

Proyecto GEF-EEI_ Servicios de consultoría para desarrollar una propuesta técnica entre los productores para minimizar el riesgo de dispersión de Especies Exóticas Invasoras (EEI) en el sector acuícola del estado de Morelos.



“Servicios de consultoría para desarrollar una propuesta técnica entre los productores para minimizar el riesgo de dispersión de Especies Exóticas Invasoras (EEI) en el sector acuícola del estado de Morelos”

ROBERTO EDUARDO MENDOZA ALFARO

15 de Junio, 2017

“Las opiniones, análisis y recomendaciones de política incluidas en este informe no reflejan necesariamente el punto de vista del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, como tampoco de su junta ejecutiva ni de sus estados miembros.”

Título: Servicios de consultoría para desarrollar una propuesta técnica entre los productores para minimizar el riesgo de dispersión de Especies Exóticas Invasoras (EEI) en el sector acuícola del estado de Morelos.

Objetivo: Desarrollar una propuesta técnica entre los productores para minimizar el riesgo de dispersión de Especies Exóticas Invasoras (EEI) en el sector acuícola del estado de Morelos.

Autores: Roberto Eduardo Mendoza Alfaro, Sergio Luna, Lizeth Álvarez González y Rogelio Maciel de la Garza

Modo de citar el informe: PNUD México (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) 2017. Desarrollo de una propuesta técnica entre los productores para minimizar el riesgo de dispersión de Especies Exóticas Invasoras (EEI) en el sector acuícola del estado de Morelos. Mendoza Alfaro, R., S. Luna, L. Álvarez González y R. Maciel de la Garza. 326 p.

Área objeto del informe: Estado de Morelos

Fecha de inicio: 22 de Junio, 2016

Fecha de terminación del informe: 15 de Junio, 2017

Resumen: Se llevaron a cabo 139 evaluaciones de riesgo sobre los peces ornamentales que se cultivan en Morelos y se realizaron los modelos de nicho ecológico correspondientes para evaluar su similitud climática. Adicionalmente, se realizó un análisis sobre una base de datos de 50 granjas del Estado de Morelos para disponer de datos de la ubicación de las granjas, su infraestructura, bioseguridad, enfermedades, presión del propágulo y el conocimiento sobre especies exóticas por parte de los operadores. El análisis reveló que la mayoría de las granjas tenían pobres medidas de bioseguridad y se consideraron dichas carencias para elaborar una propuesta que aborda el desarrollo de un plan de bioseguridad, un plan HACCP, así como un plan de contingencia, medidas cuarentenarias, medidas estructurales contra riesgo de inundaciones, medidas a adoptar en caso de escape, incluyendo detección temprana, monitoreo, respuesta rápida y diferentes artes de pesca para captura y venenos para erradicación, técnicas de tratamiento de efluentes y utilización de sedimentos, sistemas de recirculación cerrados y sistemas basados en acuaponia, utilización de poblaciones monosexuales, estériles o especies nativas como medidas alternativas, observaciones al marco legal y propuesta de organización en unidades de manejo acuícola. Se incluye finalmente una propuesta económica basada en una estimación de costos para una UPA con medidas indispensables de bioseguridad basada en la producción de peces ornamentales y hortalizas por medio de acuaponia. Además, se incluyen diversos anexos sobre análisis de riesgo específicos. La propuesta objeto del presente contrato se apega al Objetivo Estratégico Número 1 de la Estrategia Nacional sobre Especies Invasoras en México que trata sobre la *“Prevención detección y reducción del riesgo de introducción, establecimiento y dispersión de especies invasoras”*. Y específicamente para la Meta 1.7 para el 2020 sobre las *“Medidas de bioseguridad y sanitarias instrumentadas permanentemente en la introducción, manejo y uso de especies exóticas invasoras”*.

ÍNDICE

Contenido

| | |
|--|----|
| ROBERTO EDUARDO MENDOZA ALFARO | 1 |
| 15 de Junio, 2017 | 1 |
| Autores: Roberto Eduardo Mendoza Alfaro, Sergio Luna, Lizeth Álvarez González y Rogelio Maciel de la Garza | 2 |
| Fecha de terminación del informe: 15 de Junio, 2017 | 2 |
| I. INTRODUCCIÓN | 6 |
| II. OBJETIVOS | 8 |
| Objetivo general | 8 |
| Objetivos específicos | 8 |
| III. ANTECEDENTES | 10 |
| Situación del acuarismo en el mundo | 10 |
| Estado actual de la acuicultura de peces de ornato en México | 12 |
| Producción Nacional | 14 |
| Estado actual de la producción de peces de ornato en Morelos | 15 |
| IV. MATERIAL Y MÉTODOS | 23 |
| 4.1 Riesgo individual y colectivo de las especies cultivadas | 24 |
| 4.1.1 Evaluación de Riesgo usando el MERI (Método de Evaluación Rápida de Invasividad) | 25 |
| 4.1.2 Modelo de nicho ecológico | 29 |
| 4.1.3 Herramienta de Identificación de Invasividad de Peces (Fish Invasiveness Scoring Kit) | 31 |
| 4.2 Ubicación | 32 |
| 4.3 Bioseguridad | 34 |
| 4.4 Infraestructura | 35 |
| 4.5 Factor humano | 36 |
| 4.6 Presión del propágulo | 36 |
| 4.7 Enfermedades causadas por patógenos y parásitos | 38 |
| 4.8 Índice Integrado de Riesgo | 40 |
| 4.9 Propuesta de bioseguridad | 41 |
| V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 43 |

| | |
|--|-----|
| 5.1 Especies cultivadas | 43 |
| 5.2 Ubicación | 50 |
| 5.3 Medidas de bioseguridad, infraestructura y factor humano | 50 |
| 5.4 Presión de propágulo..... | 56 |
| 5.5 Enfermedades y parásitos | 57 |
| 5.6 Índice Integrado de Bioseguridad..... | 57 |
| VI. PROPUESTA DE BIOSEGURIDAD | 69 |
| 6.1 Costos y beneficios de adoptar procedimientos de cuarentena y evitar la introducción de especies exóticas en el medio ambiente | 71 |
| 6.2 Guía para desarrollar un plan de bioseguridad | 77 |
| 6.2.1 Elaboración de un plan de bioseguridad para las operaciones acuícolas | 78 |
| 6.2.1.1 PASO 1: Establecer una línea de base del estado sanitario y el riesgo de enfermedades en la granja | 78 |
| 6.2.1.2 PASO 2: Desarrollar e implementar estrategias para minimizar los riesgos identificados | 81 |
| 6.2.1.3 PASO 3: Coordinar esfuerzos..... | 85 |
| 6.2.1.4 PASO 4: Desarrollo del Plan de Bioseguridad | 86 |
| 6.3 HACCP | 88 |
| 6.3.1 PASOS DE LA PLANEACIÓN HACCP | 90 |
| 6.4 Plan de Contingencia | 91 |
| 6.4.1 Antecedentes..... | 93 |
| 6.4.2 Escenarios de brotes de enfermedades | 94 |
| 6.4.3 Acciones de respuesta | 96 |
| 6.4.4 Planificación de Contingencia a nivel de granja | 97 |
| 6.4.5 Evaluación del riesgo / identificación de peligros | 98 |
| 6.4.6 Evaluación de la capacidad existente | 99 |
| 6.4.7 Costo-beneficios | 100 |
| 6.4.8 Desarrollo del Plan de Contingencia | 101 |
| 6.4.9 Identificación de estrategias de control de enfermedades | 102 |
| 6.4.10 Identificación de estrategias viables y rentables | 102 |
| 6.4.11 Identificación de los requerimientos de información | 103 |
| 6.4.12 Toma de decisiones y líneas de responsabilidad | 104 |
| 6.4.13 Comunicación | 105 |
| 6.4.14 Implementación..... | 106 |

