3	2.6	0.71

Fuente: Cecchi, *et al.*, 2007

El LCI (Indicador de uso del suelo) evalúa la contribución de la contaminación difusa potencial de los diferentes usos del suelo presentes en la subcuenca mediante la asignación de valores ya establecidos para cada uso. Para este propósito se emplearon los valores medios de referencia establecidos por [Cecchi *et al.* \(2007\)](#).

Finalmente, asignado a cada uso de suelo los valores de referencia LCI, se convirtieron a ráster y se normalizaron de acuerdo con la **ecuación 2**.

$$LCI = (\text{Ráster LCI} - \text{LCI M\u00ednimo}) / (\text{LCI M\u00e1ximo} - \text{LCI M\u00ednimo}) \quad (2)$$

El DI (Indicador de Distancia) mide la distancia desde cada punto de la subcuenca hasta el cuerpo de agua m\u00e1s cercano considerando el gradiente topogr\u00e1fico. El DI se calcul\u00f3 a partir del Modelo Digital del Terreno (MDT), determinando la longitud de flujo descendente. Se decidi\u00f3 utilizar la informaci\u00f3n creada a partir de las curvas de nivel de las cartas topogr\u00e1ficas escala 1:50,000, donde se establece la red de drenaje correspondientes a la regi\u00f3n del Pico de Tanc\u00edtar\u00f3 ([Fuentes, 2002](#)).

El DI es calculado como la distancia normalizada entre la celda *i* y el r\u00edo. La normalizaci\u00f3n del DI es descrita por [Cecchi, *et al.* \(2007\)](#), por medio de una funci\u00f3n potencial expresada con la **ecuaci\u00f3n 3**.

$$DI_i = \exp(-[D_i] * k) \quad (3)$$

Donde

D_i = distancia de la celda *i* al r\u00edo medida en n\u00famero de celdas

k = constante con valor igual a 0.090533

Si $D_i = 0$ entonces $DI_i = 1$, por otra parte, si $D_i = \infty$, entonces $DI_i = 0$

De esta manera, los valores bajos corresponden a distancias más largas desde una celda a una corriente o cuerpo de agua y valores altos a distancias cercanas a los sistemas acuáticos.

El ROI (Indicador de escorrentía) evalúa la capacidad del suelo para drenar el agua hacia la zona no saturada del suelo y se define por un coeficiente de escorrentía (Cr), corregido por un factor de pendiente (Cs). El Cr se calculará en función del uso de suelo, la permeabilidad y la pendiente (Haupt, 2009).

El API (Indicador de Precipitación Anual) es un factor que evalúa la variación temporal debida a la precipitación. Determinando la precipitación anual de un determinado año en relación con la precipitación media anual de un período de estudio en cada sitio de la cuenca, se calculó el API para cada año en específico según la **ecuación 4**:

$$API = P_a / P_p \quad (4)$$

Donde

P_a es la precipitación media anual para un año en concreto (mm año⁻¹)

P_p es la precipitación media anual del periodo de estudio (mm año⁻¹).

Finalmente, se reclasificaron los valores MPNPI en cinco categorías cualitativas de impacto potencial.

Al respecto, aun y cuando Munafò *et al.*, (2005), estableció 5 clases de potencial, mismas que Haupt (2009), recategorizó en su momento por primera vez, al tratar de aplicar dichas categorías, no queda clara la diferencia entre las clases 2, 3 y 4, por lo que fue necesario renombrar estas categorías tomando en cuenta otros índices que nos ayudaran a distinguir claramente un nivel de otro (ver tabla 2).

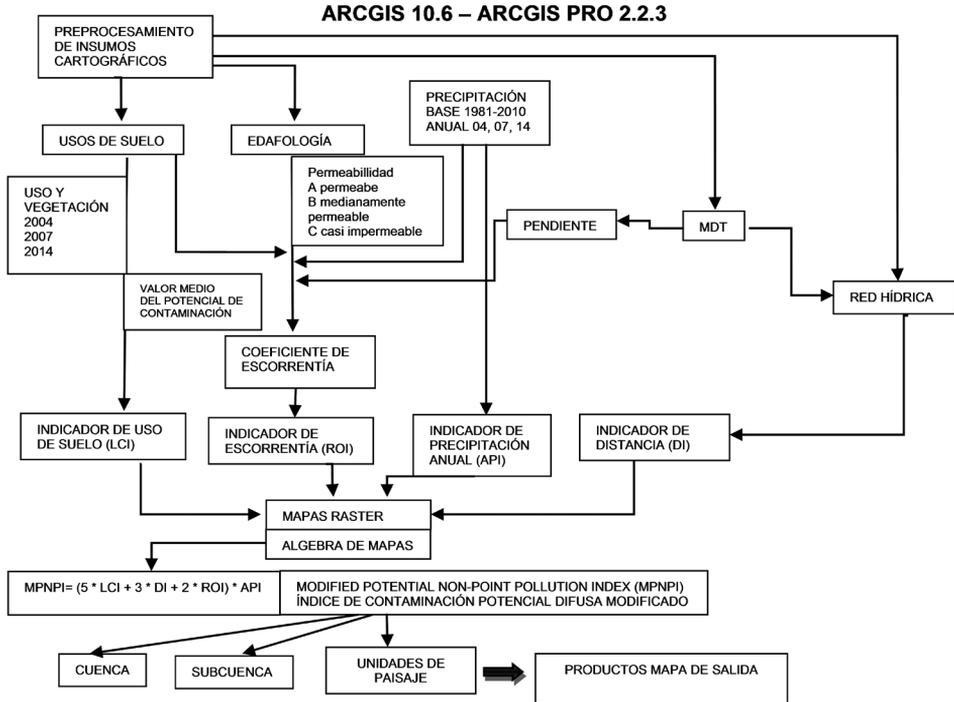
Tabla 2. Categorías de clasificación del Índice MPNPI

Clases Munafò	Categoría Haupt	Categorías	Rango
1	Bajo potencial	Muy bajo	MPNPI ≤ 4,5
2	Medio bajo potencial	Bajo	4,5 < MPNPI ≤ 5,5
3	Medio potencial	Medio	5,5 < MPNPI ≤ 6,5
4	Medio alto potencial	Alto	6,5 < MPNPI ≤ 7,5
5	Alto potencial	Muy Alto	MPNPI > 7,5

Fuente: Elaboración propia

La metodología general para la obtención del índice de este estudio se puede observar en la Figura 2.

Figura 2. Modelo para el cálculo del índice MPNPI. Modificado de Munafò *et al.* (2005)



Resultados

Unidades espaciales

De acuerdo con Fuentes (2002), en el Área de Protección de Flora y Fauna Pico de Tancitaro se presentan 16 cuencas con diferentes características morfométricas (tabla 3).

Tabla 3. Características generales de las cuencas APFFPT

Id	Cuencas	Área (Km²)
10	Apo	29.66
6	Chondo	45.55
4	Chuanito	20.64
11	Cuenca Rodada	33.84
0	Cutio	31.66
13	El Chivo	21.19
5	Hoyicazuela	20.31
2	Huandiestacato	60.74
Id	Cuencas	Área (Km²)
12	La Culebra	102.62
14	La Gringa	12.47
15	Lavas del Paricutín	25.51
3	Nureto	84.72
1	San Francisco	41.79
8	Tancítaro	66.06
9	Zacándaro	51.12
7	Zirimóndiro	28.78

Fuente: Fuentes (2002)

Con base en el mapa de [Bollo y Velasco \(2018\)](#), y su leyenda ([Velasco, 2014](#)), las localidades físico-geográficas⁴ del estado de Michoacán que forman parte de la región del parque se describen en la tabla 4, así como el porcentaje que ocupan figura 3.

4 Se identifica como un espacio que se delimita por un complejo de mesoformas del relieve de similar origen y fundamento geológico y un tipo dado de clima, lo cual resulta en determinada asociación de grupos de suelos y de tipos de vegetación, con diferentes usos asignados por el hombre

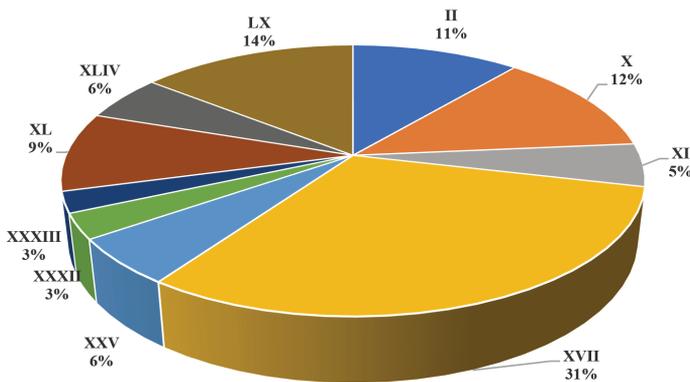
Tabla 4. Listado de las Localidades Físico-Geográficas y su descripción, presentes en la zona de estudio

LFG	Descripción de la unidad
II	Montañas volcánicas, ligera a medianamente diseccionadas (100>DV<500 m/Km ²), formadas por andesitas y brechas volcánicas intermedias en clima templado semifrío subhúmedo, con pendientes fuertemente inclinadas (10°-30°), con bosques; de oyamel, de pino-encino y de pino, agricultura de temporal y pastizal inducido sobre Andosoles; ócrico y húmico y Luvisol crómico.
X	Montañas volcánicas, ligera a medianamente diseccionadas (100>DV<500 m/Km ²), formadas por andesitas-tobas Intermedias, brechas volcánicas intermedias y latitas en clima templado típico subhúmedo, con pendientes fuertemente inclinadas (10°-30°), con bosques; de pino-encino, de encino, de encino-pino, de pino, mesófilo de montaña y de oyamel, selva baja caducifolia, agricultura de temporal y de riego, pastizal inducido y plantación forestal sobre Regosol éutrico, Luvisol crómico y Acrisolórtico.
XI	Montañas volcánicas, ligera a medianamente diseccionadas (100>DV<500 m/Km ²), formadas por basaltos, brechas volcánicas básicas y tobas básicas en clima templado típico húmedo, con pendientes fuertemente inclinadas (10°-30°), con bosques; de pino-encino, de pino, de encino, encino-pino, mesófilo de montaña y de oyamel, selva baja caducifolia, agricultura de temporal y de riego, pastizal inducido y área sin vegetación aparente sobre Andosoles; ócrico y húmico y Phaeozem háplico.
XVII	Lomeríos volcánicos, ligera a fuertemente diseccionados (40>DV<100 m/Km ²), formados por brechas volcánicas básicas, basaltos y tobas básicas en clima templado típico subhúmedo, con pendientes medianamente inclinadas (5°-10°) y superficies planas (<1°), con agricultura de temporal, pastizal inducido y bosque de encino sobre Phaeozem lúvico, Luvisol crómico, Vertisol crómico y Leptosol lítico.
XXV	Planicies volcánicas acolinadas, ligera a fuertemente diseccionadas (15>DV<40 m/Km ²), formadas por basaltos, brechas volcánicas básicas y tobas básicas en clima templado típico húmedo, con pendientes ligeramente inclinadas (3°-5°) y superficies planas (<1°), con agricultura de temporal, de riego y humedad, pastizal inducido y halófilo, selva baja caducifolia, bosques; de encino, de pino, de pino-encino y de encinopino, tular, plantación forestal, área sin vegetación aparente y matorral crasicale sobre Vertisol pélico, Luvisol crómico y Andosol húmico.
XXXII	Montañas volcánicas, ligera a fuertemente diseccionadas (100>DV<500 m/km ²), formadas por andesitas-tobas intermedias, brechas volcánicas intermedias y latitas en clima templado semicálido subhúmedo, con pendientes fuertemente inclinadas (10°-30°), con bosques; de pino, de pino-encino, de encino y de encino-pino, selva baja caducifolia y mediana subcaducifolia, pastizal inducido y agricultura de temporal y de riego sobre Luvisol crómico, Phaeozem háplico y Leptosol lítico.

LFG	Descripción de la unidad
XXXIII	Montañas volcánicas, ligera a medianamente diseccionadas ($100 > DV < 500$ m/km ²), formadas por basaltos, tobas básicas y brechas volcánicas básicas en clima templado semicálido subhúmedo, con pendientes fuertemente inclinadas (10° - 30°), con selva baja caducifolia, bosques; de pino-encino, de pino, de encino y de encino-pino, agricultura de temporal y de riego y pastizal inducido sobre Andosol ócrico, Luvisol crómico y Leptosol lítico.
XL	Lomeríos volcánicos, ligera a fuertemente diseccionados ($40 > DV < 100$ m/Km ²), formados por basaltos, brechas volcánicas básicas y tobas básicas en clima templado semicálido subhúmedo, con pendientes medianamente inclinadas (5° - 10°) y superficies planas ($< 1^{\circ}$), con agricultura de temporal y de riego, selva baja caducifolia, bosques; de pino-encino, de pino, de encino-pino y de encino, pastizal inducido, matorral crasicaule y área sin vegetación aparente sobre Vertisol pélico, Andosoles; ócrico y húmico, y Luvisol crómico.
XLIV	Planicies volcánicas acolinadas, ligera a fuertemente diseccionadas ($15 > DV < 40$ m/Km ²), formadas por tobas ácidas, dacitas-brechas volcánicas y riolitas ácidas en clima templado semicálido subhúmedo, con pendientes ligeramente inclinadas (3° - 5°) y superficies planas ($< 1^{\circ}$), con agricultura de riego y de temporal, pastizal inducido, bosques; de pino-encino, de pino y de encino-pino y selva baja caducifolia sobre Vertisol pélico, Andosoles; ócrico y húmico, y Luvisol crómico.
LX	Lomeríos volcánicos, ligera a medianamente diseccionados ($40 > DV < 80$ m/km ²), formados por brechas volcánicas básicas, basaltos y tobas básicas en clima cálido subhúmedo, con pendientes medianamente inclinadas (5° - 10°) y superficies planas ($< 1^{\circ}$), con selva baja caducifolia y mediana subcaducifolia, agricultura de temporal y de riego, pastizal inducido, bosques; de pino-encino, de encino, de pino y de encino-pino y palmar inducido sobre Vertisol pélico, Luvisol crómico, Andosol ócrico y Leptosol lítico.

Fuente: Velasco (2014)

Figura 3. Porcentaje por Localidad Físico-Geográfica para el área de estudio



En resumen estas unidades comparten su origen, el cual es volcánico, las LFG de mayor proporción, abarcan en conjunto aproximadamente el 68% del área de estudio, éstas son: la XVII (31%), LX (14%), X (12%) y II (11%), de éstas, las Localidades XVII y LX representan el relieve de lomeríos con el 45%, seguido de las montañas con el 34% y la menor proporción, las planicies con el 11%. Otro elemento que las diferencia es el clima, mientras que el clima templado ocupa el 54% total del área, el clima semicálido es el segundo más abundante con el 35%; el cálido subhúmedo el 14% y por último, el que ocupa menor espacio es el semifrío con el 11%.

Los resultados se pueden analizar en cualquiera de las unidades mencionadas anteriormente, es decir, a partir de las cuencas o de las unidades de paisaje, sin embargo, se decidió hacer un cruce de estas dos capas de información y generar una nueva unidad, la cual se compone de la cuenca a la que pertenece y la porción o totalidad de la localidad físico-geográfica, con ello obtuvimos 61 unidades de análisis listadas en la tabla 5 y su distribución en la figura 4, esta base puede ser utilizada con fines de ordenamiento, planificación o evaluaciones medioambientales, dependiendo de los objetivos establecidos y de la escala que se pretenda emplear.

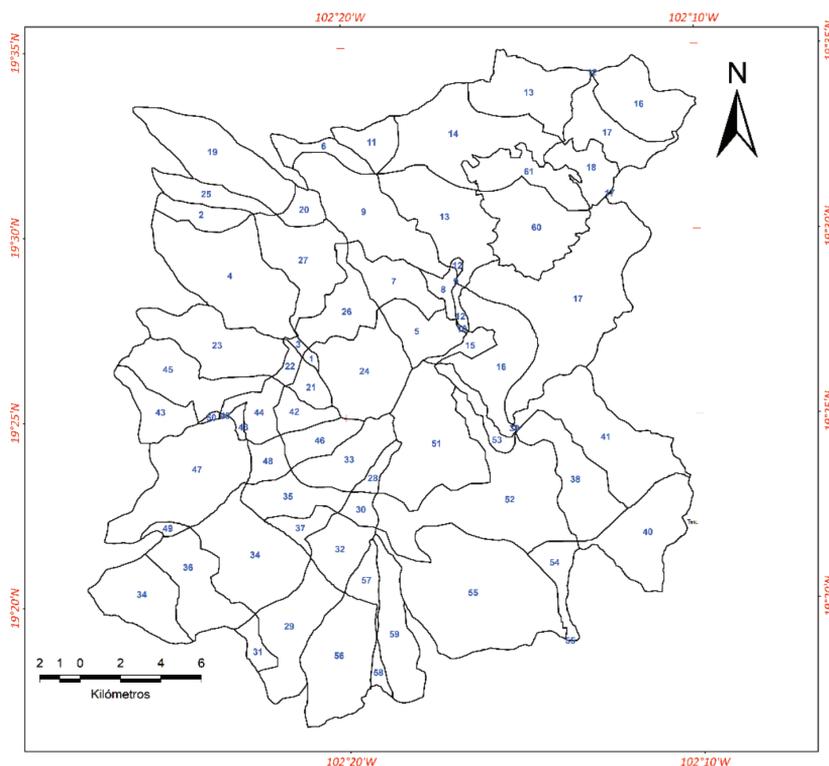
Tabla 5. Listado del cruce de cuencas y Localidades

Cuenca-Localidad	ID	Área (Km ²)
Cutio-II	1	0.50
Cutio-XLIV	2	4.67
Cutio-X	3	0.48
Cutio-XVII	4	26.01
San Francisco-II	5	7.84
San Francisco-XLIV	6	4.13
San Francisco-X	7	8.10
San Francisco-XI	8	2.14
San Francisco-XVII	9	19.57
Huandiestacato-II	10	0.11
Huandiestacato-XLIV	11	5.16
Huandiestacato-XI	12	1.27
Huandiestacato-XVII	13	32.13
Huandiestacato-XXV	14	22.07
Nureto-II	15	2.36

Cuenca-Localidad	ID	Área (Km²)
Nureto-XI	16	27.90
Nureto-XVII	17	48.13
Nureto-XXV	18	6.35
Chuanito-XLIV	19	17.53
Cuenca-Localidad	ID	Área (Km²)
Chuanito-XVII	20	3.12
Hoyicazuela-II	21	3.06
Hoyicazuela-X	22	1.59
Hoyicazuela-XVII	23	15.67
Chondo-II	24	16.87
Chondo-XLIV	25	5.56
Chondo-X	26	9.05
Chondo-XVII	27	14.07
Zirimóndiro-II	28	1.99
Zirimóndiro-LX	29	14.18
Zirimóndiro-X	30	2.41
Zirimóndiro-XXXIII	31	2.57
Zirimóndiro-XL	32	7.64
Tancítaro-II	33	9.43
Tancítaro-LX	34	32.43
Tancítaro-X	35	7.74
Tancítaro-XXXIII	36	13.24
Tancítaro-XL	37	3.23
Zacándaro-X	38	13.63
Zacándaro-XI	39	0.05
Zacándaro-XXXII	40	15.50
Zacándaro-XVII	41	21.95
Apo-II	42	4.01
Apo-LX	43	7.61
Apo-X	44	5.29
Apo-XVII	45	12.74
Cuenca Rodada-II	46	5.41
Cuenca Rodada-LX	47	23.38
Cuenca Rodada-X	48	3.68
Cuenca Rodada-XXXIII	49	1.07

Cuenca-Localidad	ID	Área (Km ²)
Cuenca Rodada-XVII	50	0.31
La Culebra-II	51	23.55
La Culebra-X	52	32.39
La Culebra-XI	53	3.27
La Culebra-XXXII	54	4.86
La Culebra-XL	55	38.55
El Chivo-LX	56	17.81
El Chivo-XL	57	3.38
La Gringa-LX	58	1.37
La Gringa-XL	59	11.11
Lavas de Paricutín-XVII	60	16.36
Lavas de Paricutín-XXV	61	9.15

Figura 4. Representación del cruce de cuencas y las Localidades Físico-Geográficas



Indicador de Uso de Suelo - LCI

Con base en el trabajo de [Mas et al., \(2016\)](#), se enlistan 14 clases de cobertura y uso de suelo para los años 2004, 2007 y 2014, donde no se aprecian cambios significativos en la cobertura durante estos años, ver tabla 6.

Tabla 6. Clases de uso de suelo y porcentaje de cada categoría para los años 2004, 2007 y 2014

Vegetación y uso de suelo	% 2004	% 2007	% 2014
Agricultura de riego	0.10	0.10	0.09
Agricultura de temporal	3.89	3.89	3.85
Asentamientos humanos	0.66	0.66	0.66
Bosque de encino/vegetación primaria arbórea	3.04	3.02	2.99
Bosque de encino/vegetación secundaria herbácea	2.27	2.29	2.27
Bosque de pino/vegetación primaria	17.99	17.96	17.91
Bosque de pino/vegetación secundaria	6.14	6.15	6.15
Bosque Pino encino/vegetación primaria	8.73	8.66	8.65
Bosque Pino encino/vegetación secundaria	8.59	8.661	8.30
Cultivo perenne	42.62	42.64	43.03
Pastizal inducido pastizal cultivado	0.35	0.35	0.47
Selva baja caducifolia/vegetación primaria	0.02	0.02	0.02
Selva baja caducifolia/vegetación secundaria	0.04	0.04	0.04
Sin vegetación aparente	5.56	5.56	5.55
Porcentaje Total	100	100	100

Las categorías con mayor área son los cultivos perennes con el 43%, el bosque de pino primario y secundario con el 24%; y bosque de pino-encino primario y secundario con 17%, aproximadamente, lo cual conforma el 84% del área de interés.

Con esta información se generó el Índice de Uso de Suelo (LCI), se reclasificó con los valores medios de referencia de cada clase de cubierta de suelo, de acuerdo con [Cecchi et al., \(2007\)](#), el cual toma como base el sistema CORINE⁵, estos asignan a las áreas con una mayor superficie urbana y dedicada a cultivos intensivos los mayores valores de contaminación difusa. Para este caso, las clases de cubierta con los mayores valores

5 El proyecto CORINE Land Cover (Coordination of Information on the Environment), también conocido por el acrónimo CLC, desarrolla la creación de una base de datos sobre la cubierta y uso del territorio en la Unión Europea.

son la agricultura de riego, los cultivos perenes, asentamientos humanos y la agricultura de temporal. Este insumo es clave para crear diferentes escenarios de planificación, para el caso particular de la región de estudio, a pesar de no haber cambios significativos para cada fecha, se decidió utilizar la cubierta y uso de suelo presentes para cada año.

Tabla 7. Vegetación y uso de suelo con su respectiva reclasificación según el sistema CORINE y el valor medio de potencial de contaminación

Vegetación y uso de suelo (Mas, 2016)	Clases de cubierta Sistema CORINE	Valor medio del potencial de contaminación
Agricultura de riego	Terrenos regados permanentemente	8.89
Agricultura de temporal	Tierras de labor en secano	6.33
Asentamientos humanos	Tejido urbano continuo	8.22
Bosque de encino/veg primaria arbórea	Bosques de coníferas	0.56
Bosque de encino/veg secundaria herbácea	Bosques de coníferas	0.56
Bosque de pino/veg primaria	Bosques de coníferas	0.56
Bosque de pino/veg secundaria	Bosques de coníferas	0.56
Bosque Pino encino/veg primaria	Bosque mixto	0.44
Bosque Pino encino/veg secundaria	Bosque mixto	0.44
Cultivo perenne	Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes	7.44
Pastizal inducido pastizal cultivado	Mosaico de cultivos	6.89
Selva baja caducifolia/veg primaria	Bosques de frondosas	0.56
Selva baja caducifolia/veg secundaria	Bosques de frondosas	0.56
Sin vegetación aparente	Espacios con vegetación escasa	0.89

Fuente: Elaboración propia

Indicador de Distancia - DI

La elaboración del DI, se hizo a partir de un insumo único que es la red hidrográfica. Para su elaboración, se calculó un mapa para los tres años y es importante hacer notar que la mayor parte de los elementos hídricos son sistemas lóticos, tales como ríos o arroyos en los que la gran mayoría corresponden a escurrimientos de tipo temporal y donde la mayor parte

de esta agua alimenta los mantos freáticos y manantiales, por lo que no se presentan cuerpos de agua lénticos superficiales con funciones de almacenamiento. Para este índice, los valores más altos parten de las celdas cercanas a la red de drenaje con valores de 1, y entre más se alejan de esta red el valor tiende a 0.

Indicador de Escorrentía - ROI

En el caso del Indicador de la Escorrentía, este se calculó por el método que establece la NOM-011-CONAGUA-2015, el cual permite determinar el coeficiente de escurrimiento, que está en función del tipo y uso de suelo (factor K); y del volumen de precipitación anual, además, se aplicó un factor de corrección de acuerdo con la pendiente. El factor K se obtuvo a partir de la intercepción de los tipos de suelo con el de cubiertas y uso de suelo, mientras que en cuanto a la precipitación se utilizó la media normal del periodo 1981-2010. Por otro lado, la pendiente en grados se generó a partir del MDT y reclasificó con base al factor de corrección (Cs), que se muestra en la tabla 8. Así, se calculó un mapa para cada año, en el cual los valores cercanos a 1 indican las áreas con alto escurrimiento superficial.

Tabla 8. Factor de corrección de pendiente (Cs)

Clase	Pendiente (°)	Cs
1	<2°50'	0
2	2°50' - 3°41'	0.1
3	3°41' - 4°32'	0.2
4	4°32' - 5°23'	0.3
5	5°23' - 6°14'	0.4
6	6°14' - 7°05'	0.5
7	7°05' - 7°56'	0.6
8	7°56' - 8°47'	0.7
9	8°47' - 9°38'	0.8
10	9°38' - 10°29'	0.9
11	>10°29'	1.0

Fuente: *Cecchi et al. (2007)*

Indicador de Precipitación Anual - API

Si observamos los valores de precipitación media anual del periodo base y los promedios anuales por año de la tabla 9, se puede apreciar que los valores del año 2004 superan los valores de los datos normales de los últimos 30 años, lo que implica que los resultados del API están por encima de 1, incrementando los valores finales del MPNPI. Además, se aprecia que los valores se incrementan de poniente al occidente y que esta misma distribución se presenta para el 2007. Sin embargo, este año en particular presenta los datos más bajos de precipitación, ya que en el 2014 se muestran valores de precipitación por debajo de los datos del periodo, aunque por encima del 2007. En este sentido, un cambio que lo distingue es la distribución espacial del valor de API, incrementando los valores de sur a norte; lo cual se puede observar en la Figura 5 la distribución del API para los años 2004 A y 2014 B

Figura 5. Mapas de API para los años 2004 (A) y 2014 (B)

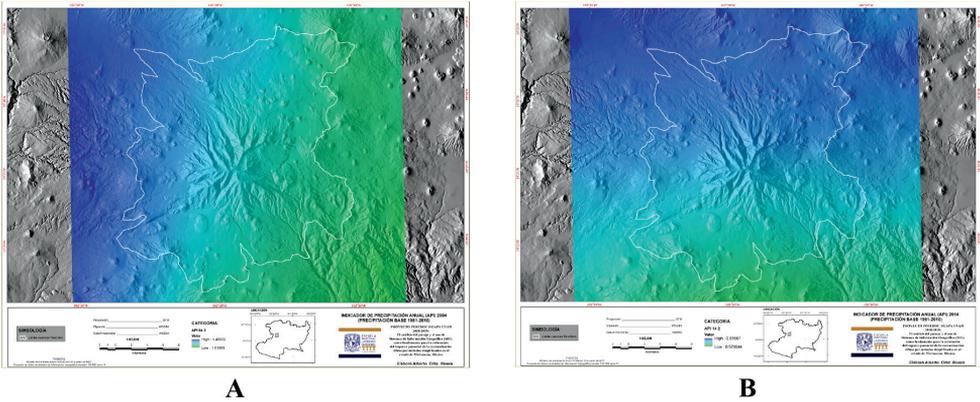


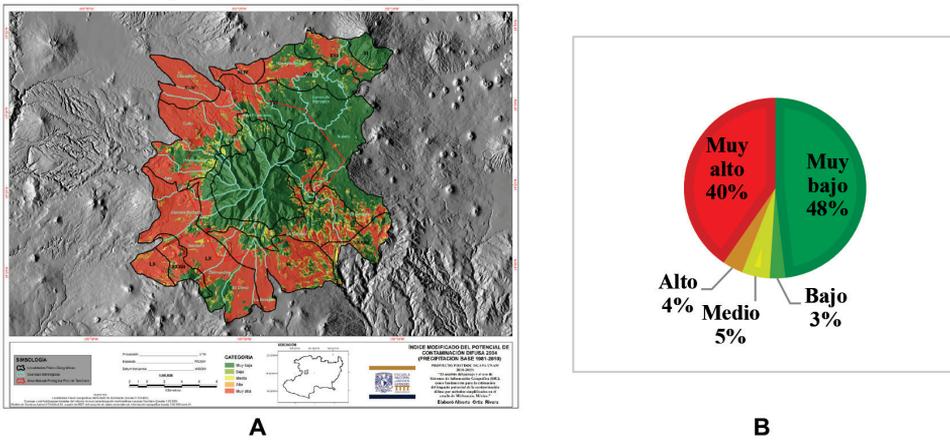
Tabla 9. Datos de precipitación con los valores máximo, mínimos para el periodo base y cada año de estudio, así como los valores de API de cada año

Tiempo	Precipitación	Máximo (mm)	Mínimo (mm)	API Máximo	API Mínimo
Periodo	1981 al 2010	957.8	797.1	-	-
Anual	2004-2005	1148.6	907.7	1.42	1.01
Anual	2007-2008	678.1	484.2	0.84	0.54
Anual	2014-2015	732	534.8	0.9	0.57

Índice Modificado del Potencial de Contaminación difusa (MPNPI)

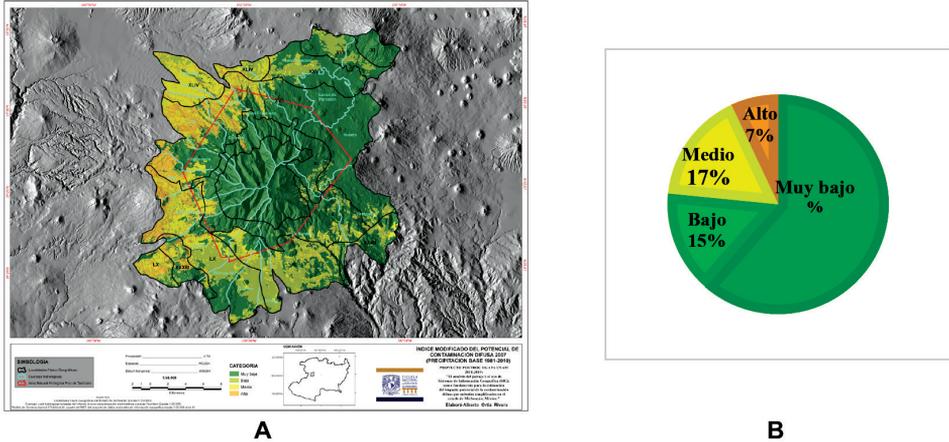
De acuerdo con el modelo generado para el año 2004, la porción de contaminación difusa con potencial Muy bajo abarca un 48%, mientras que el 40% pertenece a la categoría de Muy alto potencial. La distribución espacial se observa en la figura 6A y los valores en porcentaje para el área en general en la figura 6B.

Figura 6. A. Mapa del MPNPI del año 2004. B. Gráfica del porcentaje ocupado por categoría para la zona de estudio del 2004



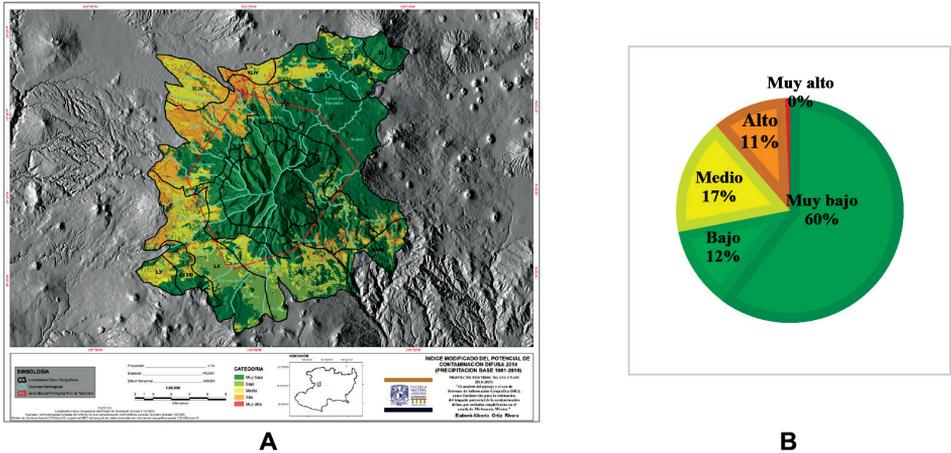
En contraste para el modelo del año 2007, la porción del potencial de contaminación difusa Muy baja alcanza un 61%, no se presentan datos para la categoría Muy alta y menos del 10 % pertenece a la categoría Alto potencial de contaminación difusa. Ver figura 7A que corresponde al mapa y la 7B que representa la gráfica de porcentaje de las categorías para el área en general.

