

# 1.1. Vulnerabilidad ambiental de la cuenca florícola del Estado de México

CLARITA RODRÍGUEZ SOTO

EDGAR DANIEL HERNÁNDEZ CÉSAR

MIGUEL ÁNGEL GÓMEZ ALBORES

REBECA ANGÉLICA SERRANO BARQUÍN

*FACULTAD DE GEOGRAFÍA  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO*

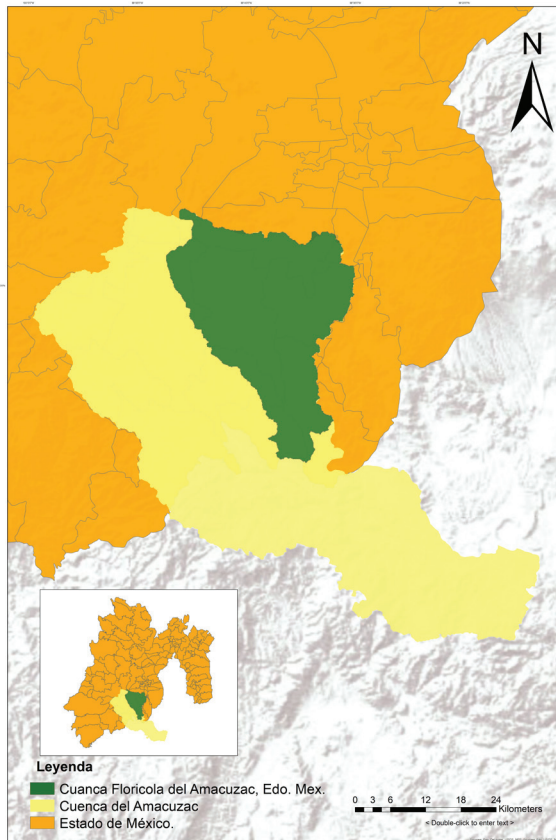
## Introducción

México enfrenta procesos de acelerada transformación debido a actividades económicas y sociales que representan amenazas a las sociedades humanas y a la biodiversidad. Se requiere el desarrollo de una gama de acciones encaminadas a la sustentabilidad en los contextos locales y regionales. En estos tópicos, la planificación ocupa un lugar primordial en las agendas nacionales debido a la necesidad de influir en el curso tendencial de los sucesos. Especial importancia se otorga a la dimensión territorial de la planificación, teniendo en cuenta que es el territorio el espacio físico donde confluyen actividades de todo tipo, reflejándose el complejo entramado de relaciones sociales que se establecen entre el ser humano y la naturaleza (Barbero, 2013).

En consecuencia, hay abundantes estudios de corte territorial, basado en las múltiples posibilidades que ofrecen para el análisis y comprensión de la heterogeneidad de fenómenos asociados a la biodiversidad, la cultura, la economía, lo social, el ambiente, entre otros. Dichos estudios se han expresado en metodologías de análisis con enfoque local y regional, cuyas vertientes analíticas dan cabida a una serie de componentes multidisciplinarios para la toma de decisiones. A pesar de estos avances, todavía existe una amplitud temática que requiere ser abordada regionalmente de manera inmediata, entre estos temas se encuentra el análisis de la vulnerabilidad y el riesgo a escalas regionales y locales a fin de dirigir estrategias de atención.

En el presente artículo se toma como caso de estudio a la cuenca florícola del Estado de México, ubicada al sur del Estado en los municipios de Villa Guerrero, Tenancingo y Coatepec Harinas; con una superficie de 687 km<sup>2</sup>, dentro de la subcuenca del Alto Amacuzac (Figura 1).

Figura 1. Localización de la cuenca florícola



Fuente: elaboración propia.

El mayor problema dentro de la denominada cuenca florícola del Estado de México se desarrolla por la actividad florícola intensiva (aporta cerca del 90 % de la producción estatal, y con casi el 80 % de la producción nacional (Mena, 2018)) y agrícola extensiva que ha exigido el uso de altas cantidades de agroquímicos. Su importancia permea en los mercados internacionales a través de la exportación de algunas variedades de rosas y plantas ornamentales, misma que ha inducido a una diversificación de dicho subsector, con ciertas

innovaciones técnicas e infraestructurales, propiciando el cultivo de nuevas variedades de cultivos florícolas (Piña, Meléndez, & Nonato, 2015). El uso desmedido de estos productos químicos y su inadecuado manejo ocasiona graves problemas de contaminación a los suelos y aguas, así como un alto riesgo a la salud de los usuarios y a la biodiversidad. En este contexto, la actividad florícola en la zona de estudio representa un peligro alto para las condiciones ambientales de la región.

Por otro lado, es evidente que, en los últimos 50 años, el uso de fertilizantes y pesticidas químicos en la agricultura ha incrementado la productividad de los cultivos. En México se producen anualmente más de 100,000 toneladas de insecticidas y plaguicidas para el control de plagas en los cultivos (INEGI, 2018). Sin embargo, no existe a detalle información geoespacial relacionada con el uso de los agroquímicos en México. Los riesgos asociados a la exposición a dichas sustancias requieren ser evaluados a través de un enfoque integral. Esto se ha convertido en un problema nacional que urge atender; en México los plaguicidas autorizados y prohibidos o no autorizados en otros países suman 140 ingredientes activos, dicho total suma 65 los plaguicidas prohibidos o no autorizados en otros países que son plaguicidas altamente peligrosos según los criterios establecidos por el grupo de expertos de la Organización Mundial Agroalimentaria (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), mencionan que aumentan a 111, el 79,29% de los plaguicidas según los criterios adicionales propuestos por la Red Internacional de Plaguicidas (PAN Internacional) (Bejarano *et al.*, 2017).

Aunado a lo anterior, en la zona se han detectado una gran cantidad de casos de enfermedades relacionadas a la contaminación por plaguicidas y fertilizantes. En el municipio de Villa Guerrero se encontró que el 60% de las mujeres del campo se sobreexponen a los plaguicidas y el 80% de los trabajadores no usa equipo de protección para aplicar agroquímicos. La tasa de fertilidad es de 1,6 hijos por mujer, en comparación con el 2,5 nacional (Oliva, Rodríguez, & Silva, 2005). En el mismo municipio se ha documentado que de la cantidad de plaguicidas aplicados un gran porcentaje es depositado en el recurso hídrico y edáfico. En las pruebas de toxicidad se encontró que el suelo y agua de los invernaderos resultaron tóxicos y generan gran impacto ambiental negativo debido al tipo, cantidad y frecuencia de los productos aplicados (Tecuapleta María *et al.*, 2014). Además se ha determinado el posible daño del Ácido Desoxirribonucleico (ADN) y daños inmunológicos en floricultores crónicamente expuestos a estas sustancias (Castillo-Cadena *et al.*, 2006; Castillo-Cadena *et al.*, 2013).