| | |
|---|-----|
| 6.4.15 Documentar el plan de contingencia | 106 |
| 6.4.16 Prueba del plan de contingencia | 107 |
| 6.4.17 Evaluación..... | 107 |
| 6.4.18 Capacitación y sensibilización del personal..... | 107 |
| 6.5 Cuarentena | 108 |
| 6.5.1 Principios generales de cuarentena | 108 |
| 6.5.2 Periodo de cuarentena | 111 |
| 6.5.3 Instalaciones de cuarentena: Requerimientos generales | 111 |
| 6.5.4 Especificaciones de construcción y requerimientos de equipo | 112 |
| 6.6 Condiciones para el establecimiento de una operación acuícola con respecto a la cercanía de los cuerpos de agua naturales | 115 |
| 6.6.1 Acuerdos de manejo..... | 116 |
| 6.6.2 Inmunidad a las inundaciones | 116 |
| 6.6.3 Protección de desbordamiento (francobordo) | 118 |
| 6.6.4 Protección contra las escorrentías de las aguas pluviales | 119 |
| 6.6.5 Drenaje por medio de tuberías | 119 |
| 6.6.6 Aspectos específicos para el cultivo de especies exóticas | 121 |
| 6.7 Medidas a adoptar en caso de escape | 123 |
| 6.7.1 Detección temprana | 124 |
| 6.7.2 Monitoreo..... | 124 |
| 6.7.3 Respuesta Rápida | 126 |
| 6.8 Captura de peces que han escapado y erradicación de poblaciones | 129 |
| 6.8.1 Redes | 131 |
| 6.8.2 Trampas | 133 |
| 6.8.3 Electropesca | 133 |
| 6.8.4 Venenos | 134 |
| 6.8.5 Reducción del nivel del agua | 136 |
| 6.9 Tratamiento de efluentes | 136 |
| 6.9.1 Mejores Prácticas de Manejo (BMP, por sus siglas en inglés) | 137 |
| 6.9.2 Biotransformación | 138 |
| 6.9.2.1 Sedimentación | 139 |
| 6.9.2.2 Sistemas de biofiltración | 139 |
| 6.10 Utilización de sedimentos | 142 |

| | |
|--|-----|
| 6.10.1 Generación del Metano..... | 144 |
| 6.11 Sistemas de Recirculación Acuícola (RAS, por sus siglas en inglés)..... | 146 |
| 6.11.1 Ventajas de los sistemas RAS | 146 |
| 6.11.2 Problemas de bioseguridad y enfermedades en sistemas RAS | 149 |
| 6.11.2.1 Aspectos generales y enfoque de bioseguridad..... | 149 |
| 6.12 ACUAPONIA | 153 |
| 6.13 Certificación en la producción de peces de ornato..... | 155 |
| 6.13.1 Cultivo de peces de ornato basado en Mejores Prácticas de Manejo | 157 |
| 6.14 Producción de organismos estériles, poblaciones monosexuales y especies nativas de peces..... | 158 |
| 6.14.1 Triploidía..... | 158 |
| 6.14.2 Ginogénesis | 160 |
| 6.14.3 Poblaciones monosexuales | 160 |
| 6.14.4 Especies nativas..... | 162 |
| 6.15 Marco Legal | 163 |
| 6.16 Educación..... | 163 |
| 6.17 Unidades de Manejo Acuícola..... | 164 |
| 6.18 Estimación de costos para una UPA con medidas indispensables de bioseguridad | 164 |
| 6.18.1 Conceptos de inversión: | 167 |
| VII. REFERENCIAS | 170 |
| VIII. ANEXOS | 189 |
| ANEXO A | 189 |
| ANEXO B..... | 191 |
| ANEXO C..... | 241 |
| ANEXO D | 291 |
| ANEXO E..... | 301 |
| ANEXO F | 310 |
| ANEXO G | 317 |
| ANEXO H | 323 |

I. INTRODUCCIÓN

Se considera que las invasiones biológicas son actualmente uno de los factores de cambio más importantes en la generación de la crisis actual de biodiversidad por la que atraviesa el planeta, principalmente debido a las extinciones de especies nativas asociadas con la presencia de las primeras (Clavero y García-Berthou, 2005). En efecto, se ha atribuido a las especies exóticas la reducción de un importante número de especies en todo el mundo, sólo después de la pérdida del hábitat (Fausch *et al.*, 2001; Ruzycki *et al.*, 2003; Millenium Ecosystem Assessment, 2005). En el caso particular de los peces de Norteamérica se consideran una de las primeras causas de extinción (Miller *et al.*, 1989), así como de la extinción de 54% de la fauna acuática nativa mundial (Harrison y Stiassny, 2004).

En México, de las 506 especies de peces dulceacuícolas conocidas 204 se encuentran bajo alguna categoría de riesgo y 25 se consideran extintas (Mendoza y Koleff, 2014; CONABIO, 2014) y las principales causas de desaparición de estas especies, hasta donde se sabe, han sido la reducción o alteración de hábitat, el abatimiento de agua y la introducción de especies exóticas (Contreras-Balderas *et al.*, 2003). Esta amenaza ha venido creciendo de manera sostenida como se puede constatar por el número de especies exóticas que se incrementó de 55 en los 80s a 115 actualmente, para las cuales se tienen registros de que actualmente 67 ya se han establecido (Mendoza *et al.*, 2014). Dentro de este contexto, se tiene cada vez más conciencia de que los diversos mecanismos empleados para la introducción de especies exóticas en un ecosistema desempeñan un papel esencial en las invasiones biológicas (Ruiz y Carlton, 2003). De aquí, surge la necesidad imperiosa de tratar de controlar las vías de introducción, particularmente aquellas relacionadas con actividades en las que se comercializan grandes cantidades de organismos con potencial invasor, tales como la acuicultura y el acuarismo.

La producción de peces de ornato en el país y particularmente en el estado de Morelos, la entidad federativa en la que existen más granjas es sumamente importante como actividad productiva. De hecho, se ha estimado que la importancia de la industria del acuarismo en México no va a decrecer ya que se estima que la producción y comercialización nacional de peces de ornato produce ingresos de varios miles de millones de pesos al año, y genera más de 40,000 empleos directos. Lamentablemente, en la

medida en que esta industria continúe creciendo sin que se apliquen las regulaciones vigentes y se realicen las adecuaciones al marco normativo, aumentará la posibilidad de que se incrementen los impactos ecológicos derivados de estas actividades productivas, repercutiendo en la afectación de los ambientes naturales y la pérdida de especies, cuyo costo será a corto plazo mayor que los beneficios económicos que actualmente se generan. Por lo anterior, la modernización de los sistemas de cultivo y comercialización, así como la aplicación de medidas preventivas como la implementación de sistemas de bioseguridad ayudarán a disminuir sensiblemente los riesgos ecológicos que derivan de la industria del acuarismo en México.

II. OBJETIVOS

Objetivo general

- Desarrollo de una propuesta técnica para minimizar el riesgo de dispersión de peces ornamentales exóticos invasores dentro de la acuicultura ornamental del Estado de Morelos

Objetivos específicos

- Elaboración de análisis de riesgo de los peces ornamentales que se cultivan actualmente en las unidades de producción acuícola del Estado de Morelos mediante el uso de Método de Evaluación Rápida de Invasividad
- Modelización de nicho ecológico de las especies cultivadas para el estado de Morelos mediante el algoritmo *MaxEnt*
- Análisis de riesgo de especies con estatus intermedio mediante el FISK (*Fish Invasiveness Screening Kit*)
- Análisis del riesgo presentado por las granjas de producción con respecto al tipo de especies que manejan y su cercanía a cuerpos de agua e infraestructura
- Análisis de riesgo en función de la incidencia histórica de enfermedades que se han presentado en las distintas unidades de producción acuícola
- Revisión de prácticas de buen manejo y análisis de la infraestructura en términos de bioseguridad utilizada en comparación con los principales estándares internacionales
- Desarrollo de una propuesta técnica para incrementar la bioseguridad en las unidades de producción acuícola del Estado de Morelos

Proyecto GEF-EEI_ Servicios de consultoría para desarrollar una propuesta técnica entre los productores para minimizar el riesgo de dispersión de Especies Exóticas Invasoras (EEI) en el sector acuícola del estado de Morelos.