Figura 7. A. Mapa del MPNPI del año 2007. B. Gráfica del porcentaje ocupado por categoría para la zona de estudio del 2007



En el modelo del año 2014, la porción de contaminación difusa con potencial Muy bajo abarca un 60 %, mientras que menos del 1% pertenece a la categoría 5 de muy alto potencial. Ver figura 8A que muestra el mapa y la 8B que corresponde a la gráfica de porcentaje de las categorías para el área en general.

Figura 8.A. Mapa del MPNPI del año 2014. B. Gráfica del porcentaje ocupado por categoría para la zona de estudio del 2014



Al comparar los tres años, generalizando la información a partir del valor medio del MPNPI por unidad espacial de análisis cuenca-localidad f-g, tomando como base la mayor cantidad de unidades con potencial Medio a Muy alto (que corresponden con las clases 3, 4 y 5), el año 2004 presenta el mayor número, con un total de 27 unidades; 19 de ellas con Muy alto potencial, 5 con Alto potencial y 3 con Medio potencial. En contraparte, se distingue la misma cantidad para los años 2007 y 2014; con el menor número de espacios con potencial con clases de 3 a 5, con un total de 11 unidades para cada año, siendo que, en el 2007, todas sus unidades se encontraron con potencial Medio; mientras que para el 2014, una es de potencial Alto y los 10 restantes cayeron en la categoría de potencial Medio. En la tabla 10 se enlistan estas unidades y se diferencian aquellas que coinciden en los tres años, solo para las clases que van del 3 al 5.

Tabla 10. Comparativo para cada año de unidades Cuenca-Localidad tomando como base el año de mayor precipitación (2004), con clases de MPNPI 3 a 5

Cuenca-localidad f-g	ID	Área Km ²	Media 04	clase MPNPI 04	Media 07	clase MPNPI 07	Media 14	clase MPNPI 14
*Chuanito-XLIV	19	17.53	9.71	5	5.73	3	6.19	3
*Chuanito-XVII	20	3.12	9.79	5	5.79	3	6.37	3
*Chondo-XLIV	25	5.56	9.97	5	5.91	3	6.31	3
*Chondo-XVII	27	14.07	7.86	5		2		2
*Cutio-XLIV	2	4.67	10.09	5	6.01	3	6.36	3
*Cutio-XVII	4	26.01	8.79	5	5.28	3	5.53	3
*San Francisco-XLIV	6	4.13	9.95	5	5.84	3	6.53	4
*San Francisco-XVII	9	19.57	6.09	3		1		1
*Huandiestacato-XLIV	11	5.16	9.31	5	5.45	3	6.16	3
*Apo-LX	43	7.61	10.81	5	6.34	3	6.53	3
*Apo-XVII	45	12.74	9.46	5	5.62	3	5.7	3
Cuenca Rodada-XVII	50	0.31	10.31	5	6.08	3	6.14	3
Cuenca Rodada-XXXIII	49	1.01	9.57	5		2		2
*Cuenca Rodada-LX	47	23.38	10.01	5	5.79	3	5.77	3
Cuenca Rodada-X	48	3.68	7.35	4		1		1
Tancitaro-LX	34	32.43	8.95	5		2		2
Tancitaro-XXXIII	36	13.24	7.62	5		1		1

Cuenca-localidad f-g	ID	Área Km ²	Media 04	clase MPNPI 04	Media 07	clase MPNPI 07	Media 14	clase MPNPI 14
Tancitaro-XL	37	3.23	8.03	5		2		1
Zirimandiro-XL	32	7.62	7.29	4		1		1
Zirimandiro-LX	29	14.18	5.88	3		1		1
El Chivo-XL	57	3.38	8.5	5		2		2
El Chivo-LX	56	17.81	7.29	4		1		1
La Gringa-LX	58	1.37	8.64	5		2		2
La Gringa-XL	59	11.11	7.98	5		2		2
La Culebra-XL	55	38.55	7.42	4		1		2
La Culebra-XXXII	54	4.86	6.51	4		1		1
Zacandaro-X	38	13.63	6.01	3		1		1

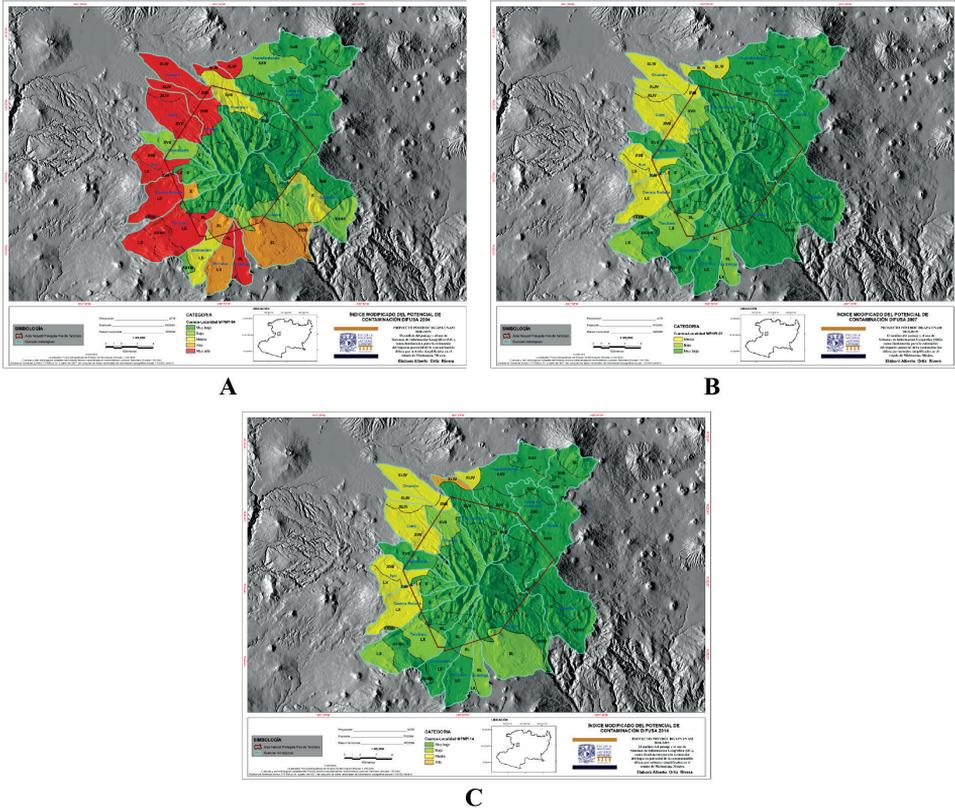
*Coincidencia espacial de unidades para los tres años, con base en las clases 3 a 5 de MPNPI

Aunque cada unidad cuenca-localidad tiene características propias, es posible organizarlas en tres grupos relacionados con su relieve y clima; el grupo Cutio-Apo-Chuanito-Rodada-XVII de lomeríos en clima templado subhúmedo con cultivos perennes, agricultura de temporal y riego; y bosque de pino con vegetación primaria sobre Andosol húmico; otro grupo es el conformado por Chuanito-Chondo-Huandiestacato-Cutio-San Francisco-XLIV de planicies en clima templado semicálido subhúmedo con cultivos perennes sobre Andosoles; húmico y ócrico, y Cambisol crómico; y por último el grupo Rodada-Apo-LX de lomeríos en clima cálido subhúmedo con cultivos perennes; bosque de pino con vegetación secundaria y primaria; y pastizal sobre Vertisol pélico, Luvisol crómico, Andosol ócrico y Leptosol lítico (ver tabla 11). En la figura 9 A, B y C se muestra la distribución de las categorías de potencial de contaminación de las unidades para cada año.

Tabla 11. Caracterización de la unidad cuenca-localidad y agrupamiento de acuerdo con el relieve y clima

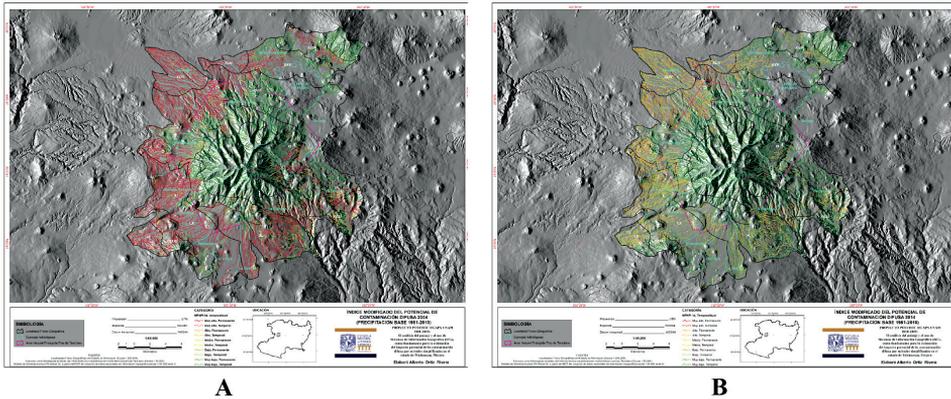
Cuenca-Localidad	Descripción
Cutio-XVII	Lomeríos volcánicos, ligera a fuertemente diseccionados ($40 > DV < 100$ m/Km ²), formados por brechas volcánicas básicas, basaltos y tobas básicas en clima templado típico subhúmedo, con pendientes medianamente inclinadas (5° - 10°) y superficies planas ($< 1^{\circ}$)
Chuanito-XVII	con cultivos perennes, agricultura de temporal y riego; y bosque de pino con vegetación primaria sobre Andosol húmico.
Apo-XVII	con cultivos perennes, agricultura de temporal y riego; y bosque de pino con vegetación primaria sobre Andosoles; húmico y órtico
Cuenca Rodada-XVII	con cultivos perennes, bosque de pino con vegetación primaria y secundaria; y agricultura de temporal sobre Andosoles; húmico y órtico
Cutio-XLIV	con cultivos perennes sobre Andosoles; húmico y órtico
Chuanito-XLIV	con cultivos perennes sobre Andosoles; húmico y órtico, y Cambisol crómico.
Chondo-XLIV	con cultivos perennes sobre Andosoles; húmico y órtico
San Francisco-XLIV	con cultivos perennes, bosques; de pino-encino y pino; con vegetación primaria y agricultura de temporal sobre Andosol húmico.
Huandiestacato-XLIV	con pendientes ligeramente inclinadas (3° - 5°) y superficies planas ($< 1^{\circ}$), con cultivos perennes sobre Andosol húmico y Regosol déstrico
Apo-LX	Lomeríos volcánicos, ligera a medianamente diseccionados ($40 > DV < 80$ m/km ²), formados por brechas volcánicas básicas, basaltos y tobas básicas en clima cálido subhúmedo, con pendientes medianamente inclinadas (5° - 10°) y superficies planas ($< 1^{\circ}$)
Cuenca Rodada-LX	con cultivos perennes y bosque de pino con vegetación secundaria y primaria; sobre Andosoles; húmico y órtico
	con cultivos perennes; bosque de pino con vegetación secundaria y primaria; y pastizal sobre Vertisol pélico, Luvisol crómico, Andosol órtico y Leptosol lítico.

Figura 9. Mapas del MPNPI para cada unidad Cuenca-Localidad para los años 2004 (A), 2007 (B) y 2014 (C)



En otra escala de análisis de mayor detalle, la red de drenaje nos proporciona un ejemplo de cómo el índice puede ser utilizado para ayudar a la administración de actividades de monitoreo; este identifica tramos fluviales que sufren presión importante de contaminación difusa, por lo tanto, se pueden tomar medidas específicas de control y protección. En la figura 10, en los mapas A del 2004 y B del 2014, se pueden distinguir las secciones de ríos con sus diferentes categorías de potencial de contaminación difusa.

Figura 10. Mapa del MPNPI de la hidrografía superficial para el año 2004 A y 2014 B.



Discusión

De acuerdo con los resultados del índice modificado de contaminación difusa para el Área de protección de flora y fauna Pico de Tancitaro, y con base en los datos cualitativos de los tres años, podemos aseverar en general, que las cuencas que coinciden espacialmente son Chuanito, Chondo y Cutio al noroeste; San Francisco y Huandiestacato al norte; Apo y Cuenca Rodada al oeste; aunque con diferentes categorías de potencial que va del Medio a Muy alto. De acuerdo con Fuentes (2002), el autor menciona que estas cuencas presentaban escurrimientos permanentes, a excepción de San Francisco, sin embargo, desde la década de los 90, estos escurrimientos desaparecen durante las secas; esto debido a que en esta región se hace uso intensivo del agua para el riego de las huertas de frutales.

Al interior de estas cuencas encontramos unidades de paisaje que nos permiten diferenciar unidades homogéneas y el enfoque físico-geográfico nos ofrece una visión sistémica integral del ambiente; en particular, las localidades físico-geográficas XVII y XLIV dividen las cuencas de Chuanito, Chondo y Cutio, básicamente en dos formas del relieve-clima principales, que son lomeríos en clima templado típico subhúmedo y planicies en clima templado semicálido subhúmedo, en estas zonas se presentan sistemas permanentes que tienen un alto potencial de contaminación difusa. Por otra parte, se encuentran las fracciones afectadas de las cuencas de San Francisco y Huandiestacato con la localidad XLIV, definida por la

unidad de relieve-clima del tipo planicies en clima templado semicálido subhúmedo. Mientras que la combinación de porciones de las cuencas Apo y Rodada con las Localidades XVII y LX, ambas unidades representan relieve de lomeríos diferenciándose por sus climas de tipo templado subhúmedo y cálido subhúmedo respectivamente.

Estos datos son el resultado del análisis de tres años con diferentes características de precipitación; si bien el indicador del uso de suelo es el del coeficiente más alto y por tanto el principal, este permite hacer una primera diferenciación del Índice Modificado del Potencial de Contaminación Difusa, demarcando las zonas de cultivos perennes, los cuales son los de mayor proporción con relación a cualquier otro uso con alto valor del LCI.

Por su parte, el indicador API es el que nos define el grado y distribución final del modelo MPNPI. Para años con alta precipitación el potencial de contaminación se puede ampliar, ya que prácticamente todas las cuencas presentan algún grado de afectación, y al ser ubicado y delimitado; éste puede ser analizado a través de unidades auxiliares de análisis espacial que muestren la caracterización de los componentes del paisaje, que incluya un sistema de clasificación taxonómica para obtener una mejor comprensión de la conformación del espacio geográfico desde el nivel regional hasta el local.

En particular, la región que compone el APFFPT, de acuerdo con [Torres y Bocco \(1999\)](#), es una de las áreas más importantes de producción de aguacate de exportación, pertenece a la zona conocida como “el corredor aguacatero” de Uruapan; mote que le otorga una gran singularidad y prestigio en el ámbito agrícola, pero que también le confiere una gran presión y constante amenaza principalmente, por intereses económicos relacionados con el cambio de uso de suelo, la utilización del agua con fines de riego y la contaminación difusa que conlleva la aplicación de fertilizantes y agroquímicos a estos cultivos.

En un escenario dirigido a la expansión del cultivo de aguacate sobre tierras agrícolas y bosques, [Garibay y Bocco \(2011\)](#), afirman que dicho escenario implicaría un cambio de régimen hídrico que puede llevar a la misma fruticultura a una escasez de humedad disponible para sus cultivos. Mientras que el escenario ideal, requiere de la organización regional que detenga la expansión de fruticultura sobre las tierras boscosas y el impulso de un sistema de pago por servicios ambientales a los dueños de los bosques que promuevan la conservación y recuperación de las cubiertas

forestales; limitar y regular el uso de agroquímicos y emprender el uso de buenas prácticas de manejo en zonas productivas.

El panorama para México sobre el control de la contaminación difusa del agua en el ámbito agrícola, según [Aguilar y Pérez \(2008\)](#), requiere de un marco legal y regulatorio de mayor precisión y de medidas de política ambiental que hagan operativas las disposiciones jurídicas. Se debe reconocer que formular leyes y establecer normas de calidad del agua no son suficientes para controlar su contaminación; por lo que es necesario ir más allá y ver la necesidad de implementar incentivos económicos positivos que gratifiquen el cumplimiento, por un lado, e incentivos negativos que sancionen el incumplimiento por el otro, así como la conveniencia de llevar a cabo planes y programas de educación, de asistencia técnica y de extensión.

Conclusiones

Dentro del análisis convencional de cuencas y por medio de parámetros hidrométricos, se pueden identificar aquellas con problemas, no obstante, puede tornarse compleja la toma de decisiones para grandes cuencas con fines del ordenamiento, planeamiento, manejo o monitoreo de recursos. Emplear una visión integral como la que nos ofrece el enfoque físico-geográfico y la cartografía de unidades espaciales como la de los paisajes físico-geográficos, nos permite identificar y diferenciar al interior de la cuenca espacios homogéneos que constituyen la base espacial de análisis, lo que permite proponer y aplicar las medidas pertinentes para mitigar o contener, en la medida de lo posible, la contaminación difusa.

La gran ventaja que ofrece la aplicación del MPNPI, es que visibiliza las áreas sensibles para la producción de contaminación difusa aplicable a diferentes unidades de análisis y escalas, a través de un esfuerzo relativamente pequeño que puede reducir tiempos y recursos de análisis más profundos en situaciones críticas.

Se trata entonces, de una herramienta de ordenamiento hidrológico estratégico para la definición de áreas que necesitan de acciones prioritarias para el control de la contaminación difusa, al poder realizar escenarios relacionados con los cambios del uso de suelo o modelar escenarios de cambio climático. Sin embargo, es necesario aclarar que con esta metodología no es posible determinar cuáles contaminantes y en qué cantidades

afectan a los diferentes sistemas acuáticos y con ello establecer medidas de control más precisas.

Por lo tanto, este modelo nos ofrece una aproximación cualitativa que pudiera ser muy útil ante la falta de datos de mayor resolución para la aplicación de otros modelos estadísticos o físicos más complejos.

La confiabilidad de la herramienta radica en la consulta de un gran número de especialistas para la selección de los pesos de los indicadores y de los diferentes valores de los diferentes usos del suelo, lo que permite su aplicación en diferentes condiciones regionales o locales específicas.

Agradecimientos

Alberto Ortiz agradece a la DGAPA-UNAM, la beca de posdoctorado 2018-2019, otorgada para la realización del proyecto “El análisis del paisaje y el uso de sistemas de información geográfica (SIG), como fundamento para la estimación del impacto potencial de la contaminación difusa por métodos simplificados en el estado de Michoacán, México.”, así como también a la ENES-UNAM Campus Morelia, lugar de la estancia de investigación, así como al Dr. Manuel Bollo Manent del Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental por la revisión del manuscrito.

Referencias

- Aighewi, I. T., Nosakhare, O. K. y Ishaque, A. B. (2012). Land Use–Land Cover Changes and Sewage Loading in the Lower Eastern Shore Watersheds and Coastal Bays of Maryland: Implications for Surface Water Quality. *Journal of Coastal Research*, 1073-1082.
- Aguilar, A. y Pérez R. H. (2008). La contaminación agrícola del agua en México: retos y perspectivas. *Problemas del desarrollo*, 39(153), 205-215. Disponible: 06 de junio de 2019 http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S030170362008000200009&lng=es&tlng=es.
- Bravo, I. L., Saldaña F. P., Izurieta, D. J. y Mijangos, C.M. (2013). *La importancia de la contaminación difusa en México y en el mundo*. Atl. El Portal del agua desde México. Jiutepec, Mor., 10.
- Bollo, M. y Velasco, W. E. (2018). El Estado del Medio Ambiente en Michoacán de Ocampo. México. *Cuadernos Geográficos* 57(3),

- 118-139 Disponible: 18 de mayo de 2019 <http://revistaseug.ugr.es/index.php/cuadgeo/article/view/6504>
- Camargo, J. y Alonso, A. (2007). Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático. *Revista Ecosistemas*, 16(2).
- Carabias, J. (2005). *Agua, medio ambiente y sociedad: hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México*/ Julia Carabias, Rosalva Landa; con la colaboración de Jaime Collado, Polioptro Martínez; 1a ed. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México: El Colegio de México: Fundación Gonzalo Río Arronte.
- Cecchi, G., Munafò, M., Baiocco, F., Andreani, P. y Mancini, L. (2007). Estimating river pollution from diffuse sources in the Viterbo province using the potential non-point pollution index. *Annali dell' Istituto superiore di sanità*, 43(3), 295-301.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). (2011). *Agenda del Agua 2030*. SEMARNAT. México, D.F. pp. 66 Disponible: 20 de mayo de 2019 http://gia.imta.mx/geoportal/docs/Agenda_Agua_2030.pdf
- Contreras, E., Aguilar, C. y Polo, M. (2011). Método simplificado de estimación del potencial de contaminación difusa: Aplicación a las cuencas vertientes del estuario del Gualdavir. *Estudios en la Zona No Saturada del Suelo* Vol. X. ZNS'11. 10. 217-222
- Cotler, H. (2007). *El Manejo Integral de Cuencas en México. Estudios y Reflexiones para Orientar la Política Ambiental*. (2da ed.). D.F. México: SEMARNAT-INE.
- Cotler, H. (2010). *Las Cuencas Hidrográficas de México. Diagnóstico y Priorización*. SEMARNAT, INE, Fundación Gonzalo Río Arronte; 1ra. Edición. Pluralia Ediciones e Impresiones S.A. de C.V. México
- Diario Oficial de la Federación. (2009, 19 agosto). Decreto por el que se declara Área Natural Protegida, con el carácter de Área de Protección de Flora y Fauna, la región denominada Pico de Tancítaro, ubicada en los municipios de Tancítaro, Peribán de Ramos, Nuevo Parangaricutiro y Uruapan, en el estado de Michoacán.
- Fuentes-Junco, J. J. A. (2002). Cuencas y áreas naturales protegidas: el manejo integrado de los recursos naturales en el Pico de Tancítaro, Michoacán. *Gaceta Ecológica* (julio-septiembre). Disponible: 20

de abril de 2019 <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53906404>>
ISSN 1405-2849

- Garibay, C. y Bocco, G. (2011). Cambios de uso del suelo en la meseta purépecha (1976- 2005), México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales/Instituto Nacional de Ecología/Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental/UNAM.
- Haupt, J. P. O. (2009). *Metodologia para avaliação do potencial de produção de poluição difusa: estudo de caso da bacia do Rio Jundiáí*. (Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo). Disponible en 21 de abril 2019 <http://www.teses.usp.br>
- IPCC. (2001). *Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2001: Synthesis Report*.
- Jiang, T., Huo, S., Xi, B., Su, J., Hou, H., Yu, H. y Li, X. (2014). The influences of land-use changes on the absorbed nitrogen and phosphorus loadings in the drainage basin of Lake Chaohu, China. *Environmental Earth Sciences*, 71(9), 4165-4176.
- Mas, J. F., Lemoine, R. y González, R. (2016). *Monitoreo de la cubierta del suelo y la deforestación en el Estado de Michoacán: un análisis de cambios mediante sensores remotos a escala regional*. Morelia, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental-Universidad Nacional Autónoma de México. Cartografía disponible en: <http://www.ciga.unam.mx/wrappers/proyectoActual/monitoreo/>
- Munafò, M., Cecchi, G., Baiocco, F. y Mancini, L. (2005). River pollution from non-point sources: a new simplified method of assessment. *Journal of Environmental Management*, 77(2), 93-98.
- Novotny, V. (2002). *Water quality - Diffuse pollution and watershed management*. 2nd Edition. New York: John Wiley & Sons.
- Torres, A. y Bocco, G., (1999). Cambio de uso de suelo por cultivo de aguacate en la Meseta Tarasca, Michoacán para los años de 1970 y 1990/92. En: Bocco G. y M. Mendoza, (1999). *Evaluación de los cambios de la cobertura vegetal y uso del suelo en Michoacán (1975-1995)*. Lineamientos para la ordenación ecológica de su territorio. Programa SIMORELOS-CONACYT. Informe Técnico. Departamento de Ecología de los Recursos Naturales, Instituto de Ecología, UNAM, Campus Morelia. Michoacán, México.

- Valdés, A. y Hernández, J. (2018). Zonas funcionales y unidades de paisaje físico-geográfico en la microcuenca Potrero de la Palmita, Nayarit, México. *Revista Geográfica de América Central*, 60, 189-229. 45-64.
- Velazco, W. (2014). *Evaluación del estado ambiental de Michoacán a partir de la Tipología Físico-Geográfica Regional*. (Tesis de Maestría. Posgrado en Geografía. Centro de Investigaciones en Geografía). UNAM.
- Yang, H., Wang, G., Wang, L. y Zheng, B. (2015). Impact of land use changes on water quality in headwaters of the Three Gorges Reservoir. *Environmental Science and Pollution Research*, 113.
- Zhuang, Y., Hong, S., Zhan, F. B. y Zhang, L. (2015). Influencing factor analysis of phosphorus loads from non-point source: a case study in central China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(11).



Abordagem sistêmica do cenário de desmatamento no Haiti: uma aparente relação com os eventos extremos

Systemic approach to the phenomenon of deforestation in Haiti: an apparent relationship with natural disasters

Enfoque sistémico del fenómeno de deforestación en Haití: una relación aparente con catástrofes naturales

Ralph Charles¹

Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, Brasil

Regina Célia de Oliveira²

Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, Brasil

Rafael Vinícius São José³

Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, Brasil

Resumo

O desmatamento é considerado como um dos mais graves problemas ambientais da atualidade, pois além de devastar as florestas e os recursos naturais, compromete o equilíbrio do planeta em seus diversos elementos, incluindo os ecossistemas, afetando gravemente também a economia e a sociedade. No Haiti, o desmatamento começou no período da colonização que resultou na substituição de floresta virgem para plantar outras culturas que conseqüentemente mudou o funcionamento sistêmico da paisagem. Nesta perspectiva, esta pesquisa objetiva analisar o desmatamento neste território, buscando apresentar uma aparente relação com o grau de devastação das florestas e a alta sensibilidade deste país em relação aos eventos extremos. Os principais resultados demonstram que

- 1 Mestrando em Geografia, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, Brasil. Correo electrónico: cral-ph001@yahoo.fr. <https://orcid.org/0000-0002-1942-1062>
- 2 Professora, doutora, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, Brasil. Correo electrónico: reginacoliveira@unicamp.br
- 3 Doutorando em Geografia, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, Brasil. Correo electrónico: rafauniversitario16@hotmail.com

este cenário de elevada degradação ambiental pode ter peso grande sobre a sensibilidade ambiental do país e a sua suscetibilidade à ocorrência de frequentes eventos físicos.

Palavras-chave: Impactos Ambientais; Fenômenos naturais; Susceptibilidade; Diagnóstico Ambiental.

Abstract

Deforestation is considered one of the most serious current environmental problems, in addition to the devastation of forests and natural resources, it compromises the planet's balance in its various elements, including ecosystems, which seriously affect the economy and society. In Haiti, deforestation began in the colonization period and resulted in the replacement of virgin forest with agricultural land, which consequently changed the systemic functioning of the landscape. Under this perspective, the present research aims to analyze the negation in this territory, seeking to present an apparent relationship between the degree of forest devastation and the country's high sensitivity to natural disasters. The main results suggest that this scenario of high environmental degradation can have a great burden on the country's environmental sensitivity and its susceptibility to frequent natural disasters.

Keywords: Environmental impacts; Natural phenomena; Susceptibility; Environmental diagnosis.

Resumen

La deforestación se considera uno de los problemas ambientales más graves de la actualidad porque, además de los bosques devastadores y los recursos naturales, compromete el equilibrio del planeta en sus diversos elementos, incluidos los ecosistemas, que afectan gravemente a la economía y la sociedad. En Haití, la deforestación comenzó en el período de colonización que resultó en el reemplazo del bosque virgen para plantar otros cultivos, lo que en consecuencia cambió el funcionamiento sistémico del paisaje. En esta perspectiva, esta investigación tiene como objetivo analizar la negación en este territorio, buscando presentar una relación aparente con el grado de devastación forestal y la alta sensibilidad de este país en relación con eventos extremos. Los principales resultados muestran que este escenario de alta degradación ambiental puede tener un gran peso en la sensibilidad ambiental del país y su susceptibilidad a eventos físicos frecuentes.

Palabras clave: Impactos Ambientales; Fenómenos naturales; Susceptibilidad; Diagnóstico Ambiental.

Introdução

Sabe-se que as florestas são de extrema relevância para a preservação do solo, a regulagem da água, os ciclos de nutrientes, o equilíbrio das trocas de gases na atmosfera e a estabilidade climática, além do que sem elas, as formas evoluídas de vida terrestre no globo estariam sujeitas à extinção (Marques Filho, 2018). De acordo com este autor, a partir de 1980, o desmatamento global aparenta ter alcançado seu paroxismo, uma vez que

estimativas atuais demonstram que um quarto da perda florestal, em escala planetária, dos anos mais recentes foi destruído nos últimos 30 anos.

Em um contexto global, tem-se observado que os principais motivos responsáveis pela redução dos tamanhos das florestas naturais são a ocorrência de incêndios, cortes de árvores para propósitos comerciais e devastação de terras para utilização da agropecuária (Arraes *et al.*, 2012). Estes autores escrevem que historicamente o ser humano tem se beneficiado da remoção de árvores para diversos usos, como fonte de energia, construções de habitações e tornar a terra disponível para a atividade agrícola.

Nas regiões dos trópicos ou de baixas latitudes, o desmatamento constitui um dos problemas mais graves (Conti, 2011) e vem ocorrendo de forma acelerada (Marquez Filho, 2018). Esta devastação em decurso das florestas tropicais é um processo de alta gravidade, que ameaça existencialmente a biosfera terrestre (Marquez Filho, 2018). Estimativa do World Wildlife (WWF) reconhece que mais de 40% das florestas já foram devastadas e apresenta os países onde o desmatamento é mais intenso, como, por exemplo, Filipinas, Tailândia, Malásia, Índia, Bangladesh, Sri Lanka, Costa do Marfim, Congo, Nigéria, Gana, Haiti e Brasil (Conti, 2011).

No caso do Haiti, observa-se que historicamente o país vem enfrentando problemas em decorrência da elevada taxa de desmatamento e que este problema pode contribuir para aumentar a sua sensibilidade em relação a ocorrências de fenômenos naturais (recorrentes) como terremoto, furacão, secas e enchentes.

Pelo fato do desmatamento contribuir para agravar os impactos ocasionados por estes fenômenos físicos, promovendo reflexos, inclusive, na qualidade de vida da população deste país, a preocupação com a questão ambiental no Haiti constitui um tema de indiscutível relevância. Nesta perspectiva, o presente estudo objetiva descrever e analisar as principais causas e consequências do desmatamento no território haitiano, desde o período colonial até os dias atuais.

Posteriormente, pesquisadores de diversas partes do mundo vêm demonstrando que a devastação das florestas reflete no clima. Para Conti (2012) devido a esta devastação, grandes extensões de solos nus ficam expostas, episódio que contribui para alterar a refletância da superfície, aumentando os valores do albedo. Ainda, segundo este autor, este fato impulsiona à redução de energia térmica disponível, implicando na ausência

de formação de correntes convectivas ascendentes e, conseqüentemente, no desestímulo da formação de precipitações pluviométricas. **Marquez Filho (2018)** também corrobora com esta discussão. Ele relata pesquisas demonstrando que áreas desmatadas de apenas algumas centenas de hectares são capazes de alterar a circulação no ar na baixa atmosfera, afetando a formação de nuvens locais e a pluviometria. Além disso, pesquisas relatadas por este autor destacam que a massa de ar quente e seca das áreas desmatadas propende a subir, gerando zonas de baixa pressão atmosférica e de convecção, facilitando a formação de tempestades. O ar fresco e úmido sobre as florestas é sugado por esse vácuo, diminuindo a umidade das florestas e reforçando a probabilidade de ocorrência de tempestades locais.

Embora a discussão apresentada acima não seja objeto deste estudo, trazê-la em questão é fundamental devido o elevado grau de desmatamento no território haitiano, o que, conseqüentemente, deve influenciar no padrão climático deste local, sujeito a frequentes ocorrências de eventos físicos. Para tanto, é imprescindível a compreensão destes fenômenos, bem como a interferência da ação antrópica na ocorrência destes eventos naturais.

Procedimentos metodológicos

A pesquisa foi desenvolvida preliminarmente com a visão geral sobre os problemas ambientais de âmbito nacional (no território Haiti) que provém desde a colonização. Para tanto, a análise do estado ambiental da área estudada foi realizada a partir de uma visão geossistêmica, uma vez que a partir desta abordagem a natureza passa a ser entendida pelas conexões entre os diferentes fatores naturais.

Adicionalmente, procuraram-se dados bibliográficos sobre os temas de funcionalização, espaço urbano e legislação urbana. Foram consultados os acervos documentais do Institut Haitien de Statistique et d'informatique – IHSI e le Ministère de l'environnement, tendo como objetivo levantar informações que subsidiassem a análise da dinâmica de ocupação, uso de solo urbano na área de estudo e, especialmente, relatar o cenário ambiental.

Consultou-se, também, fontes, como, por exemplo, a Organização das Nações Unidas (ONU, 2010) e AlterPresse, periódico de grande circulação no país, para descrever os danos registrados no Haiti após a ocorrência de catástrofes naturais (furacões, inundações e terremotos). Do ponto de vista cartográfico, foi elaborado o mapa de localização da área de

estudo, na escala 1: 100.000, utilizando imagens orbitais, disponibilizadas no Google Earth, manipulada no software Arc Gis 10.1.