En torno a esto, el propósito de este artículo es evidenciar los sitios de mayor vulnerabilidad ambiental en la cuenca florícola del Estado de México, que permitan dirigir y generar alternativas estratégicas de atención a dicha problemática; lo anterior, con énfasis en los recursos hídricos y edáficos, a

través de un análisis espacial. El artículo contiene tres apartados, el primero corresponde al desarrollo metodológico, el segundo a los resultados y el tercero detalla algunas estrategias y directrices para continuar el monitoreo y reducir la vulnerabilidad ambiental de la cuenca, y de esta manera contribuir a la toma de decisiones.

## Métodos y técnicas

La vulnerabilidad ambiental es ampliamente considerada como la inversa de la resiliencia (DeAngelis, 1980). Holling (1973) like the burrow entrance, is detected only by contact with the antennae, it facilitates the return to the burrow after an excursion. When a desert isopod returns from foraging it reaches the burrow entrance itself (diameter 12 mm), la cual se define como “la capacidad de los sistemas para absorber los cambios de las variables de estado, las variables de conducción y los parámetros, y aún persisten”. Nguyen y Liou (2019) señalan que existen varias formas de evaluar la vulnerabilidad ambiental, una de ellas se aborda al observar los factores naturales, como los cambios climáticos a través del análisis de la precipitación, la temperatura, la evapotranspiración y el aumento del nivel del mar (Janssen y Ostrom, 2006; Metzger *et al.*, 2005). La segunda forma es investigar la vulnerabilidad del entorno ecológico considerando la dinámica humana y social (Ippolito *et al.*, 2010; Viles & Cutler, 2012; Johnson *et al.*, 2016; Kumar *et al.*, 2016; Nguyen & Liou, 2019).

Para evaluar la vulnerabilidad ambiental, resulta imprescindible contar con herramientas y metodologías que sean viables y de rápida aplicación, debido a que los procesos de cambios en el ambiente son constantes. En este punto, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han demostrado a nivel mundial su eficiencia e importante utilidad en el ámbito de la planificación (Javier, Silva, Cardozo, Las, & Resistencia, 2015). Por otra parte, el análisis multicriterio y los modelos de decisión son una herramienta útil en el análisis de la vulnerabilidad debido a que ofrecen la oportunidad de obtener un análisis equilibrado de las diferentes caras de los problemas de planificación, particularmente debido a que varios efectos intangibles, como los sociales y las repercusiones ambientales pueden ser considerados cabalmente (Delft & Nijkamp, 1977). En el análisis espacial multicriterio, los datos geográficos se transforman en una decisión.

En este contexto, para poder evidenciar los sitios de mayor vulnerabilidad ambiental en la cuenca florícola del Estado de México, se realizó un análisis espacial con base en dos fases metodológicas, la primera corresponde a la aplicación del método Delphi para conocer las variables que influyen de manera significativa en la vulnerabilidad y la segunda en una evaluación multicriterio.

### *Fase 1*

La selección de variables físicas, bióticas y socioeconómicas útiles en la definición de la vulnerabilidad de agua y suelo de la cuenca florícola, lo efectuamos a través del método Delphi; un procedimiento eficaz (Linstone y Murray, 2002) y sistemático que tiene como objeto la recopilación de opiniones de expertos sobre un tema particular con el fin de incorporar dichos juicios en la configuración de un cuestionario y conseguir un consenso a través de la convergencia de las opiniones de expertos diseminados geográficamente (Bass, 1983; Ludwig, 1996, 1997). Su principal novedad consiste en el uso desde la primera ronda de un cuestionario estructurado al que se van adicionando o modificando, si es el caso, las diferentes opiniones de los expertos en las sucesivas rondas hasta completar al menos dos (Linstone y Murray, 2002). En la presente investigación se aplicó el método Delphi con dos rondas, la primera para conocer las variables relacionadas con la vulnerabilidad hídrica y edáfica en el área y la segunda para ponderarlas y así poder decidir cuales utilizar en el análisis multicriterio.

La selección del panel de expertos tuvo dos dimensiones: una cualitativa (se seleccionaron en función del objetivo del estudio y atendiendo al criterio de experticidad) y otra cuantitativa (la elección del tamaño de la muestra estuvo en función de los recursos, medios y tiempo disponibles). Para garantizar un buen nivel de calidad, la selección de expertos la efectuamos con base en un criterio estándar preestablecido. Por criterio de experticidad se refiere a aquellos que poseen un alto grado de conocimientos en materia de Medio Ambiente y Recursos Naturales, ya sea porque se han dedicado a la investigación y estudios de aspectos relacionados, o bien porque en su experiencia profesional, el tema ha constituido parte importante de su trabajo (Bass 1983). Para el presente caso de estudio, el grupo de expertos estuvo conformado por doce investigadores adscritos a la Universidad Autónoma del Estado de México y a la Universidad Federal de Sao Carlos, Brasil.

Se seleccionaron seis de las variables mencionadas con mayor frecuencia (repetición) en el resultado de la encuesta, aquellas con acceso gratuito en formatos geoespaciales, así como aquellas que tuvieran relación con el recurso hídrico y edáfico de la zona de estudio. Todas las variables fueron proyectadas y estandarizadas (0-1) en formato Raster en WGS1984 y celdas 30x30 m, para hacerlas comparables en el análisis multicriterio (Cuadro 1). Elegimos el método de estandarización de acuerdo con el rol de cada criterio (para mayor detalle revisar, Hernández, 2019).

Para generar la variable de distancia a invernaderos utilizamos una distancia de costo, una imagen que incorpora tanto la distancia real recorrida hacia los invernaderos desde las corrientes y cuerpos de agua como los efectos de fricción (usos de suelo) encontrados en el camino. Se utilizó la herramienta "cost" en el software TerrSet.

También se consideró el uso de suelo y la cobertura vegetal obtenidos a través de la clasificación supervisada de imágenes Landsat 8 OLI con resolución espacial de 30 metros (23 enero de 2017). Se procesaron las imágenes considerando correcciones radiométricas, geométricas y topográficas; con base en el método de sustracción de objetos oscuros (Chávez, 1988; 1989). Aplicamos el compuesto de bandas RGB en falso color 6-5-4, utilizada para análisis de vegetación, uso de suelo y humedad (Franco, 2017). La clasificación se realizó en TerrSet con el método de máxima verosimilitud (Maxlike y Vargas, 2018).