III. ANTECEDENTES

Situación del acuarismo en el mundo

Con el aumento de la población y por ende de acuarios domésticos en muchos países, los peces ornamentales juegan un papel importante en el comercio internacional, ofreciendo oportunidades de empleo a la población rural y como tales están considerados como fuente de divisas para muchos países en desarrollo. En efecto, el creciente interés en los peces de ornato ha incrementado el comercio que hasta hace poco tenía un valor de 8 mil millones de dólares. Por otra parte, la importancia de esta industria se refleja en su crecimiento con una tasa de 14% anual a nivel mundial (Padilla y Williams, 2004). Mientras que la industria entera incluyendo las plantas, los accesorios, el acuario, el alimento, los medicamentos, etc. se estima que vale más de US\$ 18-20 mil millones. Alrededor del 60-65% de los peces ornamentales fueron suministrados por los países en desarrollo y actualmente hay más de cien países involucrados en el comercio de peces ornamentales. A diferencia del cultivo de peces comestibles, en el cual un número relativamente pequeño de especies dominan el mercado, los peces ornamentales representan un enorme reservorio de especies potencialmente invasoras como resultado del continuo comercio mundial de aproximadamente 5,000 especies (McDowall, 2004; Tlusty, 2004) y cada vez más especies se están agregando a la lista como resultado del avance en las técnicas de reproducción y cría. A esta gran diversidad de especies y variedades de peces que a diario se comercializan y transportan a nivel mundial se debe añadir el mejoramiento de las técnicas de empaque y la rapidez de los medios de transporte utilizados, con lo que se ha incrementado el riesgo de que se establezcan especies acuáticas invasoras de regiones distantes, por lo que la industria del acuarismo puede llegar a representar un alto riesgo para los ambientes acuáticos en estado natural (Fuller *et al.*, 1999; Tlusty, 2002). Por otra parte, el riesgo de la liberación accidental de especies exóticas producidas localmente también se incrementa día a día ya que gran parte de la producción de peces ornamentales se realiza fuera de su área de distribución nativa (Tlusty, 2004). Lo anterior da como resultado una contaminación biológica (Elliott, 2003), causada por actividades estrechamente relacionadas con la acuicultura y el comercio de

especies ornamentales. Dentro de este contexto, las descargas de sólidos y efluentes de las granjas implican un doble riesgo, debido a que representan medios móviles de dispersión para especies que llegan a ser no deseadas (por bajo precio o enfermedad; Mendoza *et al.*, 2011). Como consecuencia de este comercio carente de control, actualmente el comercio del acuarismo ha sido identificado como uno de los riesgos ambientales más preocupantes al que son susceptibles los hábitats acuáticos y por ende la biodiversidad en general (Hopkins, 2001). Se espera que la proporción de especies invasoras introducidas por esta vía aumente en el futuro (Copp *et al.*, 2007; Wolter y Röhr, 2010; Ishikawa y Tachihara, 2014). Al menos 150 especies invasoras, de las cuales 115 son peces dulceacuícolas, han sido introducidas debido a esta actividad productiva (Padilla y Williams, 2004). En general, los peces de menor valor tienen mayor demanda que las especies de alto valor. Se ha estimado que cerca de 30 especies de agua dulce son las que dominan el mercado internacional, como guppies, platys, espadas, mollies, tetra neón, ángeles, goldfish, cebras, disco y barbos. Tan solo los guppies y los neones tetra representan más del 25% del mercado global en volumen y representan más del 14% en valor (Silas *et al.*, 2011). Desafortunadamente durante muchos años la acuicultura ornamental, tanto en México como en el mundo, se ha desarrollado significativamente sin tomar en cuenta la evaluación de los riesgos ecológicos, soslayándose las consecuencias negativas derivadas del movimiento de este enorme número de peces (Tlustý, 2004). Esto por supuesto se ha traducido en un incremento de la introducción de especies exóticas potencialmente invasoras en ambientes acuáticos (Burgiel *et al.*, 2006; Revenga *et al.*, 2006; Ramírez-Martínez y Mendoza-Alfaro, 2008). La industria del acuarismo puede llegar a representar un alto riesgo para los ambientes acuáticos debido al elevado número de especies que se cultivan. A este respecto, se ha calculado que anualmente se comercializan unos 1,500 millones de individuos (Ploeg, 2008) en 133 países importadores y 146 países exportadores (Huanqui-Canto, 2002). Al tratarse de una industria de “moda” también existe un continuo cambio de variedades de peces producidas, sin contar que en varios países su producción se realiza cerca de los cuerpos de agua dulce naturales (Copp

et al., 2005a). Adicionalmente, los peces de ornato y las especies utilizadas en sistemas acuícolas presentan el riesgo de ser vectores de parásitos y patógenos

Estado actual de la acuicultura de peces de ornato en México

En México el inicio de la piscicultura comenzó a partir del siglo XIX, en el año de 1883 cuando la Secretaría de Fomento autorizó la iniciativa para la construcción de un vivero de peces en el Estado de México llamado *Vivero Nacional Chimalapan*, en el que la producción de peces inició con un lote de 500 mil huevos de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) (Arredondo y Lozano, 1996; Torres-Orozco y Pérez-Hernández, 2009). A partir de ese momento el constante crecimiento de la población y la carencia de fuentes de trabajo, característica del México pre-revolucionario, impulsaron el aprovechamiento de los recursos acuáticos, que hasta ese momento sólo eran aprovechados parcialmente (González-Pedrero, 1978). Es así como se originó el uso de la acuicultura como una alternativa para la producción de alimento y para cubrir las necesidades de empleo en zonas con potencial acuícola. De esta manera surgió igualmente el acuarismo en México a mediados del siglo XIX, cuando se introdujeron los primeros peces ornamentales procedentes de Estados Unidos al país con la finalidad de complementar la producción de las especies nativas que se cultivaban, ya que se creía que las especies introducidas presentaban mejores características y por ende proporcionarían una mayor demanda en el mercado (Torres-Orozco, 1991; Ramírez-Martínez *et al.*, 2010). Fue en la década de los 50s cuando se crearon los primeros acuarios públicos y se abrió paso al surgimiento del acuarismo como tal en el país, y diez años después, se establecieron las primeras granjas comerciales de peces ornamentales (González-Pedrero, 1978; Pérez, 2007; Ramírez-Martínez *et al.*, 2010). El potencial de ganancias de esta industria y las técnicas relativamente simples que se emplean en el cultivo de estos peces ayudaron a la industria del acuarismo a evolucionar y proporcionar empleo rural, con el consiguiente incremento económico. De esta manera la industria se estableció y creció de manera sostenida hasta nuestros días, permitiendo que a lo largo de los años se observara un crecimiento de 8% anual (Mendoza *et al.*, 2010). Sin embargo, a pesar de la importancia y magnitud que