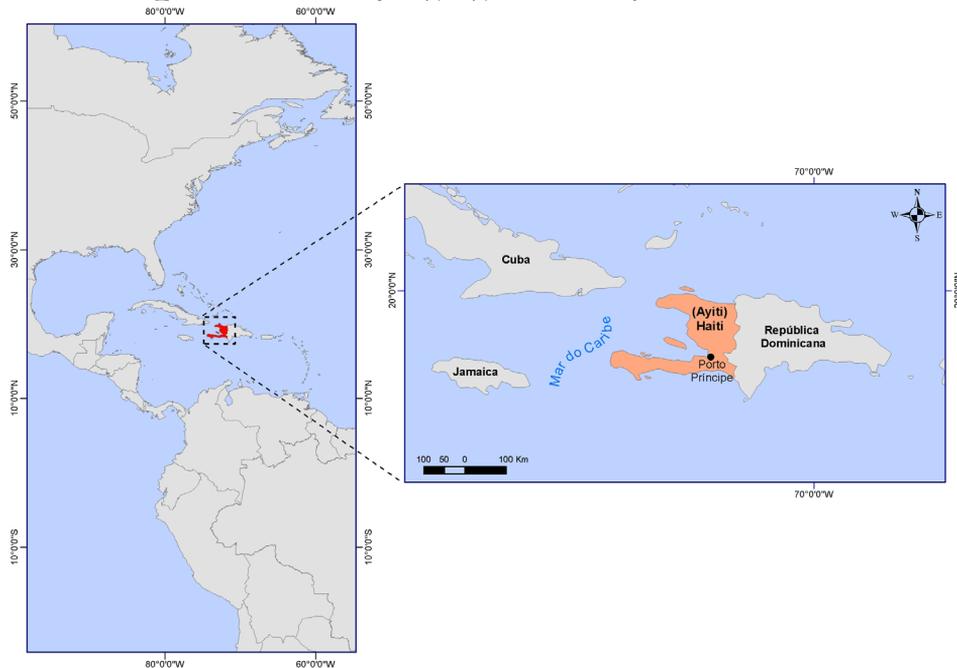
Tendo em vista a carência de estudos sobre o tema em questão, deu-se preferência pela pesquisa exploratória, definida por [Marconi e Lakatos \(2001\)](#) como estudos que têm por objetivo a formulação de um problema com a finalidade de aumentar a familiaridade dos pesquisadores com um ambiente, fato ou fenômeno, para realização de pesquisas futuras mais aprofundadas no âmbito de propor soluções.

Resultado e discussões

Muitas das problemáticas sócio-ambientais resultaram do processo de colonização deste país, sendo assim, para um entendimento mais amplo do atual cenário ambiental faz-se necessário abordar os efeitos ocasionados ao longo deste contexto histórico. Assim, é importante destacar que os primeiros habitantes adotavam práticas pautadas na conservação da natureza. Contudo, com a chegada dos espanhóis houve uma mudança no estilo de vida dos indígenas, refletindo no quadro político, social, ambiental e econômico da região. A própria origem do nome Haiti, segundo [Dorsinvil \(1934\)](#), deriva do termo indígena “Ayiti”, que significa terras montanhosas. Nome herdado dos primeiros habitantes da ilha, os índios Tainos do grupo Arawaks. A população Taino da ilha foi dizimada rapidamente, devido a uma combinação de doenças, maus-tratos pelos espanhóis, e também pela invasão dos índios antropófagos do grupo caríbas que vem das ilhas vizinhas. Chegando à ilha em 1492, Cristóvão Colombo a chamou Hispagnola ("Pequena Espanha") e Hispaniola, em francês, em homenagem aos seus patrocinadores.

De acordo com l'Institut Haitien de Statistique e d'Informatique ([IHSI, 2002](#)), a república do Haiti ocupa uma área de 27.750 km² e um o terço ocidental da ilha de Hispaniola (76.115 km²) que compartilha com a República Dominicana. O Haiti está localizado entre 18° e 20° 6' de latitude norte e entre 71° 20' e 74° 30' de longitude oeste. Limitado a norte pelo Oceano Atlântico, a oeste e sul pelo mar do Caribe, a leste pela República Dominicana (RD). A costa haitiana se estende por 1535 km, com uma plataforma continental relativamente estreita de 5000 km². O território haitiano inclui também cinco ilhas satélites: La Gonave (670 km²), La Tortue (180 km²), Ile-à-vache (52 km²), Cayemites (45 km²) e La Navase (7 km²). A figura 1 mostra a localização geográfica do Haiti.

Figura 1: Localização geográfica da república do Haiti.



Fonte: Elaborado pelo autor através dos dados do USGS, 2018.

O [Bureau des Mines et de l'Energie \(1992\)](#) apresenta o Haiti como um país essencialmente montanhoso (~ 80%) com terreno muito acidentado, com a presença de 30 grandes bacias hidrográficas ou unidades hidrológicas. Mais de um terço do território está entre 200 e 500 metros de altitude, 40% acima de 500 metros e 17% superior a 800 metros em relação ao nível do mar. Sob outra perspectiva, mais da metade das terras têm declives superiores a 40% e um quarto do território é formado por planícies.

Raízes do desmatamento no Haiti e as suas causas

De acordo com ROC (2008), o desmatamento no Haiti começou em 1492, com a chegada de Cristóvão Colombo, sendo que, mais de 80% da ilha Ispanhola (Haiti e República Dominicana) estava coberta de vegetação exuberante. A autora afirma que o desmatamento começou no final do século XVII por colonos franceses que destruíram milhares de hectares de floresta virgem para plantar cana-de-açúcar, algodão e café. Assim, de acordo com a mesma, durante este período há uma destruição sistemática

do ambiente porque para operar os fornos de tijolos, as máquinas, dentre outros, foram retiradas grande parte das florestas (não replantadas).

Na discussão do geógrafo Michel retomado por Roc (2008), o autor afirma que antes da ocupação Americana no Haiti (1915- 1934) a cobertura florestal do território haitiano representava 60%, já depois da ocupação, em 1945, a cobertura florestal passou de 60% a 21% e em 1954 houve declínio para um percentual em torno de 9%. Esta situação de desmatamento se intensificou durante os trinta anos de ditadura do presidente Jean-Claude Duvalier (papa Doc) que trouxe milhões de habitantes das áreas rurais para residir em Porto Príncipe, cujo objetivo era fortalecer o seu poder. Devido às boas condições de saneamentos básicos na capital haitiana naquela época, os migrantes não regressaram para as áreas rurais, além disso, o governo não financiou o retorno destes à sua terra natal.

O processo histórico relatado pode ser uma das explicações para entender a degradação ambiental ao redor de Porto Príncipe. A população local suprimiu a vegetação natural para a construção habitacional sem recorrer as normas legais. Este fato também contribuiu para propulsionar a formação das primeiras favelas no Haiti, implicando em cenários como desflorestação, erosão de perda de solo, insalubridade urbana, perda de biodiversidade, exploração de forma desordenada nas áreas de mineração, degradação do ecossistema marinho, urbanização, pressão demográfica e pobreza (Roc, 2008).

Diamond (2005) citado por Prospere e Martin (2011) compara a situação ambiental dos dois países (Haiti e República Dominicana) que dividem a Ilha Ispanhola, constatando que ambos os países perderam florestas, mas o maior impacto é registrado no Haiti, onde se observa apenas sete trechos substancialmente arborizados (conforme mostra figura 2), e destes, somente dois são protegidos como parques florestais, ambos sujeitos à atividade de madeireira ilegal. O autor afirma que atualmente 28% da República Dominicana ainda são cobertas de florestas, enquanto o Haiti tem 1% de cobertura vegetal.

De acordo com estes autores, a diferença florestal e ambiental entre esses dois países refletem em vários aspectos, tais como na economia, agricultura e no social. Reconhecidamente, a República Dominicana e o Haiti são países pobres, que passaram por complexas problemáticas, como a maioria dos países tropicais, no seu processo de colonização europeia, o

que originou problemas como corrupção e deficiências no ramo da saúde, educação e no setor agrícola.

A agricultura, em particular, é considerada uma das principais atividades econômicas do Haiti, visto que a metade da população deste país reside em áreas rurais e obtém a sua renda desta atividade. Contudo, esta atividade pode gerar impactos negativos no cenário ambiental, quando praticada de maneira inadequada e com o uso irracional dos recursos naturais.

Em contrapartida, devido às particularidades geográficas do Haiti, o setor agrícola está exposto aos efeitos ocasionados por eventos físicos como, por exemplo, furacão e constantes episódios de seca. Além disso, observa-se que a perda do solo causado, inclusive, pela supressão da vegetação, foi um fator que contribuiu para a redução expressiva da produção agrícola, levando, conseqüentemente, o Haiti à condição de um país importador de alimento (PNUE, 2012).

Tendo em vista este panorama, torna-se de singular importância ampliar os estudos sobre o estado ambiental do Haiti, buscando ao longo desta perspectiva auxiliar na formulação de políticas públicas voltadas para o desenvolvimento de práticas agrícolas sustentáveis e programas educacionais de manejo agrícola, evitando intensificar as fragilidades ambientais.

Figura 2: A diferença da cobertura florestal na fronteira entre o Haiti e a República Dominicana.



Fonte: PNUE, 2010

Tendo em vista, o crescente desmatamento alimentado pelo consumo excessivo de madeira, o Programa das Nações Unidas pelo Desenvolvimento (PNUD, 2012), criou o projeto binacional chamado "Fronteira Verde" que objetiva a criação de um ambiente

favorável para restaurar os ecossistemas transfronteiriços e reduzir a vulnerabilidade aos efeitos do clima e suas oscilações, visando melhorar as condições de vida das populações haitiana e dominicana. Cerca de 1,5 milhão de plântulas são plantadas para o reflorestamento de 1.000 hectares na bacia hidrográfica de Aquin (sul do Haiti). Durante esta atividade, mais de 3.600 empregos temporários foram criados por mês em 2012. O programa não alcançou o resultado esperado, pois, não tinha um plano para o futuro das plântulas.

Na lei florestal de 24 de Maio de 1962, o Art 191 aponta que “nenhuma exploração florestal estadual para corte, corte ou extração de resina, goma ou látex pode ser concedida a um indivíduo ou a uma empresa, exceto por força de uma decisão do Conselho de Secretários de Estado e especificações elaboradas pelo Departamento da Agricultura, Recursos Naturais e Desenvolvimento Rural”. No entanto, tem-se constatado, na prática, uma ampliação da remoção de árvores.

De acordo com o [Ministère de l'Environnement \(MDE\) \(2016\)](#), mais de 80% da população Haitiana utilizam o carvão de madeira como fonte de energia, o que explica o elevado grau de desmatamento. Para o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente ([PNUE, 2012](#)), o carvão vegetal e a madeira são as principais fontes de energia disponíveis para operar micro, pequenas e médias empresas, incluindo restaurantes e padarias. O estudo revela que os proprietários de "guildives" e destilarias abatem mais de 53.300 árvores por ano para satisfazer as necessidades industriais. Por outro lado, os pequenos restaurantes que estão nas áreas rurais e urbanas consomem cerca de 250.000 toneladas métricas de carvão por ano.

O relatório apresentado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (2016), afirma que nas áreas urbanas, estima-se que 90% das famílias utilizam o carvão como fonte de energia. Em Porto Príncipe, avalia-se que pelo menos 600.000 famílias usam o equivalente a um pote (figura 03) de carvão por dia para cozinhar. Nesse ritmo, observa-se que entre 2,5 e 7,3 milhões de sacas de carvão de tamanho normal são consumidas na cidade a cada ano.

Nas áreas rurais, onde cerca de 80% das famílias usam madeira (geralmente coletada no chão) para atender as suas necessidades, a produção de carvão é um meio essencial de obter renda para manter o acesso de serviços escolares e de saúde. A cadeia de fornecimento para produção de

carvão vegetal inclui produtores, transportadores, comerciantes ou intermediários em vários níveis, e mulheres que vendem "varejo" ou pequenas quantidades em mercados (PNUE, 2016). Merat (2012) afirma que em torno do carvão instala-se uma grande atividade comercial. Aproximadamente 350.000 pessoas estão diretamente envolvidas na produção e comercialização deste produto, gerando entre 60 a 85 milhões de dólares por ano e cerca de 30% da renda do carvão vegetal é redistribuída nas áreas rurais. A Figura 3 mostra didaticamente o processo de transformação da madeira em carvão.

Figura 3: Processo de transformação de madeira em carvão



Fonte: PNUE, 2016

No mundo, a perda de áreas florestais é causada por múltiplos fatores de natureza antropogênica e, alguns casos, resultante da própria dinâmica natural. Uma das consequências mais conhecidas do desmatamento é a ameaça da biodiversidade (Marquez Filho, 2018). Ao destruir esses ambientes naturais, as atividades humanas ameaçam a existência de certas espécies e isso pode ter efeitos significativos nos equilíbrios

naturais, enfraquecendo especialmente o solo. Assim sendo, quando uma área florestal é destruída, o solo se torna cada vez mais frágil e torna o ecossistema mais vulnerável a desastres naturais, como deslizamentos de terra ou inundações.

O MDE (2015) aponta que a erosão tem gradualmente eliminado três centímetros (3 cm) de solo fértil nas últimas 4 décadas e, em média, no país. Assim, a erosão hídrica causa para todo o país uma perda anual de terra estimada em cerca de 37 milhões de toneladas, o que corresponde a uma perda média de cerca de 15 MT / ha / ano no território. Para Merat (2012), o grau de erosão e o volume de sedimentação nas bacias de captação, particularmente o do rio Grise, seriam maiores durante a segunda estação chuvosa. Assim sendo, o desmatamento associado à forte pressão agrícola nas fazendas marginais, acelera a erosão do solo, o que aumenta o volume de sedimentos transportados pelos rios e degrada a qualidade da água das terras altas e a jusante. Esta realidade pode se constituir em mais um fator limitante para o reflorestamento no Haiti.

A falta de um programa de educação ambiental eficiente também pode refletir no atual estado ambiental no Haiti, uma vez que, em alguns casos, a retirada de floresta pode estar relacionada com a falta de educação ambiental. Aparentemente, a crise ambiental é um desafio de alta magnitude para os governos que não apresentam uma política adequada de gestão eficaz e duradoura. Assim sendo, a incapacidade do Haiti de lidar com os eventos extremos e os problemas ambientais é resultado da soma de vários fatores.

Além do mais, a corrupção atinge o meio político, bem como o meio ambiente e dificulta a sua preservação, visto que muitas vezes as proteções ambientais são ignoradas (Rigo e Moares, 2008). Adicionalmente, a fraqueza dos mandatos institucionais e legais e o baixo nível de implementação das políticas e leis ambientais, em que as soluções políticas carecem de mais clareza em decorrência do jogo de interesses diversos e à baixa visibilidade dos resultados alcançados, comprometem a governança ambiental (LE Prestre, 2003). Este autor ainda destaca que é papel do Estado identificar e definir o problema e as ações, priorizar os problemas ambientais na agenda pública e decidir sobre a repartição dos custos e arbitragens aceitáveis, com a finalidade de alcançar a qualidade do meio ambiente.

A sensibilidade do Haiti em relação à ocorrência de eventos meteorológicos

Dentre os pequenos Estados insulares em desenvolvimento, o Haiti é o país com o maior índice de vulnerabilidade a furacões. Durante o século XX, o país sofreu 56 desastres naturais reconhecidos internacionalmente.

Devido ao seu alto grau de vulnerabilidade ambiental, o país está exposto a expressivos danos sócio-ambientais durante a temporada de ciclones, com ocorrência anual de maio a novembro. Entre os anos de 2004 a 2008, registraram-se desastres naturais como fortes ventos, inundações, deslizamentos de terras e de lama, que ocasionaram prejuízos consideráveis sobre o meio ambiente e a saúde da população. Além dessa vulnerabilidade ambiental, alguns fatores sociais, como a pobreza, a instabilidade política, a rápida urbanização e a fragilidade do Estado tornam o Haiti mais sensível às consequências danosas dos desastres naturais (GRH, BM, SNU, CM, 2008). A figura 4 ilustra alguns casos de desastres naturais registrados no Haiti.

Figura 4: Desastres meteorológicos registrados no Haiti



Fonte: MDE, 2016

Em setembro de 2004, após a passagem do furacão Jeanne, a região costeira do norte da República do Haiti foi atingida por violentas inundações que afetaram os municípios do departamento de Artibonite. O município de Gonaïves foi o mais afetado, registrando 3.000 óbitos e diversas perdas materiais. De acordo com o relatório do GRH, BM, SNU e CM (2008), os custos dos danos causados pelo furacão Jeanne, em 2004, somaram 10 bilhões de Gourdes, que é equivalente a 265 milhões de dólares, o que corresponde a 7% do PIB, 18% do investimento interno e 6% da dívida externa. Dessa maneira, o aumento da procura de madeira para satisfazer as necessidades da população devido à falta de alternativas acessíveis acelerou entre 2004 e 2008, assim como aumentou a pressão sobre a terra arável, especialmente nas zonas montanhosas.

Desta forma, a ocorrência de desastres naturais pode favorecer uma aceleração do processo de desmatamento, já que devido aos danos provocados por estes eventos vão implicar na retirada de árvores para a reconstrução de casas, estábulos, edifícios, cercas, pontes, tábuas (pranchas de madeiras) (4%) e os chamados troncos ou postes usados na construção (1%) (Merat, 2012).

O autor observou um aumento considerável na eliminação de floresta, a partir de 12 de janeiro de 2010 (ocorrência do terremoto), constatando que em sua maioria são de ordem exógena, além disso, aponta que a ajuda humanitária pós-sísmica vai impulsionar a geração de novos aceleradores (de cunho socioeconômico) no processo de desmatamento no Haiti. Este autor afirma que os levantamentos de campo revelam que 95% dos recursos de madeira colhida são utilizados para fins energéticos.

A tabela 01 apresenta o impacto provocado pelos desastres naturais nos diferentes setores, a saber, social, produtivo, infraestrutura e ambiental, demonstrando que os maiores prejuízos ocorreram no setor de produção (agricultura, indústria, comércio e turismo).

Tabela 01: Efeito total do desastre por setores (em milhões de dólares)

SETOR	Danos	Perdas	Total	Parte Pública	Parte Privada	Balança de pagamentos	Setor Fiscal
Setores Sociais	195,26	28,74	224,00	47,95	176,05	42,80	22,08
Educação	27,91	1,14	29,05	14,60	14,45	3,28	1,13
Saúde	9,94	5,20	15,14	14,86	0,28	7,11	2,54
Habitação	157,41	22,40	179,81	18,49	161,32	32,41	18,42
Setores Produtivos	108,55	320,68	429,23	5,00	424,23	381,23	1,97
Agricultura	67,30	130,50	197,80	5,00	192,80	361,43	N/a
Indústria	17,50	109,20	126,70	0,00	126,70	N/a	N/a
Comércio	18,10	61,30	79,40	0,00	79,40	N/a	N/a
Turismo	5,67	19,68	25,33	0,00	25,33	19,80	1,97
Infraestrutura	87,78	71,44	159,22	76,24	82,98	55,82	12,32
Água e Saneamento	13,16	6,35	19,51	11,83	7,68	5,96	7,10
Eleticidade	5,62	2,08	7,70	7,70	0,00	0,76	2,30
Transporte	69,00	62,40	131,40	56,10	75,30	49,10	2,30
Telecomunicação	0,00	0,61	0,61	0,61	0,00	nd	nd
Setor transversal	84,94	0,00	84,94	84,94	0,00	81,81	135,41
Meio Ambiente	84,94	0,00	84,94	84,94	0,00	N/a	28,21
TOTAL	476,53	420,86	897,39	214,13	683,26	561,66	171,78

Fonte: Relatório do Governo da República do Haiti (GRH), do Banco Mundial (BM), do Sistema das Nações Unidas (SNU), junto com a Comissão Europeia (CM), (2008).

Segundo as estimativas a Direção da Proteção Civil (DPC, 2016), o número de pessoas atingidas durante a passagem da furação em 2008 chegaria a mais de 80.000 pessoas, ou seja, 80% da população. As ruas foram submersas e a maioria das casas, consideradas como construções anárquicas, foram destruídas. A outra parte desta região não está isenta aos efeitos produzidos por este cataclismo sem precedentes, onde 56 corpos foram encontrados na cidade de Port-de-Paix e 17 vítimas foram registradas na cidade de Terre-Neuve. A proteção civil afirma que de maneira geral os setores produtivos foram os mais afetados, seguidos pelos setores sociais, infraestrutura e meio ambiente (figura 5).

Conforme demonstrado, o Haiti está entre os países que apresentam um elevado grau de desmatamento, um dos maiores problemas ambientais, que gera intensos impactos nos diversos ambientes físicos. Caso as autoridades locais não priorizem ações eficazes de controle deste problema ambiental que acompanha o povo haitiano durante este longo período da sua história, o desmatamento pode intensificar e torna o meio ambiente cada vez mais vulnerável (MARNDR). (2012).

Considerações finais e discussões

A título de encerramento, os resultados demonstram a extrema importância de abordar o estado ambiental que acompanha o país ao longo de sua história, bem como a pobreza, a miséria e seu impacto na saúde da população, que conforme visto, não surgem de forma isolada, mas como a soma de um conjunto de fatores. O subdesenvolvimento e a pobreza no Haiti são uma construção histórica de mais de 500 anos, brutalmente planejados e combinados pelos países imperialistas. O que significa dizer que as suas raízes se iniciaram a partir do processo da dominação europeia durante o período colonialista mercantilista em 1492.

Por outro lado, destacamos que este intenso desmatamento no Haiti pode contribuir significativamente para a sensibilidade deste território à ocorrência de eventos como secas, inundações, furacões e terremotos, ampliando inclusive os desafios e dificuldades do manejo dos graves problemas ambientais instalados neste país. Dentre as possíveis ações que visam melhorar o estado ambiental no Haiti, há uma verdadeira urgência com aplicação de medidas socioeducativas que visem combater a degradação do meio ambiente. Uma substituição do carvão vegetal utilizado como

fonte de energia por cerca de 80% da população poderia ser uma solução efetiva na luta contra a desflorestação que pode contribuir para aumentar a sensibilidade deste território as manifestações de fenômenos meteorológicos e climáticos e, concomitantemente, intensificando a pobreza na região.

Devem ser consideradas ainda ações que definam medidas estruturais na efetivação do planejamento e controle do uso da terra, de modo que sejam atribuídos a cada área usos compatíveis com suas características físicas, assim como restrições à ocupação, sobretudo ao assentamento urbano desordenado. Um programa de reflorestamento destinado à recuperação de áreas degradadas poderia ser o pano de fundo para a diminuição do grau de sensibilidade do território haitiano frente aos eventos naturais. A adoção destas medidas pode garantir a médio e longo prazo a reparação ambiental e preservação dos recursos naturais.

Referências

- Arraes *et al.* (Jan/Mar 2012). “Causas do Desmatamento no Brasil e seu Ordenamento no Contexto Mundial”. RESR, Piracicaba-SP, Vol. 50, Nº 1, p. 119-140. Disponível: <http://www.scielo.br/pdf/resr/v50n1/a07v50n1.pdf>. Acesso em: 06 ago. 2019.
- Bureau des Mines et de l'Énergie (BME). (1992). “Inventarire des Ressources Minières de la République d’Haiti”. Port-au-Prince.
- Conti, J. B. (2011). “Clima e meio ambiente”. (7. Ed). São Paulo: Atual, p. 96.
- Croix-Rouge Haitienne. (2010). Haiti: Bilan du seisme.
- Direction de la Protection Civile (DPC). (2016). “Country Document for Disaster Risk Reduction”. Document pays Haiti.
- Dorsinvil, J. C. (1934). “Manuel d’histoire d’Haiti”. Procure des Frères de l’Instruction Chétienne. PorauPrince.
- Gouvernement de la République d’Haiti (GRH), Banque Mondial (BM), Système des Nations-Unies (SNU), Commission Européenne (CM). (Novembre 2008) “Rapport d’évaluation des besoins après désastre Cyclone Flay, Gustav, Hanna et Ike”.
- Institut Haitien de Statistique et d’Informatique (IHSI). (Mars 2002). “Unité de decentralisation et des collectivités territoriales”.
- Le Prestre, P. (2003). *Ecopolítica Internacional*. São Paulo: Editora Senac. p. 159-241.

- Marconi, M & Lakatos E. M. (2001). “Fundamentos de metodologia Científica”. Atlas, São Paulo.
- Marquez Filho, L. C. (2018). “Capitalismo e colapso ambiental”. 3ª ed. revista. Campinas, SP: Editora da Unicamp.
- Merat, J. P. (2012). “Forêt, évangélismes et aides humanitaires post-sismique en Haiti: des liaisons dangereuses”. La revue électronique en sciences de l’environnement
- Ministère de l’Environnement (MDE). (2016). Programme Changements Climatiques: Plan d’Action National d’Adaptation (PANA).
- Ministère de l’Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural (MARNDR). (2012). Loi du 24 Mai 1962, No VIII (Des Forêts) Extraits du Code Rural.
- Ministère de l’Environnement, (MDE). (Avril, 2015) “Programme Alingé d’Action National de Lutte contre la Desertification”.
- Organisations des Nations Unies ONU. (Septembre, 2010). “Haiti dévasté apres le passage des cyclones Ike e Hanna, Flay e Gustave”.
- Programme des Nations Unies pour l’environnement (PNUE). (2010). Le PNUE en Haiti: Revue de l’année 2010.
- Programme des Nations Unies pour l’Environnement (PNUE). (2016). “Haiti, chaines d’approvisionnement du charbon de bois et du bois de jeu dans le département du Sud”. Septembre.
- Programme des Nations Unies pour l’Environnement (PNUE). (2012). “Pour reboiser et redonner la vie aux montagnes”. Port-au-prince.
- Prospere, L., Martin, G. A. (2011). “A questão ambiental no?do Haiti: Um desafio na reconstrução do país”. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. REGET-CT/UFSM, v(3), n 3, 345-351.
- Rigo, L. B.; Moraes, C, H. (2008). Meio Ambiente e Corrupção: uma possível explicação para o noticiário ambiental. Intercom-Sociedade Brasileira de Estudos Interdisciplinares da Comunicação IX Congresso de Ciências da Comunicação na Região Sul. Guarapuava.
- Roc, N. (2008). “Haiti-Environnement: de la Perle des Antilles à la desolation”. FRIDE, september.
- United States Geological Survey (USGS). Acessado em junho de 2018.



Estudo comparativo dos dados de precipitação do satélite TRMM e postos pluviométricos no estado do Ceará, Brasil

Comparative study of precipitation data from the TRMM satellite and pluviometric stations in the state of Ceará, Brazil

Estudio comparativo de los datos de precipitación del satélite TRMM y postos pluviométricos en el estado del Ceará, Brasil

Jose Reginaldo Medeiros-Feitosa¹

Universidade Federal do Cariri, Crato, Ceará, Brasil

Carlos Wagner Oliveira²

Universidade Federal do Cariri, Crato, Ceará, Brasil

Resumo

O Nordeste do Brasil, é caracterizado pelo clima semiárido e pela irregularidade das chuvas ao longo do tempo, que comprometem a agricultura, o abastecimento público e outros setores. Neste sentido, pesquisas que promovam o Desenvolvimento Sustentável dão subsídios para a implementação de novas políticas públicas voltadas para a sustentabilidade hídrica da região. Esta pesquisa teve por objetivo, o de comparar dados de chuva das estações pluviométricas da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), com as estimativas de precipitação do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), entre 1 de janeiro de 1998 a 31 de dezembro de 2017, totalizando vinte anos de análises para todo o estado do Ceará, Brasil. Na primeira parte a pesquisa utilizou as técnicas de comparação do Pixel a Ponto (A e B), Ponto a Pixel (C), e Pixel a Pixel (D), juntamente com o auxílio do interpolador Inverso do Peso da Distância (IDW), na segunda etapa os dados foram analisados por medidas métricas de acurácia: Erro Médio Absoluto

- 1 Maestría en Desarrollo Regional Sostenible - PRODER, Universidad Federal de Cariri - UFCA. Correo electrónico: regincrato@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-7902-5336>
- 2 Orientador, Engenheiro Agrônomo, PhD. Biosystems Engineering, Professor Adjunto no Centro de Ciências Agrárias e da Biodiversidade da Universidade Federal do Cariri - UFCA, correio eletrônico: carlos.oliveira@ufca.edu.br. <https://orcid.org/0000-0003-1013-2974>

(EMA), Raiz do Erro Médio Quadrático (REM_Q) e o Coeficiente de correlação (r). Os resultados das análises, indicaram que a utilização das imagens do satélite TRMM apresentou-se como boa alternativa com o EMA de 16,46mm na média, o REM_Q de 26,78mm e a correlação de 0,96.

Palavras-chave: Recursos Hídricos, Pluviometria, Sensoriamento Remoto.

Abstract

The Northeast of Brazil is characterized by a semi-arid climate and irregular rainfall over time, which jeopardize agriculture production, public supply and other sectors. In this sense, research activities that promote Sustainable Development provide subsidies for the implementation of new public policies aimed at water sustainability in the region. The purpose of the present research was to compare rainfall data obtained from pluviometric stations of the Fundação Cearense de Meteorologia y Recursos Hídricos (FUNCEME) (translated as Cearense Foundation of Meteorology and Water Resources), with precipitation estimates obtained by means of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite, from January 1, 1998 to December 31, 2017, totaling twenty years of analysis for the entire state of Ceará, Brazil. In its first part, the research employed the techniques of comparing pixel to point (A and B), point to pixel (C), and pixel to pixel (D) along with inverse distance weighted (IDW) interpolation; in the second stage, data were analyzed by accuracy evaluation metrics: mean absolute error (MAE), root-mean-square error (RMSE) and the correlation coefficient (r). Analyzes results indicated TRMM satellite imagery to be a good alternative with 16.46 mm MAE, 26.78 mm RMSE and a correlation coefficient of 0.96.

Keywords: Water Resources, Rainfall, Remote Sensing.

Resumen

El Nordeste de Brasil, se caracteriza por el clima semiárido y la irregularidad de las lluvias a lo largo del tiempo, que comprometen la agricultura, el abastecimiento público y otros sectores. En este sentido, investigaciones que promuevan el Desarrollo Sostenible dan subsidios para la implementación de nuevas políticas públicas dirigidas a la sostenibilidad hídrica de la región. Esta investigación tuvo por objetivo, comparar los datos de lluvia de las estaciones pluviométricas de la Fundación Cearense de Meteorología y Recursos Hídricos (FUNCEME), con las estimaciones de precipitación del satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), entre el 1 de enero de 1998 y 31 de diciembre de 2017, totalizando veinte años de análisis para todo el estado de Ceará, Brasil. En la primera parte la investigación utilizó las técnicas de comparación del píxel a punto (A y B), punto a píxel (C), y píxel a píxel (D), junto con la ayuda del interpolador Inverso del peso de la distancia (IDW), en la segunda etapa los datos fueron analizados por medidas métricas de exactitud: Error Medio Absoluto (EMA), Raíz del Error Medio cuadrático (REM_Q) y el Coeficiente de correlación (r). Los resultados de los análisis, indicaron que la utilización de las imágenes del satélite TRMM se presentó como buena alternativa con el EMA de 16,46mm en la media, el REM_Q de 26,78 mm y la correlación de 0,96.

Palabras clave: Recursos Hídricos, Pluviometría, Percepción Remota.

Introdução

O estudo do clima é de fundamental importância para entender dinâmica atmosférica terrestre, tendo em vista que auxilia no “planejamento estratégico dos recursos hídricos, subsidiando estudos associados ao balanço hídrico, controle de inundações, irrigação de culturas, modelagem hidrológica, monitoramento de seca e de geada e caracterização climatológica” (Louzada, 2016).

O ponto de partida para a construção desta pesquisa, inicia-se pela busca de compreender melhor o clima do estado do Ceará, especialmente quanto as chuvas. Para tanto, fez-se uso de imagens de satélite para quantificação das precipitações, procurando melhorar os dados de chuva justamente no momento em que a região passa por dos períodos de maior estiagem.

Diante disso, esta pesquisa se propôs a comparar e avaliar a qualidade das estimativas de chuva geradas a partir do satélite TRMM, produto 3B43_V7, na área que compreende o estado do Ceará num período correspondente a 20 anos, entre 1 de janeiro de 1998 a 31 de dezembro de 2017, aplicando diferentes métodos de comparação e aplicando testes estatísticos, considerando a grande quantidade de metodologias empregadas em outras pesquisas sobre a mesma temática.

O satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), lançado em 1997, permite obter dados de precipitação pluvial e resolução temporal em escala mensal e diária desde o ano 1998 (Pereira *et al.*, 2013). O TRMM é formado por diversos produtos de estimativas de chuvas, cujo objetivo é o melhoramento da medição da precipitação tropical por sensoriamento remoto (Sodré *et al.*, 2012; Aires *et al.*, 2016).

Ao passarem pelos processos de comparação e avaliação, os dados de estimativas de precipitação derivada dos sensores remotos, podem se tornar informações complementares às coletadas em solo e até mesmo suprir a carência de dados de precipitação em determinadas regiões onde o monitoramento é precário ou inexistente (BERNARDI, 2016).

