



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS  
CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS

---

---

MAESTRÍA EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES  
ORIENTACIÓN PROFESIONALIZANTE

**ANÁLISIS GEOGRÁFICO Y TENDENCIAS DE LAS  
UNIDADES PISCÍCOLAS ORNAMENTALES EN  
MORELOS**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
M A E S T R O E N M A N E J O  
D E  
R E C U R S O S N A T U R A L E S

P R E S E N T A

BIOL. MARLEM BRITO RODRÍGUEZ

DIRECTOR

DR. HUMBERTO MEJÍA MOJICA

CODIRECTOR

DR. VALENTINO SORANI DALBON

CUERNAVACA, MORELOS

DICIEMBRE 2018









UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS  
CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS

---

---

MAESTRÍA EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES  
ORIENTACIÓN PROFESIONALIZANTE

**ANÁLISIS GEOGRÁFICO Y TENDENCIAS DE LAS  
UNIDADES PISCÍCOLAS ORNAMENTALES EN  
MORELOS**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
M A E S T R O E N M A N E J O  
D E  
R E C U R S O S N A T U R A L E S

P R E S E N T A

BIOL. MARLEM BRITO RODRÍGUEZ

DIRECTOR

DR. HUMBERTO MEJÍA MOJICA

CODIRECTOR

DR. VALENTINO SORANI DALBON

CUERNAVACA, MORELOS

DICIEMBRE 2018







## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco al Centro de Investigaciones Biológicas (CIB), a la Maestría en Manejo de Recursos Naturales (MMRN), a todos los catedráticos e investigadores que participaron en la elaboración, coordinación y revisión del presente proyecto: Dr. Humberto Mejía Mojica, Dr. Valentino Sorani Dalbon, Dr. Jaime Raúl Bonilla Barbosa, Dra. Elisah Arce Uribe, Mtra. Mara Erika Paredes Lira y el Dr. Einar Topiltzin Conteras MacBeath, así como al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la beca otorgada al alumno del posgrado.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	6
INTRODUCCIÓN.....	8
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
ÁREA DE ESTUDIO	17
OBJETIVO .....	20
MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
DESARROLLO DEL SIG DE LAS UNIDADES DE PRODUCCIÓN DE PECES ORNAMENTALES.	21
IDENTIFICACIÓN DE FACTORES QUE DETERMINAN LA PRESIÓN TERRITORIAL PARA EL DESARROLLO TENDENCIAL DEL SECTOR ACUÍCOLA ORNAMENTAL	23
ANÁLISIS DE LA PRESIÓN TERRITORIAL PARA EL DESARROLLO DEL SECTOR ACUÍCOLA ORNAMENTAL	25
INDICADOR DE RIESGO DE ESCAPE E INVASIÓN	28
ANÁLISIS DEL DESARROLLO ACUÍCOLA ORNAMENTAL EN LOS ÚLTIMOS 10 AÑOS.	40
RESULTADOS.....	41
DISTRIBUCIÓN DE LAS GRANJAS ORNAMENTALES EN MORELOS	41
RELACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS GRANJAS ORNAMENTALES CON VARIABLES AMBIENTALES Y SOCIOECONÓMICAS.	45
ANÁLISIS DE PRESIÓN TERRITORIAL PARA EL DESARROLLO DEL SECTOR ACUÍCOLA ORNAMENTAL EN EL ESTADO DE MORELOS	50
INDICADOR DE RIESGO POTENCIAL	52

ANÁLISIS DEL DESARROLLO ACUÍCOLA ORNAMENTAL EN LOS ÚLTIMOS 10 AÑOS.

	59
DISCUSIÓN.....	60
CONCLUSIONES.....	64
REFERENCIAS.....	66

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Determinación de la importancia relativa de un factor sobre otro de acuerdo con el MJA. Fuente: Ajustado a partir de Saaty, 2012. ....	26
Tabla 2. Análisis Jerárquico para determinar el peso de los coeficientes por variable del análisis de presión del sector acuícola ornamental en el estado de Morelos. ....	27
Tabla 3. Definición del valor de riesgo asignado. ....	36
Tabla 4. Valor de riesgo asignado de acuerdo con el estado de cada variable o factor geográficos. ....	37
Tabla 5. Valor de riesgo asignado de acuerdo con el estado de cada variable o factor de infraestructura. ....	37
Tabla 6. Valor de riesgo asignado de acuerdo con el estado de cada variable o factor biológico-ambiental. ....	38
Tabla 7. Criterios cualitativos de incertidumbre (basado en Koop et al., 2012). ....	39
Tabla 8. Matriz de integración del valor de incertidumbre y el nivel de riesgo por variable. ....	40
Tabla 9. Valor de riesgo de las granjas ornamentales por municipio del estado de Morelos, 2017. ....	55
Tabla 10. Asignación de valor a las variables del indicador de riesgo de escape e invasibilidad de las granjas ornamentales en el estado de Morelos, 2017. ....	57

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de presencia de granjas de producción de peces de ornato en el Estado de Morelos. Fuente: datos INEGI y CESAEM, 2106.....	10
Figura 2. Vías terrestres de Morelos. Fuente: datos INEGI, 2016. ....	12
Figura 3. Localización del estado de Morelos en la República Mexicana.....	17
Figura 4.- Rasgos hidrográficos del estado de Morelos. Fuente: datos INEGI, 2016....	18
Figura 5.- Cuencas para el estado de Morelos. Fuente: datos INEGI, 2016. ....	19
Figura 6.- Verificación espacial de las granjas acuícolas ornamentales en el Software ARCGIS 10.3 con la herramienta Basemap. ....	22
Figura 7. Verificación espacial de granjas acuícolas ornamentales en el software Google Earth. ....	22
Figura 8. Indicador de Riesgo de escape e invasión.....	29
Figura 9. Distribución de las granjas piscícolas ornamentales por municipio en Morelos. ....	41
Figura 10. Subcuencas y granjas ornamentales del estado de Morelos. Fuente: datos de INEGI y CESAEM, 2016. ....	42
Figura 11. Distribución de las granjas ornamentales por municipio en Morelos. Fuente: datos CESAEM,2016 (Actualizados). ....	43
Figura 12.- Vías terrestres y granjas ornamentales en Morelos. Fuente: datos INEGI 2016 y CESAEM 2016.....	44
Figura 13. Distribución de registros de granjas piscícolas ornamentales con relación a la temperatura media registrada en el estado de Morelos. ....	46
Figura 14. Distribución de registros de granjas ornamentales con relación a la temperatura mínima registrada en el estado de Morelos. ....	46
Figura 15. Distribución de registros de granjas ornamentales con relación a la temperatura máxima registrada en el estado de Morelos.....	47
Figura 16. Distribución de registros de granjas ornamentales en relación con la pendiente en porcentaje registrada en el estado de Morelos. ....	47

Figura 17. Distribución de registros de granjas ornamentales en relación con la distancia a fuentes de agua registrada en el estado de Morelos.....	48
Figura 18. Distribución de registros de granjas ornamentales en relación con la distancia a vías terrestres pavimentadas registrada en estado de Morelos.....	48
Figura 19. Mapa de presión territorial para el desarrollo del sector acuícola ornamental en el estado de Morelos, 2017.....	51
Figura 20. Valor de riesgo de las granjas ornamentales por municipio del estado de Morelos, 2017.....	53
Figura 21. Valor de riesgo acumulado de las granjas ornamentales por municipio del estado de Morelos, 2017. ....	56
Figura 22. Número de registros de granjas por año. Fuente: Comité Estatal de Sanidad Acuícola del Estado de Morelos AC. (CESAEM) 2016 y la Secretaria de Desarrollo Agropecuario 2011.....	59

## RESUMEN

Morelos es el estado con mayor producción de peces ornamentales en México, con una producción anual de 32 millones de organismos, producidos en más de 300 unidades acuícolas ornamentales. El importante desarrollo del sector acuícola en este estado se debe a sus características ambientales que proveen un alto potencial para la crianza de especies ornamentales. Morelos se ubica en la confluencia de las regiones biogeográficas Neártica y Neotropical, y presenta un marcado gradiente altitudinal en dirección norte sur, lo que propicia una amplia diversidad de hábitats. En la porción central y sur se ubica la mayor abundancia de granjas acuícolas relacionada con patrones adecuados de temperatura, una alta disponibilidad de agua de buena calidad y una buena conectividad vial.

Este importante desarrollo del sector representa un importante riesgo para los sistemas naturales acuáticos de la cuenca alta del Río Balsas. 54 de las especies dentro del sistema de producción han sido clasificadas dentro del *“Catálogo de peces ornamentales producidos en Morelos con capacidad de ser especies exóticas invasoras”*. Este riesgo aumenta considerablemente debido al patrón de distribución espacial de las granjas acuícolas. A partir de la geolocalización y su integración a un sistema de información geográfica (SIG), se identificó que más del 85% de las granjas se encuentran a menos de 2 km de distancia de escurrimientos perennes y muchas de ellas a menos de 200 m de canales de irrigación o escurrimientos intermitentes que en temporada de lluvias presentan un caudal importante, lo que explica la presencia de poblaciones de especies no nativas dentro de los sistemas acuáticos morelenses.

Con la finalidad de determinar el riesgo potencial por unidad de producción se desarrolló un indicador de riesgo potencial de escape e invasibilidad que permitió identificar las granjas con una mayor probabilidad de presentar escapes y procesos de invasión por parte de especies no nativas hacia los diferentes sistemas naturales acuáticos del estado. El indicador consideró variables geográficas (distancia a un ambiente acuático, riesgo de

inundación del predio, rango de precipitación pluvial, sismicidad de la región y pendiente del terreno), biológico-ambientales (producción de especies con alto potencial de invasión, tipo de ambiente acuático cercano, calidad de agua del sistema acuático cercano, diversidad íctica del sistema acuático, heterogeneidad del hábitat y posibilidad de escape del propágulo), y las de infraestructura (materiales de construcción, condiciones de la estanquería y la pertenecía a una asociación).

Las unidades de producción que presentan valores altos 145 y muy altos 53, representan casi dos terceras partes de granjas ornamentales con riesgo de escape o invasibilidad, mientras que 97 granjas (29%) presentan un riesgo moderado y tan solo 38 bajo. La combinación de las variables seleccionadas permite identificar el valor de riesgo de escape e invasión por unidad ornamental. Sin embargo, la presencia de un mayor número de granjas por municipio genera un mayor riesgo acumulado de escape. El resultado de la presente investigación nos permite constatar que un gran porcentaje de las unidades de producción en el estado presentan un alto o muy alto riesgo de escape o invasibilidad, dado por su localización espacial, las especies producidas, la infraestructura instalada o la vulnerabilidad de los ambientes acuáticos ubicados áreas de influencia. Con 145 unidades ornamentales con alto y 53 muy alto riesgo potencial de escape o invasibilidad, muestra la vulnerabilidad de los ecosistemas acuáticos en el territorio morelense ante este sector productivo.

## INTRODUCCIÓN

La producción de peces de ornato con fines comerciales es una actividad que va en aumento a nivel mundial. En las últimas tres décadas, la acuicultura y el acuarismo crecieron en el mundo a tasas superiores a 14% (Ramírez-Martínez, 2010; FAO, 2012). Actualmente, la producción y comercialización de peces de ornato en México se ha destacado especialmente en el campo de la mediana y pequeña acuicultura y produce ingresos superiores a 1,750 millones de pesos al año, y genera más de 40,000 empleos directos. En el país se comercializan al año aproximadamente 45 millones de peces de ornato de agua dulce, de los cuales 54% se producen en más de 250 granjas establecidas en la República Mexicana; el 46% restante se importa primordialmente de Asia, pasando por Estados Unidos o Sudamérica (Ramírez-Martínez *et al.*, 2010). La producción nacional se ha consolidado como un negocio con perspectivas de crecimiento social y económico que se desarrolla actualmente en 23 estados de la República, donde se cultivan 160 especies y variedades, resultado de la cada vez mayor demanda del sector de la acuarofilia (SAGARPA-CONAPESCA, 2015). Actualmente se reconoce que el acuarismo es una importante vía de introducción de especies acuáticas invasoras en ambientes naturales dulceacuícolas en todo el mundo (Taylor *et al.*, 1984; Courtenay, 1995; Lassuy, 2000; Contreras-MacBeath, T., H Mejía M. y R. Carrillo W., 1998; Semarnat, 2005; Ramírez-Martínez y Mendoza-Alfaro, 2008; Contreras MacBeath, T., *et al.*, 2014).

La FAO (2004) define a la acuicultura como el cultivo de organismos acuáticos, que implica la intervención del hombre en el proceso de esta actividad de cultivo. La acuicultura debe enmarcarse en criterios de desarrollo sostenible como "El manejo y la conservación de la base de recursos naturales y la orientación del cambio tecnológico e institucional, de tal manera que se asegure la continua satisfacción de las necesidades humanas para las generaciones presentes y futuras". Este desarrollo sostenible en los sectores agrícola, forestal y pesquero (Plan Nacional para el Desarrollo Sostenible de la Acuicultura en Colombia AUNAP - FAO) conserva la tierra, el agua y los recursos

genéticos vegetales y animales, no degrada el medio ambiente y es técnicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable”.

Las primeras granjas comerciales de peces de ornato de agua dulce se establecieron en México durante la década de los setenta (González Pedrero, 1978; Martínez *et al.*, 2004), en un afán por diversificar la producción de la acuicultura. En 1973 sólo se registraban cinco productores de peces de ornato a nivel nacional, que cultivaban 20 especies en acuarios y estanques. La producción era comercializada por cerca de 100 vendedores de la Ciudad de México (INP, 1978). En 1974, la Dirección de Acuicultura de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, promovió el cultivo de peces ornamentales como la carpa dorada (*Carassius auratus*) y la carpa Koi (*Cyprinus carpio*) en los centros de reproducción piscícola en San Luis Potosí y en Hidalgo. Para 1976 el centro acuícola de Zacatepec se sumó a la producción de estas especies (González Pedrero, 1978), con lo que dio inicio la producción de peces ornamentales en el estado de Morelos. Las primeras granjas comerciales de peces de ornato de agua dulce en el estado de Morelos se establecieron en los municipios de Zacatepec, Jiutepec, Yautepec y Cuautla y a principios de la década de los años 80 y se extendieron a Jojutla, y Tlaltizapán (SEPESCA, 1988; Martínez *et al.*, 2004).

Actualmente la producción nacional de peces de ornato se desarrolla en los estados de Morelos, Veracruz, Ciudad de México, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Guanajuato, Campeche, Guerrero, Hidalgo, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tabasco y Tamaulipas entre otros (SAGARPA 2015). En el estado de Morelos, la producción se genera prácticamente en todo el territorio, existiendo granjas en 21 de los 33 municipios (Figura 1). Los 9 municipios restantes se encuentran principalmente al norte del estado, donde las características ambientales limitan la capacidad para la producción de especies ornamentales debido a la mayor altitud y climas más fríos, además de una mayor escasez

de agua. Cabe resaltar que en su mayoría las especies que se producen en la entidad son de climas tropicales, los cuales se encuentran en las zonas de menor altitud del estado.



*Figura 1. Mapa de presencia de granjas de producción de peces de ornato en el Estado de Morelos. Fuente: datos INEGI y CESAEM, 2106.*

El estado de Morelos tiene una producción de 32 millones de organismos, colocándolo como la entidad líder de manufactura de peces de ornato, seguido de Yucatán con una producción estimada en 15 millones de organismos. Sin embargo, mientras Yucatán exporta a Estados Unidos el 70 % de su producción, Morelos abastece principalmente al mercado nacional, es decir, los organismos producidos en el estado son en gran medida los que se comercializan dentro del país. (SAGARPA y CONAPESCA, 2015).

Es importante resaltar que esta significativa producción se desarrolla en una superficie considerablemente pequeña con respecto a otros estados de la República, ya que Morelos tiene una superficie de aproximadamente 5,000 km<sup>2</sup>, mientras que Sinaloa o Veracruz superan los 58,000 y 71,000 km<sup>2</sup> respectivamente. En el territorio morelense se trabajan aproximadamente 55 diferentes variedades de peces de ornato (Martínez-Castro, y Ramírez-Herrera, 2016), entre los que destacan: los Ciprínidos como japones (*Carassius auratus*) *carpa koi*, y cebra (*Danio rerio*), Poecílidos como guppys (*Poecilia reticulata*), molly (*Poecilia velifera*) y platty (*Xiphophorus maculatus*), Cíclidos como pez angel (*Pterophyllum scalare*), barbo (*Puntius conchonius*), y diversas especies de Carácidos como tetras y Silúrios como los comúnmente conocidos como Plecostomus (Martínez-Peña *et al.*, 2006).

El estado cuenta con un importante volumen de escurrimientos calculado en 2,374 millones de m<sup>3</sup> al año, permitiendo tener una gran disponibilidad de aguas superficiales y subterráneas (Aguilar, 1990; Martínez *et al.*, 2006). Otro aspecto que favorece el desarrollo de esta actividad es la cercanía geográfica con la Ciudad de México, centro de consumo de peces de ornato más importante del país (Maya *et al.*, 2006) y la gran infraestructura de vías de comunicación que facilita el traslado hacia este gran mercado a costos muy accesibles y tiempo relativamente corto (Figura 2).