tienen la producción, importación y comercialización de peces de ornato de agua dulce en México, hasta ahora las instituciones encargadas de promover y regular estas actividades productivas les han brindado poca atención, contribuyendo así a que estas actividades comerciales se realicen de manera no sustentable. Consecuentemente la introducción y propagación de especies exóticas en ambientes acuáticos ha ocurrido con mayor frecuencia y peligrosidad (Ramírez-Martínez *et al.*, 2010). La única medida existente para atacar este problema ha sido la aproximación normativa (leyes e inspecciones). Sin embargo, esta aproximación no ha podido controlar o evitar las introducciones ya que la aplicación de la ley en un país tan grande y con tan poco personal hace que las inspecciones y el monitoreo sean mínimos o casi inexistentes. Esto ha sido motivo de preocupación debido al registro de especies exóticas introducidas en diversos cuerpos de agua próximos a las granjas de cultivo (Mejía-Mojica *et al.*, 2012; 2015). Otro caso de preocupación en México ha sido la introducción de parásitos y patógenos en ambientes naturales ubicados en diferentes cuencas, como la del Río Balsas (Scholz y Salgado-Maldonado, 2000; Jiménez-García *et al.*, 2001; Salgado-Maldonado *et al.*, 2001a), las de los ríos Lerma y Santiago (Salgado-Maldonado *et al.*, 2001b) y la del Río Pánuco (Salgado-Maldonado *et al.*, 2004). Adicionalmente a la introducción de especies exóticas existe el riesgo potencial del movimiento accidental o intencional de especies nativas en el país, ya que varias han sido sembradas en sistemas abiertos más allá de su área de dispersión natural o se han escapado, lo que las convierte en especies trasladadas que potencialmente pueden generar impactos (Contreras-Balderas *et al.*, 2008). Lamentablemente, la carencia de medidas de bioseguridad durante la producción ha ocasionado que los escapes sean comunes y consecuentemente existen reportes de especies de peces ornamentales establecidas en 9 de las 10 provincias acuáticas dulceacuícolas del país (Mendoza *et al.*, 2010). Un ejemplo de lo anterior es el caso de los peces diablo (Loricariidae) liberados en alto Balsas de donde se fueron acopiando al bajo Balsas, específicamente en la presa Infiernillo, en Michoacán en donde causaron diversos impactos negativos a gran escala. Uno de estos impactos concierne a la pesquería de Tilapia en esta presa, la que una vez que llegó a su nivel máximo sostenible sufrió la

invasión de los loricáridos con la consecuente pérdida del 80% de la misma. Este porcentaje se tradujo en un monto de aproximadamente 36 millones de pesos anuales, afectando a la población y dejando sin empleo alrededor de 3,600 pescadores (Mendoza *et al.*, 2007; Amador del-Ángel y Wakida-Kusunoki, 2014).

De aquí, que desde hace varios años se haya insistido en que se lleve a cabo el cultivo de peces ornamentales de una manera sustentable y con las medidas necesarias para prevenir la aparición de especies invasoras (Rojas y Mendoza, 2000).

Producción Nacional

La producción de peces de ornato en el país se ha venido incrementando en los últimos años. Así, mientras que en 1994 se reportaba una producción anual de 2 millones de peces, para el 2007 se estimaba que la producción nacional anual era de aproximadamente 23 millones de individuos, considerando la existencia de 254 granjas y una producción promedio de 90,000 individuos, equivalente a \$80.5 millones de pesos, a precio de mayoreo, y de \$805 millones a precio de menudeo aproximadamente y la generación de cerca de 1,270 empleos directos en el país (Ramírez *et al.*, 2010). Para el 2012 existían 450 unidades de producción establecidas en 23 entidades federativas, incluyendo 386 unidades de producción en la Ciudad de México (Rodríguez, 2016), y se produjeron entre 38 a 40 millones de organismos de más de 100 especies, con un valor total estimado de 160 millones de pesos (SAGARPA-CONAPESCA, 2012). En 2015 la SAGARPA indicó que el número de unidades productivas de peces de ornato se había incrementado a cerca de 700 unidades en todo el país con una producción estimada de 60 millones organismos por año, de aproximadamente 160 especies de peces producidas en 23 entidades del país con valor de \$4,500 millones de pesos.

No se puede tener una idea de los datos más recientes ya que desafortunadamente el Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca presenta las cifras del volumen de la producción pesquera de acuicultura en peso vivo. Cabe resaltar, que estos números, además de incluir la producción de peces de ornato, también engloban los diferentes productos de la acuicultura como son las mojarras, abulón, almeja, mejillón, rana y

langosta de agua dulce, entre otros, por lo que no es posible tener solo la cifra de la cantidad proveniente del cultivo de ornato. En la Tabla 1 se muestran las especies de peces ornamentales de mayor producción en México.

Tabla 1. Principales especies de peces ornamentales que se cultivan en México. Modificado de Ramírez-Martínez *et al.* (2010).

| Número | Nombre científico | Nombre común | Familia |
|--------|----------------------------------|---------------------|---------------|
| 1 | <i>Carassius auratus</i> | Carpa dorada | Cyprinidae |
| 2 | <i>Cyprinus carpio spp.</i> | Carpa koi | Cyprinidae |
| 3 | <i>Poecilia reticulata</i> | Guppy | Poeciliidae |
| 4 | <i>Poecilia latipinna</i> | Molly común | Poeciliidae |
| 5 | <i>Poecilia velifera</i> | Molly de velo | Poeciliidae |
| 6 | <i>Pterophyllum scalare</i> | Pez ángel | Cichlidae |
| 7 | <i>Trichogaster trichopterus</i> | Gurami | Anabatidae |
| 8 | <i>Xiphophorus maculatus</i> | Platy | Poeciliidae |
| 9 | <i>Danio rerio</i> | Danio cebra | Cyprinidae |
| 10 | <i>Xiphophorus maculatus</i> | Espada | Poeciliidae |
| 11 | <i>Gymnocorymbus ternetzi</i> | Monja | Characidae |
| 12 | <i>Pseudotropheus johanni</i> | Cíclido johani | Cichlidae |
| 13 | <i>Hyphessobrycon anisitsi</i> | Tetra | Characidae |
| 14 | <i>Protomelas fenestratus</i> | Cíclido fenestratus | Cichlidae |
| 15 | <i>Astronotus ocellatus</i> | Óscar | Cichlidae |
| 16 | <i>Puntius titteya</i> | Barbo cereza | Cyprinidae |
| 17 | <i>Trichogaster lalius</i> | Colisa | Osphronemidae |
| 18 | <i>Neolamprologus leleupi</i> | Cíclido limón | Cichlidae |
| 19 | <i>Hypostomus plecostomus</i> | Plecós | Loricariidae |
| 20 | <i>Betta splendens</i> | Betta | Anabatidae |

Estado actual de la producción de peces de ornato en Morelos

Morelos cuenta con una extensión de 4,879 km², que representa el 0.2% del territorio nacional (CONAPESCA, 2013). La ventaja del Estado es su localización geográfica, la cual le brinda las condiciones ambientales apropiadas para la producción de peces de climas tropicales, en especial para la piscicultura de ornato (Ramírez *et al.*, 2004). Una parte de esas condiciones que favorecen la acuicultura es la disponibilidad de fuentes de agua tanto superficiales como subterráneas (Aguilar, 1990). Otro aspecto que ha favorecido el desarrollo del cultivo de peces de ornato es la cercanía que tiene con la Ciudad de México, cuyo lugar es considerado como el centro más importante del país en consumo en materia de acuarismo (Sánchez *et al.*, 1993; Maya-Peña *et al.*, 2006).