Assim, torna-se necessária uma avaliação dessas estimativas do TRMM no estado do Ceará, pois se os dados forem concordantes irá contribuir no entendimento da distribuição espacial e quantidade das chuvas. Com a evolução das tecnologias utilizadas para estimar a precipitação por sensoriamento remoto, aliado as técnicas de correção, torna-se cada vez

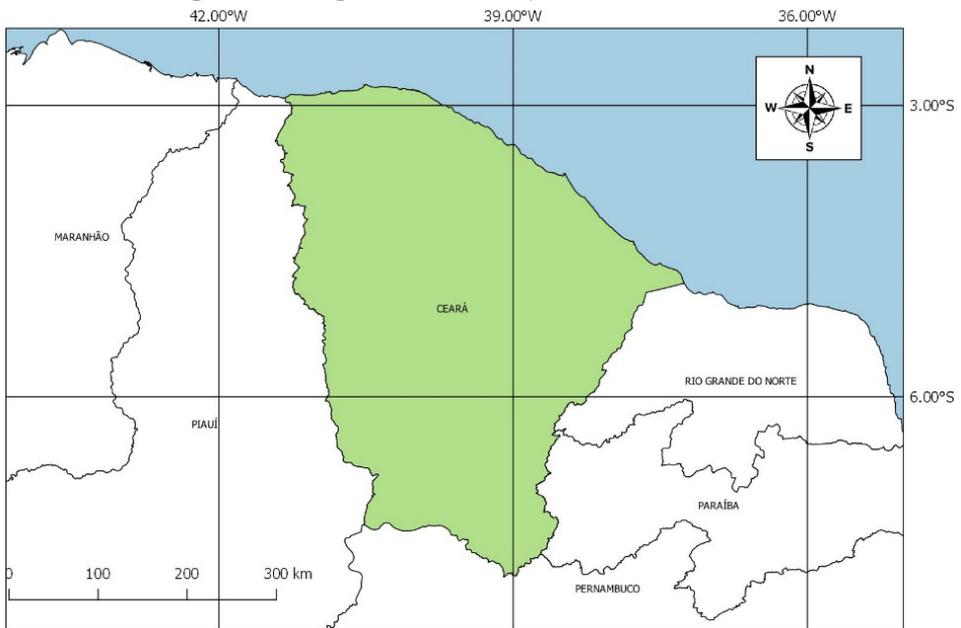
mais viável a utilização dessas informações em colaboração mútua com as medições tradicionais em busca de melhores resultados.

Área do Estudo

A área de pesquisa corresponde ao Estado do Ceará, localizado entre as latitudes 02°47' S e 07°51' S e as longitudes 37°14' O e 41°24' O.

O estado do Ceará é pertencente a uma das 27 unidades federativas do Brasil, está situado na Região Nordeste limitando-se a norte com o Oceano Atlântico, ao sul com o Estado de Pernambuco; a leste com os Estados do Rio Grande do Norte e Paraíba e a oeste com o Estado do Piauí. A área total é de 148.926,472 km² e a população encontra-se espalhada por 184 municípios, sendo estimada em de 9.075.649 habitantes, (IBGE, 2018).

Figura 1. Mapa de Localização do Estado Ceará.



Fonte: MMA, adaptado pelo autor, 2018).

O Ceará é rodeado por formações de relevo relativamente altas de serras e chapadas, sendo a oeste delimitado pela Serra da Ibiapaba; a leste, parcialmente, pela Chapada do Apodi; ao sul, pela Chapada do Araripe; e

na área central é composta pela Depressão Sertaneja e pelos maciços, com destaque para o Maciço do Baturité e Serra da Meruoca.

Segundo Brandão *et al.* (2014), a diversidade geológica do Ceará se distingue em dois domínios geológicos: rochas sedimentares e rochas cristalinas. As rochas sedimentares são encontradas nas chapadas e no litoral e são as mais importantes como aquífero com excelentes condições de armazenamento e fornecimento d'água. Já as rochas cristalinas são encontradas na Depressão Sertaneja, com permeabilidade muito baixa e tem baixo potencial hídrico, o que contribui para os efeitos do clima semiárido na região.

O clima do Ceará é predominantemente semiárido e tropical-seco, onde as regiões mais áridas, também chamada de Sertão Cearense, se localizam na Depressão Sertaneja, com pluviosidades que, podem ser menores que 500 mm/ano, mas também podem se aproximar de 1.000 mm/ano em outras áreas caracterizadas pelo clima semiárido brando, a exemplo de algumas áreas da Chapada do Araripe, Serra da Ibiapaba, Maciço do Baturité e na faixa litorânea (FUNCEME, 2014).

Metodologia

De modo geral, esta pesquisa consiste em uma análise comparativa entre as precipitações observadas em postos pluviométricos da FUNCEME no estado do Ceará, com as precipitações estimadas pelo satélite TRMM, através do produto 3B43_V7.

Os dados de precipitação que foram utilizados, são provenientes da rede de postos pluviométricos da FUNCEME, que disponibiliza os dados em seu site. Para esta pesquisa foi considerado o período de 20 anos, entre 1 de janeiro de 1998 a 31 de dezembro de 2017, de forma a abranger período comum ao início das estimativas do TRMM.

Enquanto os dados do TRMM foram utilizados os pixels provenientes do produto 3B43_V7, que corresponde as estimativas mensais de precipitação, com resolução espacial de 0,25° de latitude e 0,25° de longitude respectivamente, também no mesmo período dos 20 anos já citado.

Para análise, interpolação, comparação e espacialização dos dados de precipitação foi utilizado o software livre QGIS 2.18. Para aplicação dos testes estatísticos, foi utilizado o software livre de estatística Rstudio 1.0.153, uma interface gráfica ao usuário (em inglês *Graphical User*

Interface - GUI) para o R, além do programa de planilha eletrônica Microsoft Excel 2013.

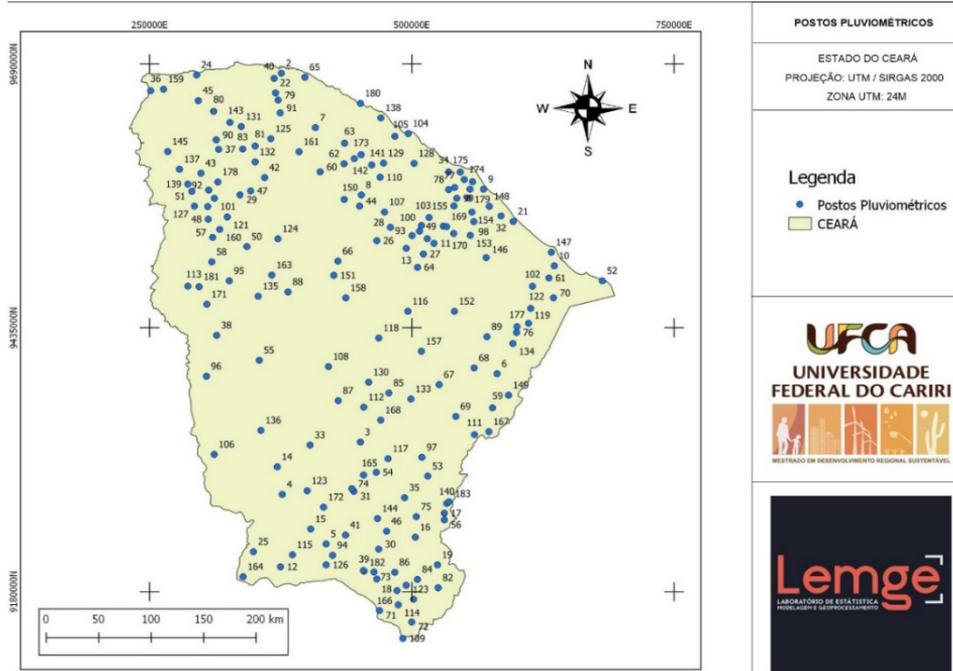
Os dados de precipitação foram obtidos a partir das séries históricas dos postos pluviométricos da FUNCEME que estão no formato txt. Já quanto a seleção dos postos, foi a partir de dois critérios, sendo o primeiro em relação ao tempo, tendo em vista que o TRMM começou a gerar seus dados partir de 1 de janeiro de 1998 e a segunda pelos postos que não apresentaram falhas e/ou descontinuidades nos dados, a fim de obter uma série histórica completa e apta ao desenvolvimento da pesquisa, a quantidade de postos está descrita na Tabela 1.

Tabela 1. Seleção dos postos pluviométricos.

Situação do Posto Pluviométrico	Quantidade	Total (%)
Total de Postos FUNCEME	850	100%
Fora de Tempo do Período Estudado	537	63,17%
Ausência de Dados	80	9,41%
Fechados	50	5,88%
Postos utilizados na pesquisa	183	21,52%

Do total de 850 postos, restaram 183 que atenderam aos requisitos da pesquisa. Estes postos pluviométricos encontram-se espalhados ao longo do estado do Ceará e fornecem dados diários de precipitação, para combinar com o TRMM que estima precipitação mensal, os dados da FUNCEME foram organizados em acumulados mensais também.

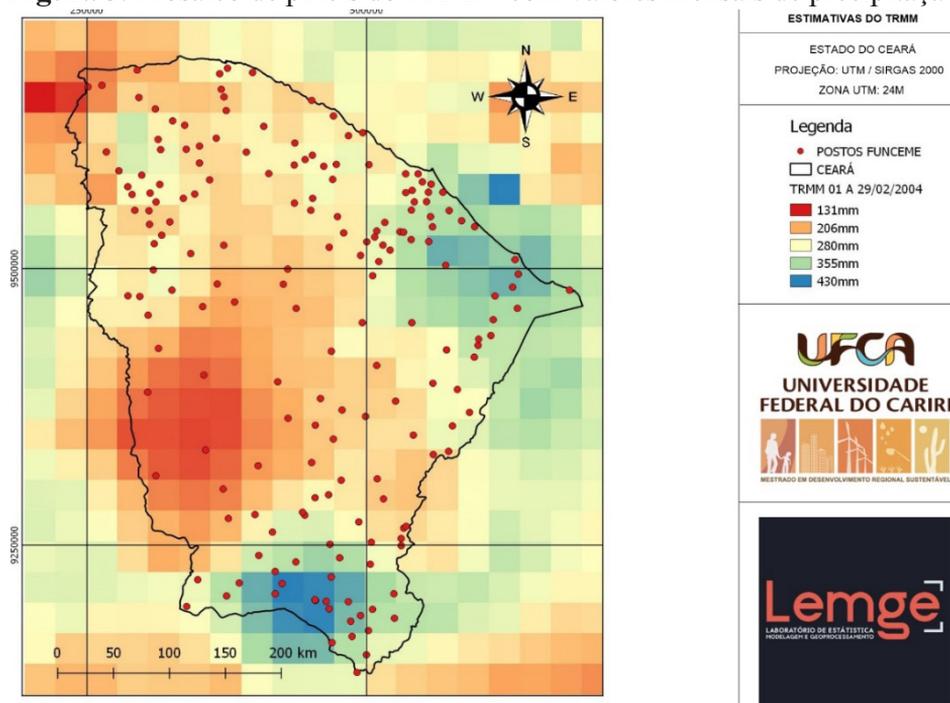
Figura 2. Mapa dos postos pluviométricos utilizados na pesquisa.



Fonte: autor.

Os dados do TRMM são disponibilizados através do produto 3B43_V7, que corresponde aos valores mensais de chuva e estão disponíveis nos formatos GeoTIFF e kml no site GIOVANNI da NASA. Para esta pesquisa foram utilizados dados no formato GeoTIFF, que correspondem a pixels na resolução espacial de 25 km por 25 km, conforme Figura 3.

Figura 3. Mosaico de pixels do TRMM com valores mensais de precipitação



Fonte: autor, 2019.

Metodologias de Comparação

A precipitação em si é uma informação pontual e localizada, enquanto o TRMM mede a chuva média num determinado pixel (25 x 25 km), por sua vez, o posto pluviométrico mensura um dado localizado, podendo haver diferenças consideráveis de um posto próximo a outro. Diante dessa situação, a literatura especializada tem aplicado diversas metodologias para comparar dados obtidos por sensoriamento remoto e dados terrestres, não existindo um modelo padronizado de verificação dos dados estimados por satélite.

Por tanto, para efeito desta pesquisa, foram adotados 4 métodos de comparação (Quadro 2) entre os dados estimados e observados, e que se basearam em outros trabalhos nessa área de pesquisa, sendo:

- **Comparação A (pixel a ponto):** os dados estações pluviométricas, foram interpolados no método Inverso do Peso da Distância (inglês *Inverse Distance Weighted – IDW*) e comparados com a série do TRMM cujo centro de pixel está mais próximo do pluviômetro. Essa maneira de comparar as estimativas do satélite é vantajosa pois não altera nenhum dos componentes da comparação do dado monitorado e a estimativa. Exemplos de trabalhos que utilizaram essa mesma metodologia: Liu e Peter (2013) em bacias hidrográficas do Taiwan; Almeida et al. (2015), no estado do Amazonas; Bernardi (2016), no estado do Rio Grande do Sul e Soares (2016) para o estado da Paraíba.
- **Comparação B (pixel a ponto):** essa comparação segue o mesmo modelo realizado na A, sendo que neste caso quem foi interpolado (IDW) foram os dados do TRMM. Dessa maneira, as estimativas do satélite foram comparadas com as séries das estações pluviométricas, conforme Chen et al., (2013).
- **Comparação C (ponto a pixel):** neste caso os dados foram comparados sem passar por nenhum tipo de processamento, diretamente como são baixados, conforme trabalhos de Massagli et al., (2011), para a bacia hidrográfica do Rio Ji-Paraná – Rondônia; Pombo e Oliveira (2015) em Angola; Silva et al., (2016) para a Região do Alto Rio Paraíba e Soares (2016) no estado da Paraíba.
- **Comparação D (pixel a pixel):** nesta comparação, os dados oriundos dos pluviômetros foram interpolados (IDW) para uma grade de mesmas dimensões das estimativas do TRMM, de modo que a sobreposição do pixel e a grade interpolada tivessem o mesmo tamanho, como mostrado nos trabalhos de Pereira et al. (2013); Morais e Ferreira (2015) no estado do Goiás e Melo et al. (2015) em todo Brasil.

Também foi utilizado a interpolação Inverso do Peso da Distância (no inglês *Inverse Weight of Distance – IDW*), pois devido ao número reduzido e muitas vezes insuficientes de dados na variabilidade espacial, a ferramenta acaba sendo ideal para dispersão dos valores localizados e fornecer uma boa representatividade espacial aos eventos de chuva, (GREGO *et al.*, 2017). Para isso, utilizou uma adaptação dos métodos utilizados por Silva *et al.* (2016) e Soares (2016) efetuando uma combinação entre

estimativas de satélite com medições reais, através do interpolador Inverso do Peso da Distância.

Além das comparações descritas acima, foram utilizadas 2 medidas que quantificam o erro associado às estimativas de chuva. A primeira foi o Erro Médio Absoluto (EMA), Equação 1, que corresponde à média das diferenças absolutas entre os valores observados e estimados:

$$EMA = \frac{\sum_{i=1}^n |Ei - Oi|}{n} \quad (1)$$

E a segunda foi a Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ), Equação 2, que é a raiz quadrada da média do quadrado das diferenças entre os dados de precipitação estimadas pelo satélite e as obtidas pelos pluviômetros:

$$REMQ = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Ei - Oi)^2}{n}} \quad (2)$$

O percentual do Bias que em português que dizer viés, foi utilizado para medir a tendência média dos dados simulados (maiores ou menores que os valores observados), e pode ser calculado através da Equação 3:

$$Pbias = \sum_{i=1}^n \frac{(Ei - Oi)}{\sum_{i=1}^n Oi} \cdot 100 \quad (3)$$

Além disso, foi estimado o coeficiente de correlação (r) equação 4, que mede o grau da correlação entre os valores das estimativas de chuva do satélite com os observados. O coeficiente de correlação, reflete a extensão de uma relação linear entre dois conjuntos de dados, que varia entre -1, 0 e 1. Para isto será necessário aplicar o método através da Equação 4:

$$r = \frac{(E - \bar{E}) \cdot (O - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Ei - \bar{E})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (Oi - \bar{O})^2}} \quad (4)$$

Onde:

E_i : corresponde o valor estimado pelo satélite no intervalo de tempo i ;

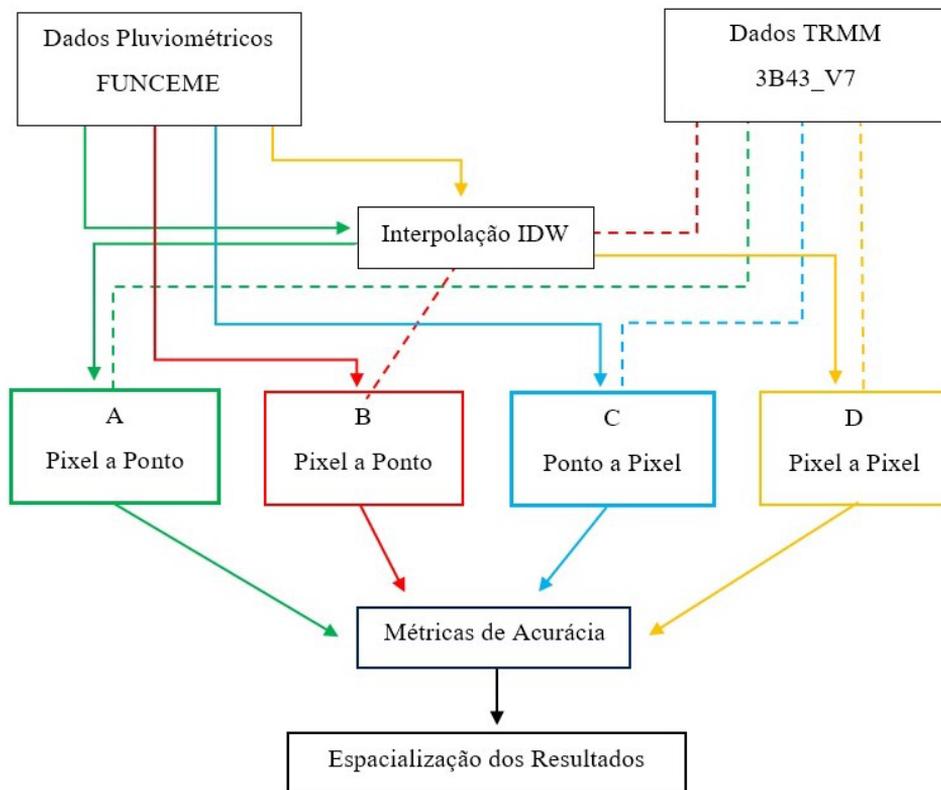
O_i : é valor observado em superfície no intervalo de tempo i ;

n : é número de dados analisados;

\bar{E} : é valor médio estimado pelo satélite e por fim,

\bar{O} : é valor médio observado em superfície.

Figura 4. Diagrama dos métodos Comparativos



Fonte: autor, 2019.

Resultados e Discussões

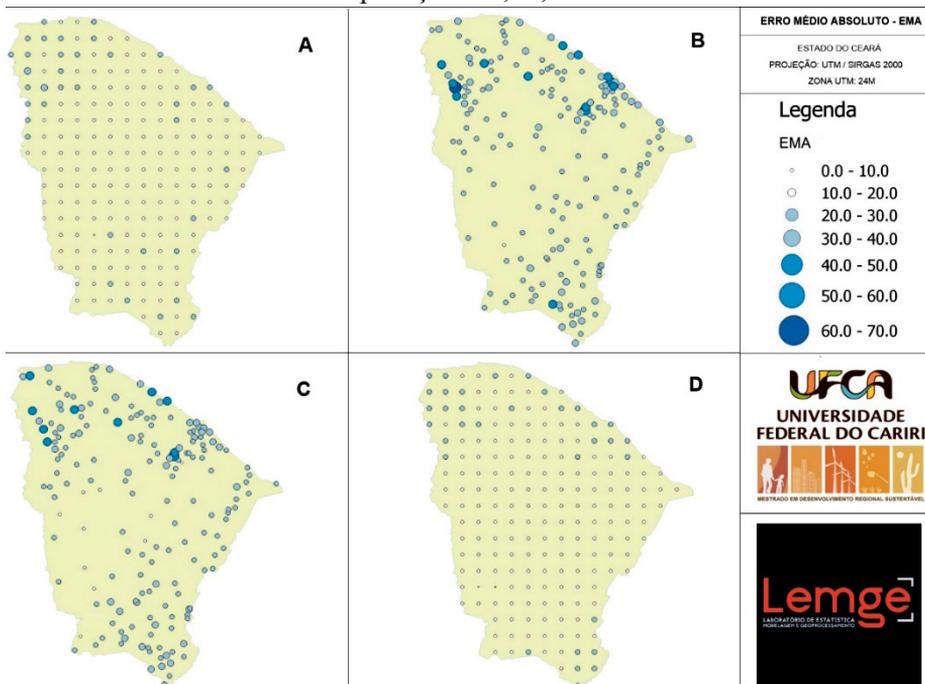
Para obtenção dos resultados, cada conjunto de dados das comparações A, B, C e D que podem ser representados tanto por pontos ou pixels, foram submetidos as métricas de comparação das equações 1, 2, 3 e 4, referente para os 20 anos da série histórica analisada nesta pesquisa.

• **Erro Médio Absoluto – EMA**

O EMA, representa a média das diferenças entre os totais de precipitação estimada e da observada nos postos pluviométricos para o período de 1998 a 2017 em mm, sendo que, quanto menor for o erro, melhor a confiabilidade do dado estimando pelo TRMM.

Na Figura 5 tem-se a média das diferenças entre os totais de precipitação estimada e da observada nos postos pluviométricos do Estado do Ceará para o período de 1998 a 2017.

Figura 5. Mapa dos valores médios do EMA para as comparações A, B, C e D



Fonte: autor, 2019.

De acordo com a Figura 5, observa-se que os menores valores médios do EMA ocorreram nas comparações D e A, tendo médias de 16,46mm e 16,88mm respectivamente, como pode ser verificado na Tabela 2.

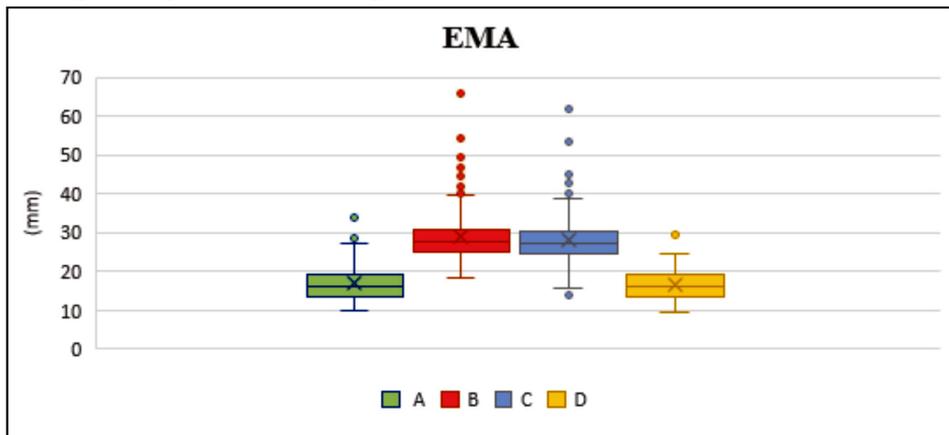
Tabela 2. Demonstra valores obtidos com EMA.

EMA	Mínima	Máxima	Média	CV (%)
A	9,76	34,74	16,88	25,96
B	18,20	65,69	29,10	22,40
C	14,05	61,78	28,17	23,12
D	9,32	29,28	16,27	20,71

Verifica-se que a comparação D apresentou o menor erro tanto para os valores máximos e mínimos. Já as comparações B e C apresentaram maiores erros, chegando a ter 65,69 e 61,78 mm respectivamente. Por tanto, o EMA variou entre 9,32 a 65,69 mm, sendo que as comparações A e D obtiveram resultados praticamente iguais, tendo uma diferença na média do EMA de apenas 2,5% entre elas.

No Gráfico 1, tem-se as comparações dos valores obtidos do TRMM e dos postos pluviométricos do Estado do Ceará. Nota-se que, apesar do Coeficiente de Variação (CV) ter demonstrado resultados para as comparações entre D e A praticamente iguais para os 20 anos de dados analisados, os valores em A apresentaram dados mais discrepantes se comparado a D, chegando a 25,96 %, enquanto D variou 20,57%. Já as comparações B e C obtiveram comportamento mais semelhantes.

Gráfico 1. Gráfico de box-plot do EMA com as comparações entre TRMM e postos pluviométricos, para todo estado do Ceará de 1998 a 2017.

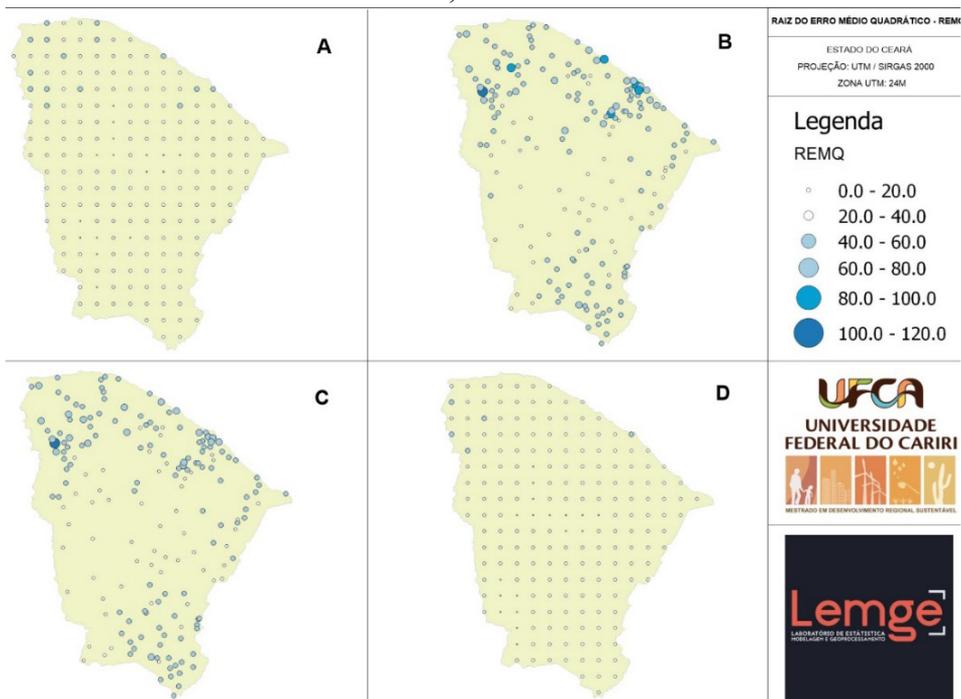


• **Raiz do Erro Médio Quadrático – REMQ**

A REMQ, do mesmo modo que o EMA, calcula a média dos quadrados dos desvios entre os valores observados e estimados, sendo compassivo a erros com valores absolutos maiores. No entanto, fornece maiores ponderações aos pesos quanto aos erros espaciais quando comparado ao EMA.

Na Figura 6 pode-se verificar os resultados das comparações analisadas a partir do REMQ, correspondendo a acurácia das estimativas em mm, sendo relevante para analisar o grau de confiabilidade das estimativas. Nela verifica-se que as médias com maiores valores de erros estão localizados na porção norte ocidental do estado, no entorno da Serra Grande e na Região Metropolitana de Fortaleza, chegando a quase 110 mm de erro no caso da comparação B.

Figura 6. Mapa dos valores médios do REMQ para as comparações A, B, C e D



Fonte: autor, 2019.

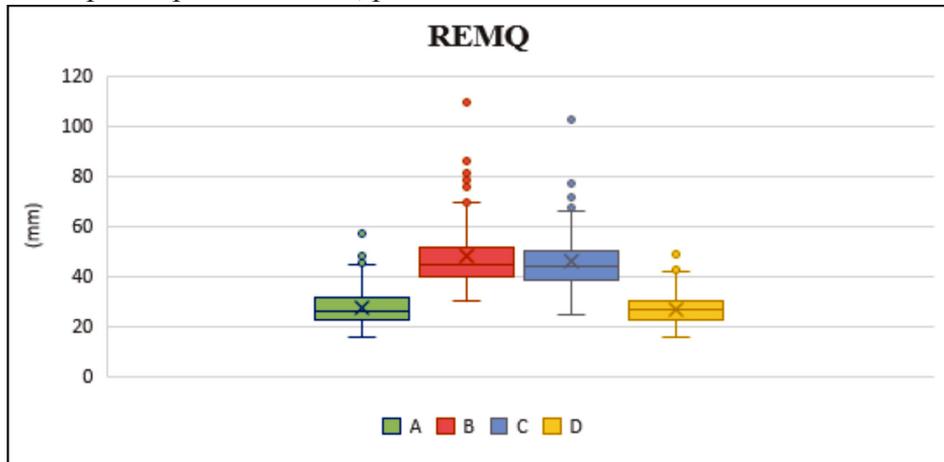
A Tabela 3 demonstra que a REMQ variou entre 15,26 a 109,65 mm. Novamente a comparação D obteve o melhor desempenho, novamente tanto a comparação D como A tiveram resultados aproximados com 2,37% de diferença entre elas.

Tabela 3. Demonstra valores obtidos com REMQ.

REMQ	Mínima	Máxima	Média	CV (%)
A	15,70	58,19	27,52	27,46
B	29,71	109,65	48,14	25,96
C	24,35	102,17	46,07	24,05
D	15,26	48,44	26,43 C	21,86

No Gráfico 2, pode-se visualizar melhor os resultados da REMQ, para todas as comparações, onde a linha central dentro de cada box-plot representa a média de cada comparação analisada no estudo. Nota-se que o Coeficiente de Variação (CV) foi menor na comparação D de 21,86%, enquanto as comparações A, B e C apresentaram dados mais discrepantes se comparado a D.

Gráfico 2. Gráfico de box-plot da REMQ com as comparações entre TRMM e postos pluviométricos, para todo estado do Ceara de 1998 a 2017.



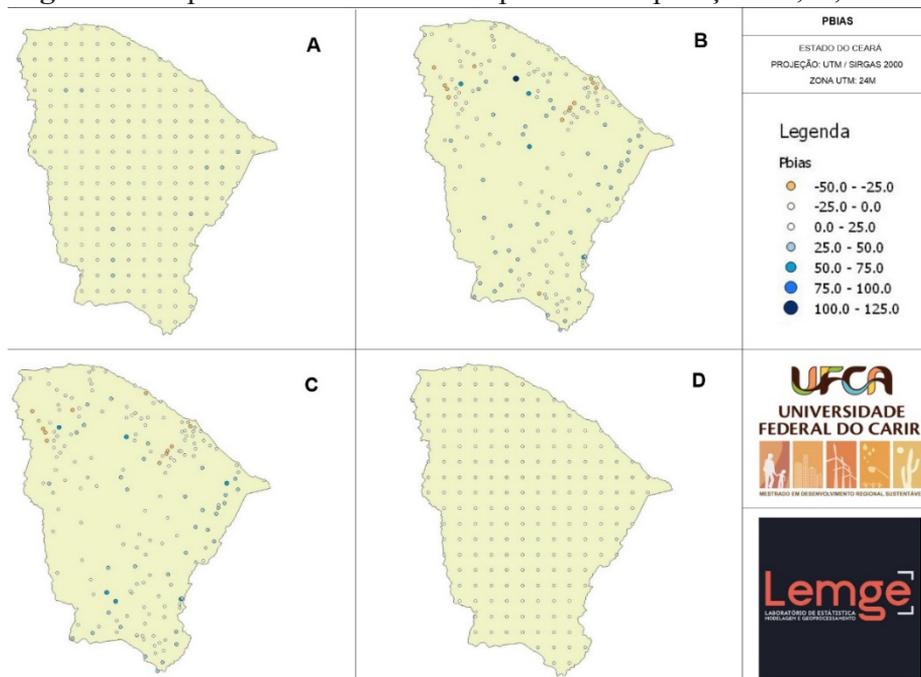
Em suma as duas métricas (EMA e a REMQ) apresentaram comportamentos parecidos na variabilidade dos erros encontrados, onde os menores valores correspondem a menor diferença entre as precipitações estimadas pelo TRMM.

- **Pbias**

O percentual de viés (PBIAS) mede a tendência de os dados estimados serem maiores ou menores que os observados. Valores positivos indicam viés de superestimação, enquanto valores negativos indicam viés de subestimação do modelo. Se o Pbias for igual a zero, significa que o valor estimado é igual ao valor observado.

Olhando a Figura 7, percebe-se que houve uma tendência de subestimação do TRMM na distribuição do Pbias para as comparações B e C, tanto na porção norte ocidental do estado, no entorno da Serra Grande, quanto no entorno da região metropolitana de Fortaleza.

Figura 7. Mapa dos valores do Pbias para as comparações A, B, C e D



Fonte: autor, 2019.

Na média para todos os postos, o valor do TRMM, foi positivo, indicando assim uma leve superestimativa dos valores do TRMM em relação aos dados de pluviometria coletados nas estações pluviométricas (Tabela 4).

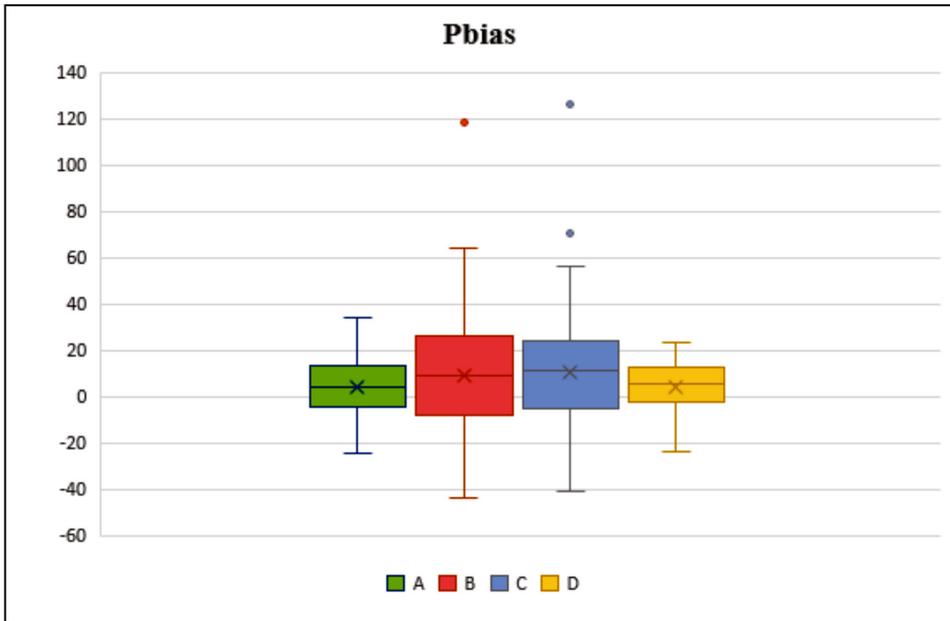
Tabela 4. Valores obtidos com PBIAS para os quatros métodos de comparação.