Cuadro 1  
Fuentes de las variables geoespaciales

Variable	Fuente	Año
Proximidad a cuerpos de agua	Atlas geológico ambiental del Estado de México (Mitre <i>et al.</i> , 2013)	2013
Textura de suelo	Carta edafológica	2013
Precipitación	Superficies bioclimáticas de la Cuenca Lerma Chapala (Manzano-Solis 2018)	1960 - 2010
Pendiente del terreno	Servicio geológico de Estados Unidos (USGS)	2000
Uso de suelo	Servicio geológico de Estados Unidos (USGS). Landsat 8	2017
Invernaderos	Servicio geológico de Estados Unidos (USGS). Landsat 8	2017

Fuente: elaboración propia.

Se realizó la ponderación de variables a partir de los resultados de la encuesta Delphi, a través de una comparación pareada, propuesta por Saaty (1977) en el contexto del proceso jerárquico analítico. Este método se basa en la elaboración de una matriz de comparación entre los factores, de acuerdo con la importancia relativa entre pares de factores; definido por el número de factores a ponderar (pares de factores), comparando la importancia de uno sobre cada uno de los demás, de acuerdo con una escala de ponderaciones de 1/9 a 9 (Eastman, 2001).

## Fase 2

Corresponde a la Evaluación Multicriterio (EMC) dirigida a conocer la vulnerabilidad ambiental (hídrica y edáfica) en la cuenca florícola. La EMC considera el Método de Sumatoria Lineal Ponderada, el cual corresponde a una operación aritmética simple del tipo compensatorio aditivo (Gómez y Barredo, 2005). Este método consiste en multiplicar el valor de cada

criterio o factor (coberturas georreferenciadas y normalizadas en escala de 0 a 1) por su peso (Eastman, 2006).

Donde, “ $S$ ” es la aptitud de la alternativa “ $i$ ”, “ $w_j$ ” el peso del factor “ $i$ ” y “ $v_i$ ” es el valor ponderado del factor “ $i$ ” (Drobne y Lisec, 2009).

Una vez definidos los pesos ejecutamos una EMC por cada esquema de integración y con el esquema de pesos iguales, obteniendo dos modelos cuya denominación se conservó de forma respectiva. Para esta tarea se utilizó el módulo MCE de TerrSet con la opción de Combinación Lineal Ponderada (WLC, por sus siglas en inglés), en donde se ingresaron los seis factores con sus respectivos pesos. El resultado de este proceso es el mapa de vulnerabilidad ambiental. Se obtuvo la razón de consistencia de acuerdo con la lógica de Matriz por Pares de Saaty, que se encuentra en el modelador de decisión espacial (*Spatial Decision Modeler*) de TerrSet.

Adicionalmente, se seleccionaron las 100 hectáreas prioritarias contiguas y no contiguas, con mayor vulnerabilidad a través del análisis MOLA de TerrSet con la opción de operación de objetivo único. Para explorar la sensibilidad del modelo se elaboraron seis escenarios diferentes, en cada uno de los escenarios eliminamos uno de los seis factores con los que se trabajó en el análisis multicriterio (en el presente artículo solo se presenta el resultado del escenario que mostró mayor variación). Para desarrollar este análisis de sensibilidad se elaboró una matriz de comparación por cada escenario distribuyendo el peso del factor eliminado entre los cinco restantes, pero siempre respetando la consistencia de la matriz.

## Resultados y discusión

A partir de la primera ronda Delphi, se obtuvieron 84 variables. De las cuales 34 fueron para el enfoque del recurso hídrico y 50 para el enfoque del recurso edáfico. De estas, se seleccionaron las seis con mayor frecuencia en todas las encuestas Delphi: proximidad a cuerpos de agua, textura de suelo, precipitación, pendiente del terreno, uso de suelo e invernaderos.

Como se mencionó, para poder obtener las variables de uso de suelo e invernaderos se aplicó una clasificación supervisada de uso de suelo, ubicando 4,393.26 hectáreas cubiertas con invernaderos, lo que representa un 6.35% del área y 21,174.03 hectáreas de bosque denso, lo que corresponde a un total de 30.61% convirtiéndola en la cobertura con mayor presencia en la región (Cuadro 2, Figura 2).

La variable mencionada con mayor frecuencia y ponderada como la más importante es la que representa a las zonas con mayor actividad florícola y la probabilidad de convertirse en ese tipo de uso de suelo, simboliza la fuente de mayor contaminación y vulnerabilidad al suelo y al agua por la gran cantidad de agroquímicos de alta toxicidad depositados y por la explotación excesiva

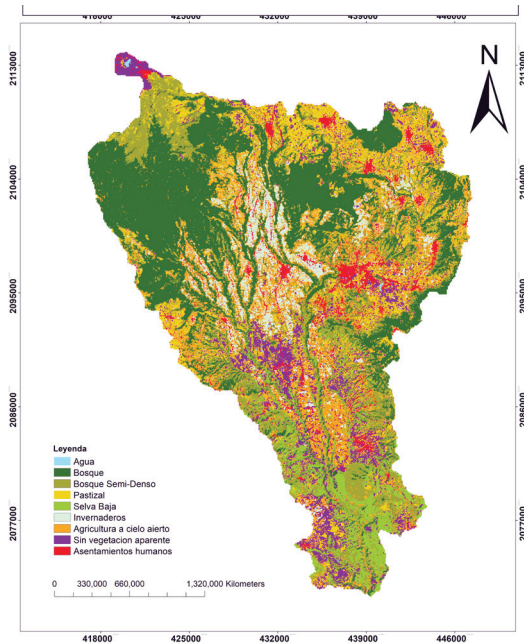
de ambos recursos. La imagen de distancia de costo resultante se observa en la Figura 3: los valores de mayor costo se encuentran dentro del municipio de Villa Guerrero y Tenancingo (los mayores productores de flores). Para nuestra investigación el índice de consistencia (CI) es de 0.03, mientras que la razón de consistencia (CR) es de 0.027, lo que indica que la evaluación de la matriz presenta una adecuada consistencia.

Cuadro 2  
Uso y cobertura de suelo de la cuenca florícola, 2017

Cobertura	Hectáreas	Porcentaje%
Agua	119.43	0.1
Bosque	21174.03	30.6
Bosque Semi-Denso	11338.3	16.3
Pastizal	9275.4	13.4
Selva	3880.4	5.6
Invernaderos	4393.2	6.3
Agricultura a cielo abierto	10649.6	15.3
Sin vegetación Aparente	5629.23	8.1
Asentamientos Humanos	2700.6	3.9
Total	69160.5	100

Fuente: elaboración propia a partir de imagen LandSat7, USGS, 2017.