El inicio de la acuicultura en el Estado de Morelos comenzó entre la década de los años setenta y ochenta en el centro de reproducción ubicado en Zacatepec, con la introducción de la especie *Cyprinus carpio* (carpa koi) y *Carassius auratus* (carpa dorada) (Rosas, 1982; Martínez *et al.*, 2004). Esta actividad surgió como una alternativa a la agricultura, y no fue hasta el transcurso del 2001 al 2002 en que la piscicultura de ornato alcanzó su pleno desarrollo (Martínez *et al.*, 2004), cuando los productores de las principales granjas acuícolas se dieron cuenta que el cultivo de peces de ornato era una actividad más rentable en comparación con la producción de peces destinados para la alimentación. Datos de la Asociación de Productores de Peces de Ornato del Estado de Morelos A.C.(APPOEM), indican que la producción estimada en 2001 fue de 9 millones de crías y en el 2002 fue de 14 millones de crías, mientras que la SAGARPA reportó una producción de 16,450,000 crías en el mismo año, lo que representó aproximadamente \$25,900,000 de pesos siendo el guppy (*Poecilia reticulata*) la especie más producida en el área, seguida por la carpa dorada (*Carassius auratus*) y mollies (*Poecilia sphenops*). Además, en este periodo aumentó el número de granjas que introdujeron variedades de cíclidos. Para el 2012 se registraron alrededor de 380 unidades producción, con una producción promedio de 80 mil peces de ornato por granja al año (Domínguez, 2012; Lugo-Barenque, 2012). Estas unidades acuícolas se distribuyen en 25 municipios de Morelos, siendo Ayala el primer lugar de los municipios en producción donde la comunidad que tiene más unidades de producción es Chinameca, con alrededor de 110 granjas; le siguen, en orden de

importancia, Tlaltizapán y Zacatepec, así como los productores de Jiutepec, Cuautla, Xochitepec, Jojutla y Emiliano Zapata. Estas cifras son cercanas a las obtenidas del Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2013 (CONAPESCA, 2013) para este año, en las que se indica que en Morelos se contaba con un total de 452 empresas pesqueras registradas, de las cuales 364 se dedicaba a la acuicultura y 88 a la comercialización (SAGARPA, 2013).

Un número más actualizado de las granjas acuícolas que operan en el Estado de Morelos fue dado mediante un comunicado de prensa de la Comisión de Pesca de la Cámara de Diputados en 2015 (Comisión de Pesca de la Cámara de Diputados, 2015), en el que se reportaban 508 unidades acuícolas, de las cuales 341 tienen una producción de 34.9 millones de organismos de peces de ornato y 167 unidades tienen una producción de 620 toneladas de tilapia. Al presente año, Morelos continúa posicionándose como el primer lugar en la producción de peces de ornato del país, con un volumen de 35 millones de ejemplares al año (Ortega, 2017), ocupando el 21 lugar a nivel nacional en cuanto al valor de producción pesquera y primer lugar en cultivo de peces de ornato (SAGARPA, 2013).

Como se puede apreciar de acuerdo a los datos anteriores se observan discrepancias en el número de unidades de producción, lo que sin duda es atribuible a que algunas de ellas no están plenamente registradas ante CONAPESCA. Las principales especies de ornato cultivadas en el Estado se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Especies de ornato cultivadas en Morelos (Inventario de especies acuícolas producidas, 2016).

| Nombre científico | Nombre común | Familia |
|---------------------------------|-------------------------|----------------|
| <i>Amphilophus citrinellus</i> | Rey midas | Cichlidae |
| <i>Aphyosemion australe</i> | Killi | Aplocheilidae |
| <i>Apistogramma viejita</i> | Cíclido viejita | Cichlidae |
| <i>Astronotus ocellatus</i> | Pez oscar | Cichlidae |
| <i>Betta splendens</i> | Pez beta, Pez peleador | Osphronemidae |
| <i>Brachygobius xanthozonus</i> | Pez gobio | Gobiidae |
| <i>Carassius auratus</i> | Pez japonés, Pez dorado | Cyprinidae |
| <i>Chindongo ater</i> | Cíclido acei | Cichlidae |
| <i>Copadichromis borleyi</i> | Cíclido malawi | Cichlidae |
| <i>Cyathopharynx furcifer</i> | Cíclido canario | Cichlidae |
| <i>Cyprinus carpio</i> | Carpa koi | Cyprinidae |
| <i>Cyrtocara moorii</i> | Ciclio delfin de malawi | Cichlidae |
| <i>Danio rerio</i> | Pez cebra | Cyprinidae |
| <i>Dermogenys pusilla</i> | Pez medio pico | Hemirhamphidae |

Proyecto GEF-EEI_ Servicios de consultoría para desarrollar una propuesta técnica entre los productores para minimizar el riesgo de dispersión de Especies Exóticas Invasoras (EEI) en el sector acuícola del estado de Morelos.

| | | |
|-------------------------------------|---------------------------------------|-----------------|
| <i>Epalzeorhynchus frenatus</i> | Pez tiburón arcoíris | Cyprinidae |
| <i>Gymnocorymbus ternetzi</i> | Pez monja | Characidae |
| <i>Hemichromis bimaculatus</i> | Cíclido joya | Cichlidae |
| <i>Herichthys cyanoguttatus</i> | Cíclido texano | Cichlidae |
| <i>Heros severus</i> | Cíclido durazno | Cichlidae |
| <i>Hyphessobrycon anisitsi</i> | Pez tetra buenos aires | Characidae |
| <i>Hyphessobrycon eques</i> | Tetra sangre, tetra rojo, tetra serpa | Characidae |
| <i>Hypostomus plecostomus</i> | Pleco, Pez diablo, limpia peceras | Loricaridae |
| <i>Labidochromis caeruleus</i> | Cíclido limón | Cichlidae |
| <i>Lepisosteus platostomus</i> | Pejelagarto | Lepisosteidae |
| <i>Marosatherina ladigesii</i> | Pez celebe | Telmatherina |
| <i>Maylandia estherae</i> | Cíclido cebra rojo | Cichlidae |
| <i>Maylandia lombardoi</i> | Cíclido kenya | Cichlidae |
| <i>Melanochromis auratus</i> | Cíclido caramelo | Cichlidae |
| <i>Moenkhausia sanctaefilomenae</i> | Pez ojo rojo | Characidae |
| <i>Myleus pacu</i> | Piraña pacú | Serrasalminidae |
| <i>Nimbochromis venustus</i> | Cíclido comando | Cichlidae |
| <i>Pangasianodon hypophthalmus</i> | Panga, Pangasio, Basa, Bagre asiático | Pangasidae |
| <i>Parachromis managuensis</i> | Cíclido jaguar | Cichlidae |
| <i>Pethia conchonius</i> | Barbo rosa | Cyprinidae |
| <i>Poecilia reticulata</i> | Guppy, Pez millon | Poeciliidae |
| <i>Poecilia sphenops</i> | Molly | Poeciliidae |
| <i>Pristella maxillaris</i> | Pristela | Characidae |
| <i>Pseudotropheus crabro</i> | Cíclido abeja | Cichlidae |
| <i>Pseudotropheus johanni</i> | Cíclido johanni | Cichlidae |
| <i>Pseudotropheus socofyi</i> | Cíclido copo de nieve | Cichlidae |
| <i>Pterophyllum scalare</i> | Pez ángel | Cichlidae |
| <i>Puntigrus partipentazona</i> | Pez sumatran, sumatran tigre | Cyprinidae |
| <i>Sciaenochromis fryeri</i> | Cíclido azul eléctrico | Cichlidae |
| <i>Thayeria boehlkei</i> | Tetra pingüino | Characidae |
| <i>Thorichthys meeki</i> | Boca de fuego | Cichlidae |
| <i>Tilapia buttikoferi</i> | Cíclido buticoferi | Cichlidae |
| <i>Trichogaster lalius</i> | Colisa | Osphronemidae |
| <i>Trichopodus trichopterus</i> | Pez gurami | Osphronemidae |
| <i>Xiphophorus hellerii</i> | Pez espada | Poeciliidae |
| <i>Xiphophorus maculatus</i> | Platy | Poeciliidae |
| <i>Xiphophorus variatus</i> | Espada | Poeciliidae |

En todas las entidades federativas del país el cultivo de peces ornamentales se realiza bajo los lineamientos del Sistema-Producto de peces de ornato. El Sistema-Producto se refiere al conjunto de elementos y agentes que conforman los procesos productivos

agropecuarios (SAGARPA, 2015). Las asociaciones principales que conforman el mercado de peces de ornato en el Estado de Morelos son la Asociación de Productores de Peces de Ornato del Estado de Morelos A.C., La Perla de Morelos A.C. y algunos productores libres. En el mercado de la piscicultura ornamental, el precio está en función de las especies, calidad y el mercado de venta (SAGARPA, 2013). En cuanto a los elementos de los sistemas, cada eslabón de la cadena tiene un insumo y tecnología específica. Los componentes del sistema van desde la reproducción de la especie hasta el consumidor, siendo éste el eslabón final (Fig. 1).