PBIAS	Mínima	Máxima	Média*	CV (%)
A	-24,32	34,15	4,21	299,69
B	-43,56	118,48	8,93	260,86
C	-41,15	125,98	10,76	210,10
D	-24,04	23,19	3,15	354,87

Novamente no Pbias, a comparação D obteve o menor valor médio de 3,15 e a comparação A também obteve um valor aproximado, de 4,21 demonstrando uma tendência mais aproximadas do 0 (zero). Já as comparações B e C tiveram uma variação grande entre os valores negativos e positivos, transportando assim, uma tendência maior de superestimar a precipitação estimadas, conforme demonstrado no Gráfico 3.

O Coeficiente de Variação (CV) apresentado na Tabela 7, demonstrou que a comparação C teve menor variância entre os dados de precipitação estimada e observada para os 20 anos, de 210,10%, mesmo tendo a maior média dentre todas as comparações.

Gráfico 3. Gráfico de box-plot do Pbias com as comparações entre TRMM e postos pluviométricos, para todo estado do Ceara de 1998 a 2017.

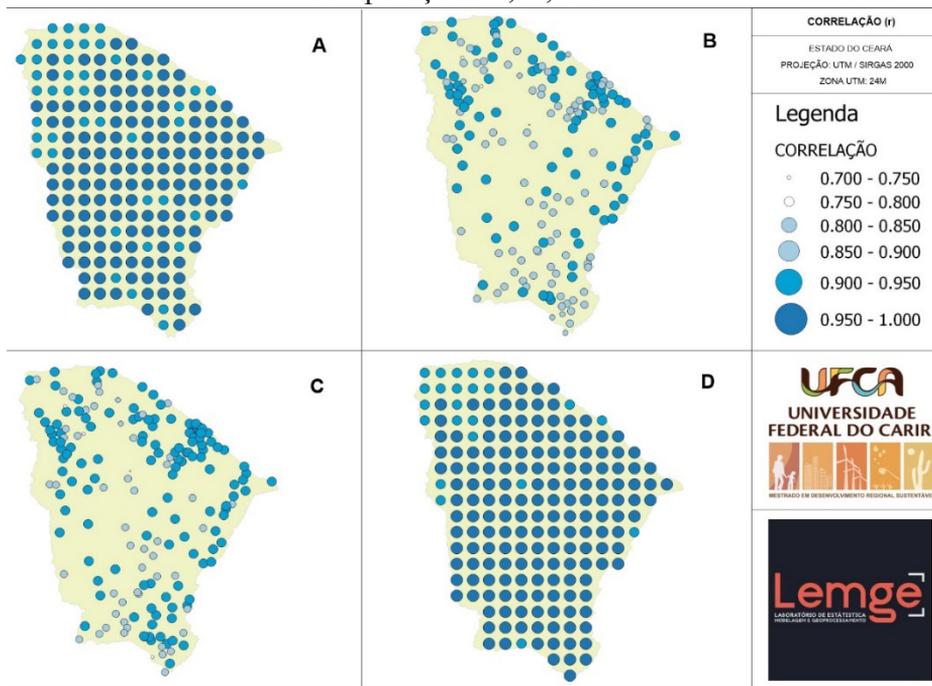


Correlação (r)

Para o valor de correlação de Pearson foi considerado pequeno (até 0,25), baixo (0,26 – 0,49), moderado/médio (0,50- 0,69), alto/boa (0,70- 0,89) e muito alta/ótima (de 0,90 acima), de acordo com os valores de referência descritos por Louzada (2016).

O coeficiente de correlação variou entre 0,89 a 0,96 entre as médias, e novamente o resultado da comparação D, se mostrou com maior a correlação entre a precipitação estimada pelo TRMM e a observada nos postos pluviométricos, apresentando assim melhor média para os valores acumulados. Na Figura 8, tem-se os mapas com a correlação entre pluviometria observada e estimada para o Estado do Ceará utilizando os quatro métodos de comparação (Quadro 1).

Figura 8. Correlação entre pluviometria observada e estimada para as comparações A, B, C e D



Fonte: autor, 2019.

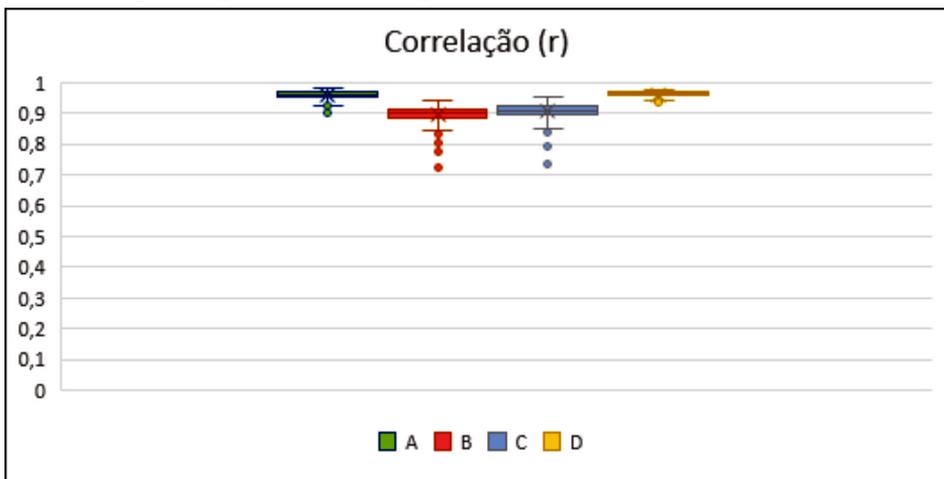
O coeficiente de correlação variou de 0,89 a 0,96 entre as comparações analisadas, o que pode ser considerado um resultado muito satisfatório. Pode-se notar que as maiores correlações foram obtidas entre as comparações D, A e C encontrando-se numa classificação de muito alta a ótima e a comparação B classificada como alta ou boa (Tabela 5). Neste cenário pode-se dizer que tanto a comparação D como A tiveram correlações praticamente iguais, com uma diferença de 1,05%.

Tabela 5. Demonstra valores da correlação (r).

r	Mínima	Máxima	Média*	CV (%)
A	0,90	0,97	0,95 A	1,55
B	0,72	0,93	0,89 C	3,09
C	0,73	0,95	0,90 B	3,18
D	0,93	0,97	0,96 A	0,99

No Gráfico 4, observa-se que todas as comparações se aproximam de 1,0, sendo que as comparações D e A tem menores variações nos dados comparados. Na Tabela 8 nota-se que, apesar do Coeficiente de Variação (CV) ter demonstrado a comparação D obteve menor variação de 0,93% e A foi a comparação obteve resultado também satisfatório de 1,55% para os 20 anos de dados analisados, já os valores de B e C apresentaram dados mais discrepantes se comparado a D, chegando a 3,09 % em B, enquanto C variou 3,18%. As comparações B e C obtiveram comportamento semelhante.

Gráfico 4. Gráfico de box-plot da correlação (r) das comparações entre TRMM e postos pluviométricos, para todo estado do Ceara de 1998 a 2017.



Conclusão e Considerações Finais

De modo geral, os valores estimados com o satélite TRMM foram aproximados com os dados observados em solo pelos postos pluviométricos. Sendo a comparação D a que obteve menor erro nas métricas de acurácia, menor percentual de erro no Pbias e a maior correlação entre todas as comparações analisadas nesta pesquisa, porém vale ressaltar que a comparação A obteve praticamente o mesmo desempenho, sendo também um modelo de comparação satisfatório (Tabela 6).

O índice de Pbias apresentou valores positivos, para todas comparações, o que indica que a utilização dos dados do TRMM tende a superestimar os valores observados de superfície.

Tabela 6. Resumo dos resultados para todas as comparações.

	A	B	C	D
EMA	16,88	29,10	28,17	16,27
REMQ	27,52	48,14	46,07	26,43
PBIAS	4,21	8,93	10,76	3,15
r	0,95	0,89	0,90	0,96

A confiabilidade do TRMM em representar estimativas de chuvas para o estado do Ceará, comprova a eficácia de seus instrumentos em fornecer dados para o monitoramento climático a que se propôs. Lembrando que estes dados são disponibilizados para consulta a qualquer um que pesquise sobre a área e em qualquer lugar da Terra, possibilitando pesquisas em vários segmentos de acordo com necessidades de cada pesquisa.

Verificou-se nas comparações pelos quatro métodos, que os locais que apresentam os maiores erros, são justamente onde tem a maior concentração de postos pluviométricos para o mesmo pixel, significando que quanto maior o número de dados disponíveis em um mesmo pixel, maior é a tendência desses valores se diferenciarem da precipitação estimada pelo TRMM, mas que pode ser corrigido com a utilização da interpolação para ajuste espacial desses dados.

Pode-se considerar que a quantidade de pesquisas envolvendo os produtos do TRMM mostrou-se viável, mas apenas para alguns estudos específicos, considerando que os dados se comportam de maneira diferente para cada região do planeta. Como no caso do nordeste do Brasil, que possui clima semiárido, onde a radiação solar é alta e a cobertura de nuvem é baixa durante a maior parte do ano, associado a um menor índice de pluviosidade em relação a outras regiões do país, acaba favorecendo um bom desempenho dos sensores do TRMM.

Contudo, nota-se que há uma grande quantidade de métodos utilizados para avaliação da qualidade das estimativas, alguns com foco em análises pontuais, outros em comparações espaciais, alguns fazendo uso de interpoladores e outros mantendo os dados intactos. Logo, deve-se ter cuidado ao definir o método dependendo do objetivo da análise.

Referências

- Aires, U. R. V., Neto, J. de O. M. & Mello, C. R. (2016). Estimativas de precipitação derivadas do satélite TRMM para a bacia hidrográfica do rio Paraopeba, MG, *Revista Scientia Agraria - SA*, 17(2), 57-66. Curitiba - PR, abril/maio, 2016, Versão On-line ISSN 1983-2443.
- Almeida, C. T., Delgado, R. C., Junior, J. F. O., Gois, G. & Cavalcanti, A. S. (2015). Avaliação das estimativas de precipitação do produto 3B43-TRMM do Estado do Amazonas. *Floresta e Ambiente*, 279-286.
- Bernardi, E. C. S. (2016). *Qualidade das Estimativas de Precipitação do Satélite TRMM no Estado do Rio Grande do Sul*. 2016. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharias) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- Brandão, R. L.; Freitas, L. C. B. (2014). Geodiversidade do estado do Ceará / Organização – Fortaleza - CE, CPRM, 214 p, ISBN 978-85-7499-140-5.
- Chen, S.; Hong, Y.; Gourley, J. J.; Huffman, G. J.; Tian, Y.; Cao, Q.; Yong, B.; Kirstetter, P.; Hu, J.; Hardy, J.; Li, Z.; Khan, S. & Xue, Xianwu. (2013). Evaluation of the successive V6 and V7 TRMM multisatellite precipitation analysis over the Continental United States. *Water Resources Research*, 49, 8174-8186.
- FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia, série histórica de chuvas do Ceará, link<http://www.funceme.br/produtos/script/chuvas/Download_de_series_historicas.php>, acessado em 05/03/2018.
- Grego, C. R.; Teixeira, A. H. de C.; Leivas, J. F.; Bayma-Silva, G.; Manjolin, R. C. (2017). Interpolação de dados agrometeorológicos em duas densidades amostrais no norte de Minas Gerais. *Revista Agrometeoros, Passo Fundo*, 25(1), 1-89, ago 2017, ISSN 2526-7043.
- Louzada, F. L. R. O. (2016). Balanço hídrico climatológico com dados estimados pelo satélite Tropical Rainfall Measuring Mission para a bacia hidrográfica do Rio Doce. Tese (Doutorado em Recursos hídricos e Geoprocessamento em sistemas agrícolas), Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre - ES, 2016.
- Liu, J. K. & Peter, T. Y. (2013). Topographic correction of wind-driven rainfall for landslide analysis in Central Taiwan with validation from aerial and satellite optical images. *Remote Sens.*, 5(6), 2571-2589.

- Massagli, G. O., Victoria, D. C. & Andrade, R. G. (2011). Comparação entre precipitação medida em estações pluviométricas e estimada pelo satélite TRMM, 5º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica - CIIC 2011 9 a 11 de agosto de 2011 – Campinas, SP.
- Melo, D. C.; Xavier, A. C.; Bianchi, T.; Oliveira, P. T.; Scanlon, B. R.; Lucas, M. C.; Wendland, E. (2015). Performance evaluation of rainfall estimates by TRMM Multisatellite Precipitation Analysis 3B42V6 and V7 over Brazil. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120, 1-11, 28 Ago., 2015.
- Morais, L. B. & Ferreira, N. C. (2015). Banco de Dados Pluviométricos Integrados por Dados do Sensor TRMM e Estações Pluviométricas no Estado de Goiás, Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.
- NASA, Giovanni User Guide; Giovanni is an online (Web) environment for the display and analysis of geophysical parameters in which the provenance (data lineage) can easily be accessed. Disponível em < <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/doc/Users-Manualworkingdocument.docx.html>>.
- NASDA. (2001). TRMM Data Users Handbook. National Space Development Agency of Japan, Earth Observation Center.
- Pereira, G., Silva, M. E. S., Moraes, E. C. & Cardozo, F. S. (2013). Avaliação dos dados de precipitação estimados pelo satélite TRMM para o Brasil. *RBRH: revista brasileira de recursos hídricos*, v. 18, n. 3, p. 139-148.
- Pombo, S.; Oliveira, R. P. (2015). Evaluation of extreme precipitation estimates from TRMM in Angola. *Journal of Hydrology*, 523, 663-679.
- QGIS Development Team, (2018). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project.
- R CORE TEAM R; (2017). A Language and Environment for Statistical Computing R Foundation, Vienna, Austria.
- Soares, A. S. D., Paz, A. R. & Piccilli, D. G. A. (2016). Avaliação das estimativas de chuva do satélite TRMM no Estado da Paraíba, *Revista Brasileira de Recursos Hídricos - RBRH*, 21(2). Versão On-line ISSN 2318-0331, Porto Alegre, abr./jun. 2016, p. 288 - 299, Artigo Científico/Técnico.

- Silva-Fuzzo, D. F. & Rocha, J. V. (2016). Validação dos Dados de Precipitação Estimados Pelo TRMM, para o Estado do Paraná, e sua Contribuição ao Monitoramento Agrometeorológico. *Revista Formação (ONLINE)* Vol. 3; n. 23, p. 301316. ISSN: 2178-7298. ISSN-L: 1517-543X.
- Silva, M. I. C. A., Silva, R. M. & Santos, C. A. G. (2016). Estimativa da precipitação do satélite TRMM para a Bacia do Alto Rio Paraíba (PB), XIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste.
- Sodré, G. R. C., Borges, L. S., Oliveira, J. V. & Mello, F. A. (2013). Análise Quantitativa e Qualitativa Horária de Dados do Radar, TRMM e Estações Meteorológicas na Região Amazônica. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 6, p. 110-117.



Efectos del cambio climático en la distribución del bosque de oyamel

Effects Of Climate Change In The Distribution Of Oyamel Forest

Gabriel Alexis Araiza-Olivares¹

Universidad Nacional Autónoma de México, México

Resumen

El oyamel (*Abies religiosa*) es una especie endémica de México; se distribuye en manchones aislados, en las regiones montañosas del centro del país. Para su desarrollo requiere de condiciones medioambientales específicas de temperaturas frescas y alta humedad. Los bosques de oyamel constituyen un gran reservorio de biodiversidad ya que albergan cientos de especies de flora y fauna. Así mismo, cumplen la función de importantes sumideros de carbono y captadores de agua, además de poseer un importante potencial económico puesto que proporcionan materias primas para varias industrias, entre otros servicios ambientales. A pesar de que el cambio climático no es un fenómeno inédito, la velocidad observada en la actualidad hace pensar que su origen no es natural sino antrópico. Este trabajo proyecta los efectos a largo plazo que el cambio climático, de acuerdo al modelo *REA*, tendría sobre la extensión y distribución de los bosques de oyamel en el Sistema Volcánico Transversal. Los resultados se dividieron en cinco categorías (Muy adecuado, Adecuado, Moderadamente adecuado, Poco adecuado y No adecuado), en función a las condiciones ombrotérmicas de los diferentes forzamientos radiativos del modelo mostraron una sensible disminución en cuanto a la extensión territorial ocupada por este ecosistema, a la vez que se observa un ascenso altitudinal en su distribución.

Palabras clave: Oyamel, cambio climático, servicios ambientales, adaptación.

Abstract

Oyamel (*Abies religiosa*) is an endemic species of Mexico; the masses that form are distributed in isolated patches, in the mountainous regions of the center of the country. For its development

1 Maestro en geografía, UNAM. Ciudad de México, México. Correo electrónico: g_araiza@ciencias.unam.mx. <https://orcid.org/0000-0003-2132-1949>

requires specific environmental conditions of cool temperatures and high humidity. Oyamel forests are a great reservoir of biodiversity since they house hundreds of species of flora and fauna. Likewise, they fulfill the function of important carbon sinks and water collectors, besides having an important economic potential since they provide raw materials for several industries, among other environmental services. Although climate change is not an unprecedented phenomenon, the speed observed today suggests that its origin is not natural but anthropic. This paper analyzed the long-term effects that climate change, according to the REA model, would have on the extension and distribution of oyamel forests in the Transversal Volcanic System. The results were divided into five categories (Very adequate, Adequate, Moderately adequate, Unsuitable and Unsuitable), depending on the ombrothermic conditions of the different radiative forcings of the model showed a significant decrease in the territorial extent occupied by this ecosystem, while observing an altitudinal rise in its distribution.

Keywords: Oyamel, climate change, environmental services, adaption.

Introducción

La Tierra absorbe radiación solar y esta es redistribuida a través de la circulación de la atmósfera y el océano de la zona ecuatorial hacia los polos, la energía es irradiada de la superficie al espacio hasta alcanzar el equilibrio entre la radiación absorbida y emitida, sin embargo, la variación de estos factores puede derivar en alteraciones en el clima (Magaña, 2004).

Las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de las actividades humanas han aumentado desde la era preindustrial debido al crecimiento demográfico y económico. De acuerdo con el [Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, IPCC, por sus siglas en inglés \(2014\)](#) entre el año 2000 y 2010 las emisiones de gases de efecto invernadero alcanzaron un máximo histórico, las concentraciones de bióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (NO) lograron los niveles más altos en 800 mil años, a partir de la revolución industrial y como consecuencia, se ha incrementado la temperatura global.

Los efectos del cambio climático se han reflejado, en el incremento de la temperatura media anual entre 1880 y 2012 de 0.85°C; el nivel medio del mar ha aumentado, en promedio, 3.2 mm./año en las últimas dos décadas, si se considera el escenario de mayores emisiones de gases de efecto invernadero, al año 2100, la temperatura global podría elevarse hasta 4°C y un incremento en el nivel del mar de casi un metro con respecto a lo observado entre 1980 y 1999. a fines del S. XXI ([Organización de las Naciones Unidas, 2017](#)).

Para estudiar las posibles consecuencias de la alteración de la composición de la atmósfera, el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en conjunto con la Organización Meteorológica Mundial (OMM), fue constituido el *IPCC* que a la fecha ha publicado cinco reportes cuyo objetivo es reunir el conocimiento científico, socioeconómico y técnico sobre el cambio climático ([IPCC, 2015](#))

En México, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (*INECC*) es el órgano gubernamental creado a partir de la Ley General de Cambio Climático para coordinar y llevar a cabo proyectos de investigación científica y tecnológica en conjunto con instituciones académicas públicas y privadas. A partir de ello surge el proyecto *Actualización de escenarios de cambio climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación en México y Centroamérica*, financiado por el Fondo de Medio Ambiente Mundial (FMAM) y administrado por el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). ([Cavazos, Salinas et al., 2013](#); Quinta Comunicación Nacional, 2012 en [Fernández et al., 2015](#)).

Dicho proyecto incluye 15 modelos generales de circulación atmosférica elaborados por instituciones de diversas partes del mundo e integran a la Quinta Comunicación Nacional y que a su vez fueron utilizados para la elaboración del modelo *Reliability Ensemble Averaging, REA*, así mismo, se proyectaron datos de temperatura y precipitación a tres horizontes temporales: cercano (2015-2039); intermedio (2045-2069) y lejano (2075-2099), además se generó un sistema interactivo de consulta y descarga de bases de datos de código abierto. ([Fernández et al. 2015](#); [INECC, 2016](#)).

El modelo *REA* presenta dos trayectorias representativas de concentraciones o forzamientos radiativos; la 4.5 (bajas emisiones) y la 8.5 (altas emisiones) y una resolución espacial de 30"x30" ([Fernández et al., 2015](#)).

El bosque de oyamel

El ecosistema del bosque de oyamel brinda refugio a gran cantidad de biodiversidad, en él se han logrado identificar hasta 510 especies de plantas, sin embargo, solo el 8 % de ellas se encuentran de manera común en estas áreas ([Sánchez et al., 2005](#)).

El oyamel, además, sirve como sumidero de CO₂, de acuerdo con la [Procuraduría de Ordenamiento Territorial \(2010\)](#) el promedio de almacenamiento de carbono registrado en el suelo de conservación de la Ciudad

de México es de 93.4 ton/ha, en tanto que, [Razo et al. \(2015\)](#) encontraron que los bosques conservados presentaron una menor capacidad de secuestro de carbono (62.6 ton/ha.) en contraste, los bosques alterados con árboles jóvenes alcanzan hasta 138.6 ton/ha. en el PN El Chico, Hidalgo.

El hábitat del oyamel se encuentra restringido y disperso debido principalmente a que requiere de condiciones específicas de temperatura y humedad, se le considera como un bosque relictivo de periodos glaciales ([Rzedowski & McVaugh en Guerrero et al., 2014](#)).

Los bosques de *Abies religiosa* se localizan en altitudes superiores a los 2400 hasta los 3600 msnm o incluso 3800 msnm, en laderas protegidas de la radiación solar y de los fuertes vientos, así mismo, donde la humedad es alta y la lluvia apreciable se presenta en al menos 100 días a lo largo del año ([Challenger 1998](#); [Rzedowski, 2006](#); [Villers et al., 2006](#)) (figura 1).

[Díaz et al. \(2011\)](#) indican los requerimientos ambientales del bosque de oyamel en el cual consideran cinco variables distintas y establecen cuatro categorías de acuerdo con lo favorable de las condiciones (tabla 1).

Tabla 1. Requerimientos ambientales del oyamel.

Especie	Variable	Categoría			
		Adecuada	Moderadamente adecuada	Poco adecuada	No adecuada
<i>Abies religiosa</i>	Precipitación anual (mm)	1000-1800	800-1000 >1800	700-800	<700
	Temperatura media anual (°C)	8-14	7-8 14-16	6-7 16-20	<6 >20
	Temperatura del mes más frío (°C)	6-10	4-6 10-12	3-4 12-16	<3 >16
	Temperatura del mes más cálido (°C)	10-14	8-10 14-18	7-8 18-22	<7 >22
	Periodo seco (meses)	0-3	4	5-6	>7

Fuente: [Díaz et al. \(2011\)](#).

Delimitación del área de estudio

El área de estudio se delimita al Norte con el Parque Nacional El Chico (20°13' 25"N); al Sur Parque Nacional Izta-Popo (18°59'00"N); al Este el lago de Cuitzeo (100°59'10") y al Oeste el Parque Nacional Pico de Orizaba (97°12'00") (figura 1).

Metodología

La línea base de las condiciones climáticas se construyó a partir de los datos mensuales de las estaciones climatológicas de CLICOM del Servicio Meteorológico Nacional. El periodo de tiempo considera una dimensión temporal de 1950 hasta 2010, así como al menos 20 años de datos continuos y 90% de disponibilidad de los mismos.

La validez de los datos depende principalmente de tres factores; 1) tamaño de la muestra; 2) homogeneidad; 3) coincidencia temporal a fin de contrastarlos (Bello, 2014).

Se utilizó el método estadístico de prueba de homogeneidad por rachas bajo el criterio de Doorembos. Se aplica a los datos de precipitación y consiste en dos etapas: 1) obtención de media y median de la serie; 2) cálculo de desvíos o cambios de signo. Si el número de desvíos se encuentra dentro del rango establecido por Doorembos, la serie se considera homogénea, de lo contrario la estación se descarta (Cruz *et al.*, 2012).

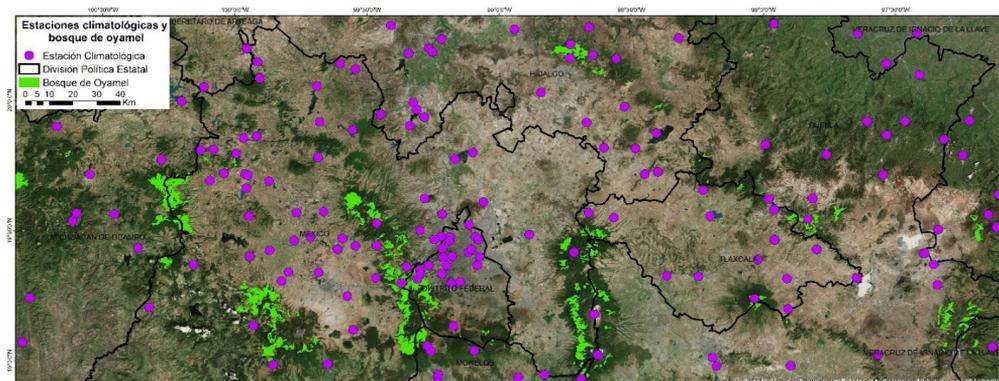
Se calcularon datos de temperatura media, máxima, mínima y precipitación a partir de la determinación del gradiente altitudinal mediante ecuaciones de regresión lineal simple para puntos aleatorios cercanos a la cima del volcán Tláloc, Iztaccíhuatl, Popocatépetl y La Malinche.

El total de estaciones climatológicas, incluyendo los puntos aleatorios calculados fueron 168; Ciudad de México, 20; Estado de México, 56; Morelos, 8; Tlaxcala, 15; Puebla, 21; Hidalgo, 25; Veracruz, 12; Michoacán, 11 (figura 2).

La base de datos quedó integrada por un total de cinco variables climatológicas:

1. Temperatura media anual
2. Temperatura media máxima anual
3. Temperatura media mínima anual
4. Precipitación media anual
5. Unidades fototérmicas anuales

Figura. 1. Ubicación de estaciones climatológicas y bosque de oyamel.



Fuente: CLICOM, INEGI

Se trabajó con el modelo de circulación regional mexicano *REA* con horizonte lejano (2075-2099) con los forzamientos radiativos disponibles (4.5 y 8.5) y resolución de 30" x 30" por píxel. Los datos mensuales de las variables climatológicas se integraron a un entorno SIG, de tal manera que se obtuvieron los datos anualizados correspondientes a las 168 estaciones.

Además, se seleccionaron tres de las estaciones ubicadas en inmediaciones del bosque. Se analizó el comportamiento de las condiciones de temperatura y precipitación a lo largo del año para así contrastar las normales climatológicas con las proyecciones del modelo *REA* mediante climogramas de Ball.

Para la distribución potencial se analizó mediante el software MaxEnt 3.3.3. el cual basa su funcionamiento en el principio de máxima entropía, que consiste en la identificación de las relaciones existentes entre la localización real de las especies y las características biofísicas y ambientales, de tal manera que es posible estimar la probabilidad de la distribución y cuya ecuación básica se expresa del siguiente modo:

$$H(\hat{\pi}) = - \sum_{x \in X} \hat{\pi}(x) \ln \hat{\pi}(x)$$

Donde π es la distribución probable desconocida, x como el conjunto de píxeles en el área de estudio. La distribución π asigna una probabilidad

no negativa $\pi(x)$ para cada píxel x sumando 1. π también se define como una distribución probable la cual queda definida como $\hat{\pi}$; \ln indica logaritmo natural. La entropía es no negativa y es como máximo, el logaritmo natural de los elementos contenidos en X (Kumar & Stohlgren, 2009; Martínez, 2010; Phillips *et al.*, 2006).

Las tablas de puntos georreferenciados se obtuvieron a partir de la capa vectorial de Uso de Suelo y Vegetación Serie V escala 1: 250 000 de INEGI y por el otro, archivos ráster en formato ASCII los cuales contienen todas las variables climatológicas a trabajar.

Estos archivos ráster son el resultado de la interpolación de las variables con la ayuda de Sistemas de Información Geográfica (SIG) ya que esta herramienta permite trasladar al espacio geográfico los datos aportados por las estaciones.

El método de interpolación trabajado fue Kriging simple con superficie predictiva y distribución base de t-student, esto debido a que presentó los mejores niveles de desviación estándar a comparación de otros métodos analizados en cada una de las variables (tabla 2).

Tabla 2. Desviación estándar de variables climatológicas con Kriging simple

Variable	Desviación Estándar
Temperatura Media	3.9
Temperatura Máxima	4.1
Temperatura Mínima	3.4
Precipitación	504.2
Unidades fototérmicas	176.4
Temperatura Mínima forzamiento 8.5	2.9
Temperatura Máxima forzamiento 8.5	3.2
Temperatura Media forzamiento 8.5	2.8
Precipitación forzamiento 8.5	423.9
Unidades fototérmicas forzamiento 8.5	143.7
Temperatura Mínima forzamiento 4.5	2.8
Temperatura Máxima forzamiento 4.5	3.3
Temperatura Media forzamiento 4.5	2.8
Precipitación forzamiento 4.5	481.4
Unidades fototérmicas 4.5	130.1

Fuente: Elaboración propia.

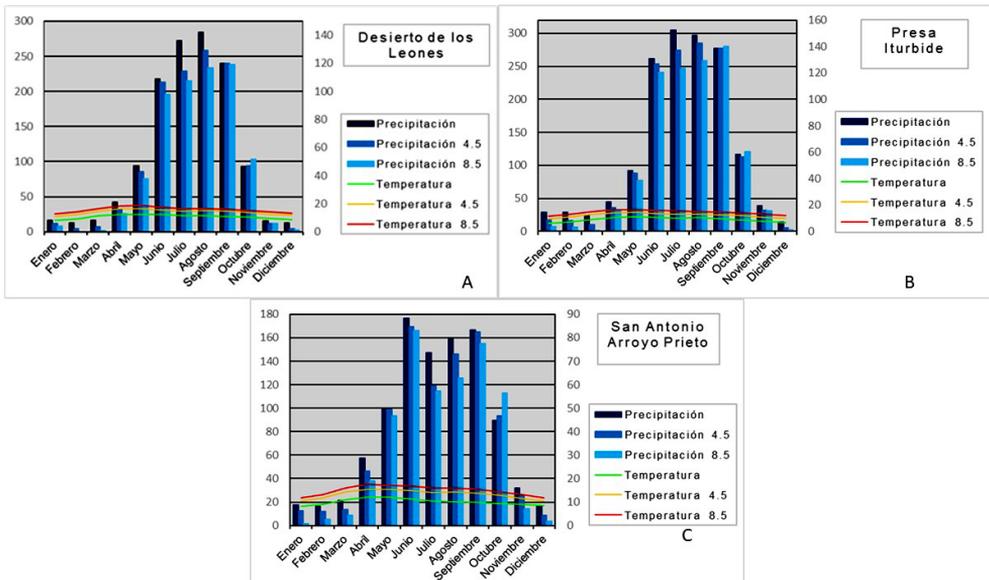
Los productos obtenidos por el procesamiento incluyen entre otros, archivos de formato ASCII cuyos valores van de 0 a 1, donde los valores cercanos a cero representan la menor probabilidad de distribución, mientras que los valores cercanos a 1 son aquellos cuya potencialidad es mayor. El formato de salida es compatible en el ambiente SIG, con lo que es posible realizar el análisis espacial de los datos.

La categorización de los valores de cada escenario se realizó tomando como referencia de la propuesta por [Díaz et al. \(2011\)](#) a la que se añadió una quinta; a) muy adecuado; b) adecuado; c) moderadamente adecuado; d) poco adecuado; e) no adecuado.

Resultados

Análisis puntual de estaciones climatológicas

Figura. 2. Climogramas de estaciones climatológicas. A) Desierto de los Leones. B) Presa Iturbide. C) San Antonio Arroyo Prieto.



Fuente: Elaboración propia.

La estación climatológica “Desierto de los Leones” (Álvaro Obregón, Ciudad de México), se encuentra a 2995 msnm, reporta un periodo de

funcionamiento de 26. 7 años (1961-1987) y un porcentaje de datos total del 99 % (Figura 2 (A)).

La temperatura media anual de la línea base es de 10.6 °C, mayo representa la temperatura más alta del año (12.5 °C) en contraste con enero que es el mes más frío (8.2 °C); ello significa una amplitud térmica de 4.3 °C.

La estación lluviosa se establece a partir del mes de abril y se extiende hasta octubre. La precipitación acumulada anual es de 1316.9 mm y las lluvias más copiosas ocurren durante el mes de agosto (284.1 mm) y el de menor cantidad es el de diciembre (12.4 mm); la temporada de estiaje cubre un periodo de 4 meses.