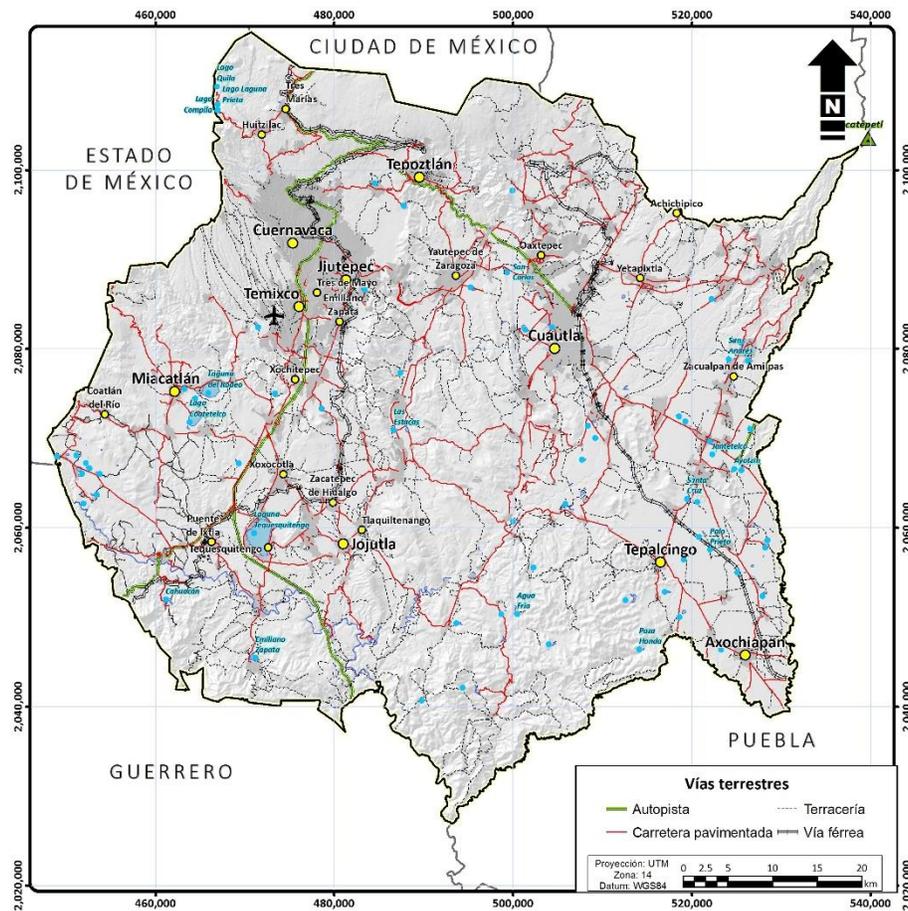


Figura 2. Vías terrestres de Morelos. Fuente: datos INEGI, 2016.

En contraste con los aspectos que lo han favorecido en el ámbito socioeconómico, ambientalmente el sector acuícola no presenta un escenario positivo. Se conocen varios estudios de caso en los cuales el manejo inadecuado de los productores, la falta de programas por parte de las autoridades gubernamentales para garantizar la sustentabilidad de esta actividad, así como la toma de decisiones con bases poco científicas o estudios que las respalden, han propiciado numerosos problemas ambientales, particularmente debido a la introducción de especies y variedades no nativas a los cuerpos de agua naturales de la entidad donde compiten directamente con especies nativas o endémicas, lo que ha generado modificaciones importantes en la estructura de los hábitat y cadenas tróficas (Contreras-MacBeath, T., 1991 y 1995; García-Berthou, E., *et al.*, 2015; Khairul

Adha A. Rahim, Yuzine Esa y Aziz Arshad, 2013; Alonso, A., Castro-Díez, P. 2015; Tarkan AS, Marr SM, Ekmekçi FG, 2015).

Las especies exóticas por definición son aquellas que se encuentran fuera de su rango natural de distribución o de dispersión potencial, y que por tanto han sido trasladadas, voluntaria o involuntariamente, por la acción humana (UICN, 2000). Las exóticas invasoras (EEI) que constituyen un subconjunto de éstas, son aquellas que se establecen en ambientes naturales o seminaturales volviéndose un factor de cambio y amenaza para la biodiversidad autóctona (UICN, 2000).

Existen problemas importantes que han generado impactos a los ecosistemas acuáticos, tales como la introducción de especies, la contaminación, la eutrofización y la sequía. La introducción de especies exóticas acuáticas ha sido identificada como uno de los riesgos ambientales más críticos a los que actualmente se enfrentan las especies, los hábitats acuáticos y la biodiversidad en general (Hopkins, 2001) y el segundo impacto de mayor importancia para las especies de peces dulceacuícolas a nivel mundial con altos costos tanto ecológicos como económicos (Clavero y García-Berthou, 2005; Vitule *et al.*, 2009; Cucherousset y Olden, 2011)

La introducción de especies no nativas y su establecimiento dentro de los ecosistemas suponen un problema prácticamente imposible de eliminar, por lo que la mayoría de las acciones desarrolladas están encaminadas hacia la mitigación de los efectos adversos y el control de las especies introducidas (CONABIO, 2018).

La Estrategia Nacional para la Biodiversidad (ENBIOMEX) reconoce como uno de los principales factores de presión a la biodiversidad la introducción de especies exóticas invasoras, siendo además uno de los menos estudiados. En las últimas décadas, uno de los campos en la toma de decisiones son los análisis de riesgo, que se refieren al proceso de evaluar la probabilidad de que un riesgo ocurra y la severidad de éste, considerando las consecuencias biológicas, sociales y económicas (Arthur, 2008). Los análisis de riesgo

relacionados con las especies invasoras son especialmente problemáticos por la gama tan amplia de impactos que éstas pueden provocar (sociales, económicos, a la salud entre otros), así como por la diversidad de grupos de especies y los vacíos de información existentes (Simberloff *et al.*, 2013).

Actualmente los modelos de evaluación del riesgo por especies invasoras aún se encuentran en proceso de desarrollo y adaptación (Andersen *et al.*, 2004) aun así, ya existen importantes modelos conceptuales de invasión (Blackburn *et al.*, 2011) y se ha demostrado la utilidad de los primeros sistemas de evaluación de riesgo de uso más generalizado (Pheloung *et al.*, 1999; Daehler y Carino, 2000; Kolar y Lodge, 2002; Baker *et al.*, 2008; Tricarico *et al.*, 2010; Koop *et al.*, 2011). Sin embargo, la mayoría de los análisis o modelos de evaluación de riesgos tradicionalmente se basan en las especies en sí y una evaluación específica de estas, comúnmente relacionada con su capacidad o estatus como invasora, capacidad de invasividad o los impactos que esta podría generar en los sistemas acuáticos naturales (CONABIO, 2014). Hasta el momento no existen evaluaciones del riesgo de invasión derivados de los sitios y procesos de producción, donde además de las especies, su potencial como invasoras y otros parámetros relacionados a estas, deberían considerarse factores que permitan determinar para cada unidad de producción acuícola ornamental un valor de riesgo o posibilidad de escape e invasión, derivado su ubicación en el territorio, su entorno, la capacidad logística o de reacción ante desastres naturales, las condiciones socioeconómicas en las que se encuentra.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Morelos es el mayor productor de peces de ornato a nivel nacional, lo que aumenta considerablemente los riesgos ecológicos relacionados con esta actividad económica. Se estima que cada año se ha incrementado entre un 14 a 20 % la producción estatal. Además se han introducido nuevas especies a los sistemas de producción, las cuales podrían representar un importante riesgo para los ecosistemas acuáticos, debido a la posibilidad de invasión y colonización de estos (Ramírez *et al.*, 2010). Otro factor que aumenta el riesgo de invasión consiste en la distribución espacial de las granjas, dado que la mayoría de estas se encuentran cerca de escurrimientos naturales, lo que potencializa el riesgo de introducción de especies exóticas a los sistemas naturales de la entidad.

La presencia de unidades piscícolas ornamentales en algunos municipios del estado puede deberse a las condiciones climáticas favorables, a la infraestructura instalada o a la mayor especialización económica de la población que han sido pioneros en el desarrollo de este sector productivo. La introducción de especies exóticas potencialmente invasoras, a través de la acuicultura y el acuarismo, son uno de los principales impactos a los ecosistemas acuáticos en Morelos (Contreras–MacBeath, 1998). Sin embargo, no han sido la única causa por lo que la ictiofauna nativa del estado haya sufrido grandes cambios en su composición original, el crecimiento poblacional e industrial de las zonas urbanas del estado en los últimos 30 años, particularmente en el corredor Cuernavaca - Jojutla - Yautepec - Cuautla, y algunas actividades agroindustriales como la azucarera, han causado graves daños a los ecosistemas acuáticos, principalmente debido a las grandes cantidades de descargas de aguas residuales sin tratar que vierten a los cauces naturales (Oswald, 2003). Estos factores en conjunto han provocado la pérdida o desplazamiento de gran parte de la fauna íctica original (Contreras–MacBeath, 1996; Luna-Figueroa y Figueroa, 1999). No obstante, estos impactos a los sistemas acuáticos y la reducción de las poblaciones nativas debido a diversas causas han facilitado el establecimiento de especies

exóticas, particularmente de aquellas que muestran una mayor resistencia a contaminantes u otros factores de disturbio.

Si bien hay registro de un gran número de granjas a escala estatal, se estima que aún existen muchas que se encuentran operando en la clandestinidad o no aparecen dentro de los padrones reguladores. De igual manera, hay granjas que ya no se encuentran operando y no reportaron su cierre. La derrama económica del sector es potencialmente mayor de la registrada oficialmente, debido a que muchas granjas no reportan sus ganancias reales por cuestiones hacendarias, legales o falta de tiempo. Si bien se sabe que estas generan desequilibrios ecológicos en los sistemas acuáticos naturales y que se han distribuido principalmente cerca de escurrimientos a lo largo de toda la cuenca alta del río Grande Amacuzac, no existe actualmente una estimación precisa de su importancia socioeconómica local y de los patrones o tendencias de crecimiento.

A la fecha no se tiene un análisis del riesgo potencial por el desarrollo de esta actividad hacia los sistemas acuáticos naturales de Morelos, o una evaluación de las unidades de producción o del riesgo de escape e invasión derivado de las características propias de cada una de ellas. Se han desarrollado ya estudios de las especies que se producen localmente y sobre su capacidad como especies invasoras (Mejía-Mojica *et al.*, 2012). Sin embargo, no existen datos, que permitan identificar las zonas de mayor riesgo, ya sea por la mala disposición geográfica de las granjas, su infraestructura inadecuada, o el propágulo.







## **OBJETIVO**

- Desarrollar un modelo como indicador de riesgo potencial de escape de especies potencialmente invasivas a partir de las granjas piscícola ornamentales.

### **Objetivos específicos**

- Precisar la distribución geográfica actual real de las granjas acuícolas de producción de peces de ornato en el estado de Morelos.
- Determinar la distribución geográfica de las unidades de producción de peces de ornato por municipio y por subcuenca y su relación con aspectos ambientales, territoriales, sociales y económicos.
- Diseñar y evaluar las métricas para detectar los riesgos potenciales de escape por parte de las unidades ornamentales.
- Analizar el desarrollo acuícola ornamental en los últimos 10 años.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **DESARROLLO DEL SIG DE LAS UNIDADES DE PRODUCCIÓN DE PECES ORNAMENTALES.**

Para la actualización de la base de datos de las granjas acuícolas ornamentales y la definición de su ubicación espacial precisa, se analizaron los registros de las bases de datos existentes para el estado del Comité Estatal de Sanidad Acuícola del Estado de Morelos (CESAEM), a partir de las cuales se generaron coberturas geográficas que fueron validadas con el programa de ArcMap 10.3 (BaseMap) y el software Google Earth.

Los registros se depuraron eliminando errores (registros no vigentes o errores en la captura de los datos) y anexando nuevos registros Figura 6 y Figura 7. Cada registro se revisó de manera visual, verificando sobre una imagen satelital la presencia actual de infraestructura de cada granja en las coordenadas indicadas en la base de datos, o en el entorno inmediato. En caso de identificar la infraestructura se procedió al desplazamiento del registro a su posición óptima, en los casos de no identificar la presencia de infraestructura de la granja, se determinó que no existía infraestructura o simplemente la inoperancia de esta, procediendo a la eliminación del registro.

Un segundo procedimiento consistió en la identificación de nueva infraestructura no registrada mediante la interpretación visual de las imágenes satelitales de alta resolución disponibles a escala 1: 5,000 sobre el área de estudio, detectando aquellas unidades de producción no registradas y anexándolas a la base de datos.

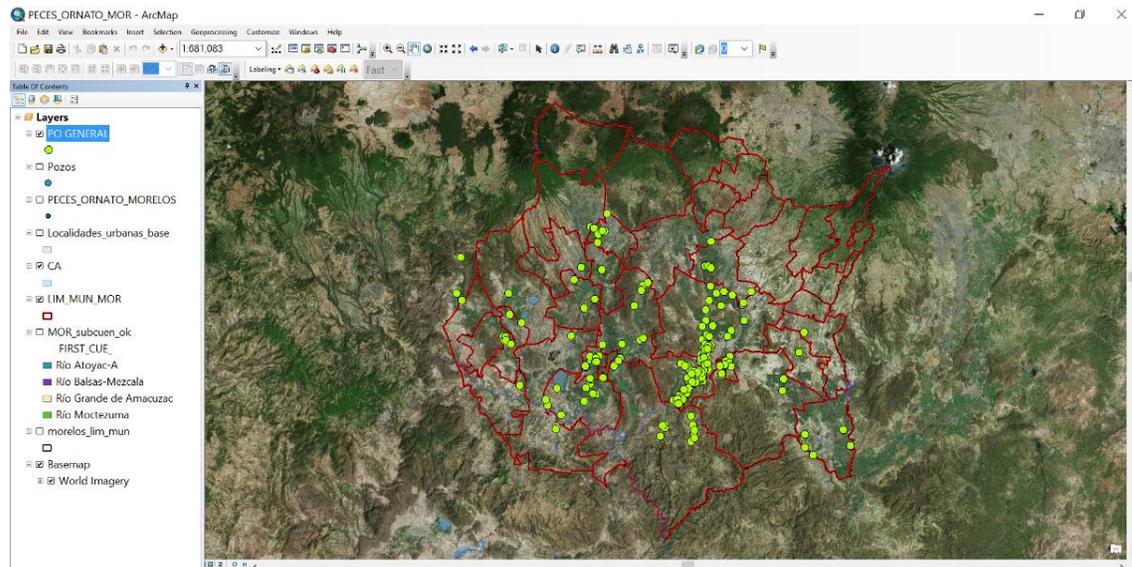


Figura 6.- Verificación espacial de las granjas acuícolas ornamentales en el Software ARCGIS 10.3 con la herramienta Basemap.

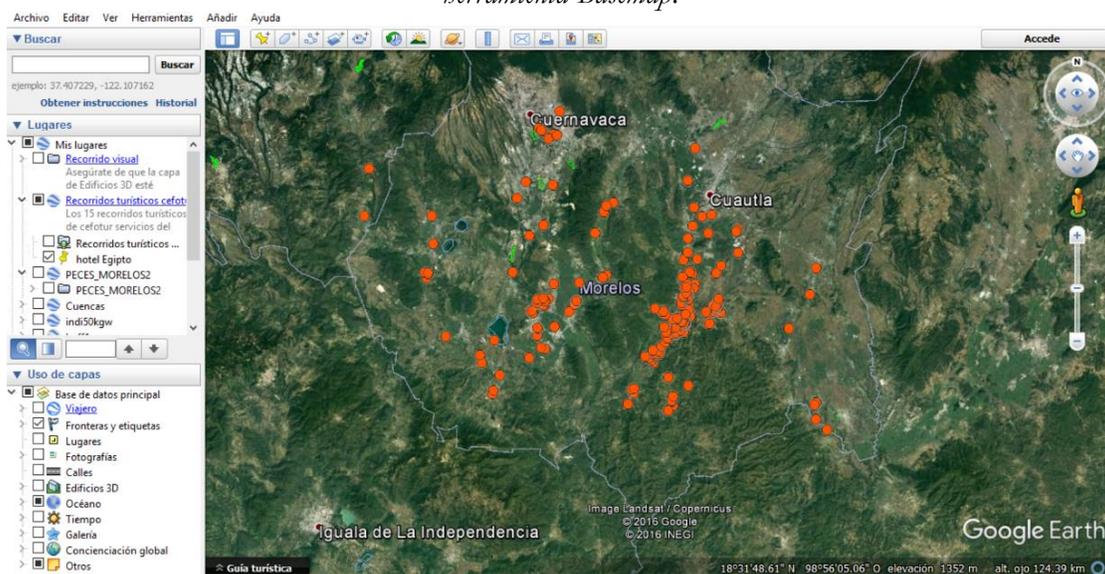


Figura 7. Verificación espacial de granjas acuícolas ornamentales en el software Google Earth.

Para identificar las áreas de mayor incidencia de unidades de producción, la cobertura de granjas ornamentales se cruzó con las coberturas de subcuencas y municipios, permitiendo obtener de la abundancia relativa de granjas y determinando los municipios con mayor especialización para el sector, así como las subcuencas con mayor presencia de unidades ornamentales.