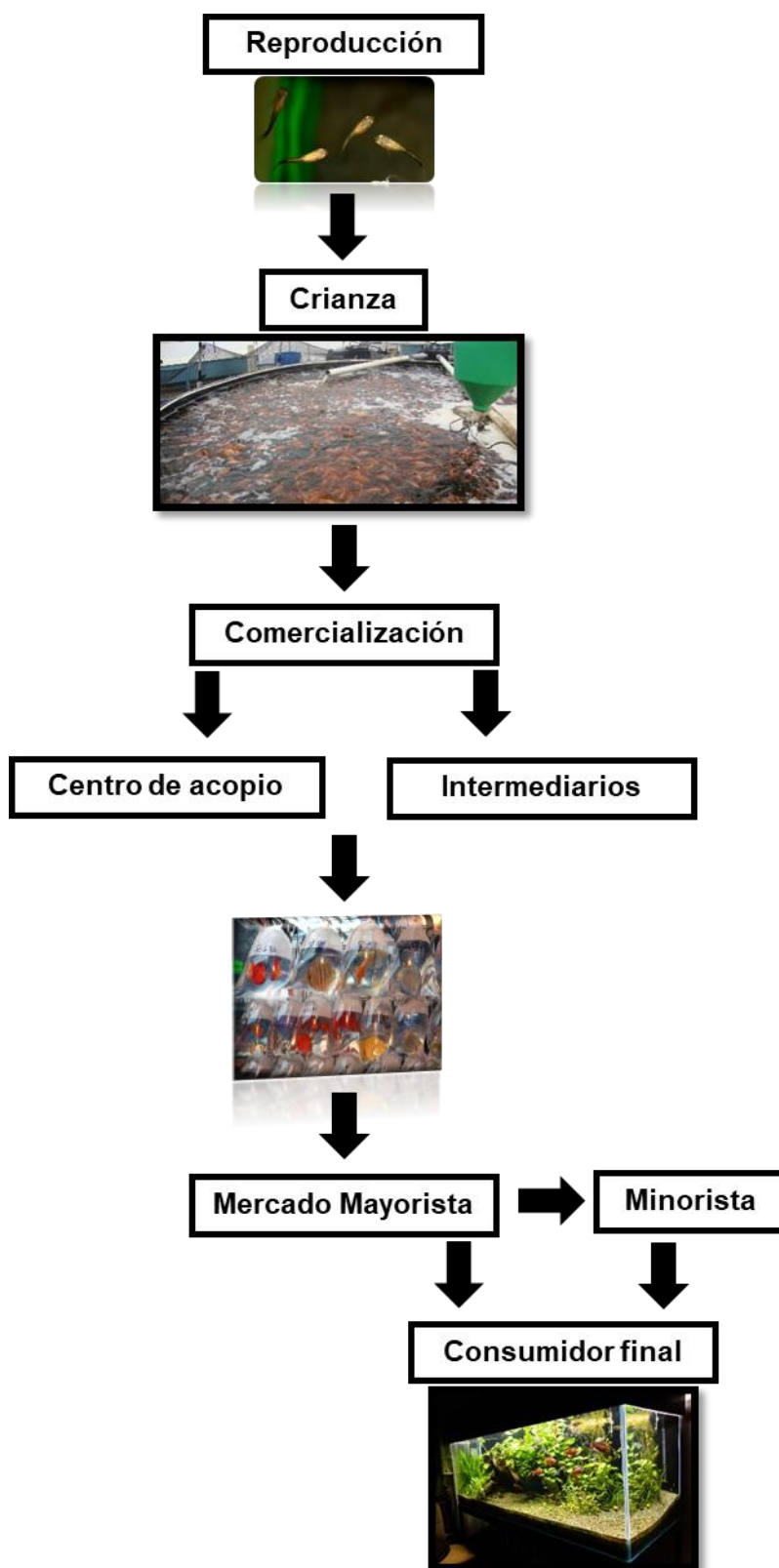


Figura 1. Esquema general de la cadena productiva de peces de ornato, eslabones y secuencia (Modificado del programa de desarrollo de capacidades, innovación tecnológico y extensionismo).

Considerando el panorama relacionado a la industria del acuarismo desde una visión general en México, y en particular del Estado de Morelos por ser el principal productor y el que mayor número de especies exóticas maneja en sus sistemas, emerge la necesidad de contar las medidas necesarias para que la producción se realice de manera sustentable. En efecto, tres aspectos fundamentales de la acuicultura sustentable son: evitar la liberación deliberada de especies exóticas, reducir la incidencia de escapes accidentales y privilegiar el cultivo de especies nativas (Azevedo-Santos *et al.*, 2015). Estos aspectos son fundamentales desde el punto de vista de la conservación de la biodiversidad, ya que la introducción continua de un gran número de organismos en diferentes etapas de desarrollo y de diferentes especies o variedades nativas o exóticas, o bien capturados en ambientes naturales, implica un gran riesgo de contaminación, diseminación y dispersión de microorganismos patógenos junto con los lotes trasladados (Negrete-Redondo y Romero-Jarero, 1998). Debido a que el cultivo de peces ornamentales es una actividad socioeconómica relevante en el Estado, es menester el desarrollo y aplicación de una propuesta de bioseguridad que oriente las técnicas de cultivo a la sustentabilidad, establezca el mejor tipo de confinamiento de las especies que se producen, y que contribuya a implementar medidas y control de enfermedades contagiosas y descarga de aguas residuales proveniente de las granjas. Esto con el propósito de dar solución al problema de la dispersión de las especies exóticas cultivadas e introducidas que puedan llegar a establecerse en los cuerpos de agua cercanos a las granjas y formar poblaciones que posteriormente puedan volverse invasoras y dañar ecológica, ambiental, social y económicamente a la zona. La implementación de una propuesta de bioseguridad para las granjas acuícolas asegurará que las comunidades podrán seguir sustentándose con base en un acuarismo ambientalmente responsable.

Por otra parte, la propuesta objeto del presente contrato se apega al Objetivo Estratégico Número 1 de la Estrategia Nacional sobre Especies Invasoras en México que trata sobre la *“Prevención, detección y reducción del riesgo de introducción, establecimiento y dispersión de especies invasoras”*. Y específicamente para la Meta 1.7 para el 2020 sobre las *“Medidas de bioseguridad y sanitarias instrumentadas permanentemente en la*

introducción, manejo y uso de especies exóticas invasoras” (Comité Asesor sobre Especies Invasoras, 2010) Tiene relación con uno de los temas clave identificados para la actualización de la Estrategia Nacional de Biodiversidad Mexicana *“Prevención, control y erradicación de especies invasoras”*. Es un objetivo estratégico para las metas de Aichi *“Para 2020, se habrán identificado y priorizado las especies exóticas invasoras y vías de introducción, se habrán controlado o erradicado las especies prioritarias y se habrán establecido medidas para gestionar las vías de introducción a fin de evitar su introducción y establecimiento”* (CONABIO, 2014). Además, es pertinente con uno de los ejes sustantivos de la Estrategia de Integración para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad del Sector Pesquero y Acuícola (2016 - 2022), que estipula que se deben *“Establecer acciones para el manejo y aprovechamiento óptimo de especies, sin deterioro del ecosistema y tomando en cuenta la protección de especies con régimen de protección especial”*. Y fortalece uno de los ejes de coordinación, específicamente aquel relativo a los instrumentos de planeación sectorial, en el que se indica la importancia de llevar a cabo *“Modificaciones en los sistemas de producción para evitar efectos adversos en la biodiversidad”*.