En el escenario propuesto *REA 4.5* la temperatura media anual muestra un aumento de 3.4 °C respecto al promedio; mayo se mantiene como el mes más cálido del año con 16.5 °C, en contraste, el más frío es enero con 11.1 °C lo que representa un incremento de 4 °C y 2.9 °C respectivamente; con una amplitud térmica de 5.5 °C a lo largo del año

En cuanto a la precipitación anual muestra una disminución de 9.5% al ubicarse en 1191.2 mm. El máximo de lluvias se presenta durante agosto con una disminución de del 9% con respecto a la línea base; el mes más seco se traslada a febrero, al reducirse un 60% en relación con la normal actual. La temporada seca del año muestra un alargamiento que pasa de cuatro meses en la actualidad a seis meses. En tanto que la extensión de la estación lluviosa se mantiene desde mayo hasta octubre.

El escenario *REA 8.5* exhibe condiciones más extremas en general; la temperatura media anual se ubica en los 15.7 °C, es decir, 4.9 °C arriba del escenario base; mayo alcanza los 18.6 °C lo que representa 6.1 °C por arriba del mismo mes en la actualidad. Por su parte, el mes más frío se mantiene en enero con 12.6 °C, 4.4 °C más. La amplitud térmica alcanza los 6 °C.

La lluvia acumulada anual exhibe una reducción de 15.6% al ubicarse en 1191.2 mm; el mes más lluvioso se traslada al mes de septiembre donde la disminución es del 1 % con 237.6 mm, en contraste con el mes de agosto que muestra una disminución de 17.9 %; el mes más seco es febrero donde la precipitación se reduce al 100 %. La sequía se presenta durante seis meses a lo largo del año y la temporada de lluvias se mantiene desde mayo hasta octubre.

La segunda estación utilizada para el análisis puntual es “Presa Iturbide” (Isidro Fabela, Estado de México) se ubica a 3290 msnm, posee 33 años de funcionamiento (1977-2010) y un porcentaje de datos del 95.1 % (Figura 2 (B)).

La estación reporta una temperatura media anual de 8.9° C, la temperatura máxima se presenta durante mayo con un valor de 10.9 °C, mientras que la temperatura mínima se observa en enero alcanzando 6.3 °C. La amplitud térmica se observa de 4.6 °C.

La lluvia acumulada anual se ubica en los 1529.2 mm y la mayor precipitación se registra en durante julio con 304.8 mm, sin embargo, el más seco es diciembre con 14.2 mm. La mayor parte del año puede considerarse dada la relación temperatura-precipitación como húmedo, exceptuando diciembre, aun así, es posible distinguir un incremento significativo en las precipitaciones durante mayo, en lo que puede considerarse el establecimiento de la temporada de lluvias la cual se extiende hasta octubre, momento en el que se percibe el importante descenso de las mismas.

El escenario *REA 4.5* da como resultado el incremento de la temperatura media anual hasta 12.2 °C, un incremento de 3.3 °C; el mes más cálido se presenta en mayo con 14.1 °C, 3.2 °C más; la temperatura mínima se aprecia durante enero con un valor de 9.6 °C, 3.3 °C por arriba de la cifra actual; la magnitud de la amplitud térmica es de 4.5 °C.

La lluvia acumulada presenta un descenso en términos anuales de 7.9 % con respecto a la línea base, con 1408.1 mm; agosto, por su parte, se coloca con la mayor cantidad de precipitación con 285.1 mm; julio que en la línea base es la mayor cantidad de precipitación disminuye 10 % hasta 274.3 mm; en tanto, el mes con la menor cantidad de lluvia es diciembre con 5.1 mm, 65 % menos.

En el escenario *REA 8.5* la temperatura media anual es de 14.4 °C, 5.5 °C más que en la línea base; la temperatura máxima se presenta durante abril y mayo con 16.7 °C, por su parte, la mínima se observa en enero con 11.6°C, incrementos de hasta 6.2 °C y 5.3 °C respectivamente. Ello representa que la amplitud térmica se ubica en 5.1 °C.

La precipitación advierte un porcentaje de disminución de 14.6 % en el acumulado anual; el mes que concentra la mayor cantidad de lluvia se desplaza de julio, donde se ubica en la línea base, a septiembre donde se observa incluso un ligero incremento con respecto al valor inicial (0.9 %),

en contraste con julio que se redujo 18.9 %. Diciembre se presenta como el más seco en donde se observa una reducción de 81.5 % con respecto a la normal actual; los meses secos sumen un total de cinco, mayo marca el inicio de la temporada húmeda que se extiende hasta octubre. Destacan los meses de septiembre y octubre en los que se advierten leves incrementos en los acumulados de lluvia.

En tanto la estación “San Antonio Arroyo Prieto” (Ixtacamaxtitlán, Puebla), se localiza a 3065 msnm tiene un periodo de funcionamiento 54.9 años (1954-2009) y concentra el 92.4 % de los datos (figura 2(C)).

La temperatura media anual actual registra 10 °C; abril y mayo son los meses donde se presenta la temperatura más alta con 12.1 °C mientras que la mínima se encuentra en enero con 8.1 °C, de tal manera que la amplitud térmica es de 4 °C.

La precipitación de la estación registrada fue de 998.4 mm anuales, en donde el mes más lluvioso es junio con 176.4 mm y el menos lluvioso es febrero con 16.3 mm. En total se observan 10 meses húmedos por dos secos; las altas precipitaciones comienzan a observarse a partir de mayo hasta octubre. Además, se presenta canícula durante en el mes de julio para alcanzar el segundo máximo en septiembre.

Las condiciones en el modelo *REA 4.5* presentan una temperatura media anual de 13.2 °C, 3.2 °C más en comparación a la base actual; la temperatura máxima se advierte durante abril, con 15.5 °C, lo que significa una diferencia de 3.4 °C a la normal existente; la temperatura mínima ocurre en enero con 10.3 °C, es decir, un aumento de 2.2 °C. La amplitud térmica se ubica en 5.2 °C.

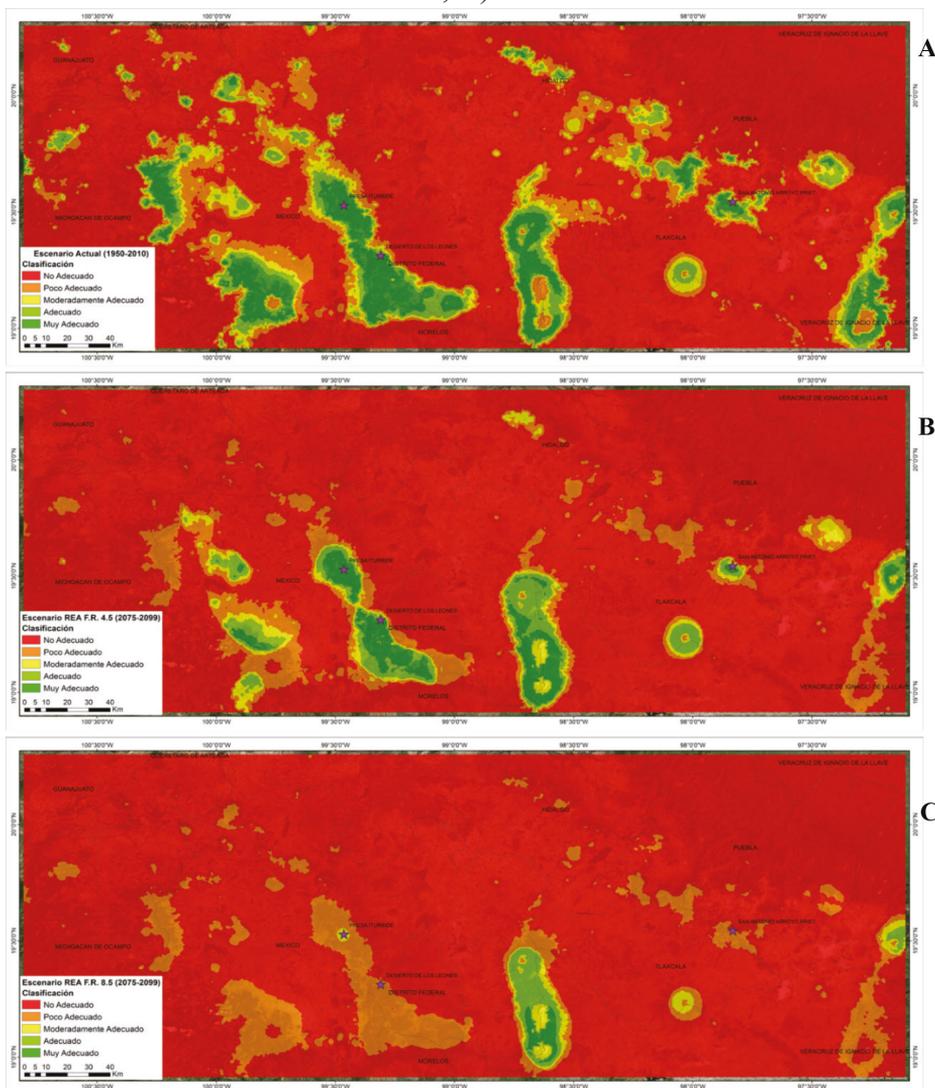
La lluvia experimenta un decrecimiento de 8.8 % al alcanzar la cantidad de 910 mm anuales; el mes más lluvioso se presenta en junio, donde la variación es de 3.9 % negativo, equivalente a 169.4 mm; en contraste el más seco es diciembre donde se presenta una disminución de 50 % de la precipitación al quedar en 8.4 mm. El periodo de aridez se extiende a lo largo de cuatro meses por ocho de humedad; la temporada de lluvias copiosas abarcan de mayo hasta octubre, este último mes muestra un incremento de 3.9 % para alcanzar 93.2 mm. Se presenta un periodo de sequía intra estival durante julio, pero más acusada que en la actualidad mientras que el segundo punto máximo de lluvias se mantiene en septiembre.

En el modelo *REA 8.5* establece una temperatura media anual de 14.9 °C, lo que representa una diferencia de 4.9 °C con respecto a la normal actual; la temperatura máxima se ubica durante mayo con 17.2 °C, 5.1 °C por arriba; la temperatura mínima se presenta en enero con 11.6 °C lo que significa un incremento de 3.5 °C. La amplitud térmica es de 5.6 °C.

El caso de la precipitación tiene una variación negativa de 16.1 % con una cantidad de 837. mm de lluvia anual; la mayor cantidad de lluvia se presenta durante junio, sin embargo, tiene una disminución de 6 % al presente; por su parte, el más seco es enero con solo 1.2 mm, es decir, disminuye 93.2 %. En este escenario se observan un total de cinco meses de aridez, por siete húmedos; el establecimiento de la temporada de lluvias se aprecia desde mayo hasta octubre, este último presenta también un incremento en la cantidad acumulada, de 21.2 % para registrar 113 mm. Al igual que en los otros escenarios, se presenta canícula durante julio, sin embargo, ésta se presenta de manera más acusada que en los anteriores.

Análisis espacial

Figura 3. Distribución potencial de oyamel. A) Escenario base; B) Escenario REA 4.5; C) Escenario REA 8.5.



Fuente: Elaboración propia.

Las condiciones ambientales que se presentan propicias para la distribución potencial bajo las condiciones actuales son amplias, principalmente en las sierras circundantes a la Cuenca de México, Valle de Toluca y Valle de Puebla-Tlaxcala. Las distintas categorías se presentan a manera de anillos concéntrico conforme las condiciones del relieve.

En la línea base (figura 4 (A)) la franja que se clasifican como muy adecuado y adecuado se presentan a partir de los 2800 msnm hasta los 3800 msnm en sitios como la RBB Mariposa Monarca, Nevado de Toluca; en la Sierra de las Cruces y Ajusco-Chichinautzin se ubica alrededor de los 2900 msnm hasta los 3800 msnm aproximadamente; en tanto que en la Sierra Nevada a partir de los 3000 y hasta los 3800 msnm; para el volcán La Malinche va de 3000 a 3600 msnm; en el área del Pico de Orizaba y Cofre de Perote desde los 3000 hasta los 3800 msnm; en la zona de Mineral del Chico inicia alrededor de 2800 y llega a 3000 msnm; en tanto que en los límites de Tlaxcala y Puebla se aprecia a partir de 2800 y por encima de 3200 msnm. Fuera de esta franja altitudinal la aptitud de albergar al oyamel disminuye.

El escenario *REA 4.5* (figura 4 (B)) muestra una importante reducción en las áreas clasificadas como muy adecuado y adecuado y un incremento sustancial en las clasificadas como poco adecuado.

El área de la RBMM pasa de predominantemente muy adecuado y adecuado a poco adecuado; por su parte se observa la fragmentación del bosque en el Nevado de Toluca, Sierra de las Cruces y Ajusco-Chichinautzin; en la Sierra Nevada destaca el ascenso de la clase moderadamente adecuado a las cercanías de las cimas de los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl; en el volcán La Malinche se advierte una cierta condición estable; el Pico de Orizaba pasa a una condición poco adecuada mientras que en el Cofre de Perote se mantiene, sin embargo el corredor que unía a estos se ve deteriorado al clasificarse como poco adecuado; en los límites de los estados de Puebla y Tlaxcala las condiciones pasan a ser poco adecuadas, a pesar de ello se mantiene una porción en adecuado en la zona circundante a la Presa Iturbide; al norte, el Parque Nacional El Chico predominan las condiciones moderadamente adecuadas, en detrimento tanto de la muy adecuada como la adecuada.

En el escenario *REA 8.5* (figura 4(C)) las condiciones adecuadas se restringen solo a altitudes superiores a 3000 msnm, el otro sitio donde se

mantienen condiciones adecuadas es en el Cofre de Perote en las laderas a barlovento; mientras que las muy adecuadas de 3400 hasta 3800 msnm pero solo en las laderas del Iztaccíhuatl y Popocatepetl; las moderadamente adecuadas se localizan entorno al cono del volcán La Malinche, debajo de los 3000 metros de la Sierra Nevada y por encima de los 3800, en el Cofre de Perote en las laderas a sotavento.

El resto de las áreas que anteriormente se encontraban en categorías de moderadamente adecuado, adecuado y muy adecuado pasan a poco adecuado o se integran a la clase de no adecuado.

De las variables climatológicas utilizadas para la construcción del modelo, se encontró que la precipitación fue la que aportó mayor cantidad, en tanto las unidades fototérmicas tuvieron nula aportación al mismo; cabe resaltar que se excluye la componente del relieve por no ser de interés para la investigación. La tabla 3 muestra el porcentaje relativo de aporte al modelo de cada elemento climático.

Tabla 3. Aporte al modelo de las variables climáticas

Variable	Aportación en %
Precipitación	41.3
T. mínima	27.5
T. máxima	27.5
T. media	3.4
U. fototérmicas	0

A partir del análisis espacial se pudo obtener el área aproximada de distribución de cada clase para el oyamel, así como la variación de la superficie con respecto a la línea base (tabla 4).

Tabla 4. Superficie calculada de distribución del bosque de oyamel y su variación

Categoría	Superficie Actual (ha.)	Superficie FR4.5 (ha.)	Superficie FR8.5 (ha.)	Variación % (FR4.5)	Variación % (FR8.5)
No Propicio	4 840 880.7	5 521 716.7	5 876 454.5	14.1	21.4
Poco propicio	681 950.6	462 522.5	382 777.2	-32.2	-43.9
Moderadamente Propicio	319 152.5	130 850.8	40 044.1	-59.0	-87.5
Propicio	465 609.4	225 516.1	67 912.0	-51.6	-85.4
Muy Propicio	78 973.5	46 046.4	19 464.7	-41.7	-75.4

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

Los bosques de oyamel son importantes ecosistemas que sirven de refugio de cientos de especies de animales, plantas y hongos, algunas de ellas tan representativas como la mariposa monarca; es de los biomas con mayor capacidad de captura de carbono, almacena e infiltra grandes cantidades de agua; provee diversas materias primas como madera usada en ebanistería, leña y resinas de uso industrial, así como ornamental como árboles de navidad.

La presión directa de las actividades humanas como la extracción de la madera de forma clandestina con fines comerciales, el cambio de uso de suelo para abrir nuevos terrenos agrícolas son dos de los principales motivos por los que la superficie ocupada por el oyamel se ha visto reducida, a esto se le suma la del cambio climático.

Las actuales condiciones climáticas lo colocan como sitios con características de alta humedad, escasos periodos de estiaje y con oscilaciones térmicas bajas a lo largo del año.

En términos generales, tanto el *REA 4.5* y *8.5* presentan aumentos significativos de la temperatura y la disminución de las precipitaciones acumuladas. Se observa que la amplitud térmica tiende a hacerse más acusada, en tanto que, el periodo de estiaje muestra signos de volverse más aguda.

El corrimiento de la estación lluviosa, así como de la distribución de la cantidad de lluvia puede generar la alteración del ciclo fenológico del oyamel. La sequía intra estival presenta valles más bajos que en la actualidad, lo que generaría estrés adicional sobre el ecosistema.

Solo el modelo con forzamiento radiativo 8.5 muestra incrementos en la precipitación, coincidente en el mes de octubre para las tres estaciones analizadas.

Las variaciones en temperatura y precipitación como factores tensionantes representarían el aumento de la vulnerabilidad del oyamel al ataque de plagas y enfermedades, así como el potencial de incremento de ocurrencia de incendios forestales. Los modelados de ambas proyecciones muestran la tendencia de migración en la vertical, sin embargo, en altitudes que resulten insuficientes para cubrir sus necesidades puede darse el caso del eventual desplazamiento por otras especies mejor adaptadas.

A pesar de que actualmente la especie no se encuentra enlistada bajo la protección de la NOM-059-SEMARNAT-2010, muestra una tendencia generalizada a reducir su población. La progresiva pérdida de cobertura boscosa debido al cambio climático pondría en peligro de extinción no solo al oyamel sino a las especies que conforman el ecosistema que a su vez significaría el colapso de las cadenas tróficas.

Frente a estos escenarios es imperativo buscar alternativas que busquen proteger al bosque de oyamel y con ello al ecosistema completo mediante la elaboración de planes y programas de manejo especialmente dirigidos y que permitan la participación en la gestión por parte de las comunidades forestales, en su mayoría de origen indígena, en la protección y aprovechamiento sustentable de los recursos. Actualmente se desarrollan distintos proyectos de conservación, ejemplo de ello es la Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo cuya línea de investigación se enfoca en la migración asistida, la creación de bancos de germoplasma y la instalación de viveros para la producción de árboles con fines de reforestación.

Es recomendable el fortalecimiento y consolidación de la red de estaciones climatológicas, así como el registro y sistematización de datos, a fin de lograr investigaciones con mayores niveles de confiabilidad, y que sirvan para elaborar estudios detallados con la finalidad de servir como una base sólida en la que se sustenten políticas públicas de planeación y conservación a largo plazo.

Referencias

- Bello, L. (2014). *Escenarios de cambio climático regionalizados para la reserva de la biosfera, Sierra Gorda Guanajuato mediante el modelo LARS-WG* (Tesis de Licenciatura) Colegio de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. 109 pp.
- Cavazos, T., Salinas, J., Martínez, B., Colorado, G., de Grau, P., Prieto, R., Conde, A., Quintanar, A., Santana, J., Romero, R., Maya, M., Rosario, J., Ayala, M., Carrillo, H., Santiesteban, O. y Bravo, M. (2013). *Actualización de los escenarios de cambio climático para México como parte de los productos de la quinta comunicación nacional. Informe final del proyecto al INECC*. Recuperado: <http://escenarios.inecc.gob.mx/index2.html>
- Challenger, A. (1998). *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro*. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, Instituto de Biología de la UNAM, Agrupación Sierra Madre S.C. México. 847 pp.
- Cruz, D., Reyes, M. y Bello, L. (2012) Control de Calidad de Datos. En Gómez, L., Medina, M. (Comp.), *Guía de Métodos Estadísticos en Climatología*. Pp. 20-24, Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.
- Díaz, J., Monterroso, A., Tinoco, J., Toledo, M., Conde, C. y Gay, C. (2011). *Assessing current and potential patterns of 16 forest species driven by climate change scenarios in México*. *Atmósfera*, Vol. 24, No. 1, pp. 31-52.
- Dirección del Parque Nacional Izta-Popo, Subdirección de Cultura para la Conservación, Departamento de Investigación y Monitoreo (2014). *Ficha de identificación Abies religiosa*. Recuperado: http://iztapopo.conanp.gob.mx/documentos/fichas_de_especies/Abies_religiosa.pdf
- Fernández, A., Zavala, J., Romero, R., Conde, A. y Trejo, R. (2015). *Actualización de los escenarios de cambio climático para estudios de impactos, vulnerabilidad, y adaptación en México y Centroamérica*. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado: <http://atlasclimatico.unam.mx/AECC/servmapas>

- Guerrero, R., González, J. y Castro, A. (2014). *Análisis florístico de un bosque de Abies y el bosque mesófilo de montaña adyacente en Juanacatlán, Mascota, Jalisco, México*. Botanical Science, Vol. 92, No.4, pp. 541-562.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2016). *Escenarios de cambio climático*. Recuperado: <http://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/escenarios-de-cambio-climatico-80126>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2014). Cambio Climático 2014. *Informe Síntesis. Contribuciones de los grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Equipo Principal de Redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyers (Eds.))*. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 pp.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2015). *Ficha informativa del IPCC: Fechas y momentos destacados de la historia del IPCC*. Recuperado: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/04/FS_timeline_es.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change (S/A). *¿Qué es el IPCC?* Recuperado: http://www.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml
- Kumar, S. y Stohlgren, T. (2009). *Maxent modeling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree Canacomyrica monticola in New Caledonia*. Journal of Ecology and Natural Environment, Vol. 1, No. 4, pp. 94-98.
- Magaña, V. (2004). *El cambio climático global: Comprender el problema*. En Martínez, J. y Fernández, A. (Coord.) *Cambio climático: una visión desde México* (pp. 17-27). Ciudad de México, Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Martínez, N. (2010). *Apuntes sobre modelación de nichos ecológicos. Laboratorio de evolución molecular y experimental*. Instituto de Ecología, UNAM.
- Organización de las Naciones Unidas (2017). *Los efectos del Cambio Climático y los Cambios Conexos en los Océanos. Resumen técnico de la Primera Evaluación Integrada del Medio Marino a Escala Mundial* Recuperado: https://www.un.org/regularprocess/sites/www.un.org.regularprocess/files/17-05753_s-impacts-of-climate-change.pdf

- Phillips, S., Anderson, R., Schapire, R. (2006). *Maximum entropy modeling of species geographic distributions*. Ecological Modelling, No. 190, pp. 231-259.
- Procuraduría Ambiental y Ordenamiento Territorial del DF (2010). *Cuantificación del carbono almacenado en la vegetación del suelo de conservación del Distrito Federal*. Recuperado: http://centro.paot.org.mx/documentos/paot/estudios/IPA-05-2010_Estudio_Carbono_Difusion_INIFAP-CGEO.pdf
- Razo, R., Gordillo, A., Rodríguez, R., Maycotte, C. y Acevedo, O. (2015). *Coeficientes de carbono para arbustos y herbáceas del bosque de oyamel del Parque Nacional El Chico*. Revista mexicana de Ciencias Forestales, Vol. 6, No. 31, pp. 58-67.
- Rzedowski, J. (2006) *Vegetación de México*. 1era edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Sánchez, A., López, L. y Granados, D. (2005). *Semejanza florística entre los bosques de Abies religiosa (H.B.K.) Cham. & Schltdl. de la Faja Volcánica Transmexicana*. Investigaciones Geográficas, No. 56, pp. 62-76. Instituto de Geografía, UNAM.
- Villers, L., Rojas, F. y Tenorio, P. (2006). *Guía botánica del Parque Nacional Malinche Tlaxcala-Puebla*. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Instituto de Biología, UNAM. 194 pp.



Didáctica en ingeniería, ciencias básicas y avanzadas (ICBA) para procesos de remoción en masa: el papel de la Geografía

Didactics in engineering, basic and advances sciences (ICBA)
for mass removal processes: the role of Geography

Eduardo Teófilo-Salvador¹

Universidad Autónoma del Estado de México, México

Resumen

Desde siempre, el hombre ha utilizado dos principales materiales: el suelo y el agua. Sin embargo, estos materiales pueden manifestar procesos activos y pasivos. El objetivo de esta investigación consistió en delimitar los alcances técnicos y metodológicos para el estudio de los procesos de remoción en masa en la enseñanza de la ingeniería, ciencias básicas y avanzadas, así como las relaciones interdisciplinarias con la geografía. Para ello, se realizó una revisión histórica de procesos geológicos. Se caracterizaron los métodos y técnicas, se aplicaron los tipos de muestreos de suelo, también se evaluó la modelación e interpretación con mapas y finalmente, la eficiencia de los modelos. La geografía, ingeniería y ciencias de la tierra juegan un rol primordial en el estudio de estos fenómenos. Sin embargo, la economía es afectada y se refleja en la sociedad. Es difícil controlar la dinámica del clima en la generación de procesos geológicos superficiales. No obstante, es conveniente conocer varias metodologías que permitan conceptualizar el proceso de remoción de masas para generar más de una solución a un problema particular.

Palabras clave: clima, desastres, métodos, mapas, economía.

Abstract

Humans have always used two main materials: soil and water. However, these materials can produce active and passive processes. The objective was to delimit the technical and methodological scopes for the study of mass removal processes in engineering education, basic and advanced

1 Doctor en Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Estado de México. Correo electrónico: mca.ts.eduardo2015@gmail.com <https://orcid.org/0000-0001-8794-2938>

sciences, and interdisciplinary relations with geography. A historical review of geological processes was performed. Methods and techniques were characterized, soil sampling types were applied, and modeling and interpretation with maps were evaluated for model efficiency. Geography, engineering, and earth sciences play a primary role in the study of these phenomena, but the economy is also affected and is reflected in society. It is difficult to control the dynamics of the climate in the generation of surface geological processes, but it is critical to understand several methodologies that allow conceptualizing the process of mass removal to generate more than one solution to a particular problem.

Keywords: climate, disasters, methods, maps, economy.

Introducción

Actualmente es importante la enseñanza multi e interdisciplinaria de los procesos geológicos de transferencia e intercambio de materia y energía, ya que estos son sistemas naturales y antropogénicos, y altamente complejos. Según [Suárez \(1998\)](#), las zonas montañosas tropicales son más susceptibles a procesos de remoción en masas, debido al relieve, la sismicidad, la meteorización y las lluvias intensas. Los procesos pueden ocurrir debido a diferentes mecanismos, además el crecimiento demográfico combinado con la necesidad de obras de infraestructura ([Fay et al., 2003](#)), ya que las construcciones urbanas sobre suelos inclinados generan una componente vertical debida al peso, y una lateral que incrementa la fuerza lateral de la masa geológica ([El Kechebour, 2015](#)).

Otra causa de estos procesos geológicos superficiales es la alta degradación ambiental, como la deforestación y la expansión de actividades agropecuarias ([Rosete et al., 2009](#)), las cuales generan áreas con escasa o nula vegetación siendo más susceptibles a remoción en masas. Así, la evolución extrema del relieve, puede deberse a derrumbes, deslizamientos y la expansión lateral debido a efectos gravitacionales ([Fraustro, 1999](#)), y estos a su vez son producto de una manifestación extraordinaria como son las lluvias intensas, donde se involucran fuerzas de filtración, trayectorias de infiltración y resistencia al cortante en el suelo de régimen no saturado a saturado ([Collins y Znidarcic, 2004](#)).

Desde épocas antiguas estos procesos se han manifestado en diversas partes del mundo, como en Mesopotamia por actividades agrícolas que generaron erosión y sedimentación, estos cambios en el uso de suelos dieron pie a una evolución a los relieves ([Cendrero et al., 2006](#)). A partir de la concepción del cambio climático se les ha prestado mayor atención para su estudio, tal

como los 2700 eventos acontecidos de 1945 a 1997 en Hong Kong (Ng *et al.*, 2002), el deslizamiento en Tangjiashan en China (Luo *et al.*, 2012), La Conchita en Estados Unidos de América (Jibson, 2005), los 405 deslizamientos georreferenciados de 1929 a 1999 en Colombia (Moreno *et al.*, 2006).

En México se han diversificado los procesos, pero en esencia debido a la presencia de agua lo que ha generado en su mayoría deslizamientos de suelo, tal como lo muestra la Tabla 1.

Tabla 1. Casos de estudio de los procesos de remoción de masas en México.

Sitio	Factores	Consecuencias	Referencia
Oaxaca y Guerrero, 1997 200 municipios (Puebla, Veracruz, Hidalgo) 1999.	Huracán Paulina, zonas de montaña, flujo subterráneo y meteorización de materiales. Depresión tropical.	Deslizamientos rotacionales y traslacionales, flujos de suelo, derrumbes y erosión.	Alcántara-Ayala (2004).
Península de Baja California, 2001.	Ciclón Tropical Juliette, precipitación acumulada, la geología y vegetación.	Movimientos superficiales y de detritos.	Antinao y Farfán (2013).
Tlalnepantla, Tultitlan, Ecatepec y Coacalco (Estado de México) y Gustavo A. Madero (Ciudad de México).	Época de lluvias, topografía, geología, geomorfología y clima, asentamientos humanos, deforestación, tránsito pesado y explotación de minas.	Deslizamientos de suelo y rocas.	García-Palomo <i>et al.</i> (2006).
Acambay Estado de México, 2007.	Tectónica de placas, condiciones de los materiales, nivel freático y lluvias.	Movilización de suelo y fallas en taludes.	Norini <i>et al.</i> (2010).
San Juan de Grijalva, Ostuacán, Chiapas, 2007.	Acumulación de 4 días de intensas lluvias (300 - 400 mm) en noviembre, estratos de lutitas y areniscas.	Deslizamientos de suelo, rocas y árboles, destrucción de viviendas y obstrucción del Río.	Mora-Ortiz y Rojas-González (2012); Jaime <i>et al.</i> (2010).
Teziutlán, Puebla, 1999.	Intensas lluvias de 300 y 360 mm en suelo de arcilla.	Deslizamiento de suelo.	Jaime <i>et al.</i> (2010).
Anganguero, Michoacán, 2010.	Lluvias continuas mayores a 200 mm en febrero, morfología y dirección de flujo; cambios de uso de suelo y deforestación.	Flujo de conglomerados, afectaciones a la reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca.	Parrot y Ochoa-Tejeda (2013); Alcántara-Ayala <i>et al.</i> (2012).
La Pintada, Guerrero, 2013.	Intensas lluvias por el Huracán Ingrid y Tormenta Manual.	Deslizamiento de suelo.	Ramos-Bernal <i>et al.</i> (2015).

Estos procesos han ocasionado pérdidas económicas, cambios en los cursos de ríos y miles de muertos (González *et al.*, 2002; Garnica *et al.*, 2010), afectando a la vivienda, educación, salud, agua, energía eléctrica, transporte, comunicaciones, agropecuaria y forestal (Cuanalo *et al.*, 2006). En el siglo pasado a nivel mundial hubo más de 50,000 víctimas, 10 millones de damnificados y pérdidas económicas de 3500 millones de dólares (Alcántara-Ayala *et al.*, 2006), en México de 92375 millones de pesos para el 2010 (García *et al.*, 2016), 70 personas desaparecidas en La Pintada (Guerrero) según Ramos-Bernal *et al.* (2015), en Minatitlán y Oaxaca 800 muertos y en Zacoalpan (Colima) 1000 muertos (Fraustro, 1999), y los daños en las cercanías del Río de Zempoala (Zapotitlán en Puebla), en 4.5 millones de USD (Alcántara-Ayala *et al.*, 2006). En este contexto los montos presupuestados para el Fondo de Desastres Naturales (FONDEN) varían año con año y se ejerce en función de los fenómenos presentados para el año presupuestado (Jiménez *et al.*, 2014; García *et al.*, 2009).

Organismos como la Comisión Nacional del Agua, el Centro Nacional de Prevención de Desastres, el Sistema Nacional de Protección Civil e institutos de investigación se han dado a la tarea de estudiar y reducir los riesgos ante estos desastres, aunque, estos procesos de remoción en masa ocurren generalmente en época de lluvias, no se han logrado mitigar ni predecir con mayor aproximación a pesar de disponer de mapas y atlas de riesgo, los cuales incluyen escalas según la probabilidad de vulnerabilidad o riesgo. Por lo anterior el objetivo de la investigación fue delimitar lo alcances técnicos y metodológicos para el estudio de los procesos de remoción en masa en la enseñanza de la ingeniería, ciencias básicas y avanzadas, y las relaciones interdisciplinarias tal como la Geografía.

Metodología

La metodología para el estudio y delimitación de los procesos de remoción en masa fue:

a) Revisión histórica. Se recurrió a una revisión de procesos geológicos relevantes de zonas áridas y húmedas, mediante cartografías digitales, Google Earth Pro e imágenes Landsat 8, estudios históricos y registros de datos, que permitieran identificar e interpretar alteraciones del relieve y en su caso con esto poder inferir futuros procesos como replicas o en zonas con características similares. La delimitación de zonas se inició a

partir eventos reportados considerando el relieve, la tectónica, la litología y los climas, ya que pueden existir diversas zonas susceptibles a presentar procesos de remoción en masa de gran magnitud y potencial destructivo se acuerdo con [Jaimes et al. \(2010\)](#).

Adicionalmente se buscaron datos climatológicos de precipitaciones, velocidad de viento, humedad, etc., para asociar los eventos con los intervalos de lluvia en los sitios donde se han presentado procesos superficiales, lo anterior debido a que hoy en día, la variación de temperaturas en el mundo ha dado lugar a un creciente desencadenamiento de fenómenos anormales, como lo es El Niño y La Niña ([Pinilla y Pinzón, 2016](#)), y con ello cambios en los patrones de las precipitaciones.