Figura 2. Uso y cobertura de suelo de la cuenca florícola, 2017

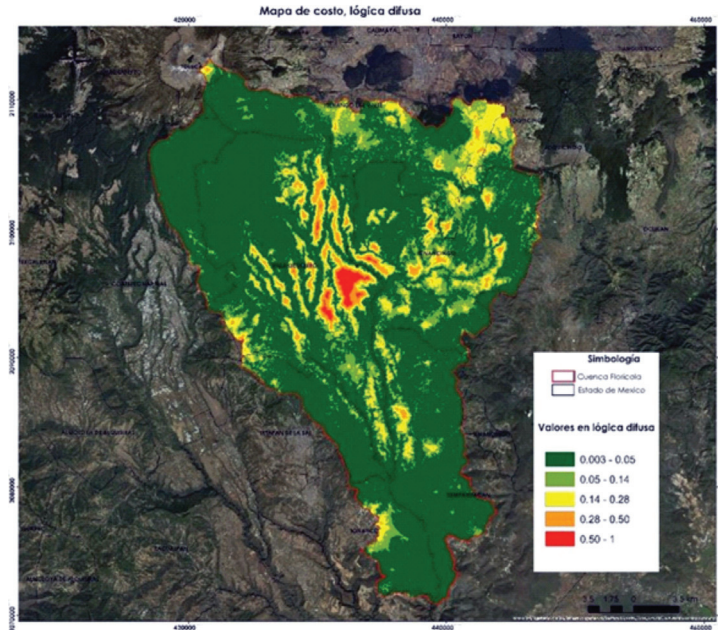


Fuente: elaboración propia.



## 1.1. VULNERABILIDAD AMBIENTAL DE LA CUENCA FLORÍCOLA DEL ESTADO DE MÉXICO

Figura 3. Distancia a invernaderos



Fuente: elaboración propia a partir de imágenes de *Google Earth*.

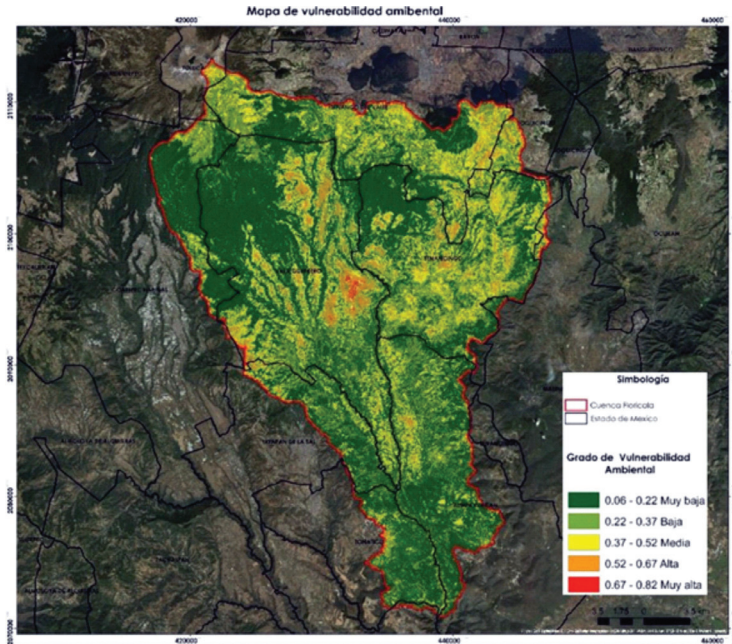
El mapa de vulnerabilidad muestra la etapa final del análisis multicriterio (Figura 4). En el cual los colores rojos, representan una vulnerabilidad alta, dentro de la cuenca florícola. De acuerdo con lo que se puede observar en el mapa, los sitios con mayor vulnerabilidad ambiental (en color rojo) para la cuenca florícola del Estado de México, se encuentran ubicados en los municipios de Villa Guerrero y Tenancingo, aunque es preciso mencionar que, dependiendo del modelo, los sitios presentan diferencias en sus superficies.

El Cuadro 3 expone las superficies en km<sup>2</sup> de acuerdo con los grados de vulnerabilidad ambiental que se obtuvieron por el modelo. Como inicio se puede indicar que la superficie que corresponde a la vulnerabilidad muy baja tiene los valores más altos, es decir: que la superficie más grande corresponde a las áreas con vulnerabilidad ambiental muy baja. Por otro lado, los valores más bajos se presentan en la vulnerabilidad ambiental muy alta.

En la Figura 5 se observa que las 100 hectáreas contiguas prioritarias se encuentran dentro del municipio de Villa Guerrero, mientras que las áreas no contiguas se presentan en este municipio, pero también con en otros, como Tenancingo. Este mapa delinea de manera muy específica los sitios prioritarios de atención, que requieren de la intervención inmediata de

agentes gubernamentales y no gubernamentales, así como el involucramiento de la academia y la sociedad civil, con el fin de atender los graves daños socioambientales. En la zona ya se han iniciado este tipo de intervenciones, enfrentándose a grandes limitantes: como la prevalencia de un pensamiento capitalista y extractivista antepuesto a la salud humana e incluso a la vida; así como la carente vinculación interinstitucional; la falta de continuidad de planes y programas dirigidos a la educación ambiental y capacitación.

Figura 4. Vulnerabilidad ambiental



Fuente: elaboración propia a partir de imágenes de *Google Earth*.

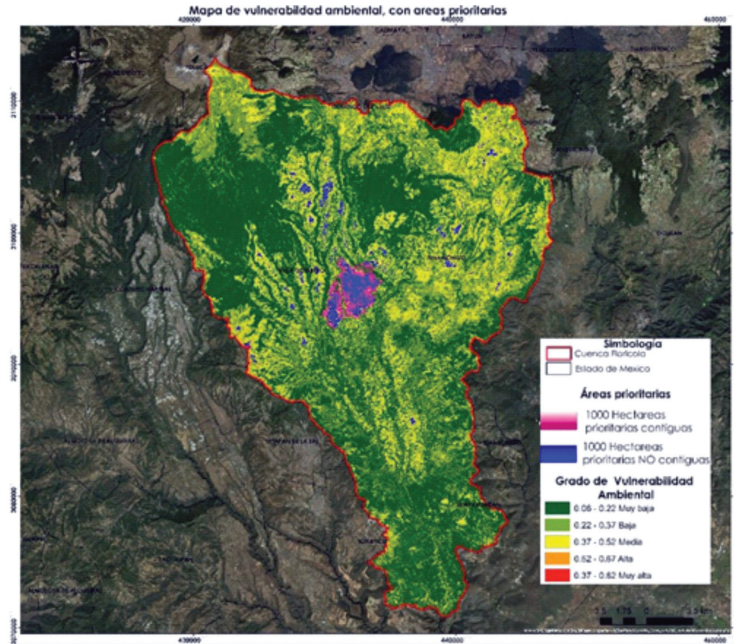
Cuadro 3  
Superficie por grado de vulnerabilidad ambiental

Tipo Vulnerabilidad	Superficie km <sup>2</sup>	Porcentaje
Muy baja	344.73	50.12%
Baja	185.61	26.99%
Media	147.05	21.38%
Alta	9.58	1.39%
Muy Alta	0.80	0.12%
Total	687.74	100

Fuente: elaboración propia.