IV. MATERIAL Y MÉTODOS

Para la elaboración de la propuesta de bioseguridad se determinó el riesgo de dispersión de especies exóticas (peces, patógenos y parásitos) de las unidades de producción acuícola (UPA) utilizando como fundamento, pero no en su totalidad, una base de datos proporcionada por el CESAEM. Como complemento se utilizaron datos derivados de una encuesta (datos no mostrados) aplicada a 50 productores de peces de ornato del Estado de Morelos, seleccionados de manera aleatoria por el CESAEM en las siete diferentes subcuencas hidrológicas del estado con la finalidad de disponer de información sobre las especies cultivadas y las medidas de bioseguridad que están presentes en cada UPA (Fig. 2).

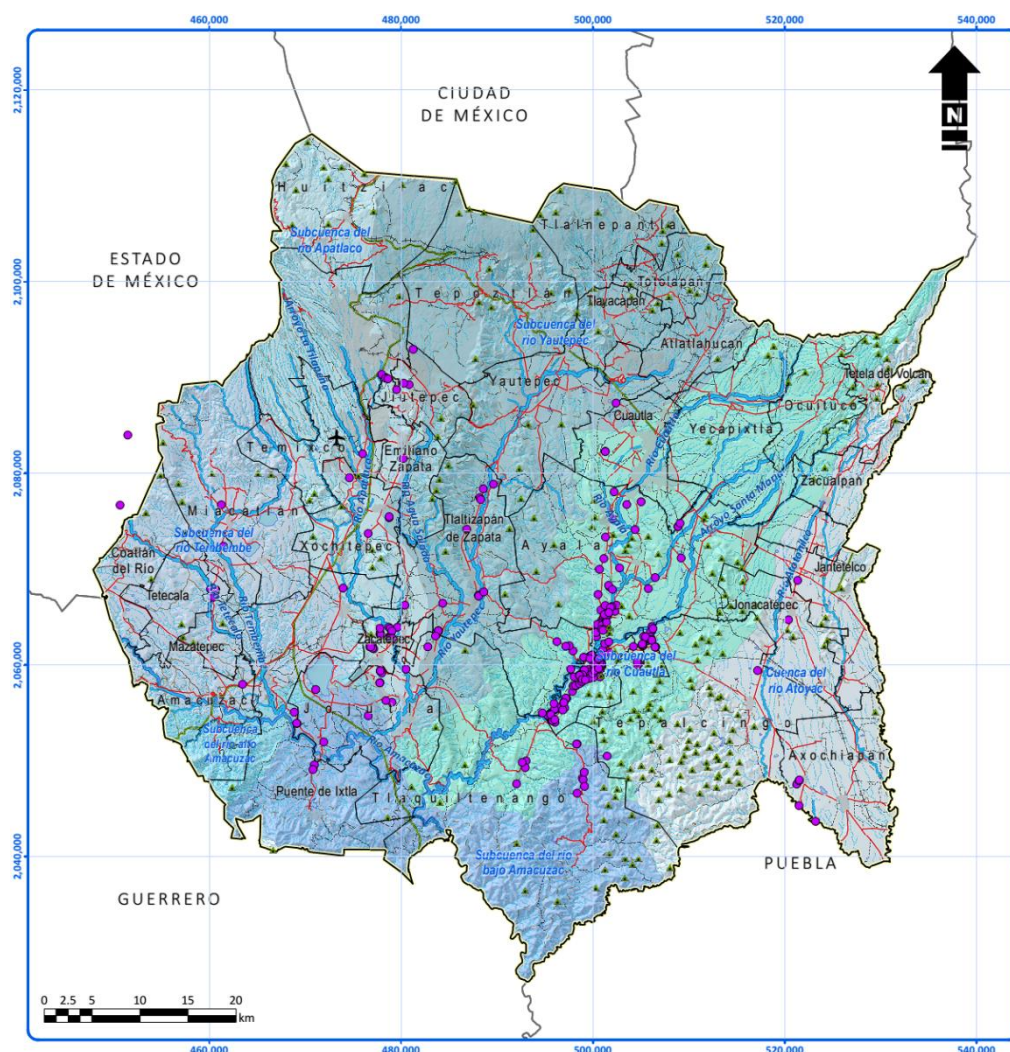


Figura 2. Distribución de las unidades de producción de peces de ornato del Estado de Morelos.

Para desarrollar una propuesta de bioseguridad para el Estado de Morelos en función de la información disponible para éstas 50 granjas se analizaron por una parte los riesgos individuales que representan cada una de las especies cultivadas y el riesgo que significa cultivar distintas poblaciones de diferentes especies, así como el riesgo de incidencia de enfermedades provocadas por patógenos y parásitos. Por otra parte, se determinó el riesgo específico que representan las UPA analizando y categorizando las granjas mediante el desarrollo de un Índice Integrado de Bioseguridad en función de 7 parámetros de importancia en cuanto al riesgo de dispersión de especies exóticas:

- *Riesgo individual y colectivo de las especies cultivadas*
- *Ubicación*
- *Medidas de bioseguridad*
- *Infraestructura*
- *Factor humano*
- *Presión del propágulo*
- *Enfermedades causadas por patógenos y parásitos*

Los procedimientos para la obtención de estos datos para desarrollar el análisis de cada factor se describen en las siguientes secciones.

4.1 Riesgo individual y colectivo de las especies cultivadas

Las evaluaciones de riesgo constituyen un sistema basado en información científica y son un elemento fundamental en la toma de decisiones para la detección temprana de especies con potencial invasor. Dentro de la evaluación de riesgo se considera la probabilidad de entrada, establecimiento y dispersión de las especies en una determinada región, así como las consecuencias sanitarias económicas ambientales y ecológicas. Además, contempla la aplicación de opciones de manejo (EEA, 2010). De esta manera, estos análisis resultan muy eficientes para aceptar o rechazar la introducción de una

determinada especie, la precisión de ésta herramienta está en función de la cantidad y calidad de la información y su eficacia puede llegar a ser hasta del 90%, por lo tanto de haberse realizado con anterioridad análisis de riesgo a las especies introducidas actualmente en los países; tomando en cuenta las variables ambientales que conforman el sistema de análisis, hoy solo existiría entre un 10% y 20% de las especies exóticas invasoras presentes (Gil *et al.*, 2010). Es por ello que es imprescindible utilizar estos análisis para reducir al mínimo la problemática de las especies exóticas invasoras y así proteger y conservar la biodiversidad.

Para determinar el riesgo de cada UPA con respecto a las especies cultivadas primero se realizaron evaluaciones de riesgo para cada una de las especies de acuerdo al catálogo de peces producidos descrito en el Plan Maestro Estatal del Estado de Morelos (PME, 2008), las cuales se entregaron de acuerdo a la calendarización del contrato en noviembre de 2016. Posteriormente se realizaron evaluaciones de riesgo para especies adicionales de acuerdo a la base de datos proporcionada por CESAEM en diciembre de 2016 y en abril del 2017.

Primeramente, la lista de especies fue depurada para eliminar sinonimias y corroborar la información taxonómica utilizando las bases de datos *Integrated Taxonomic Information System* (www.itis.gov) y *Fishbase* (www.fishbase.com). Posteriormente, se realizó una evaluación de riesgo de cada especie utilizando el Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI; Golubov *et al.*, 2014) o por medio de la Herramienta de Identificación de Invasividad de Peces (FISK - *Fish Invasiveness Scoring Kit*; Copp *et al.*, 2005b) utilizando al Estado de Morelos como área de evaluación de riesgo.