A partir de una macroregionalización se derivaron microregiones o microcuencas, por las peculiaridades geográficas, geomorfológicas y meteorológicas. Con lo anterior, para los sitios con escasa documentación (notas periodísticas) se realizaron recorridos virtuales para reconocimiento del lugar y posteriores visitas de campo, para con ello caracterizar los procesos además de identificar la presencia de estaciones climatológicas cercanas, debido a que la verificación visual y de campo permiten obtener datos reales, ya que los métodos predictivos a largo plazo generan más incertidumbre por los cambios en la presencia de agua en el suelo y a la degradación de los materiales ([Fernández-Merodo et al., 2013](#)).

b) Caracterización de los procesos. Se identificaron el mayor número de parámetros involucrados en los procesos de remoción en masa, a partir de la geografía, geología, edafología, hidrogeología y mecánica, esto para clasificar el tipo de proceso según la ocurrencia, dimensiones y distribución, lo cual también permitió predecir subjetivamente la vulnerabilidad o el riesgo en diversos sitios dentro de un marco regional.

A partir de la caracterización de los deslizamientos fue posible seleccionar, analizar, evaluar y definir el riesgo, y con ello revisar las técnicas de mitigación y planes de control, considerando además los sistemas de monitoreo ([Fell et al., 2005](#)). Por tal, fue necesario identificar los apoyos brindados, ya que la parte social y política juega un rol según la importancia, de acuerdo con el documento de las Políticas Públicas para la reducción de la vulnerabilidad frente a los desastres naturales y socio-naturales ([Vargas, 2002](#)).

c) Evaluación de métodos y técnicas. Se recurrió a evaluar estudios en geografía, geotecnia, geología, ecología, litología, climatología, agrología, ingeniería de sistemas e ingeniería civil, investigaciones de desastres naturales, fenómenos físicos y sistemas complejos asociados a suelo-agua, desde el enfoque estadístico, conceptual, empírico, geográfico y analítico, así como modelos acoplados a modelos no lineales (Dietrich *et al.*, 2008), sistemas basados en precipitaciones empíricas y zonificaciones a pequeña escala con riesgo de deslizamiento (Brunetti *et al.*, 2009). Se tomaron en cuenta modelos hidrológicos acoplados a modelos de estabilidad del talud infinito (Lanni *et al.*, 2012), ya que esté escala una relación frecuencia-duración de la precipitación, y asume la humedad inicial, y no consideran la resistencia radicular y la sobrecarga de la vegetación.

Se evaluaron los modelos que utilizan el método del elemento finito utilizados en ingeniería geotécnica, ya que incorporan condiciones iniciales y de frontera (Wu *et al.*, 2015), aunque de uso limitado en la solución de problemas prácticos de estabilidad de taludes (Griffiths and Lane, 1999), debido a que los análisis son más costosos y requieren considerable esfuerzo y gastos en el desarrollo de parámetros para los modelos (Duncan, 1996), entre estos modelos se analizaron el modelo viscoplastico unidimensional, el modelo elastoplastico 2D y el viscoplastico 2D (Fernández-Merodo *et al.*, 2013).

También se revisaron los modelos mecánicos por la propiedad de fluencia y relajación, (Michalowski, 1995), que permite modelar la deformación conforme a la regla asociativa de flujo, además de la condición de fluencia no lineal Mohr-Coulomb (Drescher y Christopoulos, 1988). Para métodos de análisis cinemáticos y cargas límite, determinada por la ecuación de la tasa de trabajo hecho por fuerzas externas, como el modelo de Liang *et al.* (1994) que describe la energía del flujo de agua mediante columnas de suelo en laboratorio con datos climatológicos. Así como las formulaciones con la fase sólida, líquida y gaseosa (Gens y Olivella, 2001). Se evaluaron equipos desarrollados para el estudio del comportamiento y distribución de flujo de agua en masas de suelo (Teófilo y Morales, 2018), formulaciones acopladas que utilizan soluciones ajustadas a geometrías simplificadas para validar equipos como el trabajo friccional del movimiento del suelo (Serri *et al.*, 2013).

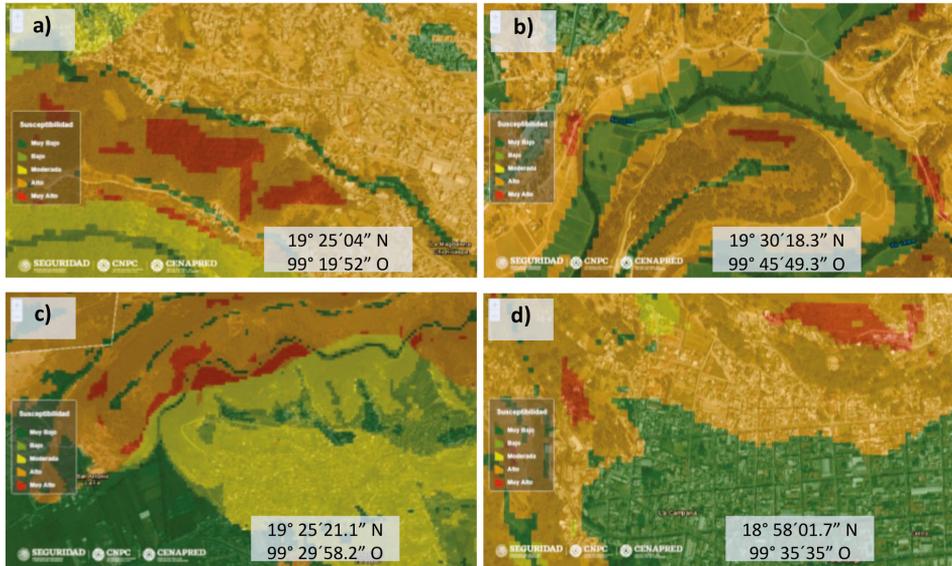
De esta forma los paquetes programables que permiten la simulación, cuyos resultados son plasmados en mapas, es decir de la matemática a lenguajes de programación como slope, 3DSlopeGIS, Shalstab, flow3d, Geoflow, Gslope, TRIGRS, Green-Ampt entre otros (Peña, 2014; Tranco *et al.*, 2013). Así como el TRIBS-VEGGIE que incluyen la evolución de la humedad a través de columnas de suelo acoplado con el modelo de talud infinito (Lepore *et al.*, 2013). El code_bright que resuelve de forma acoplada el flujo y la deformación para presiones de agua mediante elementos finitos (Pinyol *et al.*, 2008).

Se consideró que estos softwares tienen como limitante la validación de los datos de entrada, inclusive la percepción remota e imágenes satelitales son limitadas (Velázquez *et al.*, 2002), por los cambios dinámicos si no existe verificación de campo, tal como el drenaje superficial, la variabilidad espacial de las precipitaciones, resistencia de materiales, propiedades hidráulicas y profundidad del perfil del suelo (Godt *et al.*, 2008). Además, las simulaciones suelen ser inversas o hacia atrás, y en casos se asume que el suelo debe estar a capacidad de campo antes de un movimiento de masa (Dhakal y Sidle, 2004).

La importancia de evaluar los modelos o métodos existentes se debe a que todos se comportan de forma distinta, presentan diferente incertidumbre y el grado de complejidad con el que atienden un problema geográfico particular, y esto es primordial para una adecuada caracterización, discretización y elección. Además de que, siempre antes de modelar es necesario conocer la estructura de cualquier paquete programable, las condiciones iniciales y de frontera, adicionalmente conceptualizar el sistema o proceso a representar.

d) Muestras de campo. La jerarquización de zonas geográficas sirvió para definir y delimitar sitios posibles que pueden generar los movimientos de masas, considerando daños sociales, económicos y ambientales, para lo cual fue necesario del apoyo del Atlas Nacional de Riesgos de México de 2019, de acuerdo a una regionalización por el alcance económico se seleccionaron sitios alta susceptibilidad en: Carretera Huixquilucan – Naucalpan (Magdalena Chichicarpa), San Lorenzo Toxico (Ixtlahuaca), Santa María Zolotepec (Xonacatlán) y Tenancingo dentro del Estado de México (Figura 1).

Figura 1. Muestreos de suelo alterado: a) Magdalena Chichicarpa en Naucalpan, b) San Lorenzo Toxico en Ixtlahuaca, c) Santa María Zolotepec en Xonacatlán y d) Tenancingo (mapa de apoyo <http://www.atlasmacionalderiesgos.gob.mx/>, 2019)



En abril de 2019, en campo se realizó el muestreo alterado de 0.15 m a 1.2 m de profundidad, en laboratorio se pesaron las muestras en estado húmedo y se disgregaron en charolas metálicas para secarlas a la intemperie y con ello evitar desintegrar la materia orgánica tal como raíces y microfaunas (Teófilo, 2010; 2015; 2019), para acelerar el proceso fue necesario el uso de láminas de fibra de vidrio. Las muestras secas se pesaron nuevamente y se fraccionaron de 600 g a 1000 g para tamizar, finalmente se pesaron las cantidades de acuerdo al tamaño de grano del suelo. Con lo anterior se determinó la clase textural de suelo con ayuda del triángulo de texturas (USDA, 2004).

Para complementar los trabajos de campo en los cuatro sitios fue necesario realizar muestreos inalterados de suelo, extrayendo núcleos con dimensiones de 0.25 m x 0.25 m x 0.25 m hasta una profundidad de 1.2 m y a 3.0 m, los cuales se impermeabilizaron. Estos bloques se trasladaron al laboratorio de materiales para determinar el estado de esfuerzos mediante la prueba triaxial, límites líquido y plástico (Holtz y Kovacs, 1981),

además de la granulometría de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

Así mismo, se instalaron de bancos de nivel mediante el uso de equipo topográfico para monitorear temporalmente las posibles remociones en masa bajo la acción de factores detonantes como lo es la presencia de flujos superficiales o subsuperficiales de agua. Lo anterior debido a que muchas veces los datos meteorológicos para estudios no están actualizados, no verificados y son incompletos, y la tecnología de estaciones es adquirida en países desarrollados, tal que al dañarse no pueden ser fácilmente reparadas por los costos y falta de conocimiento (Velasco *et al.*, 2015).

e) Modelación de los PRM. Para esto se utilizaron las técnicas más apropiadas según la disponibilidad de datos como: infiltración, conductividad hidráulica, contenido de humedad, cohesión y presión de poro, y los factores involucrados como la intensidad, frecuencia, duración distribución de la lluvia, lluvia acumulada, lluvia antecedente, la topografía y la cobertura vegetal. Adicionalmente con AutoCAD 2019 y Global Mapper se evaluaron las curvas de nivel triangulando puntos dentro de las regiones seleccionadas.

Con base en Strokova (2019), se realizó la modelación geográfica a partir de la topografía, geología y su relación con los mecanismos vegetativos y de uso de suelo, utilizando Modelos Digitales de Elevación como Sistemas de Información Geográfica (GIS) e IDRISI. De esta manera se evaluaron las condiciones geomecánicas e hidrogeológicas, cuyos datos se revisaron y verificaron con las mediciones en campo (ángulo de inclinación, espesor de capas de suelo, presencia de flujos) y resultados de pruebas de laboratorio (esfuerzo normal a diferentes presiones de confinamiento, ángulo de fricción del suelo, contenido de humedad, porosidad y textura), así como de los cambios dinámicos que se obtuvieron al explorar Google Earth desde el 2002 al 2018 e imágenes Landsat 8.

Cabe mencionar que, para asociar la simulación computacional y la representación geográfica con las condiciones físicas de campo, y con ello generar una mayor aproximación a posibles casos de remoción en masas, se ha tomado en cuenta que los sistemas modelados matemáticamente requieren forzosamente identificar variables y/o factores, experimentar iterativamente el fenómeno y realizar suposiciones, para finalmente recalibrar y ajustar el modelo, lo que llevó nuevamente a la definición del sistema físico (Preston, 2006).

Es importante resaltar que se está evaluando y verificando como los paquetes programables y su vinculación con los modelos de elevación digital, el procesamiento de datos y monitoreo continuo para los escenarios, pueden ser adecuados para la detección temprana de movimientos de suelo (Tarchi *et al.*, 2005). Aunque esto es una poderosa herramienta para la rápida evaluación de riesgos y zonificación de desastres, (Formetta *et al.*, 2014; Sassa *et al.*, 2005), este tipo de simulación aun requiere de mediciones geotécnicas e hidrogeológicas in situ en una escala de tiempo, ya que sin estas existe un alto grado de incertidumbre. Por lo anterior, sigue siendo necesario revisar las propiedades mecánicas, físicas, geológicas e hidrológicas del suelo, propiedades de la lluvia y pixeles geográficos menores a 10 m, donde generalmente es difícil adquirir datos para un sitio específico (Iida, 2004), sin embargo, con la caracterización de las muestras de suelo, datos históricos de eventos reportados, huellas geomorfológicas y el Atlas Nacional de Riesgos ha sido posible obtener una adecuada interpretación conceptual del estado físico actual de los sitios.

f) Eficiencia de modelos. Actualmente aunque existen diversos modelos para el estudio de los procesos de remoción en masas, para la adecuada discretización y con ello la elección, se consideró que algunos son idealizados matemáticamente porque parten de bases físicas y conceptos mecánicos (Chien *et al.*, 2015), otros se basan en la experimentación y ensayos de laboratorio, y otros más son probabilísticos, ya que parten de ajustes de datos históricos, pero todos presentan ciertos alcances y limitaciones dependiendo del problema, con ello la aplicación a casos geográficos particulares.

Así en la estimación de la eficiencia se inicializó con los métodos convencionales como el factor de seguridad por ser los más utilizados para deslizamientos, y esto debido a que determinan la masa que tiende a moverse bajo la influencia de la gravedad gobernada por una relación lineal (USACE, 2003), y son representados en el círculo de esfuerzos de Mohr, consecutivamente los transitorios, los cinemáticos, los mecánicos y los de energía.

Esta evaluación de eficiencia permitió cuantificar la reconstrucción de procesos geológicos desde una forma lineal hasta enfoques muy complejos. Además, se realizó una combinación de datos de entrada, para identificar la sensibilidad de cada parámetro o factor involucrado en los procesos, ya que según Schmidt *et al.* (2010) para refinar los avances y el

desarrollo eficiente de modelos predictivos es necesario el uso de la combinación de datos.

Lo anterior también ayudó a comparar el método o técnica revisada con los datos históricos y datos de campo de zonas observadas, con ello el grado de amenaza, susceptibilidad, vulnerabilidad y riesgo desde el punto de vista de los desastres naturales de acuerdo con Peña (2014). Además, de verificar con los bancos de nivel instalados en los sitios de mayor incertidumbre para con ello comparar las mediciones físicas con los modelos utilizados. De esta forma se continúa elaborando y superponiendo mapas asociadas a la aplicación de cada modelo en cada sitio y, con ello la interpretación de cómo cambian los datos de entrada según las características propias de cada punto de estudio debido a la geografía, geología, mecánica y física del suelo, para con ello obtener una mayor aproximación de ocurrencia de procesos de remoción de masas, la cual permita reducir una amplia área de estudio a un punto, tal como se presentan estos procesos.

Resultados y discusión

Para que se produzcan procesos geológicos de remoción en masas, es necesario de agentes: i) externos que pueden ser pasivos (temperatura del perfil, contenido de humedad del suelo) y activos (flujos de agua superficial o subsuperficiales, actividad humana y el viento), para producir erosión eólica o hídrica, transporte y sedimentación, e ii) internos, con la composición asociada al tamaño y distribución de partículas, que en combinación con el tiempo se produce desgaste o microreacomodos y la mineralización, y con la dinámica del clima el efecto de expansión-contracción. Geográficamente a grandes escalas los agentes pueden no ser importantes, pero a microescala tienen un peso considerable para generar inestabilidades en masas de suelo. Además de que el tipo de material, influye para que se manifiesten a diversas escalas de velocidades que varían desde casi ser imperceptibles hasta ser extremadamente rápidos (Hung *et al.*, 2013).

Para revisar los peligros relacionados a la inestabilidad se requiere de especialistas interdisciplinarios que analicen no solo el proceso sino los efectos socioeconómicos, de esta forma es posible reducir los efectos dañinos, así como difundir el conocimiento y fomentar una cultura sobre el riesgo y evacuación (CENAPRED, 2001). Por tal manera, es importante considerar incluir en la agenda de protección civil no solo mapas,

estrategias y programas para mitigar y reducir riesgos (Chávez, 2008), sino focalizar recursos para el estudio e interpretación temprana de puntos vulnerables en el ámbito comunitario, municipal o estatal, tanto de fondos del sector público como del privado, pero a partir de una adecuada selección y aplicación de métodos y técnicas según los datos y el sitio de interés.

La caracterización fue importante debido a que en la revisión de imágenes satelitales se detectó un incremento de zonas urbanas no aptas para infraestructura como lo es en laderas y cerca de cauces de ríos, tal situación aumenta los riesgos de poblaciones ante la incidencia de peligros naturales (Rosete *et al.*, 2009). Además de actividades de expansión urbana, construcción de infraestructuras y extracción de materiales (Cendrero *et al.*, 2006). En este contexto, los problemas socioeconómicos asociados a la geometría económica; laborales, industria, comercio y desarrollo regional (Soberón-Mora *et al.*, 2015), además los desastres naturales originan problemas de migración interna, damnificados, desaparecidos y muertos, con ello millonarias pérdidas económicas en regiones dispersas.

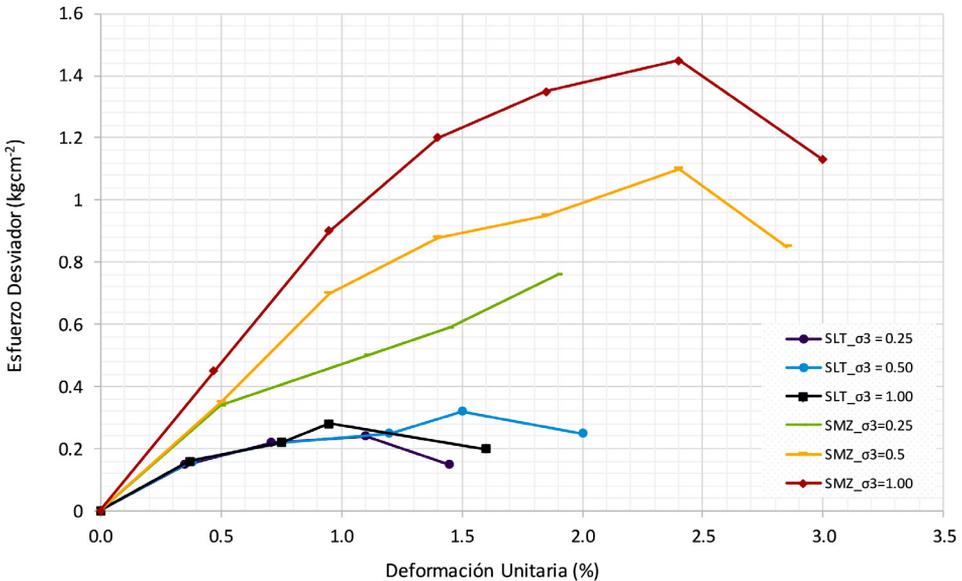
En relación a los métodos y técnicas, fue evidente la existencia de varios métodos para el estudio de los procesos geológicos superficiales, algunos con mayor precisión, pero con cierto grado de dificultad que se ve reflejado en la escasa aplicación, y otros con mayor aplicación, pero arrastrando mayor incertidumbre. Pese a lo anterior, el principal problema en los PRM es la influencia del flujo de agua (Lanni *et al.*, 2012), y a pesar de ello los actuales modelos no incluyen una componente de conectividad para flujo subsuperficial de agua e interpretación geográfica. Y la presencia de agua constante o variable proveniente de alguna fuente de suministro (sea la precipitación, riego o fugas subterráneas) aplicada en un punto determinado, es la principal causa que genera inestabilidad del suelo (Jiang *et al.*, 2016).

Así mismo se ha obtenido que la mayoría de los estudios asociados a inestabilidades de masas de suelo son tratados en un 60 % con el método de factor de seguridad, en un 30 % son utilizados los modelos transitorios y el restante hace uso de metodologías poco comunes como los cinemáticos, los mecánicos y de energía los cuales aún carecen de un software sofisticado para el análisis y procesamiento de datos. Además de que un 70 % de todos estos métodos o técnicas aplica la representación gráfica mediante mapas según el grado de vulnerabilidad o riesgo de nulo a alto, con

la limitante de que regionalizan de forma global las características para cubrir grandes extensiones de tierra durante las simulaciones.

Con respecto al muestreo de campo se obtuvo que el sitio con mayor susceptibilidad a remoción de masas fue San Lorenzo Toxico (Ixtlahuaca), ya que los valores de las muestras inalterada sometidas a presiones de confinamiento de 0.25, 0.5 y 1 kg_fcm⁻² arrojaron esfuerzos desviadores muy bajos del orden de 0.20 a 0.32 kgcm⁻² como valores mínimos (Figura 2), además de las condiciones topográficas del orden de 60 a 70° de inclinación, la presencia de una falla geológica y aunado a ello la actividad física del hombre por las construcciones en los bordes de las laderas, así como las detonaciones con explosivos de juegos pirotécnicos. El valor más alto del orden de 1.44 kgcm⁻² se obtuvo para Santa María Zolotepec (Xonacatlán), y para los sitios Magdalena Chichicarpa y Tenancingo se obtuvieron valores mayores, además las condiciones físicas, biológicas y sociales existentes, y las medidas de prevención, influyeron para no incluirlas como resultados críticos de estudio.

Figura 2. Curvas esfuerzo-deformación para diferentes presiones de confinamiento de San Lorenzo Toxico (SLT) y Santa María Zolotepec (SMZ) en el Estado de México.

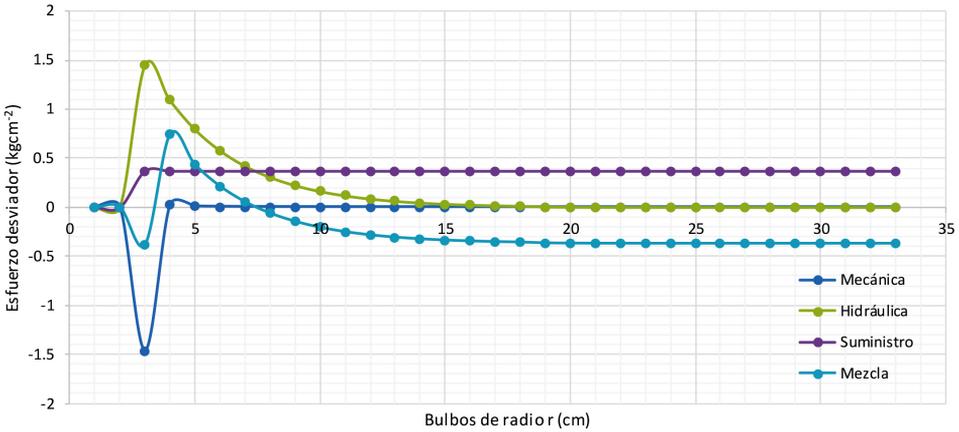


Al evaluar el factor de seguridad, se obtuvo un valor de $FS = 2.03$ para Magdalena Chichicarpa, $FS = 1.25$ para Santa María Zolotepec y de $FS = 0.80$ para San Lorenzo Toxico para, lo cual reafirma porque se excluyen los resultados con valores altos, de esta forma las mismas técnicas y métodos permiten caracterizar y priorizar según la disponibilidad de datos.

Además, en la modelación de los procesos de remoción en masa los resultados fueron muy sensibles al grado de importancia del factor desencadenante, tal como las tormentas que a su vez dependen de la combinación de la intensidad horaria máxima y promedio, de la duración y cantidad de precipitación registrada, así como del patrón de distribución temporal en el suelo, lo que justifica el uso adecuado de cada modelo según las características de cada sitio de estudio, es decir un modelo puede predecir eficientemente el comportamiento en un sitio y en otro no, según la disponibilidad de datos de entrada.

Por lo anterior, en la Figura 3 se muestra el comportamiento del proceso aplicando el modelo Hidrogeomecánico propuesto por [Teófilo \(2019\)](#) con los mismos datos de entrada para el caso de Santa María Zolotepec. Gráficamente se observa que la energía mecánica del suelo opone resistencia y se equilibra con la energía hidráulica manteniendo una carga constante de suministro, tal que la mezcla suelo+agua genera que la energía se manifieste constante a partir de los 15 cm de profundidad, lo cual es consistente con la aparición de grietas de tensión superficial de 0 a 15 cm, esto es un indicativo del vencimiento de la energía del suelo y con ello la inestabilidad por factores adicionales.

Figura 3. Curvas de energía aplicando el modelo Hidrogeomecánico para Santa María Zolotepec



En este sentido, es conocido que la presión de poro tiene fuerte influencia en los mecanismos de movimientos de masa denotados por lluvia, pero puede ser conveniente aplicar de forma paralela el efecto de la fuerza de filtración, ya que la presión de poros presenta una distribución en todos puntos dentro de un sistema y la fuerza de filtración tiene una dirección, magnitud y sentido, es decir en el sentido del flujo prioritariamente sub-superficial y sobre un plano de falla asociado al desplazamiento de la masa que tiende a moverse (Teófilo, 2019).

Sin embargo, puede ser adecuado recurrir a la experimentación de campo para generar trayectorias de flujo mediante reproducción de intensidades de lluvia, con lluvias discontinuas y la identificación de patrones de flujo en el perfil del suelo (Teófilo *et al.*, 2019), así como experimentación en laboratorio (Sassa *et al.*, 2005; Towhata *et al.*, 2005).

Como se ha mostrado, la modelación puede ser tan compleja o tan simple, dependiendo del enfoque y participación de los grupos afectados e interesados, así como de las áreas del conocimiento: social, político, geográfico, económico, financiero, ingenieril y científico. Por esta razón la verificación con los mapas existentes como el Atlas Nacional de Riesgo sigue siendo una limitante, ya que hasta ahorita se han encontrado generalizaciones de zonas al no contar con registros, datos de muestreo de campo, ni datos de entrada para las simulaciones, por tal en este estudio se

muestra los alcances metodológicos según el área de interés, para que los resultados gráficos sean más próximos a la realidad y con ello se discreticen áreas y se reduzcan a puntos de interés prioritario.

Con respecto a la eficiencia de los modelos se obtuvo que, primero es importante el reconocimiento del ámbito geográfico, social y económico, con ello el reconocimiento de las características y tipos de procesos lo cual influye en la aplicación de una adecuada legislación, planificación e información previa de los riesgos para las poblaciones, y esto puede ayudar a minimizar costos.

Por lo anterior, es necesario recurrir a nuevas metodologías, tal como a la teoría híbrida hidrogeomecánica para generar una propuesta de solución acoplada, por el principio de superposición, para la problemática de los procesos de remoción de masas, debido a que poco han evolucionado los actuales métodos en el estudio de los deslizamientos, y estos procesos se manifiestan especialmente en la época de lluvias de forma imprevista, dispersa e irregular, además de que la ubicación geográfica determinara los riesgos potenciales y la variación de los impactos entre una población y otra (Schmook *et al.*, 2016), de esta forma es posible una planificación adecuada y cuidadosa para normar, prevenir y disminuir impactos negativos (Soto-Cortés, 2015), además de ahorrar miles de millones de pesos, pérdida de riqueza y salvar vidas (Highland y Schuster, 2003), ya que los desastres naturales, debilitan a las estructuras sociales y económicas, y la modelación compuesta, acoplada o híbrida puede generar herramientas que permitan revisar posibles regiones vulnerables.

Aunque el fenómeno de remoción en masas es un proceso complejo, una solución quizás efectiva es el reconocimiento territorial a escala local o en cuencas hidrográficas (Monteleone y Sabatino, 2014), y de ello microcuencas. Por lo que, si cierto porcentaje del recurso se destina a la aplicación de nuevas metodologías o aplicación de varias, en un futuro las pérdidas podrían ser reducidas debido a la existencia de herramientas de prevención y además de que dichas herramientas o métodos se puedan comparar y aplicar según los datos de entrada. Aunque existen gran cantidad de mapas geográficos los resultados deben ser interpretados y validados correctamente (Vázquez *et al.*, 2016; CENAPRED, 2016), y una forma de verificar la precisión es mediante la aplicación de diversas metodologías y técnicas con interpretación geográfica, pero teniendo en

cuenta que ningún programa de computadora reemplaza el buen juicio de un especialista.

Conclusiones

La dinámica del clima ha llevado a un incremento de fenómenos naturales en los últimos años, lo que ha generado la presencia de desastres los cuales han afectado a diversos sectores y, la vulnerabilidad no ha dejado claro las estrategias de prevención.

Es de suma importancia el estudio de los procesos geológicos superficiales, a partir de la ciencia, la ingeniería y la geografía, ya que estas permiten representar la salud de la tierra a través de conceptualización, aplicación de modelos y la representación gráfica.

La humanidad ha influido en la dinámica externa, modificando y generando nuevas geoformas para satisfacer necesidades de desarrollo, alterando la geografía, geología, ecología e hidrología natural de la tierra, inclusive en la siembra de nubes, trayendo consigo cambios en los patrones climatológicos.

La importancia primordial de estudiar los procesos que ocurren en el suelo como los de remoción de masas, se debe a que en esta capa existe microfauna, se desarrolla la fenología vegetal, se regula el ciclo del agua, se reduce el avance del efecto invernadero y los macroporos permiten la ventilación del suelo a la atmósfera, tal que esto debe ocupar a las diversas áreas de las Ciencias de la Tierra.

Es difícil controlar la dinámica del clima, pero es posible revisar, elegir y aplicar técnicas y metodologías adecuadas que permitan conceptualizar el proceso de remoción en masa a partir de la revisión del entorno geográfico, ambiental, demográfico y social, para generar más de una solución a un problema particular y con ello generar mayor aproximación para la interpretación de mapas de riesgos.

Referencias

- Alcántara, A. I. (2004). Hazard assessment of rainfall-induced landsliding in Mexico. En: *Geomorphology*, 64, 19-40.
- Alcántara-Ayala, I., Esteban-Chávez, O. y Parrot, J. F. (2006). Landsliding related to land-cover change: a diachronic analysis of hillslope

- instability distribution in the Sierra Norte, Puebla, Mexico. En: *Catena*, 65, 152-165.
- Alcántara-Ayala, I., López-García, J. y Garnica, R. J. (2012). On the landslide event in 2010 in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Angangueo, Michoacan, Mexico. En: *Landslide*, 9, 263-273.
- Antinao, J. L. y Farfán, L. M. (2013). Occurrence of landslides during the approach of tropical cyclone Juliette (2001) to Baja California Sur, Mexico. En: *Atmósfera*, 26(2), 183-208.
- Brunetti, M. T., Peruccacci, S., Rossi, M., Guzzetti, F., Reichenbach, P., Ardizzone, F., Cardinali, M., Mondini, A., Salvati, P., Tonelli, G., Valigi, D. y Luciani, S. (2009). A prototype system to forecast rainfall induced landslide in Italy. En: *The first Italian Workshop on Landslides*, 1, 1-5.
- Cendrero, A., Remondo, J., Bonachea, J., Rivas, V. y Soto, J. (2006). Acción humana y procesos geológicos superficiales ¿qué le estamos haciendo a la faz de la tierra?. En: *Rev. R. Acad. Cienc. Exact. Fís. Nat.*, 100(1), 187-209.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres, CENAPRED (2016). “Curso causas que propician deslizamientos y medidas de prevención”, *Coordinación Nacional de Protección Civil*, México, p. 278.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres, CENAPRED (2001). “Inestabilidad de laderas. Serie Fascículos”, *Secretaría de Gobernación*, p. 39.
- Chávez, A. J. M. (2008). “Atlas multidisciplinario y de riesgo geotécnico de la zona conurbada al norponiente del valle de México”, p. 45.
- Chien, L. K., Hsu, C. F. y Yin, L. C. (2015). Warning model for shallow landslides induced by extreme rainfall. En: *Water*, 7, 4362-4384.
- Collins, B. D. y Znidarcic, D. (2004). Stability analyses of rainfall induced landslides. En: *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 130(4), 362-372.
- Cuanalo, O. A., Quezada, P., Aguilar, M. A., Olivan, R. A. M. y Barona, D. E. (2006). Sismos y lluvias, factores detonantes de deslizamientos de laderas en las regiones montañosas de Puebla, México. En: *e-Gnosis*, 4, 1-14.
- Dietrich, W. E., McKean, J., Bellugi, D. y Perron, T. (2008). The prediction of shallow landslide location and size using a multidimensional

- landslide analysis in a digital terrain model. *Proceedings of the Fourth International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation*, 1-12.
- Dhokal, A. S. y Sidle, R. C. (2004). Distributed simulations of landslides for different rainfall conditions. En: *Hydrol. Process*, 18, 757-776. Doi: 10.1002/hyp.1365
- Drescher, A. y Christopoulos, C. (1988). Limit analysis slope stability with nonlinear yield condition. En: *International Journal for Numerical and analytical methods in Geomechanics*, 12, 341-345.
- Duncan, J. M. (1996). State of the art: limit equilibrium and finite-element analysis of slopes. En: *Journal of Geotechnical Engineering*, 122(7), 577 – 596.
- El Kechebour, B. (2015). Relation between stability of slope and the urban density: case study. En: *Procedia Engineering*, 114, 824-831.
- Fay, M., Ghesquiere, F. y Solo, T. (2003). *Desastres naturales y pobres urbanos*. Banco Mundial. p. 4. Recuperado de www.siteresources.worldbank.org
- Fell, R., Ho, K. K. S., Lacasse, S. y Leroi, E. (2005). A framework for landslide risk assessment and management. En O. Hungr, R. Fell, R. Couture y E. Eberhardt (Eds.), *Landslide Risk Management* (pp. 3-25). London, Taylor & Francis Group.
- Fernández-Merodo, J.A., García-Davalillo, J. C. y Herrera, G. (2013). Modelización numérica de movimientos de ladera lentos: el caso del deslizamiento del Portalet (Huesca). En E. Alonso, J. Corominas y M. Hürlimann (Eds.), *VIII Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*, (pp. 1119-1130). Palma de Mallorca.
- Formetta, G., Rago, V., Capparelli, G., Rigon, R., Muto, F. y Versace, P. (2014). Integrated physically based system for modeling landslide susceptibility. En: *Procedia Earth and Planetary Science*, 9, 74-82.
- Fraustro, M. O. (1999). Derrumbes, deslizamientos y expansión lateral del suelo provocados por la sismicidad en el graben de Cuauhtepac: región sur de la Sierra de Guadalupe, en la Ciudad de México. En: *Investigaciones Geográficas*, 38, 15-29.
- García, A. N., Marín, C. R. y Méndez, E. K. (2009). “*Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la*

- república mexicana en el año 2007*", Centro Nacional de Prevención de Desastres. México. p. 619.
- García, A. N. M., Méndez, E. K. M., Nava, S. S. y Vázquez, B. F. (2016). "Impacto socioeconómico de los desastres en México durante 2015", Centro Nacional de Prevención de Desastres. México. p. 18.
- García-Palomo, A., Carlos-Valerio, V., López-Miguel, C., Galván-García, A. y Concha-Dimas, A. (2006). Landslide inventory map of Guadalupe Range north of the Mexico Basin. En: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 2, 195-204.
- Garnica, P., Rojas, E. y Mora, R. S. (2010). Deslizamiento en San Juan del Grijalva, Chiapas. *XVI Reunión Nacional de Profesores de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica*, 75-79.
- Gens, A. y Olivella, S. (2001). Numerical analysis of radioactive waste disposal. En B. A. Schrefler (Ed), *Environmental Geomechanics* (pp. 203-234). New York, USA, Springer-Verlag Wien.
- Godt, J. W., Schulz, W. H., Baum, R. L. y Savage, W. Z. (2008). Modeling rainfall conditions for shallow landsliding in Seattle, Washington. En Baum, R. L., Godt, J. W. y Highland, L. M. (eds.), *Landslides and Engineering Geology of the Seattle, Washington: Geological Society of America Reviews in Engineering Geology*, 20, 137-152.
- González, V. L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., y Oteo, C. (2002). *Ingeniería geológica*. Person Prentice Hall. Madrid, España. p. 715.
- Griffiths, D. V. y Lane, P. A. (1999). Slope stability analysis by finite elements. En: *Geotechnique*, 49(3), 387-403.
- Highland, L. M. y Schuster, R. L. (2003). "Significant landslide events in the United States", *Geological Survey (U. S.)*. Report, pp. 21.
- Holtz, R. D. y Kovacs, W. D. (1981). *An introduction to geotechnical engineering*. New Jersey, USA. Prentice Hall. p. 746.
- Hungr, O., Leroueil, S. y Picarelli, L. (2013). Varnes classification of landslides types, an update. En: *Landslides*, 11, 167-194.
- Iida, T. (2004). Theoretical research on the relationship between return period of rainfall and shallow landslides. En: *Hydrological Processes*, 18, 739-756.
- Jaime, P. A., Coliente, T. A. y Medrano-Rivera, V. H. (2010). Estabilidad de laderas y taludes. En: *XXV Reunión Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica*, 3, 911-920. Guerrero, México.