## **IDENTIFICACIÓN DE FACTORES QUE DETERMINAN LA PRESIÓN TERRITORIAL PARA EL DESARROLLO TENDENCIAL DEL SECTOR ACUÍCOLA ORNAMENTAL**

Mediante el cruce de información de diferentes variables y los registros de la base de datos actualizada, se identificaron factores ambientales, urbano-territoriales y socioeconómicos que presentan una mayor correlación con la distribución actual de las granjas en el territorio estatal. La selección de variables se realizó mediante un análisis de los requerimientos de las granjas para su adecuada operación, determinando las siguientes variables para el desarrollo del análisis:

1. Ambientales: distancia a fuentes de agua, escurrimientos perennes y canales, pendiente, temperatura media anual, mínima y máxima.
2. Urbano-Territoriales: distancia a vías de comunicación pavimentadas.
3. Socioeconómicos: PIB per cápita, índice de marginación.

Se realizó un análisis de correlación espacial con cada una de las variables seleccionadas en un SIG, de esta manera se identificaron los factores de mayor relevancia para el desarrollo del sector, identificando aquellas variables en las que se puede observar una mayor concentración de registros en características o valores específicos de un factor en particular y que potencialmente tienen una mayor influencia en la distribución espacial del sector en el estado, Las variables cuyos registros presentaban una distribución uniforme en las diferentes características o valores de la variable fueron descartadas debido a que no incidían sobre la distribución espacial de las granjas acuícolas ornamentales.

El análisis de cruce de las variables con los registros espaciales de las granjas acuícolas se desarrolló con el software ArcMap 10.5 utilizando la herramienta *Zonal Statistics as Table* de la extensión *ArcToolbox*. Posterior a este proceso, se realizó el análisis de los resultados con el programa *Statistica*, generando un análisis de correlación entre las unidades de producción y las variables seleccionadas. La selección de las variables consideradas como relevantes para la distribución de las granjas acuícolas se realizó mediante un análisis de

los requerimientos ambientales o territoriales probables para el desarrollo del sector y variables socioeconómicas que hipotéticamente podrían incidir en la distribución espacial de las granjas.

## **ANÁLISIS DE LA PRESIÓN TERRITORIAL PARA EL DESARROLLO DEL SECTOR ACUÍCOLA ORNAMENTAL**

Una vez seleccionadas las variables o atributos necesarios para el desarrollo óptimo del sector, se procedió a la modelación de un análisis espacial que permitió identificar además de las áreas de distribución actual del sector, aquellas que reúnen combinaciones similares de las variables ambientales, territoriales y socioeconómicas requeridas para el desarrollo sectorial, permitiendo determinar nuevas áreas potenciales para su desarrollo.

La jerarquización y ponderación de las variables se desarrolló utilizando el método de jerarquías analíticas (MJA) de Saaty.

El MJA consiste en la construcción de un modelo jerárquico que permite de manera eficiente y gráfica organizar la información respecto de un cuestionamiento, descomponerla y analizarla por partes, visualizar los efectos de los diferentes niveles y sintetizarla. Se basa en un procedimiento de comparación por pares de los criterios que parte de una matriz cuadrada en la cual el número de filas y columnas está definido por el número de criterios a ponderar. Así se establece una matriz de comparación entre pares de criterios, comparando la importancia de cada uno de ellos con los demás. Posteriormente se calcula el *eigenvector* principal, el cual establece los pesos que a su vez proporciona una medida cuantitativa de la consistencia de los juicios de valor entre pares de factores (Saaty, 1980). La determinación de la importancia de un factor sobre otro en cada comparación se desarrolló de acuerdo con la Tabla 1.

Tabla 1. Determinación de la importancia relativa de un factor sobre otro de acuerdo con el MJA. Fuente: Ajustado a partir de Saaty, 2012.

Intensidad de la importancia	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Los dos factores contribuyen de igual manera al desarrollo de las granjas
3	Importancia moderada	Un factor contribuye ligeramente más que otro en el desarrollo de las granjas
5	Más importante	Un factor contribuye más que el otro en el desarrollo de las granjas
7	Mucho más importante	Un factor contribuye de manera mucho más importante que el otro en el desarrollo de las granjas
9	Absolutamente más importante	Un factor es determinante y el otro no es relevante en el desarrollo de las granjas
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre los dos juicios contiguos	Cuando una valoración intermedia es necesaria

Mediante el AMJ (Tabla 2) se determinó el coeficiente a utilizar para cada una de las variables, la ponderación entre cada uno de los pares de las variables analizadas se desarrolló a partir del número de registros incidentes en valores específicos de cada variable, es decir, las variables en las que el mayor número de granjas incide en una categoría única tienen mayor peso que aquellas en las que las unidades de producción se distribuyen en varias categorías o valores de la variable analizada.

Tabla 2. Análisis Jerárquico para determinar el peso de los coeficientes por variable del análisis de presión del sector acuícola ornamental en el estado de Morelos.

	Disponibilidad de agua	Distancia a vías terrestres	Temperatura media anual	Pendiente	
Disponibilidad de agua	1.00	3.00	5.00	7.00	0.60
Distancia a vías terrestres	0.33	1.00	3.00	5.00	0.20
Temperatura media anual	0.20	0.33	1.00	3.00	0.12
Pendiente	0.14	0.20	0.33	1.00	0.09
	1.68	4.53	9.33	16.00	1.00

A partir del AMJ se determinó la siguiente fórmula:

$$PAO = Dag (0.56) + Dvt (0.26) + Tma (0.12) + Pe (0.06)$$

Donde:

- PAO = Presión acuícola ornamental
- Dag = Distancia a fuentes de agua
- Dvt = Distancia a vías terrestres
- Tma = Temperatura media anual
- Pe = Pendiente

Cada variable está representada por una cobertura geográfica generada en el SIG, y mediante la aplicación de la fórmula se obtuvo el mapa de presión territorial para el desarrollo del sector acuícola ornamental del estado de Morelos. El mapa resultante permitió definir aquellas áreas de oportunidad para el desarrollo del sector, al igual que las áreas que podrían ser sujetas a procesos de impactos potenciales derivados de esta actividad, particularmente en los ecosistemas acuáticos.

## **INDICADOR DE RIESGO DE ESCAPE E INVASIÓN**

El indicador de riesgo de escape e invasión de las granjas ornamentales se determinó a partir de una serie de variables que permitieron establecer un valor de riesgo para cada granja acuícola ornamental. Cada una de las variables seleccionadas incide en un mayor riesgo local de invasión por EEI, derivado de condiciones geográficas, biológico-ambientales y de infraestructura (Figura 8).

**Determinación del número, distribución actual y condiciones de las unidades de producción**

**Definición y jerarquización de variables para "Indicador de riesgo de invasión"**

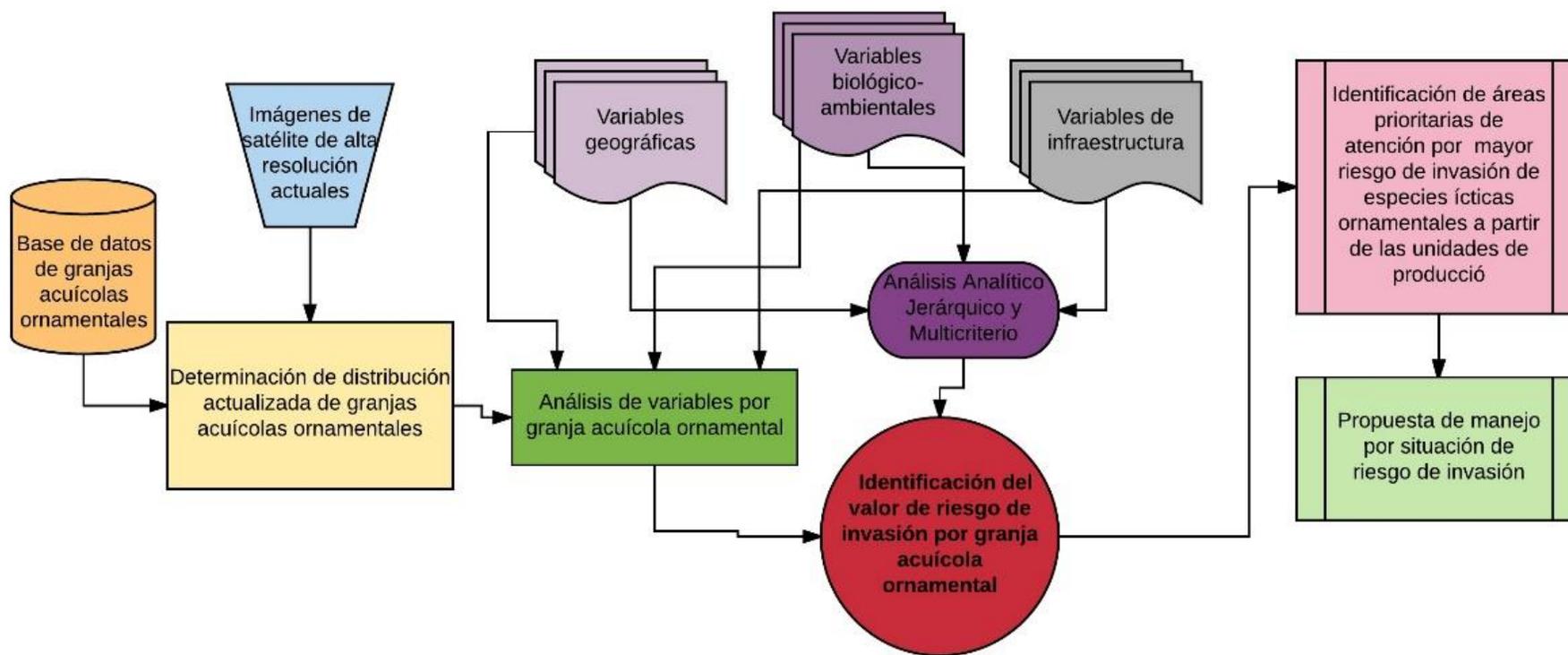


Figura 8. Indicador de Riesgo de escape e invasión.

La producción de EEI en granjas acuícolas ornamentales constituye una de las principales vías para su introducción al entorno natural, principalmente por el elevado número de especies y el continuo cambio de variedades de peces producidas, aunado a su cercanía a cuerpos de agua dulce naturales (Copp *et al.*, 2005). Se ha demostrado que las especies ornamentales presentan una gran capacidad de invasión y colonización, en general la alta diversidad de especies es un mismo sitio de producción propicia que un cierto porcentaje de estas pueda encontrar un ambiente adecuado en los ecosistemas donde son liberadas. Mejía-Mojica *et al.*, (2012) manifiestan que los eventos incidentales de escapes o liberación de algunas de EEI son comunes, identificando como una de las principales causas la proximidad de las unidades de producción a los cauces de ríos.

La mayoría de las liberaciones de organismos a partir de las granjas acuícolas ornamentales es de tipo accidental, dado que significa la pérdida de producto y por ende económica. No obstante, esta cercanía, combinada con otros factores como la pendiente, el riesgo de inundación y el régimen de precipitación pluvial aumenta el riesgo de escapes por el escurrimiento de agua desde los estanques hacia los cuerpos de agua naturales. Otros factores como la sismicidad incrementan el riesgo de escapes, como se observó en el sismo del 19 de septiembre de 2017, donde se liberaron 830,000 organismos de EEI hacia los cuerpos de agua naturales, de acuerdo con los datos de reportados por la CONABIO y la CESAEM.

Cabe resaltar los datos presentados por Mejía-Mojica *et al.*, (2012), donde de las especies identificadas en la Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla al sur del estado de Morelos, encontró casi la misma proporción entre especies nativas y no nativas (10-9), no obstante, registró una mayor abundancia de las especies exóticas, muchas de las cuales son de origen acuícola ornamental.

Existe un consenso en la ecología de las invasiones que afirma que las comunidades con gran riqueza de especies son más resistentes a las invasiones que aquéllas con pocas

especies (Elton, 1958), debido a que los nichos estarían ocupados y habría menos recursos disponibles para las posibles especies invasoras; además, sería más probable que existieran competidores o depredadores que puedan excluir o disminuir las oportunidades de una invasión, y que puedan excluir a las especies invasoras potenciales (Elton, 1958). De esta manera, se confirma que ecosistemas con baja diversidad biológica son más susceptibles a recibir un mayor número de invasores, con base en el número de espacios o recursos disponibles y la ausencia de un mayor número de competidores (Byers y Noonburg, 2003).

Mendoza y Koleff (2014), afirman que uno de los factores de mayor incidencia en la evaluación del riesgo de invasión son las características intrínsecas de las especies invasoras, que les confieren ventajas competitivas sobre las especies nativas facilitando la invasión y colonización de los sistemas naturales. La presión del propágulo es una de las explicaciones más básica para entender porque algunos ambientes son más invadidos que otros, y se basa en el simple hecho de “entre más individuos sean liberados, mayor probabilidad tendrán de sobrevivir en el nuevo ambiente” (Lockwood *et al.*, 2009, Mark 2009, Ricciardi y Kipp, 2008). Mendoza-Alfaro *et al.*, (2009a) valida esta hipótesis afirmando que hay varias evidencias relacionadas con la presión del propágulo que inciden en la liberación de EEI, dentro de las que se encuentra: a] el aumento de las especies y variedades de peces que se producen y la importante frecuencia de introducción han incrementado las posibilidades de establecimiento de un mayor número de especies acuáticas potencialmente invasoras.

La degradación ambiental, incluyendo la alteración del hábitat, es a menudo un factor importante en las interacciones de las especies nativas con las exóticas (Meador *et al.*, 2003). Los hábitats perturbados pueden ser más susceptibles a ser invadidos (Mendoza y Koleff, 2014), ya que, debido a los procesos de degradación, se pueden crear nuevos nichos, las actividades antropogénicas asociadas con el manejo del agua pueden proteger a las nuevas poblaciones introducidas de riesgos ambientales y los hábitats perturbados

son capaces de soportar altos niveles de diversidad de especies (Bomford, 2008). En este contexto, la velocidad, persistencia y ubicuidad de las alteraciones antropogénicas del hábitat pueden repentinamente poner en riesgo a las especies nativas que estaban bien adaptadas, dejándolas en desventaja competitiva con las especies introducidas (Mendoza y Koleff, 2014).

Otros factores importantes a considerar dentro del análisis del riesgo de invasión derivado de las unidades de producción incide justamente en la infraestructura y procesos de producción, principalmente por la escasez de estructura técnica en algunas de las instalaciones acuícolas (Mejía-Mojica *et al.*, 2012). Se ha demostrado que la modernización de los sistemas de cultivo y comercialización, así como la aplicación de medidas preventivas como el Análisis de Riesgo y Control de Puntos Críticos (HACCP), además de la implementación de sistemas de bioseguridad ayudan a disminuir sensiblemente los riesgos ecológicos que derivan de la acuicultura y la industria del acuarismo (Mendoza, *et al.*, 2014).

En sí existen diversas variables que deben ser consideradas para el análisis del riesgo de escape e invasibilidad a partir de las unidades de producción acuícolas ornamentales, sin embargo, no para todas ellas existe información suficiente o confiable para realizar el análisis. Cada variable seleccionada debe presentar dos condiciones, datos por cada unidad de producción y que estos datos puedan ser fácilmente cuantificables con la finalidad de asignar un valor de riesgo. Las variables determinadas para el análisis del riesgo de escape e invasibilidad se clasificaron en tres grupos de factores:

1. Geográficas: dependen de la localización o ubicación de las granjas en el territorio y su relación con las variables de este.

Distancia a un ambiente acuático: para el cálculo de esta variable se consideraron los escurrimientos perennes de la Red Hidrográfica 1:50,000 de INEGI, y se calculó la distancia de cada unidad de producción al sistema acuático más cercano.

Riesgo de inundación del predio: esta variable se obtuvo a partir del análisis de riesgo de inundación del Programa de Ordenamiento Ecológico Regional del estado de Morelos, y se identificó el valor potencial de riesgo a partir de la posición de cada granja sobre el mapa de riesgo.

Rango de precipitación pluvial: se consideró la precipitación media anual, obtenida a partir de las normales climatológicas de la red de estaciones del servicio meteorológico nacional. Se desarrolló una interpolación utilizando el modelo *Cokriging*, obteniendo valores de precipitación media anual para el territorio estatal y se calculó el valor de esta variable por granja ornamental.

Sismicidad de la región: esta cobertura se obtuvo del atlas de riesgo estatal, y se identificaron las unidades de producción en áreas susceptibles a este riesgo.

Pendiente del terreno: se obtuvo a partir del modelo digital de elevación del continuo de elevaciones de México escala 1:50,000 de INEGI. Posteriormente se calculó la pendiente de cada unidad de producción.

2. Biológico- ambientales: dependen de variables ambientales propias de las especies producidas, y los ecosistemas acuáticos locales.

Producción de especies con alto potencial de invasión: Las especies potencialmente invasoras se analizaron a partir de la información de la base de datos del Centro de Sanidad Acuícola. Las especies producidas en cada granja se clasificaron utilizando el Catálogo de peces ornamentales producidos en Morelos con capacidad de ser especies exóticas invasoras (EEI) 2016, además de considerar datos de proyectos realizados anteriormente en el laboratorio de Ictiología del Centro de Investigaciones Biológicas (CIB) de la UAEM y el aporte de investigadores expertos del laboratorio.