## 1.1. VULNERABILIDAD AMBIENTAL DE LA CUENCA FLORÍCOLA DEL ESTADO DE MÉXICO

Figura 5. Análisis MOLA



Fuente: elaboración propia a partir de imágenes de *Google Earth*.

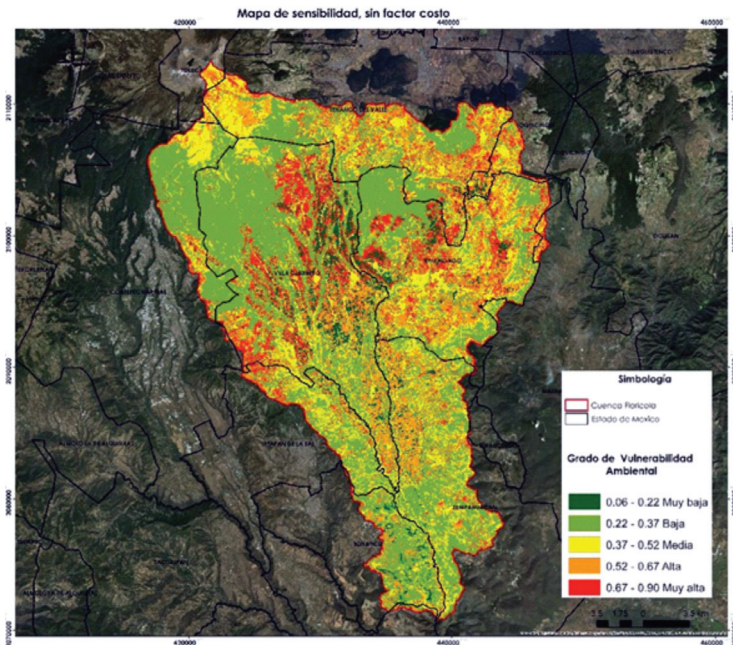
En el análisis de sensibilidad, es evidente que al remover la variable costo (que representa a los invernaderos y a la distancia a cuerpos de agua) del análisis de vulnerabilidad, ésta aumentó considerablemente en otras zonas de la cuenca. Además de expandirse sobre Villa Guerrero, abarca una gran parte de Tenancingo y el norte de Ixtapan de la Sal (Figura 6). Este mapa es útil para resaltar zonas en donde se requieren acciones de prevención más que de reducción de impactos, limitando el desarrollo de cultivos florícolas.

### Estrategias para reducir y monitorear la vulnerabilidad ambiental

En el apartado anterior se evidenciaron cinco variables importantes para analizar la vulnerabilidad ambiental en la zona de estudio, haciendo énfasis en el agua y el suelo: proximidad a cuerpos de agua, textura de suelo, precipitación, pendiente del terreno, uso de suelo y presencia de invernaderos. Resaltamos que el cambio de uso de suelo, como la principal variable que debe monitorearse a través del tiempo, sobre todo de las zonas florícolas con mayor proximidad a las corrientes de agua.

Dos variables adicionales que requieren ser monitoreadas periódicamente en la zona de estudio, con el fin de conocer la vulnerabilidad ambiental, son la calidad de agua y del suelo a través de muestreos estratificados en campo, datos que aún no se encuentran disponibles. Es evidente que la zona sur del Estado de México presenta una problemática en cuanto a desabasto del recurso; se reconoce la tendencia a la disminución de su disponibilidad, su persistente contaminación, y la sobreexplotación de los acuíferos. Por esta razón, es necesario implementar herramientas que permitan ponderar su calidad en un determinado intervalo de tiempo. El Índice de Calidad del Agua (ICA) es una herramienta que permite diagnosticar la calidad de este recurso natural de manera integral, especificando condiciones ambientales, de igual manera representa el marco de referencia ideal para establecer programas de control en la contaminación de los cuerpos de agua, y finalmente contribuye en la oportuna toma de decisiones gubernamentales en pro de un adecuado manejo de los recursos hídricos.

Figura 6. Análisis de sensibilidad sin factor costo



Fuente: elaboración propia a partir de imágenes de Google Earth.

Actualmente se encuentran en marcha algunas investigaciones, en las que ya se está evaluando la calidad del agua de los pozos de agua y las corrientes en la zona de estudio, no así para el suelo. Tener datos reales que describan las

## *1.1. VULNERABILIDAD AMBIENTAL DE LA CUENCA FLORÍCOLA DEL ESTADO DE MÉXICO*

condiciones de estos elementos en la zona, son esenciales para poder conocer la magnitud del problema y fundamentar estrategias de atención inmediata con los tomadores de decisiones. Como antecedente, a partir de entrevistas con la población y productores de la región, se sabe que el agua que corre a través de los ríos perennes de la zona ya no es usada para ninguna actividad humana, por la contaminación evidente, toda el agua que se usa para consumo humano y otras actividades proviene de manantiales del nevado de Toluca, ubicados al norte de la zona florícola. Es importante puntualizar que el monitoreo de estas variables no necesariamente requiere una gran inversión, existen actualmente técnicas muy sencillas y accesibles, que permiten obtener datos incluso a partir de bioindicadores.

Además de las variables biofísicas mencionadas, en esta cuenca existen otros elementos socioeconómicos que están siendo abordados a través de diversos enfoques, entre ellos: la salud humana, la marginación y la distribución de los recursos.

Con base en estas prioridades a continuación se describen algunas estrategias de atención para mitigar la vulnerabilidad ambiental en la zona de estudio. Estas fueron formuladas tratando de aprovechar las oportunidades y abordar las amenazas de cada nivel de organización: regional, microregional, gubernamental, institucional, empresarial, productivo y población local estratificada, con el fin de apoyar en la toma de decisiones.

Dentro de las estrategias se resaltan aquellas que tienen que ver con la educación ambiental, la transferencia del conocimiento y el empoderamiento de la población. En torno a ellas, se diseñó e implementó un curso-taller participativo piloto dirigido a productores florícolas, con el objetivo de concientizar a los productores del impacto que tiene dicha actividad en el ambiente y en su salud, así como la planeación de acciones y actividades para atender la problemática en el sitio. El curso taller comprende tres apartados: introducción y sensibilización ambiental; planeación, y definición de acciones y actividades locales.