- Jaimes, T. M. A., Niño, L. M., Reinoso, A. E. y Padilla, R.C. (2010). Base de datos de deslizamientos inducidos por sismo y lluvia en México para calibrar un modelo de análisis de talud infinito. En: *XXV Reunión Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica*, 3, 895-901. Guerrero, México.
- Jiang, Y., Liao, M., Zhou, Z., Shi, X., Zhang, L. y Balz, T. (2016). Landslide deformation analysis by coupling deformation time series from SAR data with hydrological factors through data assimilation. En: *Remote sensing*, 8, 179, 1-22.
- Jibson, R. W. (2005). *Landslide hazards at La Conchita, California* (Report 2005-1067). USA: USGS. p. 12.
- Jiménez, E. M., Eslava, M. H., Salas, S. M. A., Vázquez, C. M. T., Matías, R. L. G., Camacho, Q. K. S. y Acosta, C. L. (2014). "Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la república Mexicana en el año 2000". 2 Serie impacto socioeconómico de los desastres en México, Centro Nacional de Prevención de Desastres. p. 99. ISBN 970-628-592-X
- Lanni, C., Borga, M., Rigon, R. y Tarolli, P. (2012). Modelling shallow landslide susceptibility by means of a subsurface flow path connectivity index and estimates of soil depth spatial distribution. En: *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16, 3959-3971.
- Lepore, C., Arnone, E., Noto, L. V., Sivandran, G. y Bras, R. L. (2013). Physically based modeling of rainfall-triggered landslides: a case study in the Luquillo forest, Puerto Rico. En: *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, 3371-3387.
- Liang, X., Lettenmaier, D. P., Wood, E. F. y Burges, S. J. (1994). A simple hydrologically based model of land surface water and energy fluxes for general circulation models. En: *Journal of Geophysical Research*, 99(D7), 14415-14428.
- Luo, G., Hu, X., Gu, C. y Wang, Y. (2012). Numerical simulations of kinetic formation mechanism of Tangjiashan landslide. En: *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 4(2), 149-159.
- Michalowski, R.L. (1995). Slope stability analysis: a kinematical approach. En: *Geotechnique*, 45, 283-293.

- Monteleone, S. y Sabatino, M. (2014). Hydrogeological hazards and weather events: triggering and evolution of shallow landslide. En: *International Soil and Water Conservation Research*, 2(2), 23-29.
- Mora-Ortiz, R. S. y Rojas-González, E. (2012). Efecto de la saturación en el deslizamiento de talud en la comunidad San Juan de Grijalva, Chiapas. En: *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 8(1), 55-68.
- Moreno, H. A., Vélez, M. V., Montoya, J. D. y Rhenals, R. L. (2006). La lluvia y los deslizamientos de tierra en Antioquia: análisis de su ocurrencia en las escalas interanual, intraanual y diaria. En: *Revista EIA*, 5, 59-69.
- Ng, K. C., Parry, S., King, J. P., Franks, C. A. M. y Shaw, R. (2002). *Guidelines for natural terrain hazard studies* (Geo Report No. 138, GEO Special Project Report No. SPR 1/2002). Hong Kong. p. 138.
- Norini, G., Capra, L., Borselli, L., Zuniga, F. R. Solari, L. y Sarocchi, D. (2010). Large scale landslide triggered by quaternary tectonics in the Acambay graben, Mexico. En: *Earth Surface Processes and Landforms*, 35, 1445-1455.
- Parrot, J. F. y Ochoa-Tejeda, V. (2013). The 2010 Muddy-debris flow of Anganguero (Mexico): modeling and simulation. En C. Margottini et al. (Eds), *Landslide Science and Practice*, 3, (pp. 61-66). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Peña. R. C. A. (2014). *Monitoreo y modelo sistémico a deslizamiento superficial de suelos para Manizales. Tesis (Doctoral)*. Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Colombia. P. 80.
- Pinilla, H. M. C. y Pinzón, C. C.A. (2016). An assessment of the El Niño and La Niña impacts focused on monthly and seasonal rainfall and extreme dry/precipitation events in mountain regions of Colombia and México. En: *Adv. Geosci.*, 42, 23-33.
- Pinyol, N. M., Alonso, E. E. y Olivella, S. (2008). Rapid drawdown in slopes and embankments. En: *Water Resources Research*, 44, 22S.
- Preston, W. K. (2006). Mathematical models of dynamic physical systems. En M. Kutz (Ed), *Mechanical engineers' Handbook: instrumentation, systems, controls and mems* (pp. 300- 382). New Jersey, John Wiley & Sons, Inc.
- Ramos-Bernal, R. N., Vázquez-Jiménez, R., Romero-Calcerrada, R., Novillo, C. J., Arrogante-Funes, P. y Sánchez, T. S. (2015). Identificación

- de deslizamientos de laderas aplicando técnicas de detección de cambios a imágenes Landsat en la zona costera del Estado de Guerrero, México. En de la Riva, J., Ibarra, P., Montorio, R., Rodríguez, M. (Eds), *Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación* (pp 827-834). Universidad de Zaragoza-AGE.
- Rosete, V. F.A., Pérez, D. J. L. y Bocco, G. (2009). Contribución al análisis del cambio de uso del suelo y vegetación (1978-2000) en la península de Baja California, México. En: *Investigación Ambiental*, 1(1), 70-82.
- Sassa, K., Fukuoka, H., Ochiai, H., Wang, F. y Wang, G. (2005). Aerial prediction of earthquake and rain induced rapid and long-traveling flow phenomena (APERITIF) (M101). En K. Sassa, H. Fukuoka, F. Wang y G. Gonghui (Eds), *Landslides Risk Analysis and Sustainable Disaster Management* (pp. 99-108). Berlín, Alemania.
- Schmidt, M. A., Brugger, J., Zhao, C. y Schacht, U. (2010). Fluids in geological processes-The present state and future Outlook. En: *Journal of Geochemical Exploration*, 106, 1-7.
- Schmook, B., Álvarez-Gordillo, G., Martínez-Velasco, G. y Lopez-Ochoa, M. S. (2016). “Desastres, desplazamiento interno y migración laboral en la Sierra de Chiapas”, en Centro de Investigación y Estudios Avanzados de la Población (Eds.), *Papeles de Población*, (pp. 201-232). Toluca, México, CIEAP-UAEM, No. 87.
- Serri, V., Romero, E., Lloret, A., Suriol, J. y Alonso, E. E. (2013). Análisis de procesos termo-hidro-mecánicos en deslizamientos rápidos en un nuevo equipo de corte anular rápido. En E. Alonso, J. Corominas y M. Hürlimann (Eds.), *VIII Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*, (pp. 1157-1166). Palma de Mallorca.
- Soberón-Mora, J.A., Cadena-Vargas, E. y Orozco-Hernández, M.E. (2015). “Desarrollo económico y migración interna en las zonas metropolitanas de México 1990-2010”, en Centro de Investigación y Estudios Avanzados de la Población (Eds.), *Papeles de Población.*, (pp. 147-170). Toluca, México, CIEAP-UAEM, No. 86.
- Soto-Cortés, J. J. (2015). “El crecimiento urbano de las ciudades: enfoques desarrollista, autoritario, neoliberal y sustentable”, en L. de Jesús A. (Eds.), *Paradigma económico*, (pp. 127-149). Toluca, México.

- Stroková, L. (2019). Recognition of geological processes in permafrost conditions. En: *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. [Http://doi.org/10.1007/s10064-019-01511-4](http://doi.org/10.1007/s10064-019-01511-4)
- Suárez, D. J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Colombia: Ingeniería de Suelos Ltda. p. 550.
- Tarchi, D., Antonello, G., Casagli, N., Farina, P., Fortuny-Guasch, J., Guerri, L. y Leva, D. (2005). On the use of ground-based SAR interferometry for slope failure early warning: the Cortenova rock slide (Italy). En K. Sassa, H. Fukuoka, F. Wang y G. Gonghui (Eds), *Landslides Risk Analysis and Sustainable Disaster Management* (pp. 336-342). Berlin, Alemania.
- Teófilo, S. E. (2019). *Modelo hidromeccánico para evaluar el deslizamiento del suelo por efecto del flujo subsuperficial de agua*. Tesis (Doctorado en Ciencias). Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México. p. 190.
- Teófilo, S. E. (2015). *Propuesta metodológica para la estimación de la infiltración eficaz con uso del infiltrómetro de cilindros concéntricos rediseñado*. Tesis (Maestría en Ciencias). Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México, 142.
- Teófilo, S. E. (2010). *Aplicación del infiltrómetro de cilindros concéntricos en la determinación aproximada de la velocidad de infiltración lateral*. Tesis (Licenciatura). Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México, 121.
- Teófilo, S. E. y Morales, R. G. P. (2018). Propuesta del modelo físico del infiltrómetro de cilindros concéntricos rediseñado multifuncional (ICCRM). En: *Tecnología y Ciencias del Agua*, 9(5), 103-131.
- Teófilo-Salvador, E., Morales-Reyes, G. P., Muciño-Castañeda, R. y Esteller-Alberich, M. V. (2019). Experimentación reducida-controlada in situ del deslizamiento de suelo por efecto de flujo subsuperficial de agua. En: *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 20(3), 1-12.
- Towhata, I., Uchimura, T. y Gallage, C. (2005). On early detection and warning against rainfall-induced landslides (M129). En K. Sassa, H. Fukuoka, F. Wang y G. Gonghui (Eds), *Landslides Risk Analysis and Sustainable Disaster Management* (pp. 132-139). Berlin, Alemania.
- Trancoso, G., R. A., Fontes, G. R., de Carvalho, J. O. A., Ferreira, F. N. y do Amaral, J. E. V. (2013). Combining spatial models for

- shallow landslides and debris-flow prediction. En: *Remote Sensing*, 5, 2219-2237.
- United States Army Corps of Engineers, USACE. (2003). *Slope stability, engineer manual* (No. 1110-2-1902). Washintong, DC: Department of the Army. p. 205.
- United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service, USDA. (2004). *Soil survey laboratory methods manual*. Soil Survey Laboratory Investigations Report, 42, 735 p.
- Vargas, J. E. (2002). “Políticas públicas para la reducción de la vulnerabilidad frente a los desastres naturales y socio-naturales”, *Serie Medio Ambiente y Desarrollo 50*. Santiago de Chile. p. 84.
- Vázquez, P., J. C., Backhoff, P. M. G., Gonzalez, M. J. O. y Morales, B. E. M. (2016). “Establecer la vulnerabilidad y evaluar el riesgo por deslizamientos, inundaciones pluviales y socavación de puentes en la red federal de carreteras”, *Instituto Mexicano del Transporte*. p. 75. Recuperado de <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt470.pdf>
- Velasco, M. V. D., Flores, G. F. G., González, C. G., Flores, M. M. J. y Moreno, C. H. A. (2015). Desarrollo y validación de una estación meteorológica automatizada de bajo costo dirigida a agricultura. En: *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(6), 1253-1264.
- Velázquez, A., Mas, J. F., Mayorga, S. R., Díaz, J. R., Alcántara, C., Castro, R., Fernández, T., Palacio, J. L., Bocco, G., Gómez, R. G., Luna, G. L., Trejo, I., López, G. J., Palma, M., Peralta, A., Prado M. J. y González M. F. (2002). Estado actual y dinámica de los recursos forestales de México. En: *Biodiversitas*, 41, 8-15.
- Wu, W., Switala, B. M., Sudan, A. M., Tamagnini, R., Auer, M., Graf, F., te Kamp, L. y Xiang, W. (2015) Effect of vegetation on stability of soil slopes: numerical aspect. En: *Recent Advances in Modeling Landslides and Debris Flow*, 163-177.



NOTAS Y DOCUMENTOS

NOTES AND DOCUMENTS



NORMAS DE PUBLICACIÓN

PUBLICATION GUIDELINES

Admisión

Se admiten documentos originales e inéditos, relacionados con temáticas y problemas geográficos de índole teórico-metodológica o estudios de caso.

El autor debe remitir su artículo preferiblemente por la plataforma de OJS en el enlace <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica> debe ingresar al sistema si esta registrado, sino debe registrarse, si tiene dificultades, también lo puede enviar a la dirección electrónica de la Revista Geográfica de América Central revgeo@una.cr, o a la MSc. Lilliam Quirós Arias (lquiros@una.cr) o la Mag. Consuelo Alfaro Chavarría calfaro@una.cr

Al autor que no tenga código de investigador ORCID le recomendamos que se registre preferiblemente con el correo institucional en el enlace <https://orcid.org/>, antes de ingresar o subir el manuscrito al OJS, ya que al ingresar el artículo en la plataforma de OJS existe el espacio para situar dicho código. El código o identificador digital persistente a cada investigador, ORCID permite la atribución correcta e inequívoca de sus actividades de investigación, favoreciendo la visibilidad y el impacto de sus publicaciones. En el siguiente enlace encuentras una guía para registrarse <http://poliscience.blogs.upv.es/como-se-obtiene-un-codigo-orcid/>

Junto con el documento que será sometido a revisión, el autor debe entregar declaración Jurada manifestando expresamente que el documento es inédito y original, y que no está en proceso de revisión en otra revista. Después de su evaluación, y en caso de ser aceptado, el autor deberá entregar el documento final con las correcciones pertinentes.

El tiempo transcurrido entre la recepción del artículo y la aceptación para la publicación del mismo es de aproximadamente seis meses.

La revista vela el plagio y para ello utiliza el programa Turnitin que contribuye en la detección de plagio mediante la ubicación de similitudes. Una vez recibido el artículo se ingresa al programa Turnitin para detectar el porcentaje de similitud y si éste es mayor al 25% el mismo será enviado al autor para su verificación. Una vez recibido el descargo por parte del autor y de comprobarse el plagio el artículo será rechazado.

Normas de presentación de artículos

Los documentos deben ser enviados en español, inglés o portugués, con un resumen no mayor de 10 líneas, en el idioma vernáculo y en inglés, con un máximo de 5 palabras claves en ambos idiomas. Un tamaño máximo de 25 páginas, incluyendo las figuras y las referencias bibliográficas. Para los artículos en portugués se debe incluir el título, resumen y palabras claves en español e inglés.

El texto debe estar en formato Word, escrito con letra Times New Roman 12, a espacio y medio, con 2,5 cm en los márgenes superior e inferior, y 3 cm en los márgenes derecho e izquierdo, en hoja tamaño carta.

Incluir los siguientes elementos: Introducción, Área de estudio, Características Generales, Marco teórico-conceptual, Marco metodológico, Resultados, Discusión de Resultados y Referencias Bibliográficas.

Las ilustraciones (mapas, gráficos, fotos, etc.), las tablas y los cuadros (estadísticos) deben ser enumerados según su orden de aparición en el texto (numeración arábica); con formatos para una impresión de buena resolución. En el caso de los mapas, la impresión puede ser a color, en formato JPG o Tiff, wmf, bmp. Todas las ilustraciones deben ubicarse en el texto y adjuntarse en archivos separados.

Las referencias bibliográficas deben estar citadas en el texto, ordenarse alfabéticamente, y seguir el formato internacional de la American Psychology Association (APA sexta edición).

Orden de presentación del trabajo

Título: Breve, claro y que corresponda con el contenido. En letras mayúsculas, centrado y en negrita. En el idioma vernáculo, español y en inglés.

Nombre y apellidos del autor o los autores: justificados hacia la derecha.

Grado académico, lugar, dirección de trabajo y dirección electrónica: en una nota al pie de página y con letra Times New Roman 10.

Resumen en el idioma vernáculo, español y en inglés: máximo 10 líneas, enunciando los aspectos principales del texto. Con letra Times New Roman 10.

Palabras claves en el idioma vernáculo, español y en inglés: máximo 5 palabras. Con letra Times New Roman 10.

Texto: El texto inicia con la Introducción (Introducción), diferenciando la jerarquía de títulos y subtítulos utilizando tamaños de letra y uso de la negrita. Con letra Times New Roman y espaciado doble.

Referencias bibliográficas: debe estar citada en el texto y no en notas al pie de página.

Notas y citas

En lo posible deben reducirse a lo indispensable.

Las notas al pie de página deben tener un fin meramente aclaratorio o explicativo, o bien, aportar información sobre lecturas adicionales para el lector potencial del texto.

En el texto, las citas textuales llevarán entre paréntesis el apellido del autor, año y número de página.

Las citas textuales inferiores a 40 palabras deben ir incluidas en el texto entre comillas.

Las citas textuales superiores a 40 palabras deben ir en un bloque independiente, sin comillas y con un tabulado a la izquierda de 2,54 cm.

Referencias bibliográficas

Dispuesta en orden alfabético, según el apellido del autor. Siguiendo las normas APA sexta edición traducida al español.

Ejemplos

Libro:

Gómez, D. M. y Barredo, C. J. I. (2004). Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. Madrid, España: RAMA.

Capítulo de un libro:

Santos, M. (2000). "Por una geografía de las redes". La Naturaleza del Espacio. Barcelona, España: Editorial Ariel. (pp. 221-234)

Revista:

Murai, S. (1999). Libro de trabajo SIG. Volumen 1: Curso básico. En: Revista SELPER, 15(1), 8-66.

Tesis:

Romero, M. (2004). Análisis de los cambios en la estructura del paisaje de l'alt Empordá, 1951-2001. Tesis doctoral. Escuela de Geografía, Universidad de Girona. España. (pp.325)

Página electrónica:

Mascaraque, S. A. (2003). Índices de causalidad y riesgo de incendios aplicados a espacios naturales protegidos de la comunidad de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado: http://oa.upm.es/911/1/PFC_Riesgos_Incendios_Forestales.pdf.

Periódico:

Loaiza, N. V. (24 de enero, 2008). Incendios forestales provocados arrasaron 32.000 hectáreas. La Nación. San José, Costa Rica. (p.5)

Cuadros y tablas

Las tablas y los cuadros deben estar enunciados explícitamente en el documento y ubicados dentro del texto, con números arábigos.

Figuras (gráficos, diagramas, fotografías, etc.)

El tamaño de las figuras podrá ser de hasta 13 cm de ancho por 18 cm de largo, con el objeto de ajustarse al formato de la revista.

Todas deben llevar numeración, título, leyenda y fuente. Deben estar debidamente referidas en el texto.

Material Cartográfico: (mapas y planos)

Todos deben llevar numeración, título y fuente. Deben estar debidamente referidos en el texto.

Indicaciones para diseño cartográfico

Dado que el ámbito de la Revista Geográfica de América Central incluye el diseño cartográfico como una de las principales formas de representación de las Ciencias Geográficas, para someter los artículos a evaluación la cartografía debe incluir los siguientes aspectos:

Aspectos de forma y contenido

- Título
- Simbología
- Escala gráfica
- Coordenadas geográficas
- Diagrama de ubicación
- Flecha de norte
- Créditos y fechas

Aspectos de calidad

- Representación acorde a la temática estudiada
- Visualización y organización interna del mapa acorde a la forma y tamaño del área representada
- Resolución gráfica entre media a alta resolución

Formato de envío de la cartografía

- Envío de la cartografía en formato JPEG, TIF, PNG Y GIF con menos de 1mb,
- El tamaño de la imagen no debe exceder de 650 pixeles de ancho y alto
- Envío de la cartografía incluida en el texto y también en archivos superados/individuales.
- La presentación cartográfica, tablas, figuras y otros elementos visuales deben referenciarse en el texto.

Referencia:

Apellidos, Nombre (autor/es, iniciales o nombre/es completo de los diferentes autores separados por ;) o nombre de la entidad responsable. Año de publicación:, Título (en itálica) [Designación del tipo de material por ejemplo: plano]: subtítulo (opcional y en cursiva). Escala numérica. Edición. Lugar de publicación: año.

Ejemplo:

Instituto Geográfico Nacional, Ministerio de Obras Públicas y Transportes (Costa Rica). *Istarú*. [Hoja topográfica]. Escala 1:50,000. San José, Edición 2, 1981.

Distribución

Una vez publicada la revista, los autores recibirán 1 ejemplar. Adicionalmente una vez que la Editorial de la Universidad Nacional aprueba la publicación ésta será dispuesta en formato digital en la página de la revista, en la cual los autores y otros usuarios pueden acceder a esta publicación.

Revista Geográfica de América Central

Correo electrónico: revgeo@una.cr

<http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica>

<http://www.revista.geo.una.ac.cr>

GUIDELINES FOR AUTHORS

Checklist for submission preparation

As part of the submission process, authors are obliged to verify that their submission meet all the criteria disclosed below. Those submissions that do not comply with these guidelines will be returned to the authors.

- The document has not been previously published, nor has it been submitted to another journal (or an explanation has been provided in Comments to the editor).
- The file sent is in Open Office, Microsoft Word, RTF or WordPerfect format.
- Web addresses have been properly referenced when required.
- The text is set to 1.5 line spacing; 12-point font size; italics are used instead of underlining (except URLs); and all illustrations, figures and tables are kept inside the text in the corresponding place and not at the end of the text.
- The text complies with the bibliographic and style requirements indicated in *Author Guidelines*, which can be found in the *About the Journal* section.
- If submitting to a peer-reviewed section of the journal, make sure the instructions disclosed in *Ensuring a Blind Review* have been followed.

Submittals

Original and unpublished works related to thematic and geographic issues of theoretical-methodological nature or case studies are accepted.

Article submission is preferably via the OJS platform accessed following the link <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica>, author pre-registration is required. Alternatively, in case of difficulties, authors can submit their works via e-mail at REVISTA GEOGRAFICA DE AMÉRICA CENTRAL's electronic mail revgeo@una.cr or directly contacting MSc. Lilliam Quirós Arias (lquiros@una.cr) or Mag. Consuelo Alfaro Chavarría (calfaro@una.cr).

When uploading the manuscript to the OJS platform authors must enter their ORCID researcher code. Authors not having an ORCID researcher code are urged to register, preferably using their institutional e-mail, following the link <https://orcid.org/>. A registration how-to-guide is found at <http://poliscience.blogs.upv.es/como-se-obtiene-un-codigo-orcid/>. The ORCID code is a digital identifier that allows ORCID to correctly and unequivocally link each researcher with their research activities thus favoring the visibility and impact index of their publications. Besides the manuscript submitted for review, the author must also submit a sworn statement expressly stating that the document has never been published, is of original nature, and is not under review by another journal. After its evaluation and, in case it is accepted, the author must submit the final document including the required corrections.

The time elapsed between the reception of the manuscript and the acceptance for its publication is approximately six months.

The journal does not tolerate plagiarism and uses Turnitin software to screen and detect text similarities. Upon receiving the article, it is screened with Turnitin software to detect the percentage similarity and if greater than 25% it will be returned to the author for verification. Once the author has received the disclaimer and if plagiarism is confirmed the article will be rejected.

Rules for submitting articles

The documents must be submitted in Spanish, English or Portuguese, with an abstract of no more than 10 lines, in its vernacular language and in English, indicating a maximum of 5 key words in both languages. A maximum document size of 25 pages, including figures and bibliographical references will be accepted. For articles in Portuguese the title, summary and keywords must be included in both Spanish and English.

The text must be in Word format, written in Times New Roman size 12 font, 1.5 spacing, 2.5 cm upper and lower margins and 3 cm right and left margins, in letter-sized pages.

Include the following elements: Introduction, Study Area, General Characteristics, Theoretical-conceptual Framework, Methodological Framework, Results, Discussion of Results and Bibliographic References.

The illustrations (maps, graphics, photos, etc.), tables (statistics) must be listed according to their order of appearance in the text (Arabic numerals); and adequate formats to provide good print resolution. In the case of maps, printing can be in color, in JPG or Tiff format, wmf or bmp. All illustrations must be placed within the text and also attached as separate files.

The bibliographical references must be cited in the text, ordered alphabetically, and must follow the international format of the American Psychology Association (APA sixth edition).

Order of presentation of the work

Title: Brief, clear and corresponding with the documents content. In bold capital letters, centered. In the vernacular language, Spanish and English.

Name and surname of the author(s): justified to the right.

Academic degree, place, work address and electronic address: in a footnote and in Times New Roman 10 font.

Summary in the vernacular language, Spanish and English: maximum 10 lines, stating the main aspects of the text. In Times New Roman 10 font.

Keywords in the vernacular language, Spanish and English: maximum 5 words. In Times New Roman 10 font.

Text: The text begins with the Introduction (Introduction), differentiating the hierarchy of titles and subtitles using letter sizes and use bold highlighting. In Times New Roman font and double spacing.

Bibliographical references: must be cited in the text and not in footnotes.

Notes and citations

Where possible, notes and citations should be reduced to what is indispensable. Footnotes should have a merely clarifying or explanatory purpose or provide information on additional readings. Textual citations will include the author's surname, year and page number in parentheses.

Textual citations less than 40 words should be included in the text in quotation marks. Textual citations of more than 40 words should be in a separate block, without quotation marks and with a left indent of 2.54 cm.

References

Arranged in alphabetical order, according to the author's surname, following rules outlined in the Spanish-translated sixth edition of APA.

Examples

Book:

Gómez, D. M. and Barredo, C. J. I. (2004). *Sistemas de información geográfica y evaluación multi-criterio en la ordenación del territorio*. Madrid, España: RAMA.

Chapter of a book:

Santos, M. (2000). "Por una geografía de las redes". *La Naturaleza del Espacio*. Barcelona, España: Editorial Ariel. (pp. 221-234)

Magazine:

Murai, S. (1999). Libro de trabajo SIG. Volumen 1: Curso básico. En: *Revista SELPER*, 15 (1), 8-66.

Thesis:

Romero, M. (2004). *Análisis de los cambios en la estructura del paisaje de l'alt Empordá, 1951-2001*. Tesis doctoral. Escuela de Geografía, Universidad de Girona. España. (pp.325)

Electronic page:

Mascaraque, S. A. (2003). *Índices de causalidad y riesgo de incendios aplicados a espacios naturales protegidos de la comunidad de Madrid*. Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado: http://oa.upm.es/911/1/PFC_Riesgos_Incendios_Forestales.pdf.

Newspaper:

Loaiza, N. V. (January 24, 2008). Incendios forestales provocados arrasaron 32.000 hectáreas. La Nación. San José, Costa Rica. (p.5)

Tables

Tables must be explicitly stated in the document and located within the text using Arabic numerals.

Figures (graphics, diagrams, photographs, etc.)

The size of figures can be up to 13 cm wide by 18 cm long, in order to adjust to the journal's format. All figures must have numbering, title, legend and source. They must be duly referenced in the text.

Cartographic material: (maps and plans)

All maps and plans must be assigned a number, title and source. They must be duly referenced in the text.

Indications for cartographic designs

Given that the scope of the REVISTA GEOGRÁFICA DE AMÉRICA CENTRAL includes cartographic design as one of the main forms of representing geographical data, the cartography of submitted articles must include the following aspects:

Aspects of form and content

- Title
- Symbology
- Graphic scale
- Geographical coordinates
- Location diagram
- North arrow
- Credits and dates

Aspects of quality

- Representation according to the studied-developed theme
- Visualization and internal organization of the map according to the shape and size of the represented area
- Graphic resolution must be medium-high

Submission format of the cartography

- Submitted in JPEG, TIF, PNG or GIF format and file size less than 1MB
- The size of the image must not exceed 650 pixels wide and high
- The cartography must be included within the submitted document as well as in separate individual files.
- Cartographic presentations, tables, figures and all other visual elements must be referenced in the text.

Reference:

Surname, Name (author(s), initials or full name(s) of the different authors separated by ;) or name of the responsible entity. Year of publication:, Title (in italics) [Designation of type of material, for example: map]: subtitle (optional and in italics). Numerical scale. Edition. Place of publication: year.

Example:

Instituto Geográfico Nacional, Ministerio de Obras Públicas y Transportes (Costa Rica). *Istarú*. [Hoja topográfica]. Escala 1:50,000. San José, Edición 2, 1981.

Distribution

Once the journal has been published, the authors will receive 1 copy. Additionally, once the Editorial de la Universidad Nacional (EUNA) approves the publication, it will be available in digital format on the journal's page from which the authors and other users can access the publication.

Publication Rules and Peer Review Process

Revista Geográfica de América Central

E-mail: revgeo@una.cr

<http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica>

<http://www.revista.geo.una.ac.cr>

SISTEMA DE ARBITRAJE

Los documentos serán sometidos al proceso de juicio de los evaluadores/as externos, mediante el sistema de revisión por pares (*peer review*); quienes emplean la “Guía de criterios para la evaluación de artículos” establecida por la revista, la cual incluye además de las normas formales, la calidad, la pertinencia y el grado del aporte científico de los artículos. Los evaluadores no conocerán el nombre del autor. Los nombres de los evaluadores tampoco serán revelados. Se guarda, de manera explícita, el anonimato y la confidencialidad de estas personas.

Los evaluadores cuentan con un plazo no mayor a 30 días naturales para evaluar y entregar el dictamen pertinente a la secretaría de la Revista.

En caso de que el evaluador no estuviera de acuerdo con la publicación del documento, este será sometido a revisión por parte de un segundo evaluador, cuyo dictamen servirá para tomar una decisión al respecto.

Si el evaluador del documento recomienda correcciones, el autor será el responsable de hacerlas y entregar el documento final en formato digital, en un plazo no mayor a 30 días naturales.

La última decisión para la publicación o rechazo de un documento corresponde al Consejo Editorial de la Revista Geográfica de América Central.

PEER REVIEW PROCESS

All document submissions are subject to the judgment of a team of external evaluators who employ a guide to critical evaluation of journal articles. Documents are judged against a set of standards for quality, relevance and degree of contribution to the field of study. Evaluators will not know the name of the author submitting the document, nor will the author know the names of the evaluators. Evaluators have 30 days to review the document and determine its suitability for publication.

If a document is at first rejected for publication, a second review by different evaluators will be initiated. If the document is rejected again, the rejection is final. If, upon second review, the document is recommended for publication, the document will undergo a final review by a third set of evaluators.

If the evaluators recommend changes to the document, the author will be notified and will have up to 30 days to make the recommended revisions and resubmit the document.

The final decision for publication or rejection of a document rests with the Editorial Board of the Geographic Magazine of Central America.

Esta Revista se imprimió en el año 2020 en el Programa de Publicaciones e Impresiones de la Universidad Nacional; consta de un tiraje de 150 ejemplares, en papel bond y cartulina barnizable.