Tipo de ambiente acuático cercano (lótico o léntico): esta variable se analizó identificando el sistema acuático (lótico o léntico) más cercano a cada una de las granjas. Los sistemas acuáticos se obtuvieron a partir de la Red Hidrológica Nacional 1: 50,000 de INEGI. La

identificación del sistema más próximo se determinó con la herramienta *Proximity - Generate Near Table* del software *Arc Map 10.5*.

*Calidad de agua del sistema acuático cercano:* este análisis se realizó utilizando los datos de la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad de las Aguas Nacionales de CONAGUA, que contiene información de calidad del agua en 5,000 sitios de monitoreo a nivel nacional, clasificando la calidad de cada sitio como Excelente, Buena, Aceptable, Contaminada o Fuertemente contaminada. Esta información se relacionó con las unidades ornamentales y se determinó la calidad de agua del punto de monitoreo más cercano a cada unidad de producción.

*Diversidad íctica del sistema acuático:* esta variable se generó a partir del cruce de información de las subcuencas y la base de datos de especies ícticas de CONABIO, obteniendo el total de especies que han sido reportadas en cada subcuenca donde existen granjas ornamentales.

*Heterogeneidad del hábitat:* dado que no existen muchos datos disponibles de los ecosistemas acuáticos y sus condiciones locales en Morelos, se consideró que aquellos escurrimientos con un mayor número de corrientes tributarias presentan una mayor complejidad, con el mayor caudal y diversas condiciones fisicoquímicas que se van modificando debido a la incorporación de escurrimientos. Se estimo que la clasificación de los escurrimientos en la Red Hidrológica Nacional de acuerdo a su nivel jerárquico podía considerarse como una equivalencia a la heterogeneidad potencial de cada sistema acuático.

*Posibilidad de escape del propágulo:* obtener estos datos de fuentes confiables resulto prácticamente imposible, ya que ninguna institución tiene o nos dio acceso a las bases de datos donde está contenida esta información.

3. Infraestructura: dependen del tipo de instalaciones de cada unidad de producción y su organización:

*Materiales de construcción:* obtener estos datos de fuentes confiables resulto prácticamente imposible, ya que ninguna institución tiene o nos dio acceso a las bases de datos donde está contenida esta información. Sin embargo se sabe que generalmente los materiales utilizados en la unidades de ornamentales son tinas de plástico de diferentes tamaños, estanques rústicos, a cielo abierto sin ningún tipo de revestimiento, estanques construidos a cielo abierto con revestimiento y estanques de concreto (Ramírez-Martínez 2010).

*Las condiciones de la estanquería (sistemas abiertos o cerrados):* obtener estos datos de fuentes confiables resulto prácticamente imposible, ya que ninguna institución tiene o nos dio acceso a las bases de datos donde está contenida esta información.

*Pertenencia a una asociación:* esta variable se consideró una constante dado que las unidades de producción consideradas se derivan de la base de datos de la CESAEM, por lo que se consideró que todas ellas pertenecen a una asociación.

Variables geográficas: el riesgo de inundación es un factor de gran relevancia dado que es una de las causas más comunes de escape en las unidades de producción al ser inundadas, provocando la oportunidad de salida de los organismos hacia zonas fuera de los estanques o infraestructuras de cultivo. El riesgo de escape aumenta cuando el riesgo de inundación se relaciona con otros, como la distancia a escurrimientos que mantienen un flujo de agua todo el año y que representan espacios donde los organismos liberados podrían establecerse. El rango de precipitación pluvial es uno de los elementos que inciden en las inundaciones, además que factores como la condición de sismicidad podrían incidir en la fractura de la estructura de los estanques. La pendiente del terreno es otro factor que podría incidir en el escape de los organismos, induciendo un mayor escurrimiento de agua y especies, desde las zonas de producción hasta los sistemas acuáticos naturales.

Las variables biológico-ambientales incorporan otros factores que inciden en un mayor riesgo potencial de escape e invasión; particularmente el tipo de especies exóticas producidas en cada granja ornamental, esté es un factor clave que debe considerarse para

determinar el riesgo de invasibilidad, particularmente si se trata de especies con alto potencial de invasión. Así mismo el tipo de ambiente acuático más próximo a las unidades incrementa el riesgo, particularmente si se trata de un sistema abierto y conectado a otros cuerpos de agua, provocando un mayor problema en el caso del escape de los organismos producidos. Estos ambientes además presentan condiciones variables para el establecimiento de las especies, particularmente la calidad del agua y la heterogeneidad de hábitats susceptibles a ser ocupados, aumentan o disminuyen el riesgo. Además, el volumen de producción de cada granja es otro factor importante que considerar, dado que, a mayor volumen de producción, mayor posibilidad de escapes y su propágulo.

VARIABLES DE INFRAESTRUCTURA, los materiales de construcción inciden en la resistencia de la infraestructura de la unidad de producción ante sismos o accidentes, las condiciones de la estanquería es otro factor importante en el riesgo, particularmente si se trata de sistemas en espacios abiertos, caso contrario a un sistema cerrado con mayor control. La pertenencia a una asociación fomenta un mayor control del tipo de producción con una reglamentación para la granja, lo que incide directamente en el riesgo de escape.

Cada factor seleccionado se evaluó por granja de producción, otorgando valores de 0 a 1 de acuerdo con la Tabla 3. Los estados de las diferentes variables consideradas y el valor asignado se presentan en la Tabla 4, Tabla 5 y Tabla 6.

*Tabla 3. Definición del valor de riesgo asignado.*

<b>Valor del riesgo</b>	<b>Definición</b>
<b>0</b>	El estado del factor no incide en el riesgo de escape
<b>0.25</b>	El estado del factor incide poco en el riesgo de escape
<b>0.5</b>	El estado del factor incide moderadamente en el riesgo de escape
<b>0.75</b>	El estado del factor incide mucho en el riesgo de escape
<b>1</b>	El estado del factor es determinante en el riesgo de escape

Tabla 4. Valor de riesgo asignado de acuerdo con el estado de cada variable o factor geográficos.

Valor de riesgo de invasión	Distancia a cauces perennes	Riesgo de inundación	Rango de precipitación pluvial	Condiciones de sismicidad	Pendiente del terreno
<b>1</b>	< 100 m	Muy alto (9-10)	> 900 mm	Zona sísmica	> 30°
<b>0.75</b>	100–200 m	Alto (7.5-9)	800–900 mm		20 – 30°
<b>0.5</b>	200–500 m	Moderado (5-7.5)	700-800 mm		10 – 20°
<b>0.25</b>	500–1,000 m	Bajo (3-5)	600-700 mm		2 – 10°
<b>0</b>	>1,000 m	Nulo (1-3)	< 600 mm	Zona no sísmica	< 2°

Tabla 5. Valor de riesgo asignado de acuerdo con el estado de cada variable o factor de infraestructura.

Valor de riesgo de invasión	Materiales de construcción	Condiciones de estanquería	Pertenencia a una asociación
<b>1</b>	No rústico	Sistema abierto	No
<b>0.75</b>	Semi rústico	Semi abierto	
<b>0.5</b>	Rústico	Semi cerrado	
<b>0.25</b>	Muy rústico	Cerrado	Sí
<b>0</b>			

Tabla 6. Valor de riesgo asignado de acuerdo con el estado de cada variable o factor biológico-ambiental.

Valor de riesgo de invasión	Especies con potencial de invasión	Tipo de ambiente acuático contiguo	Calidad de agua del ambiente acuático	Diversidad de especies del ambiente acuático	Heterogeneidad del hábitat	Propágulo
1	Más de 3 especies con potencial como invasoras	Lótico	Aceptable calidad de agua	Baja diversidad de especies (<5 spp.)	Alta heterogeneidad de hábitats (río nivel 1)	Alta producción
0.75	3 especies con potencial como invasoras			Diversidad media de especies (6-18 spp.)	Alta a moderada heterogeneidad de hábitats (río nivel 2)	
0.5	2 especies con potencial como invasoras	Léntico			Heterogeneidad moderada de hábitats (río nivel 3)	
0.25	1 especie con potencial como invasora		Buena calidad de agua		Baja heterogeneidad de hábitats (río nivel 4)	Baja producción
0	Sin especies con potencial como invasoras			Alta diversidad de especies (>18 spp.)	Hábitat homogéneo	

Todas estas variables están sujetas a un cierto nivel de incertidumbre. Este tipo de incertidumbre requiere que el método se revise y modifique a medida que se detecten

errores o conforme se desarrollen nuevas metodologías de análisis de riesgo (Mendoza *et al.*, 2009). Los valores asignados al estado de cada una de las variables entre 0 a 1 se modificaron de acuerdo con el nivel de incertidumbre. El valor de incertidumbre se asignó de acuerdo con la propuesta de Koop *et al.*, 2012 modificada para el presente estudio (Tabla 7).

Tabla 7. Criterios cualitativos de incertidumbre (basado en Koop *et al.*, 2012)

<b>Incertidumbre</b>	<b>Tipos de fuentes de información</b>
<b>Mínima</b>	Diversas fuentes de información de publicaciones arbitradas Libros o artículos científicos con aprobación editorial Comunicación personal de grupos de expertos
<b>Baja</b>	Documentos científicos o técnicos no publicados Documento científico o técnico sin arbitraje Reportes técnicos de instancias gubernamentales
<b>Media</b>	Publicación de divulgación Bases de datos
<b>Alta</b>	Información contradictoria en diversas fuentes Opiniones contradictorias por diversos expertos Datos anecdóticos de no especialistas Fuentes de baja calidad (páginas web sin sustento institucional o científico)
<b>Máxima</b>	Falta de evidencia Una única fuente de calidad dudosa

Mediante la combinación de los valores asignados por variable y el nivel de incertidumbre se calculó el valor final de cada variable en específico en cada unidad acuícola (Tabla 8), es decir, en caso de que para una variable el valor de riesgo sea de 0.75 si el valor de incertidumbre es mínimo el valor de riesgo se mantiene sin cambio. Sin embargo, si este valor de incertidumbre aumenta y se considera medio, entonces el valor de riesgo para

este factor en específico se reducirá a 0.375, es decir la mitad del valor de riesgo original, debido a la baja certeza de esta variable.

*Tabla 8. Matriz de integración del valor de incertidumbre y el nivel de riesgo por variable.*

Valor de riesgo asignado a la variable	Valor de incertidumbre			
	Mínimo (1)	Bajo (0.75)	Medio (0.5)	Alto (0.25)
Muy alto (1)	1	0.75	0.5	0.25
Alto (0.75)	0.75	0.56	0.375	0.1879
Medio (0.5)	0.5	0.375	0.25	0.125
Bajo (0.25)	0.25	0.1879	0.125	0.0625
Sin riesgo (0)	0	0	0	0

Una vez determinados los valores de cada factor por unidad de producción, se procedió a desarrollar una suma ponderada del análisis multicriterio para determinar el valor del indicador de riesgo de escape e invasión por granja ornamental. El peso de cada variable para la suma ponderada se calculó utilizando el MJA, donde se determinará el peso de cada variable mediante su comparación con todas las demás. El resultado final es un valor único de riesgo de escape e invasión por granja acuícola ornamental, permitiendo identificar aquellas unidades productivas que suponen un riesgo mayor para los sistemas acuáticos naturales.

#### **ANÁLISIS DEL DESARROLLO ACUÍCOLA ORNAMENTAL EN LOS ÚLTIMOS 10 AÑOS.**

El análisis del desarrollo de las unidades ornamentales se realizó comparando las bases de datos de la Secretaria de Desarrollo Agropecuario (SEDAGRO), con las bases de datos del Comité Estatal de Sanidad Acuícola del Estado de Morelos (CESAEM) en la última década.

## RESULTADOS

### DISTRIBUCIÓN DE LAS GRANJAS ORNAMENTALES EN MORELOS

A partir de la revisión y actualización de la base de datos de granjas acuícolas de ornato en el estado de Morelos se obtuvieron un total de 333 registros, las granjas identificadas presentan una distribución amplia en el estado, ubicándose 323 dentro de la cuenca Río Grande Amacuzac y únicamente 10 en la cuenca Atoyac localizada al sureste del estado (Figura 10).

La mayor concentración de granjas se encuentra localizada en el municipio de Ayala con 182 registros, que corresponden al 54.65% del total de granjas (Figura 9). Si sumamos las de los municipios de Tlaltizapán con 32 registros, Zacatepec 20 registros, Jojutla 14 registros y Tlaquiltenango 13 registros, agrupan el 78.38% del total de granjas reportadas por Comité Estatal de Sanidad Acuícola del Estado de Morelos AC. (CESAEM 2016), actualizadas mediante el análisis del presente estudio.

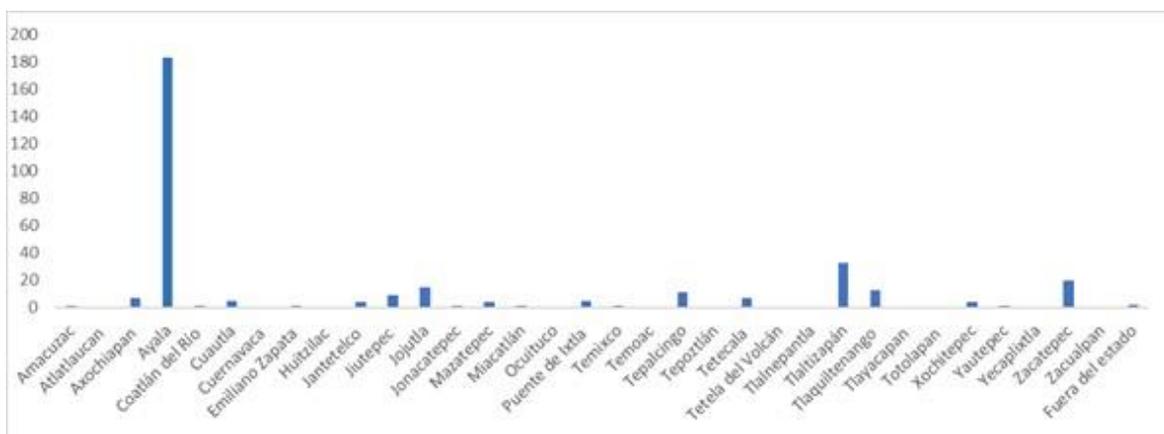


Figura 9. Distribución de las granjas piscícolas ornamentales por municipio en Morelos.

Las granjas presentan una distribución que tiene una importante congruencia con la ubicación de los principales escurrimientos perennes de la entidad. Los ríos Cuautla, Apatlaco y Yautepéc son los que registran una mayor densidad de granjas en su zona de influencia, lo que potencialmente representa un importante riesgo para los ecosistemas acuáticos Morelenses por el posible escape y posteriormente el riesgo de invasión y

colonización de especies no nativas. Las granjas ornamentales se concentran principalmente en la subcuenca del río Cuautla con 227 unidades, la subcuenca del río Apatlaco con 47, y la subcuenca del río Yautepec con 18 registros (Figura 10).