Considerando que la floricultura en la región tiende a ser una actividad en expansión, es necesario tener en cuenta que, el impulso y desarrollo de un solo tipo de actividad en los espacios menos desarrollados puede resultar peligroso, más aun, en países puramente agrícolas, que tiene todas las posibilidad de no progresar, ni siquiera en su agricultura (Galbrait, citado por Barre, 1992), por lo que se debe buscar una gama de posibilidades productivas, de tal manera que se aproveche tanto la disponibilidad de los recursos como la experiencia del capital humano, a fin de reducir el desempleo, los ingresos raquíticos y deficientes, mitigar los desplazamientos de mano de obra hacia las zonas urbanas y metropolitanas, y sobre todo contribuir a mejorar las condiciones y niveles de vida de la sociedad local y regional.

El hecho de que se diversifique la producción no implica una baja en la calidad de los bienes y/o servicios que se vayan a generar, al contrario, producir y ofrecer una mayor gama de productos significa poner en juego toda la capacidad de que se dispone en la localidad o región, buscando ser competitivos en los mercados local y regional. La búsqueda de esta ampliación productiva permite tener una mayor probabilidad de crecimiento y creación de oportunidades, fortalecimiento de capacidades e iniciativas de los agentes económicos, incrementar el empleo de mano de obra rural y/o campesina, y adoptar tecnologías apropiadas para finalizar en una mejora social. En este proceso de diversificación productiva, la tecnología, se entiende como el conjunto de información y conocimientos que puede ser aplicable a la producción de bienes y servicios y que a tal fin puede combinar elementos novedosos y tradicionales, o conocimiento transmisible y aplicable, de forma sistemática a la transformación del medio para la producción de bienes y servicios agrícolas (Imade, citado por Méndez, 1997), por lo que este actúa como un elemento determinante en el nivel de productividad, competitividad y sustentabilidad para las unidades de producción.

En el uso de la tecnología para la producción de una mayor gama de bienes agrícolas en el ambiente local, implica mejorar la forma de hacer mediante la reducción de costos, aumento del rendimiento, aprovechamiento del uso de recursos, fomento de ciclos de uso de materiales para reducir la presión ambiental y, sobre todo, la creación de ambientes productivos sustentables. En el intento de diversificar la producción agrícola local y regional, puede partirse mediante dos vías (Iglesias, 2018):

1. A partir de la gama de labores tradicionales dinámicas (TRADIN), que implica aprovechar toda la experiencia y conocimiento de la sociedad local para producir, vinculado con el uso de técnicas modernas acorde a las condiciones del entorno, con el fin de configurar ambientes productivos tradicionales más dinámicos y sustentables, modificando consecuentemente algunas etapas del proceso productivo, implementando mecanismo o modo de intervención para reducir el costo y tiempo de producción. Diversificar las actividades agrícolas a partir de la condición local-regional, implica aprovechar el potencial acumulado en el patrimonio sociocultural, humano, natural y productivo, a fin de crear un espacio económico más sustentables y de desarrollo social, para no caer en la degradación social y en la economía espuria (Sunkel, 1991; Blakely, 1994; Coraggio, 2000).

2. La diversificación a partir de labores emergentes progresivas (EMERPROG), refiriéndose aquellas actividades que tienen nula o escasa preponderancia en la localidad, pero con la implementación de tecnología, inversiones, programas públicos específicos o algún otro mecanismo de soporte, estas pueden emerger y fomentarse, incluso pueden ser mucho más rentables y viables que las tradicionales. Esta forma de producción está encaminada al aprovechamiento de las potencialidades disponibles (recursos materiales,

### 1.1. VULNERABILIDAD AMBIENTAL DE LA CUENCA FLORÍCOLA DEL ESTADO DE MÉXICO

naturales, humanos, infraestructura, entre otros), que están desaprovechados o descuidados. Con el fomento de estas actividades productivas, también se busca satisfacer nuevas necesidades sociales, preservar el ambiente y mejorar la calidad de vida en la temporalidad. De hecho, esta forma de producción es recomendable implementarlas en las localidades menos favorecidas, pues también en los espacios rurales se pueden desplegar actividades productivas turísticas, agroindustriales, piscícolas, mineras, artesanales de alto valor agregado y otros aprovechamientos posibles para crear escenarios de futuro progresivo y sustentables (Alburquerque, 2002, Iglesias, *et al.*, 2018).

Es así que la diversificación productiva a escala local y regional permite tener una mayor probabilidad de crecimiento y creación de oportunidades, fortalecimiento de capacidades e iniciativas de los agentes económicos, incrementar el empleo de mano obra rural y/o campesina, así como adoptar tecnologías apropiadas para finalizar en una mejora social.

En la cuenca florícola se observa este ambiente productivo, propiciado en gran medida por la disponibilidad de grandes afluentes hídricos perennes en la mayoría del territorio, lo que permite tener varios cultivos de riego y cosechas en el mismo ciclo agrícola (intercalo productivo). De hecho, en las localidades donde la disponibilidad de agua para riego agrícola es abundante, se cultiva y produce arroz, caña de azúcar, mamey, mango, limón, café y aguacate, considerado como productos de alta rentabilidad en términos de toneladas por hectárea y precio de mercado.

La promoción de la producción a la intemperie y de manera orgánica es otra estrategia que se debe fortalecer y que puede darles un valor agregado a los productos de la región y que lo puede hacer muy atractivo al mercado nacional, pues los insumos utilizados para el cuidado de los cultivos y plantas también son de base orgánica, aun y cuando son más caros respecto a los insumos inorgánicos industrializados. Utilizan composta, lombricomposta, lixiviados de residuos orgánicos para combatir y controlar plagas y enfermedades, entre otros. En la región ya existen productores que aplican estas estrategias y que pueden servir como ejemplo para que el resto poco a poco puede ver que es rentable, además pueden contribuir a la capacitación para que poco a poco todos migren a una producción con menor impacto en el ambiente.

Misma situación es la caña de azúcar, aguacate, mamey, limón y café, que, si bien no son productos agrícolas que caracterizan el perfil productivo de la región objeto de estudio, la gran experiencia de los productores, las condiciones físicoambientales y sobre todo la disponibilidad de microcuencas hídricas favorecen el cultivo de estos productos, e incluso están tomando gran relevancia nivel local, aun cuando en la región todavía es marginal la importancia de dicha actividad.

La producción de agave para la elaboración de mezcal también es una alternativa productiva que se puede fomentar más en la región. Después de

100 años de tradición, los agaveros del Estado de México en 2018 recibieron la denominación de origen para la producción de mezcal. En otros estudios que se realizan en la región se ha identificado que esta tradición incluye a cuatro generaciones que conocen la forma de sembrar el agave, sacar la piña, pelarla, cocerla, machacarla, destilar, envasar y comercializar; todo ello de forma orgánica y artesanal que le brindan al proceso un entorno rústico que atrae al turismo. Con siete municipios que hoy producen un destilado de agave, los 678 productores de localidades como Malinalco, Ocuilan, Tenancingo, Zacualpan, Zumpahuacán, Tonicato e Ixtapan de la Sal, principalmente, siembran agave criollo y realizan un proceso totalmente orgánico. En este contexto ya se han iniciado talleres en la zona de estudio, dirigidos a productores de mezcal, enfocados a prevenir los impactos derivados de la actividad y a fomentar una producción agroecológica sustentable.