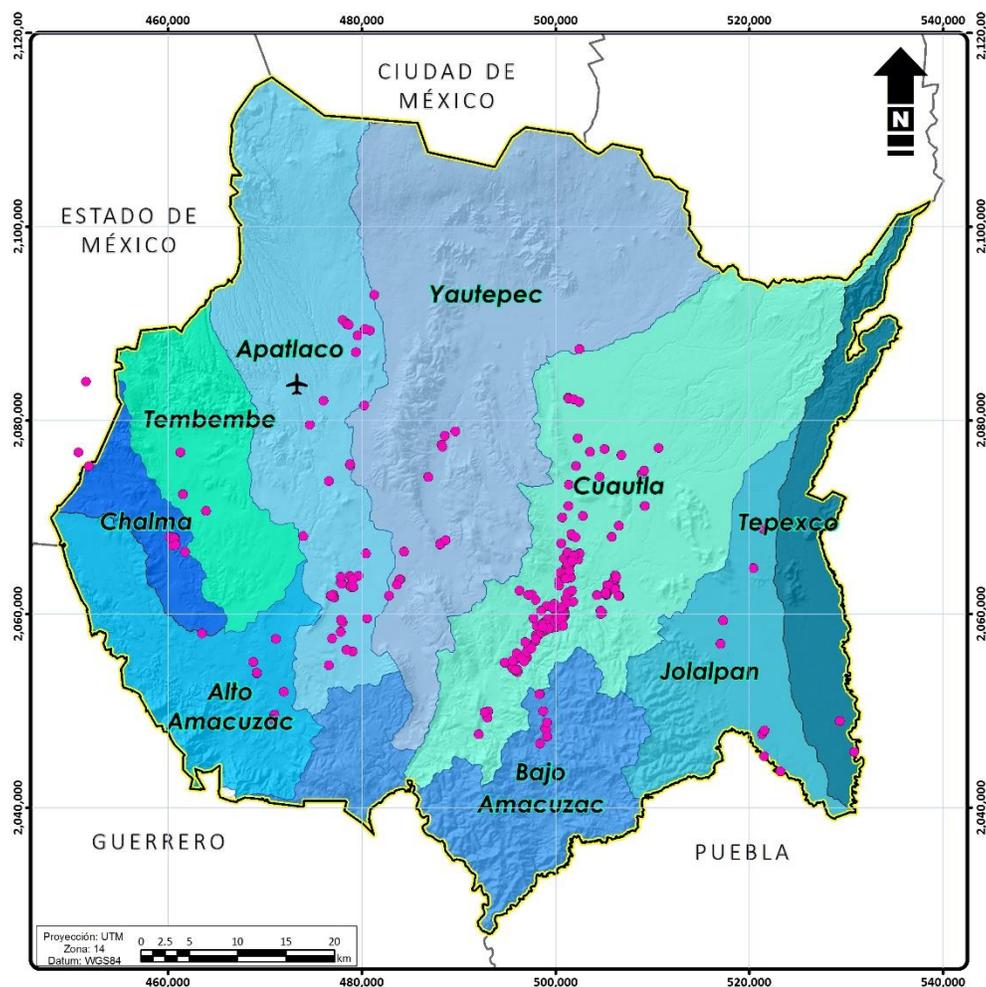
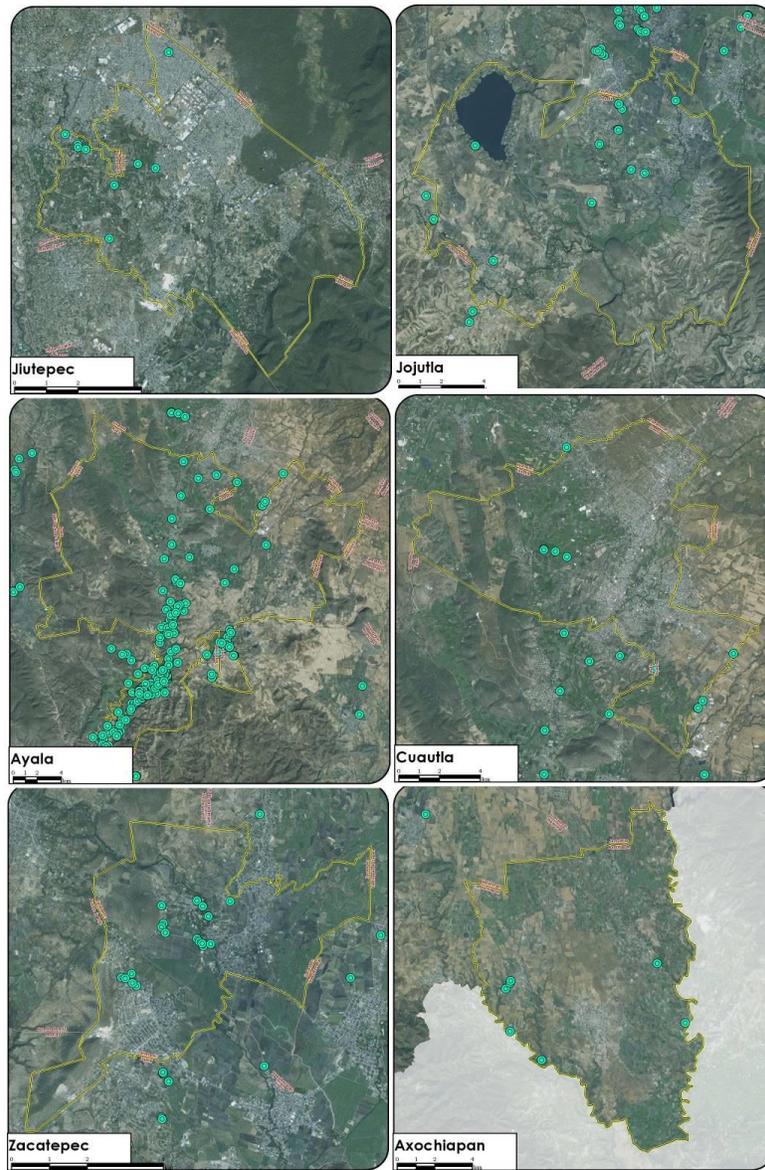


Figura 10. Subcuencas y granjas ornamentales del estado de Morelos. Fuente: datos de INEGI y CESAEM, 2016.

La distribución de las granjas obedece ciertos patrones que se repiten en los diferentes municipios donde estas se encuentran presentes (

Figura 11), localizándose usualmente en las zonas periurbanas donde colindan los asentamientos humanos con actividades agrícolas, en su mayoría de riego, estas zonas cuentan con canales o algún cuerpo de agua cercano.



*Figura 11. Distribución de las granjas ornamentales por municipio en Morelos. Fuente: datos CESAEM,2016 (Actualizados).*

Se identificaron dos granjas fuera del límite geoestadístico del estado de Morelos utilizado para este trabajo (INEGI, 2016), se consideraron dentro de la base de datos debido a que estas se encuentran bajo la jurisdicción de Morelos de acuerdo con la CESAEM.

La distribución de las granjas está influenciada por diversos factores, muchos de ellos biogeofísicos. La accesibilidad a mercados depende de la propia ubicación física y su cercanía a vías de comunicación o canales de comercialización, por lo que su disposición

en relación con red carretera les permite a los productores atender mercados locales y regionales (Figura 12) Se identificó una densidad importante de granjas en torno a las carreteras Cuautla - Chinameca y Cuernavaca - Jojutla.

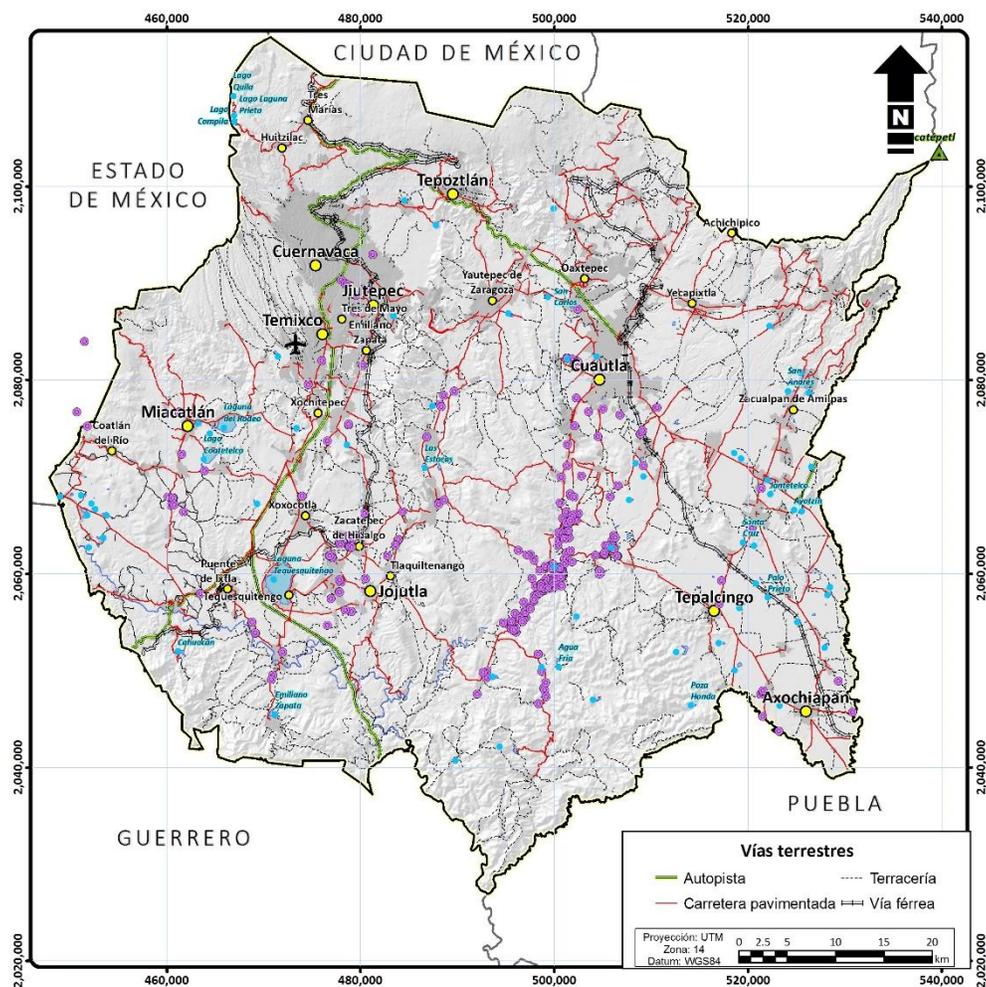


Figura 12.- Vías terrestres y granjas ornamentales en Morelos. Fuente: datos INEGI 2016 y CESAEM 2016.

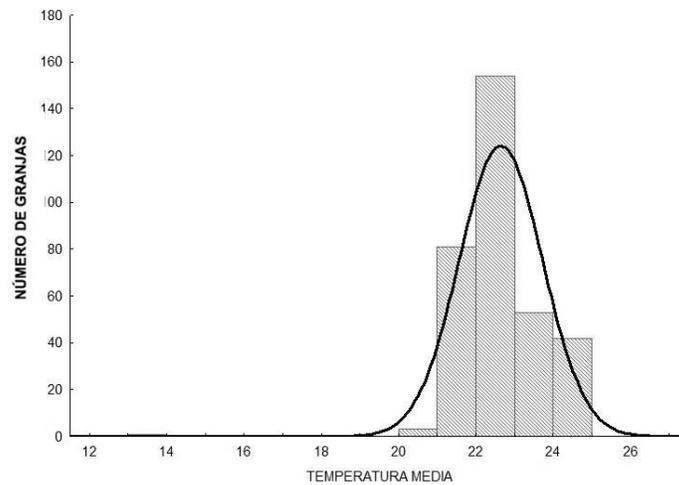
## **RELACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS GRANJAS ORNAMENTALES CON VARIABLES AMBIENTALES Y SOCIOECONÓMICAS.**

Definida la distribución final de las granjas ornamentales en la entidad, estas se cruzaron con una serie de variables ambientales, sociales, económicas y territoriales que fueron generadas en el ámbito del presente trabajo de investigación a partir de datos disponibles de diferentes instancias gubernamentales.

Mediante el cruce de información en el sistema de Información Geográfica fue posible la correlación de los datos derivados de cada una de estas variables con cada granja ornamental registrada en la base de datos. Las gráficas de dispersión que se generaron a partir de los cruces de información con los datos de cada variable y su frecuencia obtenida en las granjas ornamentales, facilitando así observar la distribución de los registros en relación con los valores de cada variable.

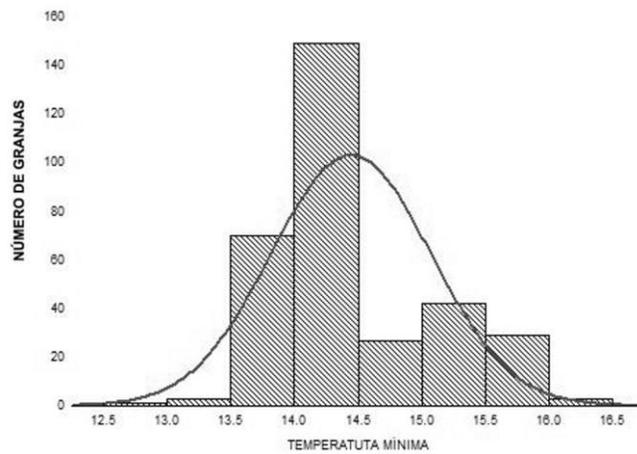
Es interesante que la mayoría de las variables presentan una curva de gauss con una distribución normal, que permite precisar el estado más favorable de cada una de las variables para el desarrollo del sector y los estados menos favorables, identificando los valores de las variables que no son adecuados para las granjas ornamentales. En las Figura 13, 14 y 15 es posible validar que la temperatura es un factor limitante de gran relevancia para la distribución de las granjas ornamentales. Para los tres casos (temperatura media anual, temperatura mínima y temperatura máxima) se observa que la frecuencia de los registros se da en valores muy específicos lo que hace referencia al gradiente de temperatura más favorable para el desarrollo del sector.

Mientras que los valores de temperatura media anual en el estado de Morelos oscilan entre los 10 a 25 °C, la mayor frecuencia de las granjas ornamentales se ubica entre los 21 y 25 °C (Figura 13), lo que descartaría zonas que se encuentren por debajo de esta temperatura para la predicción de nuevas áreas de desarrollo para las granjas ornamentales.



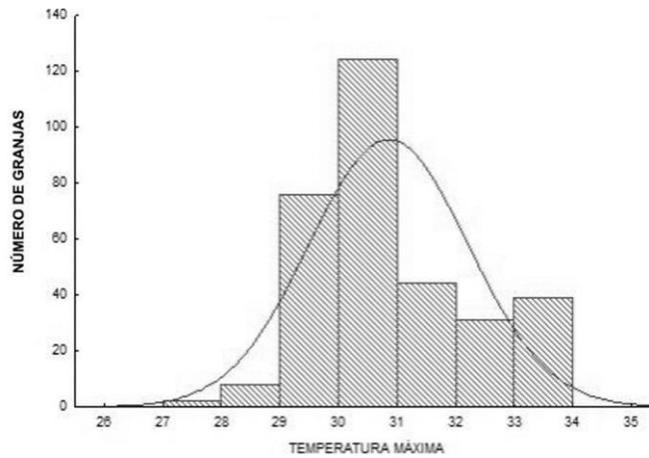
*Figura 13. Distribución de registros de granjas piscícolas ornamentales con relación a la temperatura media registrada en el estado de Morelos.*

La variable de temperatura mínima es similar, donde los valores estatales se encuentran entre los 5.5 y 16.5 °C, pero las granjas se distribuyen principalmente en zonas que presentan temperaturas mínimas entre 13.5 a 16 °C.



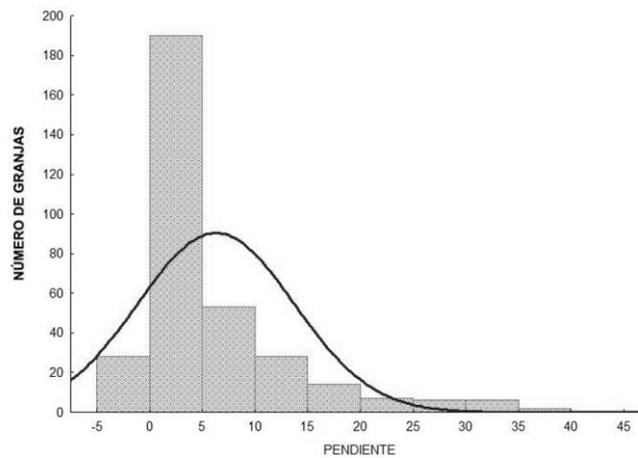
*Figura 14. Distribución de registros de granjas ornamentales con relación a la temperatura mínima registrada en el estado de Morelos.*

En el caso de la temperatura máxima, el Estado presenta un gradiente de temperatura que va de los 15.5 a los 34 °C y la distribución de las granjas se da principalmente entre los valores 29 a 32 grados, pudiéndose extender hasta los 34 °C.



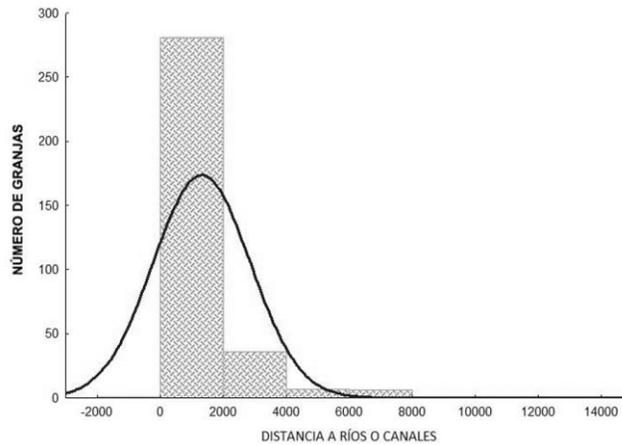
*Figura 15. Distribución de registros de granjas ornamentales con relación a la temperatura máxima registrada en el estado de Morelos.*

La pendiente es otra variable donde se observa que la frecuencia de los registros de granjas ornamentales se encuentra principalmente en zonas de baja pendiente, particularmente menor o iguales a 20% (Figura 16).



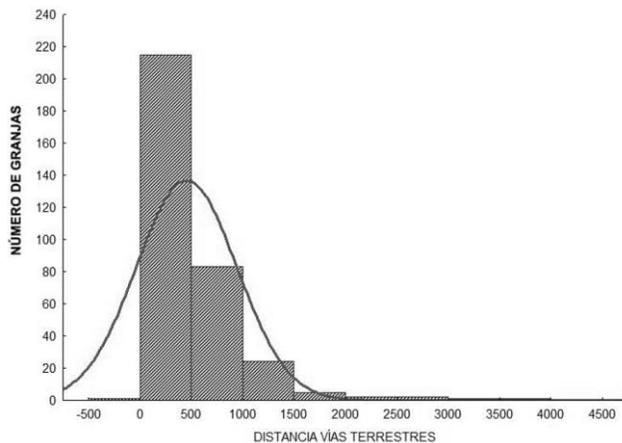
*Figura 16. Distribución de registros de granjas ornamentales en relación con la pendiente en porcentaje registrada en el estado de Morelos.*

La distancia a fuentes de agua (ríos canales y cuerpos de agua) es otra variable de gran importancia para la identificación de áreas de interés para el desarrollo sectorial de las granjas ornamentales en Morelos. Como se observa en la Figura 17, más del 90% de los registros ornamentales actuales se localizan entre 0 y 2 km de una fuente de agua, en concreto de ríos perennes y canales.



*Figura 17. Distribución de registros de granjas ornamentales en relación con la distancia a fuentes de agua registrada en el estado de Morelos.*

La distancia a vías terrestres pavimentadas es otro factor de gran relevancia, donde la mayor parte de los registros se localizó a menos de 500 m de la red estatal de carreteras, y prácticamente el total de estos a menos de 1,500 m. Este resultado hace referencia a la importancia de vías de comunicación para el desarrollo del sector debido a la necesidad del movimiento de insumos y productos hacia y desde las granjas ornamentales a los centros de distribución.



*Figura 18. Distribución de registros de granjas ornamentales en relación con la distancia a vías terrestres pavimentadas registrada en estado de Morelos.*

El índice de marginación presenta una distribución normal, donde la mayoría de los registros de las granjas ornamentales se localiza en zonas con un índice de marginación entre .0.8 y -0.6. No obstante, es importante comentar que este indicador se calculó por municipio, por lo que todos los registros del municipio de Ayala (182) que representan más de la mitad de las granjas poseen el mismo dato. En caso de no considerar, los datos de este municipio, se puede observar que la variable no presenta un factor limitante para el desarrollo del sector, estando presentes unidades de producción en diferentes valores del índice de marginación.

El PIB per cápita (variable económica) disponible al momento presenta una distribución similar al índice de marginación, ya que los datos económicos únicamente existen por municipio. Su distribución, muestra cierta frecuencia de registros, prácticamente en todos los valores registrados para el estado de Morelos, por lo que es posible determinar que no es una variable de relevancia y por lo tanto puede ser descartada.

## **ANÁLISIS DE PRESIÓN TERRITORIAL PARA EL DESARROLLO DEL SECTOR ACUÍCOLA ORNAMENTAL EN EL ESTADO DE MORELOS**

A partir del análisis de las variables ambientales, territoriales y socioeconómicas para el desarrollo del sector de granjas ornamentales en Morelos fue posible identificar la gran importancia de las variables de temperatura, pendiente, distancia a fuentes de agua y vías terrestres de comunicación y determinarlas como las de mayor relevancia para determinar las áreas bajo mayor interés sectorial acuícola ornamental en el estado de Morelos. El mapa presenta una alta coincidencia con el análisis de presión, validando el resultado obtenido a partir del análisis multicriterio, en general más del 95% de las granjas se localizan en áreas identificadas con una alta o muy alta presión (Figura 19). Algunas unidades de producción localizadas en la zona central de Tlaquiltenango, justo en los límites de la Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla, se ubican en zonas de presión moderada, dada la distancia a fuentes de agua y de vías de comunicación terrestres.

Las áreas con características adecuadas que podrían ser sujetas al desarrollo de granjas acuícolas si la tendencia de crecimiento del sector se mantiene al alza se distribuyen en la zona de influencia de los principales escurrimientos del estado (Figura 19). Actualmente en las subcuencas de los ríos Yautepec y Cuautla se concentra esta actividad, zonas que el análisis de presión indica como de alto interés para el desarrollo del sector. Otras zonas como en la subcuenca del Río Tembembe, actualmente existen pocas granjas, sin embargo, existen valores altos de presión a lo largo de todo el lecho del río, gracias al conjunto de características adecuadas para el desarrollo del sector. Así mismo las microcuencas del Río Agua Salada y el Río Santa María, tributarios de los ríos Yautepec y Cuautla respectivamente representan potencialmente otros espacios de interés para el sector. Si bien en estas zonas actualmente se tiene presencia del sector acuícola ornamental, este se limita a pocas unidades de producción, sin embargo, podrían estar sujetas a un crecimiento importante aumentando la vulnerabilidad de los ambientales naturales.



## **INDICADOR DE RIESGO POTENCIAL**

Las unidades de producción que presentan valores altos (145) y muy altos (53), representan casi dos terceras partes de granjas ornamentales con riesgo de escape o invasibilidad, mientras que 97 granjas (29%) presentan un riesgo moderado y tan solo 38 bajo. Las granjas con riesgo muy alto de escape o invasibilidad se distribuyen en los municipios de Ayala, Coatlán de Río, Cuautla, Jojutla, Temixco, Tetecala, Tlaltizapan de Zapata, Xochitepec y Zacatepec y en las subcuencas de los Ríos Chalma, Apatlaco, Cuautla y Yautepec, lo que manifiesta una alta vulnerabilidad de los sistemas acuáticos morelenses, dado que las unidades de muy alto riesgo se distribuyen prácticamente en todo el territorio estatal (Figura 20). No obstante, la mayoría de las unidades de muy alto riesgo se concentran en la subcuenca del Río Cuautla y en el municipio de Ayala, donde se concentra la actividad. Así mismo cabe mencionar que las unidades con riesgo bajo y moderado se localizan en 4 municipios al suroriente del estado (Jonacatepec, Tlaquiltenango, Tepalcingo, y al sur Jojutla).

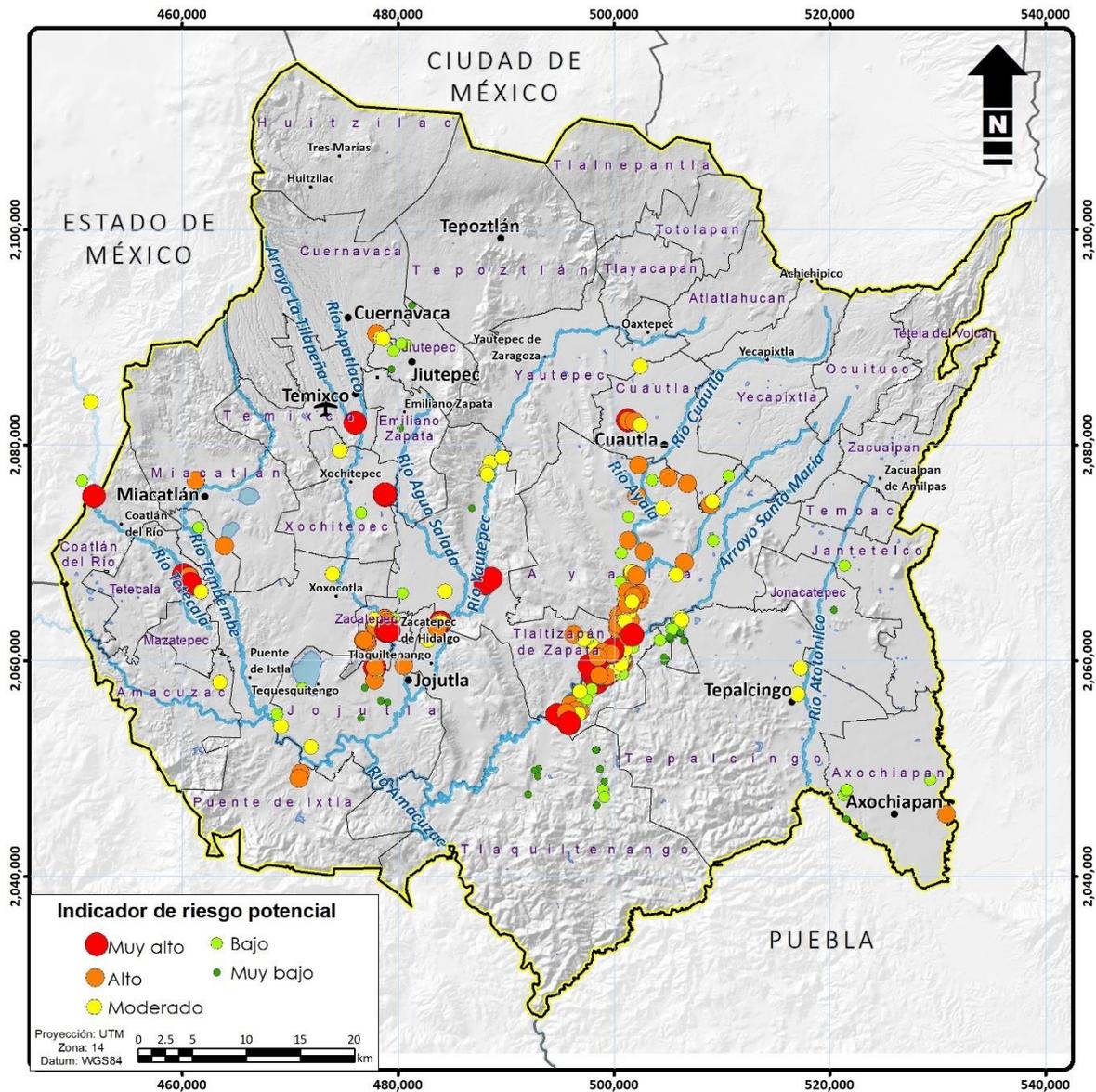


Figura 20. Valor de riesgo de las granjas ornamentales por municipio del estado de Morelos, 2017.

La combinación de las variables seleccionadas permite identificar el valor de riesgo de escape e invasión por unidad ornamental. Sin embargo, la presencia de un mayor número de granjas por municipio genera un mayor riesgo acumulado de escape. Es decir, en aquellos municipios donde existe una mayor concentración de unidades de producción, el riesgo de escape o invasibilidad aumenta. Este riesgo acumulado se calculó a partir de la adición de los valores de riesgo las unidades de producción de cada municipio, y permite determinar el riesgo acumulado que depende de la mayor abundancia de puntos

de riesgo (unidades acuícolas ornamentales) por área de análisis (municipios). Los municipios con mayor número de unidades ornamentales tienen un riesgo acumulado más alto. Aunque el valor promedio de riesgo de escape por unidad en Ayala (0.41) es considerablemente menor que en otros municipios como Temixco (0.64), Tetecala, Zacatepec o Coatlán del Río (0.51), la presencia de un mayor número de granjas provoca que el riesgo acumulado sea considerablemente más elevado, alcanzando un valor de 77.64, mientras que los municipios de Tlaltizapán con 14.74 y Zacatepec con 9.69 son los sucesivos.

El valor máximo de riesgo por municipio se encuentra en las granjas con mayor riesgo de escape en los municipios de Zacatepec (0.65), Temixco (0.64) y Tlaltizapán (0.59). Los municipios de Tlaquiltenango y Tepalcingo, a pesar de tener más de 10 granjas cada uno, su valor de riesgo acumulado es muy bajo, dado que el valor promedio de sus unidades es de apenas 0.22 (Tabla 9). Al asignar el valor acumulado a cada municipio y proyectarlo espacialmente es posible observar que la zona con mayor riesgo se localiza en la porción central y sur del territorio estatal (Figura 21), particularmente en las cuencas medias y bajas de los ríos Yautepec y Cuautla, en los municipios de Ayala, Tlaltizapán y Zacatepec y en menor grado en Tlaquiltenango y Jojutla.

Tabla 9. Valor de riesgo de las granjas ornamentales por municipio del estado de Morelos, 2017.

Municipio	Granjas (n)	Valor de riesgo			
		Acumulado	Mínimo	Máximo	Promedio
Ayala	189	<b>77.644</b>	0.213	0.570	0.411
Tlaltizapán de Zapata	31	<b>14.744</b>	0.338	0.592	0.476
Zacatepec	19	9.694	0.343	0.654	0.510
Jojutla	15	6.014	0.251	0.536	0.401
Tlaquiltenango	14	4.122	0.249	0.466	0.294
Tetecala	7	3.597	0.431	0.587	0.514
Jiutepec	9	3.369	0.300	0.459	0.374
Tepalcingo	10	2.964	0.221	0.388	0.296
Axochiapan	7	2.296	0.260	0.471	0.328
Cuautla	5	2.234	0.338	0.536	0.447
Xochitepec	4	1.905	0.369	0.562	0.476
Puente de Ixtla	4	1.699	0.334	0.471	0.425
Mazatepec	3	1.087	0.337	0.394	0.362
Temixco	<b>1</b>	<b>0.639</b>	0.639	<b>0.639</b>	<b>0.639</b>
Coatlán del Río	1	0.506	0.506	0.506	0.506
Yautepec	1	0.421	0.421	0.421	0.421
Amacuzac	1	0.413	0.413	0.413	0.413
Miacatlán	1	0.410	0.410	0.410	0.410
Jantetelco	1	0.354	0.354	0.354	0.354
Emiliano Zapata	1	0.345	0.345	0.345	0.345
Jonacatepec	1	0.291	0.291	0.291	0.291

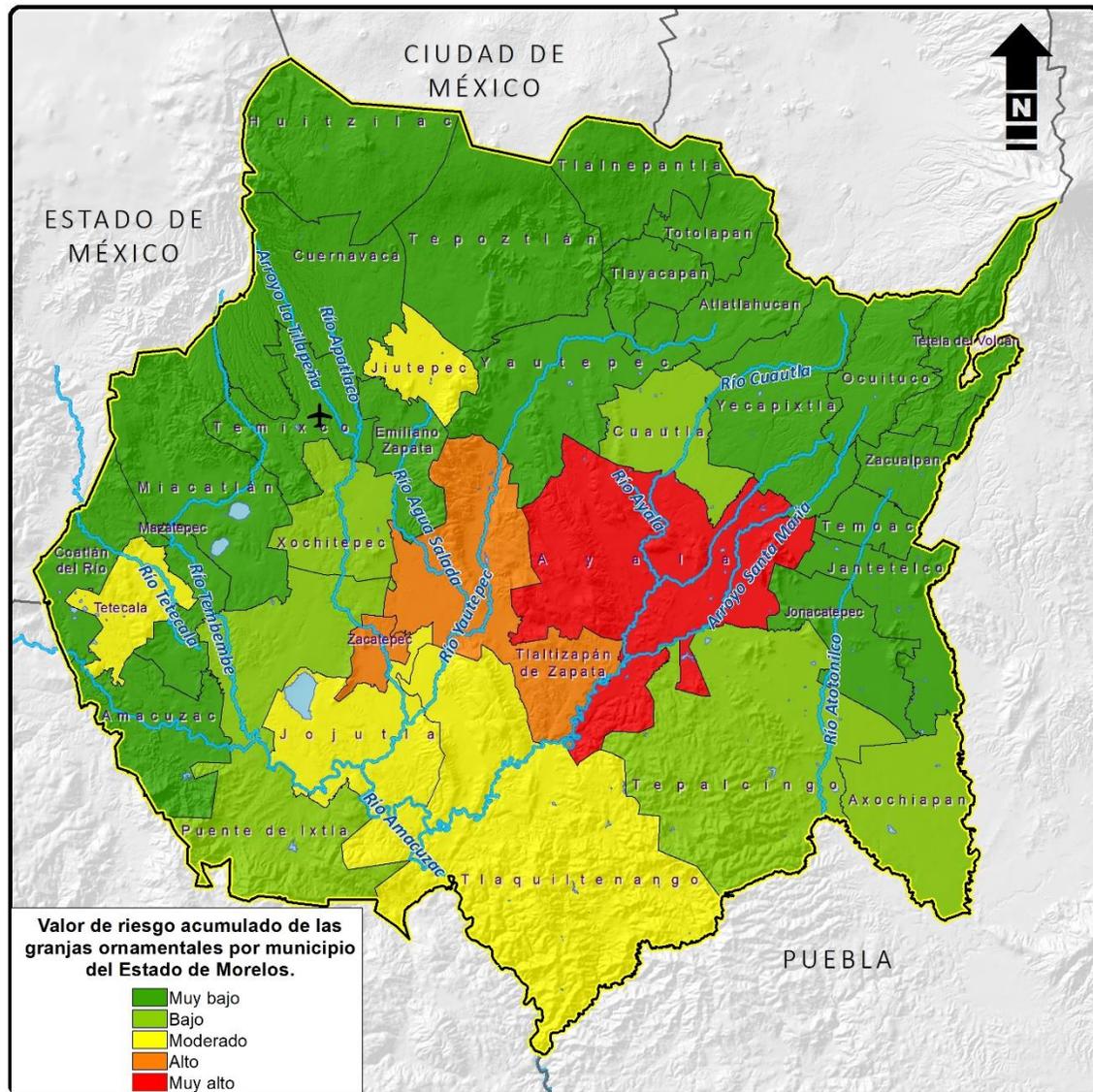


Figura 21. Valor de riesgo acumulado de las granjas ornamentales por municipio del estado de Morelos, 2017.

El factor de riesgo para cada una de las unidades de producción se obtuvo a partir de los valores de los pesos ponderados, el nivel de incertidumbre y el valor de respuesta de las diferentes variables seleccionadas. Un ejemplo es la unidad 304, la cual fue una de las clasificadas como de muy alto riesgo, resultado de las diferentes variables utilizadas. En la Tabla 10 se presenta el valor de riesgo por variable considerando el nivel de incertidumbre y valor de respuesta para esta granja.

Tabla 10. Asignación de valor a las variables del indicador de riesgo de escape e invasibilidad de las granjas ornamentales en el estado de Morelos, 2017.