En estrategias de prevención se puede mencionar la promoción y participación en el desarrollo de programas de manejo de la zona de estudio, de toda la región no solo de la cuenca. La cuenca presenta tres Áreas Naturales Protegidas, de las cuales solo cuatro cuentan con Programa de Manejo vigente. Los programas de manejo son las herramientas principales para dirigir la conservación, aprovechamiento y uso sustentable de los recursos dentro de las ANP y sin ellos no existe dirección alguna que asegure la permanencia de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que representan. En este tema ya se ha iniciado con el trabajo conjunto entre investigadores, la Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna del Estado de México, los habitantes y gobiernos locales para desarrollar los programas de manejo faltantes de las ANP de la región. Lo anterior con estrategias de investigación acción participativa que permitan el empoderamiento de la población local, incluyendo a niños y mujeres.

Una de las estrategias de mayor relevancia y que está dirigida a todos los ámbitos y niveles educativos es la educación ambiental y sensibilización ambiental que permitan transmitir toda la información recabada sobre el tema, además de plantear acciones viables en cada una de las localidades. Se puede realizar a través de cursos-talleres con diferentes enfoques, promoviendo temas como: el uso adecuado de agroquímicos; la prevención y atención oportuna de intoxicaciones; reconocimiento de polinizadores clave en los ecosistemas locales; el uso de controles biológicos de plagas y fertilización orgánica de suelos; el desarrollo y monitoreo de programas de recolección de envases de agroquímicos; el desarrollo de programa para el manejo de residuos, y la generación de programas de reconversión de uso de agroquímicos.



## Conclusiones

Los municipios con mayor vulnerabilidad ambiental en la cuenca florícola son los municipios de Villa Guerrero y Tenancingo, convirtiéndose en zonas prioritarias para el desarrollo oportuno de acciones resilientes encaminados a la protección del suelo y agua, así como a la mitigación y control del uso de plaguicidas.

Se definieron cinco variables importantes para analizar la vulnerabilidad ambiental en la zona de estudio, haciendo énfasis en el agua y el suelo: proximidad a cuerpos de agua, textura de suelo, precipitación, pendiente del terreno, uso de suelo y presencia de invernaderos. Resaltando el cambio de uso de suelo, como la principal variable que debe monitorearse a través del tiempo, sobre todo de las zonas florícolas con mayor proximidad a las corrientes de agua.

Además de las variables biofísicas mencionadas, en esta cuenca existen otros elementos que deben ser monitoreados y están siendo abordados en otras investigaciones a través de diversos enfoques, entre ellos: la calidad del agua, la calidad del suelo, la salud humana, la marginación y la distribución de los recursos.

En el último apartado de este artículo, se describe una serie de estrategias de atención para mitigar la vulnerabilidad ambiental en la zona de estudio. Como punto crucial para la implementación de estas se encuentra la promoción de foros interinstitucionales que permitan delinear y fomentar la aplicación de políticas públicas dirigidas específicamente a las condiciones y problemáticas de la región.

Todo lo anterior debe ir ligado al desarrollo de proyectos de investigación inter y multidisciplinarios que pueda atender cada una de las amenazas, así como monitorear de manera más local y precisa las condiciones de los recursos naturales, así como el efecto socioambiental que genera la implementación de cada una de las estrategias.

## Bibliografía

- Alburquerque, F., 2002: *Desarrollo económico territorial. Guía para agentes*. Sevilla: Instituto de Desarrollo Regional, Fundación Universitaria.
- Ávalos, H.C., A.G. Pérez, N.L. González, B. Turpin, L. Mascarenhas, N. Federman y D.S. Hawkins, 2017: "Las cuencas hidrográficas de México, diagnóstico y priorización" en *Journal of Clinical Oncology*, 35.
- Barbero Sierra, C. 2013: "Retos ambientales globales y desarrollo" en Ramos García-Serrano, C. y V. Sánchez Maldonado (eds.), 2013: *Manual de Medio ambiente. Retos ambientales y cooperación al desarrollo*, Madrid: Alianza por la Solidaridad y Agencia Española de Cooperación para el Desarrollo – AECID.

- Barre, R., 1992: El desarrollo económico, México: Fondo de Cultura Económica.
- Bass, B.M. 1980: Organizational decision making, USA: Homewood, IL Irwin.
- Bejarano, F., C. Colín, I. González, I. Eugenia, M. Rodríguez, C. Martínez y W. Kubiak, 2017: Los Plaguicidas Altamente Peligrosos en México, México: Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México, A.C. (RAPAM), 351.
- Blakely, E.J., 1994: Planning local economic development, theory and practice, USA: Sage publications.
- Castillo-Cadena, J., L.E. Tenorio-Vieyra, A.I. Quintana-Carabia, M.M. García-Fabila, E. Ramírez-San Juan y E. Madrigal-Bujaidar, 2006: "Determination of DNA damage in floriculturists exposed to mixtures of pesticides" en Journal of Biomedicine and Biotechnology, 1–12.
- Castillo-Cadena, J., A.L. González-Mercado, N. Hernández-Caballero, E.R.S. Juan, I. Álvarez-González y E. Madrigal-Bujaidar, 2013: "Immunotoxic damage in floriculturists exposed to pesticide mixtures" en Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes, 48(1), 33–39.
- Chavez, P.S., 1988: "An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data" en Remote Sensing of Environment, 24(3): 459-479.
- Coraggio, J.L. 2000: Economía urbana, la perspectiva popular, Quito: Alba-Laja.
- DeAngelis, L.D. 1980: "Energy flow, nutrient cycling, and ecosystem resilience" en The Ecological Society of America, 32(2), 275–283.
- Delft, A. va., y P. Nijkamp, 1977: Multicriteria Analysis and Regional Decision-Making, Boston: The Hague, Martinus Nijhoff.
- Drobne, S. y A. Lisec, 2009: "Multi-Attribute Decision Analysis in GIS: Weighted Linear Combination and Ordered Weighted Averaging" en Informática, 33, 459-474.
- Duarte, Y.A., F., Bautista, M.E., Mendoza y C. Delgado, 2013: "Vulnerabilidad y riesgo de contaminación de acuíferos kársticos" en Tropical and Subtropical Agroecosystems, 16(2), 243–263.
- Eastman, J.R., 2016: TerrSet Manual. Clark Labs.
- Eastman, J.R., 2001: Guide to GIS and Image Processing, Volumen Capítulo 1. Decision Support: Decision Strategy Analysis, Worchester, EUA: Clark University.
- Eastman, J.R. 2006. Idrisi Andes Tutorial. Clark Labs, Worcester, MA
- Franco, R., 2017: Composiciones Landsat en ARCGIS. Guía Básica, Bogotá, Colombia: 45p. Disponible en <http://wp.me/p2lwQU-1bh>
- Gálvez Gamboa, G.T., M.R. Sánchez Servín, F. Parra Cota, J. García Pereyra, G.N. Aviña Martínez, S. Santos Villalobos, 2018: "Plaguicidas en la agricultura mexicana y potenciales alternativas sustentables para su sustitución" en Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan 7 (11).