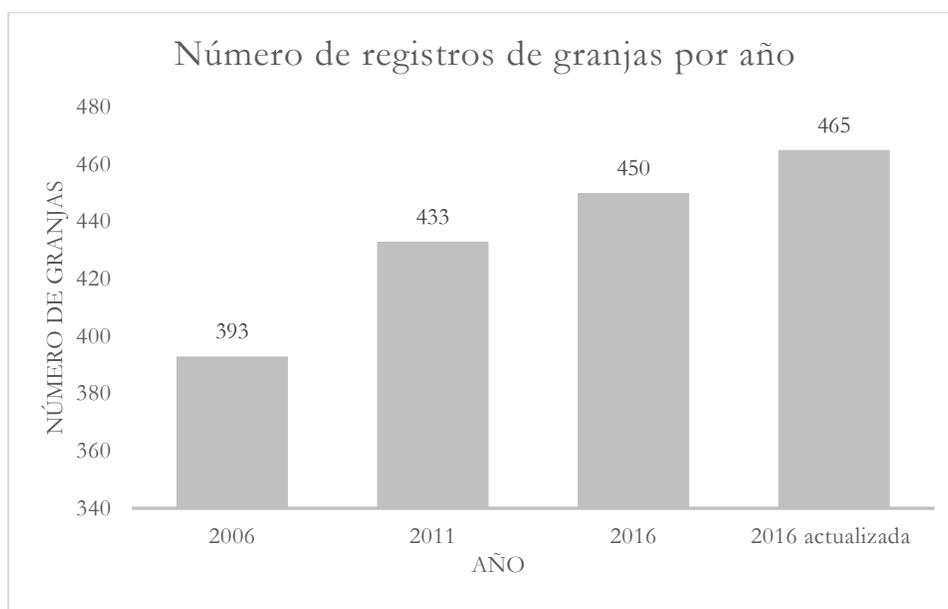
Granja con identificador 304, con alto riesgo de escape				
Variable	Valor RIE	Nivel de incertidumbre		Valor de respuesta
Distancia a cuerpo de agua	19.96	Mínima	1	1
Riesgo de Inundación	18.30	Baja	1	1
Precipitación	14.08	Mínima	1	0.75
Sismicidad	10.17	Baja	1	1
Pendiente	9.14	Mínima	1	0.25
propágulo	6.42	Máxima	0	1
Especies potencialmente invasoras	4.90	Baja	0.5	1
Tipo de ambiente acuático	4.35	Mínima	1	1
Calidad h2o	3.99	Baja	1	1
Diversidad del sistema acuático	2.59	Media	1	1
Heterogeneidad del hábitat	2.59	Media	0.5	0.75
Materiales de construcción	1.58	Alta	0.75	0.25
Condiciones del estanque	1.10	Alta	0.75	0.25
Asociación	0.84	Mínima	1	1
Total	100			

El riesgo de escape e invasibilidad muy alto de la granja 304 se debe a que se localiza a una distancia de menos de 100 m del río Apatlaco, está ubicada en una zona de riesgo muy alto de inundación y sismicidad; con una precipitación de moderada a alta (800-900 mm/año), lo que aumenta la probabilidad de derrame de los 11 estanques rústicos que se observan en la imagen satelital.

La granja 304 se localiza dentro de la subcuenca del río Apatlaco, que presenta una alta heterogeneidad de hábitats, lo que aumenta la facilidad de establecimiento para las especies invasoras, y presenta una diversidad de especies moderada, por lo que existen nichos que potencialmente aún pueden ser ocupados por nuevas especies. El riesgo aumenta debido a la producción de especies identificadas como potencialmente invasoras cerca del río Apatlaco el cual atraviesa el municipio de Zacatepec y pasa por la cabecera municipal es utilizado para riego agrícola además de recibir las aguas residuales domésticas y las del ingenio Emiliano Zapata, esto incide directamente en el riesgo de escape e invasibilidad, dado que a menudo las especies invasoras presentan mayor resistencia a estas condiciones de los cuerpos de agua.

## ANÁLISIS DEL DESARROLLO ACUÍCOLA ORNAMENTAL EN LOS ÚLTIMOS 10 AÑOS.

El desarrollo del sector acuícola ornamental en Morelos ha mantenido una tendencia de crecimiento sostenido en los últimos 10 años. Los registros de unidades acuícolas ornamentales van de 393 granjas en 2006 a 450 en 2016, de acuerdo a datos reportados por la CESAEM, de las cuales 318 se reportó que son ornamentales. El dato del año 2011 es el número de granjas reportado por la Secretaria de Desarrollo Agropecuario, el cual mantiene congruencia con la tendencia al alza del sector en el territorio estatal.



*Figura 22. Número de registros de granjas por año. Fuente: Comité Estatal de Sanidad Acuícola del Estado de Morelos AC. (CESAEM) 2016 y la Secretaria de Desarrollo Agropecuario 2011.*

De acuerdo con los datos reportados por el CESAEM se reporta un crecimiento del 14.5 % entre los años 2006 y 2016 como se observa en la Figura 22. No obstante, de acuerdo al análisis desarrollado a partir de imágenes satelitales actuales, el crecimiento del número de granjas asciende a un 18%.

## DISCUSIÓN

México, como signatario de instrumentos internacionales con alguna aplicación respecto a las especies invasoras, debe acatar las responsabilidades inherentes a la materia. El artículo 8h del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), establece que las partes contratantes deberán “impedir la introducción, controlar o erradicar las especies exóticas que amenacen a ecosistemas, hábitats o especies”. Asimismo, México cuenta con representación en los paneles del Grupo de Trabajo de Especies Acuáticas Nocivas de Estados Unidos (ANSTF), instancia encargada de prevenir y controlar introducciones de dichas especies a la región (Comité Asesor Nacional sobre Especies Invasoras., 2010), dentro de este contexto, la presente propuesta de evaluación de riesgo potencial de las unidades de producción del sector acuícola ornamental podría ser una herramienta importante para mitigar los efectos negativos inherentes al sector relacionados con las especies invasoras.

Los resultados del presente trabajo de investigación, hacen posible constatar que un gran porcentaje de unidades de producción, para el estado de Morelos presentan un alto o muy alto riesgo de escape o invasibilidad, dado por su localización espacial, las especies producidas, la infraestructura instalada o la vulnerabilidad de los ambientes acuáticos ubicados en sus áreas de influencia; riesgo que no había sido considerado dado que la mayoría de los análisis de riesgo se basan en el análisis de las especies y no en los procesos de producción.

Es necesario concentrar esfuerzos en acciones preventivas que integren consideraciones con respecto a los mecanismos de producción, la infraestructura adecuada y la una distribución espacial adecuada de las granjas, así como de las especies utilizadas por el sector acuícola ornamental tanto en Morelos como en el resto del territorio nacional. La falta de una reglamentación particular para la acuicultura ornamental y el alto riesgo aumentan la vulnerabilidad de los sistemas acuáticos morelenses, donde actualmente se observan los impactos derivados de la invasión y establecimiento de diversas especies

exóticas con origen en la acuicultura ornamental (Contreras-MacBeath, T., H Mejía M. y R. Carrillo W, 1998, Contreras-MacBeath, T., M.T. Gaspar-Dillanes, L. Huidobro-Campos y H. Mejía-Mojica. 2014). Si bien la Ley Federal de Sanidad Animal prevé de manera extensa los aspectos conceptuales y operativos relacionados con el monitoreo y vigilancia, la detección temprana, la respuesta rápida y las acciones de control y erradicación de EEI, sus disposiciones aplican para todas las especies animales en el territorio nacional, pero algunas de las medidas que prevé pueden no ser adecuadas para la fauna silvestre ya que se elaboró pensando en ganado (Ortiz Monasterio, A., 2014), caso de las especies producidas en el sector acuícola ornamental.

El sector ha mantenido un crecimiento sostenido en la última década aumentando entre 2006 y 2016 un 18%, lo que constituye un aumento total de 72 unidades de producción, sin embargo, Ramírez *et al.* (2010) manifiesta un crecimiento sostenido del 14 al 20% de la producción estatal cada año, lo que sugiere que además del aumento del número de granjas ornamentales, la producción promedio de estas también se encuentra en crecimiento. Esta tendencia se espera siga en el futuro, por lo que la ubicación de las granjas que representan un mayor riesgo permite instrumentar medidas que prevengan escapes o liberaciones hacia los ecosistemas. Si bien el sector ornamental constituye una fuente de empleo y una derrama económica muy importante en el estado, también es cierto que existen varios estudios que demuestran el daño causado por las especies exóticas que producen en las unidades ornamentales, por lo que se deberán establecer medidas que orienten la adecuada ubicación e infraestructura mínima que deben considerar los sitios de producción para disminuir el riesgo de escape.

El análisis además nos muestra que hay muchos huecos en las bases de datos que contienen la información de las granjas, lo que dificulta un diagnóstico preciso particularmente para los datos del propágulo por granja o las especies producidas. De hecho, continuamente se introducen nuevas especies para su producción de acuerdo a la demanda del mercado, muchas de las cuales podrían ser especies exóticas invasoras. La

capacidad de identificar especies potencialmente invasoras, además de contribuir a establecer medidas regulatorias para evitar su entrada durante las importaciones, contribuye al uso eficaz de los recursos destinados para lidiar con especies exóticas ya establecidas, particularmente aquéllas que están en etapas tempranas de invasión (Kolar 2004), por lo que la generación de una base de datos constantemente actualizada que integre datos por granja acuícola ornamental referentes a su propágulo y las especies producidas, podría representar un instrumento clave para la prevención de la invasión de especies hacia los sistemas acuáticos.

Aún existen diversas áreas del estado con alto potencial para el desarrollo del sector, las cuales aún no se encuentran siendo utilizadas para la producción acuícola ornamental, por lo que la consideración de los riesgos potenciales que representa el crecimiento del sector hacia nuevas subcuencas y microcuencas debe considerarse con la finalidad de establecer las reglamentaciones adecuadas para prevenir los escapes o liberaciones hacia nuevos ecosistemas acuáticos.

La aplicación de medidas preventivas constituye el método de control más adecuado para el manejo de especies invasoras. De tal forma que el uso de herramientas como la presente propuesta del indicador de riesgo potencial de escape e invasibilidad para las unidades de producción, u otros mecanismos como el Análisis de Riesgos y Puntos Críticos de Control (HACCP), para el manejo de riesgo de especies invasoras (Aguirre-Muñoz *et al.*, 2009), debe tener un carácter obligatorio.

Los resultados podrían aportar elementos para los tomadores de decisiones, que faciliten la instrumentación de acciones diferenciadas para cada región o municipio donde el sector presenta incidencia. En el municipio de Ayala una estrategia podría consistir en un monitoreo y vigilancia continua de los sistemas acuáticos y las granjas, debido a su alta abundancia que incide en el riesgo acumulado; mientras que, en otros municipios con pocas unidades de producción y alto riesgo de escape, es posible que se deba promover

su reubicación, o la instalación de mecanismos de prevención más eficientes con la finalidad de evitar escapes.

La regulación del uso de especies exóticas potencialmente invasoras en el sector acuícola ornamental, dentro de las políticas productivas, tendría fuertes reacciones por parte del sector, cuyos intereses se verían afectados. Sin embargo, se debe comenzar la armonización considerando experiencias recientes que han demostrado que las especies invasoras no sólo causan graves daños al medio ambiente natural, sino que además afectan las pesquerías locales y dañan los sistemas acuáticos; por lo que sus impactos pueden significar elevados costos, tanto por el daño directo como por el gasto invertido para su control y erradicación.

## CONCLUSIONES

Existe un riesgo muy alto de escapes e invasiones por parte de especies no nativas hacia los sistemas naturales de Morelos, dado que el 15% de las unidades de producción evaluadas presentan un riesgo muy alto y otro 44% alto. La invasión por especies no nativas a los sistemas naturales representa una de las principales causas de la pérdida de biodiversidad por lo que resulta prioritario incidir con estrategias y acciones que prevengan la liberación de especies exóticas potencialmente invasoras a los cuerpos de agua de Morelos. La magnitud real del problema se desconoce, dado que las instancias responsables carecen de una base de datos completa y actualizada de las unidades de producción, que integre un listado de las especies producidas, el número propágulo de producción. La falta de una reglamentación para la producción de especies ícticas ornamentales constituye una de las problemáticas más importantes, dado que, para reducir los riesgos relacionados con la actividad, deberán reglamentarse diversos factores clave, como: los sitios adecuados para la instalación de las unidades de producción, la infraestructura mínima para la prevención de escapes, las especies susceptibles de ser producidas en zonas con alto riesgo de escape o invasibilidad, entre otras.

La atención a este sector y la problemática ambiental que genera debe priorizarse, antes de que este se desarrolle aún más y colonizando nuevos territorios. Aunque la actividad se concentra principalmente en la subcuenca del Río Cuautla en el municipio de Ayala, existen otras regiones con alto potencial para su desarrollo, como es la subcuenca del río Tembembe que podría ser susceptible a nuevos impactos derivados de la invasión y establecimiento de especies exóticas.

Resulta prioritario regular de manera inmediata las unidades de producción con muy alto riesgo de invasión, propiciando su clausura o limitando sus actividades hacia especies nativas de la región. Mientras que para las unidades con alto riesgo se debería considerar como requerimiento obligatorio la incorporación de infraestructura diseñada para la

prevención de escapes, además de la elaboración de planes ante contingencia, inundaciones, sismos o el escape de organismos.

El análisis de riesgo enfocado a las unidades de producción es un análisis complementario a los tradicionales análisis de riesgo basados en la evaluación de cada especie, que podría adicionar herramientas para la toma de decisiones sobre la adecuada gestión de este sector y su distribución sobre el territorio.

## REFERENCIAS

Aguilar B. S., 1990. Dimensiones ecológicas del estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos. CRIM-UNAM.

Aguirre-Muñoz, A. y Mendoza-Alfaro R., 2009. Especies exóticas invasoras: impactos sobre las poblaciones de flora y fauna, los procesos ecológicos y la economía, en *Capital Natural de México*, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO, México. 277-318 p.

Andersen, J. N., Del Vecchio, R. L., Kannan, N., Gergel, J., Neuwald, A. F. y Tonks, N. K., 2004. Computational analysis of protein tyrosine phosphatases: practical guide to bioinformatics and data resources. *Methods*. 35(1): 90-114.

Arthur, J. R., 2008. General principles of the risk analysis process and its application to aquaculture, en M. G. BondadReantaso, J. R. Arthur y R. P. Subasinghe (eds.). *Understanding and applying risk analysis in aquaculture*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical paper 519. Rome, FAO. 3-8.

Byers, E.J. & E.G. Noonburg, 2003. Scale dependent effects of biotic resistance to biological invasion. *Ecology* 84: 1428-1433.

Blackburn, T., P. Pysek, S. Bacher, J.T. Carlton, R.P. Duncan, V. Jarsosik, J.R.U. Wilson y D.M. Richardson, 2011. A proposed unified framework for biological invasions. *Trends in Ecology and Evolution* 26: 333-339.

Bomford, M., 2008. Risk assessment models for the establishment of exotic vertebrates in Australia and New Zealand. Invasive Animals Cooperative Research Centre, Canberra.

Clavero M. y García-Berthou E., 2005. Invasive species are a leading cause of animal extinctions. *Trends Ecol Evol* 20:110

Comité Asesor Nacional sobre Especies Invasoras, 2010. Estrategia nacional sobre especies invasoras en México, prevención, control y erradicación. Comisión Nacional

para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Protegidas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.

CONABIO, 2014. Quinto Informe Nacional de México ante el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.

CONABIO, 2018. Sistema de información sobre especies invasoras en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

CONAPESCA, 2015. Boletín pesquero y Acuícola, abril 2015, Comisión Nacional de Pesca, México.

Contreras-Balderas, S., G. Ruiz-Campos, J.J. Schmitter-Soto, E. Díaz-Pardo, T. Contreras-McBeath, M. Medina-Soto, L. Zambrano-González, A. Varela-Romero, R. Mendoza-Alfaro, C. Ramírez-Martínez, M.A. Leija-Tristán, P. Almada-Villela, D.A. Hendrickson y J. Lyons, 2008. Freshwater fishes and water status in México: A country-wide appraisal. *Aquat. Ecosyst. Health* 11: 246-256.

Contreras L. y MacBeath T., 1995. Ecosistemas acuáticos del Estado de Morelos con énfasis en los peces, en *Ciencia y Desarrollo XXI*. 42-51.

Contreras-MacBeath, T., 1991. Zebras in Mexiko. *Die Aquarinen und terrarinen Datz*.44(5):305-307.

Contreras-MacBeath, T., 1996. Peces nativos versus peces introducidos. *Tópicos selectos de biología I*. Monroy, R., S. Santillán y H. Colín (Eds.). SEP-FOMES. 134-145 p.

Contreras-MacBeath, T., H. Mejía-Mojica y R. Carrillo-Wilson. 1998. Negative impact on the aquatic ecosystems of the state of Morelos, México, from introduced aquarium and other commercial fish. *Aqua. Sci. Conserv.* 2: 67-78.

Contreras-MacBeath, T., M.T. Gaspar-Dillanes, L. Huidobro-Campos y H. Mejía-Mojica, 2014. Peces invasores en el centro de México, en R. Mendoza y P. Koleff (coords.), Especies acuáticas invasoras en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, pp. 413-424

CONAGUA, 2016. Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua en México.

Courtenay, W. R. Jr., 1995. The case for caution with fish introductions. Am. Fish. Soc. Symp. 15:413-424.

Copp, G.H., K. Wesley y L. Vilizzi, 2005. Pathways of ornamental and aquarium fish introductions into urban ponds of Epping Forest (London, England): The human vector. J.Appl. Ichtyol. 21:263-274.

Courtenay, W.R. Jr., 1995. The case for caution with fish introductions. Am. Fish. Soc. Symp. 15:413-424.