### 1.1. VULNERABILIDAD AMBIENTAL DE LA CUENCA FLORÍCOLA DEL ESTADO DE MÉXICO

- Gómez M., J. Barredo, 2005: *Sistemas de Información Geográfica y evaluación Multicriterio en la ordenación del territorio*, Madrid-España: Segunda Edición RA-MA.
- Hernández, Cesar Edgar Daniel, 2019: *Vulnerabilidad ambiental de la cuenca florícola del Estado de México*, Evaluación mediante herramientas de Sistemas de Información Geográfica, México: Tesis de Maestría en Análisis Espacial y Geoinformática, Facultad de Geografía de la Universidad Autónoma del Estado de México.
- Holling, C.S., 1973: "Resilience and stability of ecological systems" en *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4:1-23.
- INEGI Instituto Nacional de Geografía y Estadística, 2018: *Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera EMIM*
- Iglesias, D., C. Meléndez, C., y C. Nonato, 2015: Posibilidades de integrar un sistema productivo sustentable en la región VI, Sur del Estado de México" en *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1, 251-256.
- Iglesias, D., C. Meléndez y J. Castillo, 2018: "La diversificación productiva en la región sur, Estado de México ¿sustentabilidad productiva o externalidades ambientales crecientes?" en *Dinámica económica y procesos de innovación en el desarrollo regional*. Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C, Coeditores, México.
- Ippolito, A., S. Sala, J.H. Faber y M. Vighi, 2010: "Ecological vulnerability analysis: A river basin case study" en *Science of the Total Environment*, 408(18), 3880–3890.
- Janssen, M.A. y E. Ostrom, 2006: "Empirically based, agent-based models" en *Ecology and Society*, 11(2): 37.
- Javier da Silva, C. y O.D. Cardozo, 2015: "Evaluación multicriterio y Sistemas de Información geográfica aplicados a la definición de espacios potenciales para uso del suelo residencial en resistencia (Argentina)": en *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 23–40.
- Johnson, J.E., D.J. Welch, J.A. Maynard, J.D. Bell, G. Pecl, J. Robins y T. Saunders, 2016: "Assessing and reducing vulnerability to climate change: Moving from theory to practical decision-support" en *Marine Policy*, 74(July), 220–229.
- Kumar, P., D. Geneletti y H. Nagendra, 2016: "Spatial assessment of climate change vulnerability at city scale: A study in Bangalore, India" en *Land Use Policy*, 58, 514–532.
- Linstone H.A. y T. Murray, (Eds), 2002: *The Delphi Method: Techniques and Applications*. New Jersey Institute of Technology, USA: University Heights, Newark, 618 pp.
- Ludwing, B.G. 1996: "U.S. Extension systems Facing the Challenge to Internationalize" en *Journal of Extension*, 34(2).
- Ludwing, B.G., 1997: Predicting the future: Have you considered using the Delphi methodology? en *Journal of Extension*, 35(5).
- Malczewski, J., 1999: *GIS and multicriteria decision analysis*. New York: W. & Sons, Ed.

- Manzano-Solís, L.R., M.A. Gómez-Albores, C. Díaz-Delgado, C.A. Mastachi-Loza, R. Ordoñez-sierra, K.M. Bâ y R. Franco-Plata, 2018: "Identification of Variations in the Climatic Conditions of the Lerma-Chapala-Santiago Watershed by Comparative Analysis of time series en *Advances in Meteorology*, 16 p. Ed. Hindawi.
- Mena, C.G., 2018: "México, tercer lugar en cultivo de flores" en *La Jornada*.
- Méndez, R., 1997: *Geografía económica. La lógica espacial del capitalismo global*. Barcelona: Ariel.
- Metzger M.J., R.G.H. Bunce, R.H.G. Jongman, C.A. Múcher y J.W. Watkins, 2005: "A climatic stratification of the environment of Europe" en *Global Ecology and Biogeography*, 14: 549–563.
- Mitre Salazar, M.L., J. Martínez Reyes y A. Bayona Celis, 2013: *Atlas geológico ambiental del Estado de México*: Centro de Geociencias de la UNAM.
- Nguyen, K.A. y Y.A. Liou, 2019: "Global mapping of eco-environmental vulnerability from human and nature disturbances" en *Science of the Total Environment*, 664, 995–1004.
- Oliva, M., Rodríguez J. y G. Silva, 2005: "Estudio exploratorio de los problemas de salud humana derivados del uso de plaguicidas en Bellavista, municipio de Villa Guerrero, Estado de México" en *Manejo integrado de plagas y agroecología*, (76), 71–80.
- ONU, 2018: No Title. Recuperado el 30 de septiembre de 2018, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2018/06/la-agenda-de-desarrollo-sostenible-necesita-un-impulso-urgente-para-alcanzar-sus-objetivos/>
- Saaty, T.L. 1977: "A scaling method for priorities in a hierarchichal structure" en *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3) 234–281.
- SIAP Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2017: *Uso de fertilizantes químicos en la superficie sembrada 2016*, 8. Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/220645/Boletines\\_superficie\\_sembrada.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/220645/Boletines_superficie_sembrada.pdf)
- Soares Moraes, D. y R. Romero, 2008: "Recursos hídricos de la cuenca del Amacuzac" en *Inventio, la génesis de la cultura universitaria en Morelos*, (8), 13–22.
- Sunkel, Osvaldo, 1991: *El desarrollo desde adentro, un enfoque neoestructuralista para América Latina*, México: Fondo de Cultura Económica.
- Tecuapleta, V.M.G., 2014: *Ecotoxicidad producida por agroquímicos empleados en el cultivo de Gerbera jamensonii en invernadero, en Villa Guerrero, Estado de México*. Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma del Estado de México.
- Vargas, D. 2018: *Situación actual y perspectivas del uso de suelo y cobertura vegetal en la cuenca florícola del Río Alto Amacuzac, Estado de México mediante el uso de Teledetección y herramientas SIG*. Tesis de Licenciatura en Geoinformática, Facultad de Geografía de la Universidad Autónoma del Estado de México.
- Viles, H.A. y N.A. Cutler, 2012: "Global environmental change and the biology of heritage structures" en *Global Change Biology*, 18(8), 2406–2418.