Cucherousset J, Olden JD., 2011. Ecological impacts of nonnative freshwater fishes. Fisheries 36:215–230

Daehler, C.C., y D.A. Carino, 2000. Predicting invasive plants: prospect for a general screening system based on current regional models. Biological Invasions 2: 93-102.

Elton, C.S., 1958. The ecology of invasions by plants and animals. Methuen, Londres.

FAO, 2016. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2016. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos. Roma. 224 p.

García-Berthou, E., Almeida, D., Benejam, L., Magellan, K., Bae, M.-J., Casals, F., Merciai, R., 2015. Impacto ecológico de los peces continentales introducidos en la península ibérica. Ecosistemas 24(1): 36-42.

Golubov J., M.C. Mandujano, S. Guerrero-Eloisa, R. Mendoza, P. Koleff, A.I. Gonzalez, Y. Barrios y G. Born-Schmidt, 2014. Análisis multicriterio para ponderar el riesgo de las

especies invasoras, en R. Mendoza y P. Koleff (coords.). Especies acuáticas invasoras en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 123-133 p.

González Pedrero, J., 1978. La acuicultura en México - Reseña Nacional. En: Actas del Simposio sobre Acuicultura en América Latina. FAO. Informes de Pesca, No 159, Volumen 3: 143 p.

Guzmán A. F., S. J. Barragán, 1997. Presencia de bagres sudamericanos (Osteichthyes: Loricariidae) en el río Mezcala, Guerrero, México. Vertebrata Mexicana 3: 1-4.

Hopkins, C.C.E., 2001. Actual and potential effects of introduced marine organisms in Norwegian waters, including Svalbard. Research report 2001-1. Directorate for Nature Management, Oslo.

Huerta Valdés, A.J. y Castañera Castillo. A., 1982. Descripción de la fauna íctica del estado de Morelos, México. Escuela de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Tesis de Licenciatura. 53 p.

IDRISI Selva, 2009. Escuela de Geografía en Clark University.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática), 2008. Morelos. Información Geográfica. Regiones y cuencas hidrológicas. <http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/mor/rh.cfm>.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática), 2010. Superficie de la República Mexicana por Estados. México.

INP (Instituto Nacional de Pesca), 1978. Estado de la acuicultura en México. En: Actas del Simposio sobre Acuicultura en América Latina. FAO. Informes de Pesca, (159) 3: 143 p.

IUCN (Invasive Species Specialist Group), 2000. IUCN guidelines for the prevention of biodiversity loss caused by alien invasive species. [en línea]. IUCN (Invasive Species Specialist Group)». Auckland. [Consulta: 04-09-2011].

Khairul Adha A. Rahim<sup>1</sup>, Yuzine Esa y Aziz Arshad, 2013. The Influence of Alien Fish Species on Native Fish Community Structure in Malaysian Waters. *Science* 7-1, 81-93, 2013.

Kolar, C., y D.M. Lodge, 2002. Ecological predictions and risk assessment for saline fishes in North America. *Science* 298: 1233-1236.

Kolar, C., 2004. Risk assessment and screening for potentially invasive fishes. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 38: 391-397.

Koop, A.L., L.P. Folwer, L.P Newton y B.P. Caton, 2011. Development and validation of a weed screening tool for the United States. *Biological Invasions* 14: 273-294.

Lasso, D. R., 2000. Introduced species as a factor in extinction and endangerment of native fish species. Workshop: Management, implications, and co-occurring native and introduced fishes proceedings, Portland, 27-28.

Lassuy, D.R., 2000. Introduced species as a factor in extinction and endangerment of native fish species. Workshop: Management, implications, and co-occurring native and introduced fishes proceedings, Portland. 27-28 p.

Lockwood, J.L., P. Cassey & T.M. Blackburn, 2009. The more you introduce the more you get: the role of colonization pressure and propagule pressure in invasión ecology. *Divers. Distrib.* 15: 904-910.

Luna-Figueroa, J. y Figueroa, T.J., 1999. La mojarra criolla de la subcuenca del río Amacuzac. *Especies, México.* 5: 25-27.

Luna-Figueroa, 2006. Bagre de Balsas y Mojarra Criolla. Desplazamiento de hábitat de especies nativas. *Hypatia* (20), Morelos, México.

Martínez, D., S. Marañón, Cárdenas, B. A., 2004 Análisis retrospectivo de la piscicultura de ornato en el estado de Morelos, *Sociedades rurales, producción y medio ambiente*. Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Xochimilco. Vol.5. (8):69-75.

Martínez, D., S. Marañón y Malpica, A., 2006. Transición del sector agrícola hacia la acuicultura en el estado de Morelos. Análisis de caso: el cultivo del langostino en la granja ejidal “El Jicarero”. *Sociedades rurales, producción y medio ambiente*. Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Xochimilco, México DF, México. 6 (12): 39-66.

Marañón H., Martínez E., y Cárdenas B., 2004. Análisis retrospectivo de la piscicultura de ornato en el estado de Morelos, *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 5(8): 69-75.

Martínez Castro, A. y Ramírez Herrera, M., 2016. “Catálogo de peces ornamentales producidos en Morelos con capacidad de ser Especies Exóticas Invasoras (EEI)” elaborado dentro del proyecto GEF 00089333 “Aumentar las capacidades de México para manejar especies exóticas invasoras a través de la implementación de la Estrategia Nacional de Especies Invasoras”. Morelos, México.

Maya Peña. E. S. Marañón Herrera y Sánchez Caracheo, N.I., 2006. Análisis de un ciclo de producción en una granja familiar productora de poecílicos en el estado de Morelos. *Sociedades rurales, producción y medio ambiente*. Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Xochimilco, México DF, México. 6 (12): 67-82.

Mark, A.D., 2009. *Invasion Biology*. Oxford, Nueva York, EE. UU.

Meador, M., L. Brown y B. Short, 2003. Relations between introduced fish and environmental conditions at large geographic scales. *Ecol. Indic.* 3:81-92.

Mejía-Mojica, H., F. Rodríguez Romero y E. Díaz-Pardo, 2012. Recurrencia histórica de peces invasores en la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, México. *Rev. Biol. Trop.* 60(2):1-13.

Mendoza-Alfaro, R., S. Contreras-Balderas, C. Ramírez-Martínez, P. Koleff, P. Álvarez y V. Aguilar, 2007. Los peces diablo: especies invasoras de alto impacto. *Biodiversitas* 70:1-5.

Mendoza-Alfaro, R., Luna, S., Álvarez González, L. y Maciel de la Garza, R., 2017. Desarrollo de una propuesta técnica entre productores para minimizar el riesgo de dispersión de Especies Exóticas Invasoras (EEI) en el sector acuícola del estado de Morelos. 416.

Mendoza-Alfaro, R., C. Ramírez-Martínez, S. Contreras-Balderas, P. Koleff y P. Álvarez Torres, 2009. Aquarium trade as a pathway for the introduction of invasive species into México. En Prensa.

Mendoza-Alfaro, R., C. Ramírez-Martínez, S. Contreras-Balderas, P. Koleff y P. Álvarez Torres, 2009a. Aquarium trade as a pathway for the introduction of invasive species into Mexico. Ch. 8, en F. De Carlo y A. Bassano (eds.), *Aquaculture: Types, economic impacts, and environmental impacts*. Nova Science Publishers, Nueva York. 209-224 p.

Mendoza-Alfaro, R., J.P. Fisher, W. Courtenay, C. Ramírez-Martínez, C. Escalera, P. Álvarez-Torres, A. Orbe-Mendoza, P. Koleff y S. Contreras-Balderas, 2009b. Armored Catfish (Loricariidae). *Trinational Risk Assessment*, en *Trinational Risk Assessment Guidelines for Aquatic Alien Invasive Species*. CEC Project Report. Commission for Environmental Cooperation, Montreal. 25-37 p.

Mendoza, R., C. Ramírez-Martínez, C. Aguilera y M.E. Meave del Castillo, 2014. Principales vías de introducción de las especies exóticas, en R. Mendoza y P. Koleff (coords.), *Especies acuáticas invasoras en México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 43-73 p.

Pheloung, P.C., P.A. Williams y S.R. Halloy, 1999. A weed risk assessment model for use as a biosecurity tool evaluating plant introductions. *Journal of Environmental Management* 57: 239-251.

Ortiz Monasterio, A., 2014. Gestión de las especies exóticas invasoras: análisis de la legislación mexicana, en R. Mendoza y P. Koleff (coords.), *Especies acuáticas invasoras en México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, pp. 169-184.

Oswald, U., 2003. Condicionantes socioambientales del agua en Morelos. En: *El recurso agua en el Alto Balsas*. Úrsula Oswald Spring (ed.). Instituto de Geofísica. UNAM, México DF, México. 563 p.

Ramírez-Martínez, C. y R. Mendoza-Alfaro, 2008. El acuarismo como vector de especies acuáticas invasivas en México, en *Capital Natural de México*, vol. 3: Políticas públicas y perspectivas de sustentabilidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 207 p.

Ramírez-Martínez, C., R. Mendoza-Alfaro y C. Aguilera-González, 2010. Estado actual y perspectivas de la producción y comercialización de peces de ornato de agua dulce en México. Universidad Autónoma de Nuevo León – Instituto Nacional de Pesca.

Ricciardi, A. & R. Kipp, 2008. Predicting the number of ecologically harmful exotic species in an aquatic system. *Divers. Distrib.* 14: 374-380.

Saaty, Thomas, 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. Ed. McGrawHill.

Saaty, T.L., 2012. *Decision making for leaders. The analytic hierarchy process for decisions in a complex world*. University of Pittsburgh, PA, USA.

Sánchez, C. M., Caro, C.I, Martínez, P.E., Reyes M.I., Mendoza, A.A., 1993. Desarrollo de una granja de producción de peces de ornato. Centro de Investigaciones de Quintana Roo. Chetumal, Quintana Roo, México. 29 p.

SEMARNAT, 2005. Informe de la situación del medio ambiente en México. Sistema de Información Ambiental y de Recursos Naturales. PNUD-SEMARNAT, México.

SEPESCA (Secretaría de Pesca), 1988. La Acuicultura del estado de Morelos. Dirección General de Acuicultura. Reporte técnico. 13 p.

Simberloff Daniel, Martin Jean-Louis, Genovesi Piero, Maris Virginie, Wardle David A., Aronson James, Courchamp Franck, Galil Bella, García Berthou Emili, Pascal Michel, Pyšek Petr, Sousa Ronaldo, Tabacchi Eric y Vilà, 2013. Montserrat Impacts of biological invasions: what's what and the way forward. *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 28 (1). 58-66. ISSN 1872-8383.

Strahler, A. N., 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In Chow, V.T. (ed.) *Handbook of Applied Hydrology*, McGraw-Hill, New York. 439-476 p.

Tarkan AS, Marr SM, Ekmekçi FG., 2015 Non-native and translocated freshwater fish species in Turkey. *FiSHMED Fishes in Mediterranean Environments* 2015.003: 28p.

Taylor, J. N., Courtenay, W. R., McCann, J. A., 1984. Known impacts of exotic fishes in the continental United States, end W.R. Courtenay Jr. y J.R. Stauffer Jr. (eds.), *Distribution, biology, and management of exotics fishes*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore.

Tricarico, E., L.Vilizzi, F. Gherardi y G.H. Copp, 2010. Calibration of FI-ISK, and invasiveness screening tool for non-native freshwater invertebrates. *Risk Analysis* 30: 285-292.

Vitule JRS, Freire CA, Simberloff D., 2009. Introduction of nonnative freshwater fish can certainly be bad. *Fish Fisheries* 10:98–108.

Welcomme, R., 1992. A history of international introductions of inland aquatic species ICES. *Mar. Sci. Sympos.*194:3-14.

<http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/2012/Paginas/2015B162.aspx>.

<http://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/LIBROS/2010-Ramirez-Estado-peces-de-ornato>.

<http://www.biodiversidad.gob.mx/especies/Invasoras/gef/pdf/1.2-2-plan-trabajo-concientizacion-acuacultores>.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



CENTRO DE  
INVESTIGACIONES  
BIOLÓGICAS  
UAEM

**CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS**  
COORDINACIÓN DE POSGRADO

Maestría en Manejo de Recursos Naturales

Cuernavaca, Mor., 15 de noviembre de 2018.

DR. RUBÉN CASTRO FRANCO  
COORDINADOR DE POSGRADO  
DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS  
PRESENTE

Por este medio informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis intitulado: **ANÁLISIS GEOGRÁFICO Y TENDENCIAS DE LAS UNIDADES PISCÍCOLAS ORNAMENTALES EN MORELOS**, que presenta el **BIOL.MARLEM BRITO RODRÍGUEZ**, mismo que constituye un requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES, lo encuentro satisfactorio por lo que emito mi VOTO DE APROBACIÓN para que la alumna continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento, quedo de usted.

Atentamente  
**Por una humanidad culta**  
*Una universidad de excelencia*

**DR. HUMBERTO MEJÍA MOJICA**  
Catedrático de posgrado del  
Centro de Investigaciones Biológicas



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



CENTRO DE  
INVESTIGACIONES  
BIOLÓGICAS  
UAEM

**CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS**  
COORDINACIÓN DE POSGRADO

Maestría en Manejo de Recursos Naturales

Cuernavaca, Mor., 15 de noviembre de 2018.

DR. RUBÉN CASTRO FRANCO  
COORDINADOR DE POSGRADO  
DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS  
PRESENTE

Por este medio informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis intitulado: **ANÁLISIS GEOGRÁFICO Y TENDENCIAS DE LAS UNIDADES PISCÍCOLAS ORNAMENTALES EN MORELOS**, que presenta la **BIOL. MARLEM BRITO RODRÍGUEZ** y que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. HUMBERTO MEJÍA MOJICA**, mismo que constituye un requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES, lo encuentro satisfactorio por lo que emito mi VOTO DE APROBACIÓN para que la alumna continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento, quedo de usted.

Atentamente  
**Por una humanidad culta**  
*Una universidad de excelencia*

**DRA. ELSAH ARCE URIBE**  
Catedrática de posgrado del  
Centro de Investigaciones Biológicas



**CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS**  
COORDINACIÓN DE POSGRADO

Maestría en Manejo de Recursos Naturales

Cuernavaca, Mor., 15 de noviembre de 2018.

DR. RUBÉN CASTRO FRANCO  
COORDINADOR DE POSGRADO  
DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS  
PRESENTE

Por este medio informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis intitulado: **ANÁLISIS GEOGRÁFICO Y TENDENCIAS DE LAS UNIDADES PISCÍCOLAS ORNAMENTALES EN MORELOS**, que presenta la BIOL. **MARLEM BRITO RODRÍGUEZ** y que fue desarrollado bajo la dirección del DR. **HUMBERTO MEJÍA MOJICA** y en co-dirección del DR. **VALENTINO SORANI DALBON** mismo que constituye un requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES, lo encuentro satisfactorio por lo que emito mi VOTO DE APROBACIÓN para que la alumna continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento, quedo de usted.

Atentamente  
*Por una humanidad culta*  
*Una universidad de excelencia*

**DR. EINAR TOPILTZIN CONTRERAS MACBEATH**  
Catedrático del posgrado del  
Centro de Investigaciones Biológicas



**CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS**  
COORDINACIÓN DE POSGRADO

Maestría en Manejo de Recursos Naturales



Cuernavaca, Mor., 15 de noviembre de 2018.

DR. RUBÉN CASTRO FRANCO  
COORDINADOR DE POSGRADO  
DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS  
PRESENTE

Por este medio informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis intitulado: **ANÁLISIS GEOGRÁFICO Y TENDENCIAS DE LAS UNIDADES PISCÍCOLAS ORNAMENTALES EN MORELOS**, que presenta la BIOL. MARLEM BRITO RODRÍGUEZ y que fue desarrollado bajo la dirección del DR. HUMBERTO MEJÍA MOJICA y co-dirección del DR. VALENTINO SORANI DALBON, mismo que constituye un requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES, lo encuentro satisfactorio por lo que emito mi VOTO DE APROBACIÓN para que la alumna continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento, quedo de usted.

Atentamente  
Por una humanidad culta  
Una universidad de excelencia

M. EN M. N. R. MARÍA ERIKA PAREDES LIRA  
Catedrática de posgrado del  
Centro de Investigaciones Biológicas



**CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS**  
**COORDINACIÓN DE POSGRADO**

Maestría en Manejo de Recursos Naturales



Cuernavaca, Mor., 15 de noviembre de 2018.

**DR. RUBÉN CASTRO FRANCO**  
**COORDINADOR DE POSGRADO**  
**DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS**  
**PRESENTE**

Por este medio informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis intitulado: **ANÁLISIS GEOGRÁFICO Y TENDENCIAS DE LAS UNIDADES PISCÍCOLAS ORNAMENTALES EN MORELOS**, que presenta la **BIOL. MARLEM BRITO RODRÍGUEZ** y que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. HUMBERTO MEJÍA MOJICA** y co-dirección del **DR. VALENTINO SORANI DALBON**, mismo que constituye un requisito parcial para obtener el grado de **MAESTRO EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES**, lo encuentro satisfactorio por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que la alumna continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento, quedo de usted.



Atentamente  
**Por una humanidad culta**  
*Una universidad de excelencia*



**DR. JAIME RAÚL BONILLA BARBOSA**  
Catedrático de posgrado del  
Centro de Investigaciones Biológicas