4.1.1 Evaluación de Riesgo usando el MERI (Método de Evaluación Rápida de Invasividad)

Se realizó una evaluación de riesgo para cada una de las especies cultivadas por las UPA mediante el MERI (Método de Evaluación Rápida de Invasividad). Este análisis se desarrolló en México por parte del Comité Asesor de la Estrategia Nacional de Especies Invasoras y surgió como un método de evaluación de riesgo de invasión para dar cumplimiento a las modificaciones de la *Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente* (LGEEPA) y la *Ley General de Vida Silvestre* (LGVS). El análisis consta de una

serie de 10 preguntas agrupadas en 3 secciones: Estatus, Proceso de invasión e Impactos.

La sección que corresponde al Estatus, la conforman los siguientes aspectos:

1. Reporte de invasora
2. Relación con taxones invasores cercanos
3. Vector de otras especies invasoras

La segunda sección, Riesgo de invasión, se compone de tres cuestiones, para las cuales se toma en cuenta si la especie ya se encuentra introducida o no en el país:

4. Riesgo de entrada
5. Riesgo de establecimiento
6. Riesgo de dispersión

Por último, la sección de Impactos está compuesta de cuatro preguntas:

7. Impactos sanitarios
8. Impactos económicos y sociales
9. Impactos ambientales
10. Impactos ecológicos

Para cada pregunta se asigna un valor de riesgo (Muy alto, Alto, Medio, Bajo, Ningún riesgo y Se desconoce) y un valor de incertidumbre con base en la información recopilada. La incertidumbre se clasifica de mínima a máxima (dependiendo de la calidad y cantidad de información obtenida para cada especie). De esta manera, dependiendo de las características de Invasividad que muestre la especie se le asigna el criterio correspondiente. Para realizar lo anterior se consideraron los criterios de ponderación para especies invasoras (Fig. 3), empleando el formato de ponderación de especies exóticas proporcionado por CONABIO. Este formato consta de instrucciones para llenar las secciones requeridas, los datos del evaluador (nombre, cargo e institución) y la información de la especie: incluyendo su nombre y su estatus (*i.e.* si es nativa de México, exótica presente en México, exótica con presencia indeterminada o exótica aún no presente en México). Por otra parte, se tiene que completar la información relativa a la

existencia de un análisis de riesgo para la especie en México y la eventual existencia de las condiciones climáticas para que la especie se establezca en el sitio en el que se realizó el análisis. En caso de respuestas afirmativas a las dos preguntas anteriores, no será necesario llevar a cabo el análisis de determinación rápida, ya que se da por hecho que la especie tiene potencial invasor para el área de estudio. De no ser así se procede al análisis de acuerdo a las instrucciones del MERI (Golubov *et al.*, 2014).

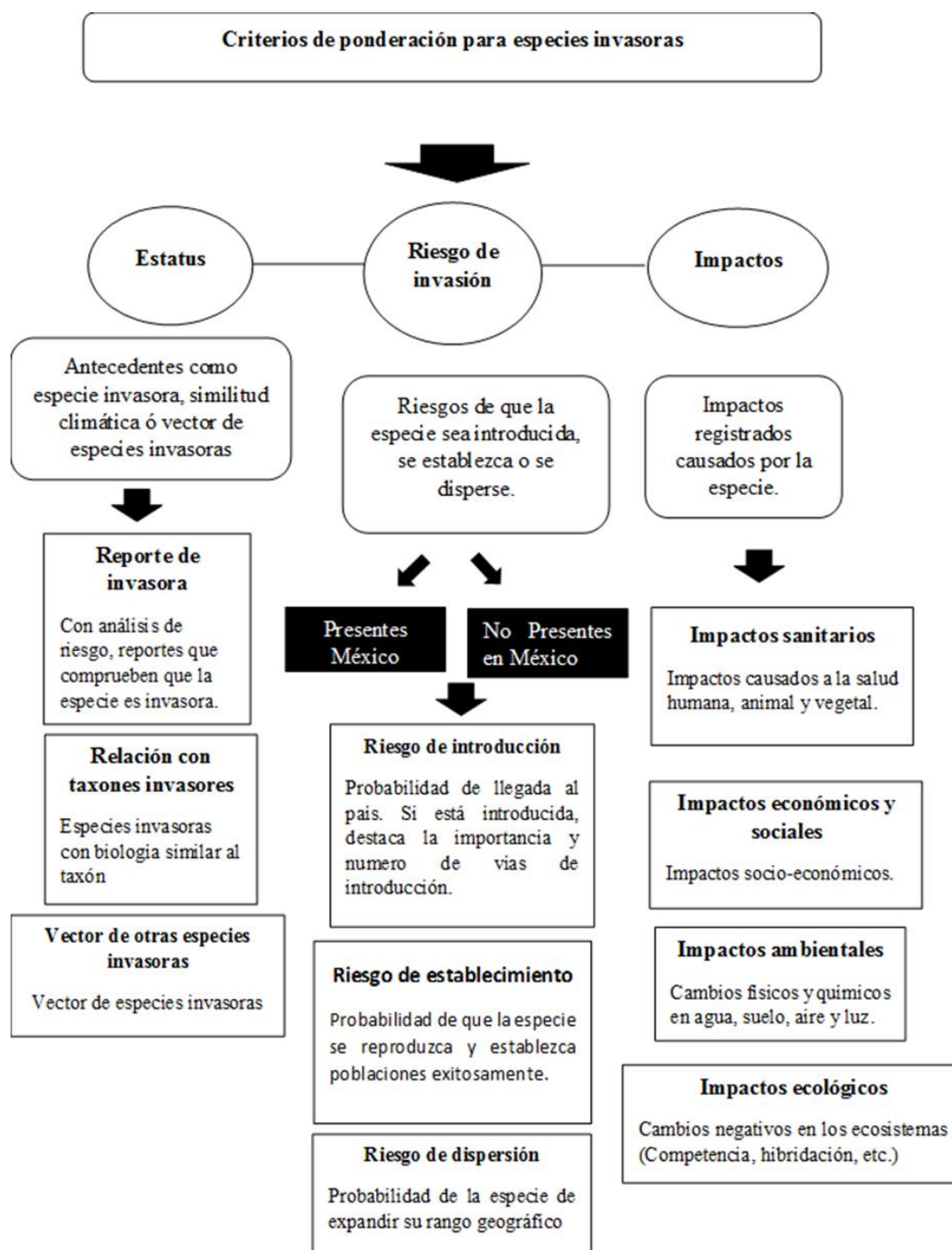


Figura 3. Criterios de ponderación para especies invasoras de acuerdo al Método de Evaluación Rápida de Invasividad.

Todas las preguntas fueron contestadas de acuerdo con la información disponible en la literatura, principalmente artículos científicos, libros, bases de datos y sitios web especializados. Con el fin de responder a las preguntas relativas a la similitud climática se utilizó el algoritmo de modelado de nicho ecológico de Máxima Entropía (Maxent) como

se describe en la sección 4.1.2 y posteriormente se realizaron las ponderaciones de la calificación de acuerdo a la Figura 4.

| Criterio de grupo | Criterio por grupo | Peso modelo PI | Pesos ponderados modelo PI | Peso modelo BT | Pesos ponderados modelo BT |
|-------------------|---------------------|----------------|----------------------------|----------------|----------------------------|
| Estatus | | 0.25 | | 0.5 | |
| | 1. Reporte | 0.5 | 0.125 | 0.5 | 0.25 |
| | 2. Afinidad | 0.2 | 0.05 | 0.2 | 0.1 |
| | 3. Vector | 0.3 | 0.075 | 0.3 | 0.15 |
| Invasividad | | 0.5 | | 0.25 | |
| | 4. Introducción | 0.4 | 0.2 | 0.4 | 0.1 |
| | 5. Establecimiento | 0.4 | 0.2 | 0.4 | 0.1 |
| | 6. Dispersión | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.05 |
| Impacto | | 0.25 | | 0.25 | |
| | 7. Sanitario | 0.25 | 0.0625 | 0.25 | 0.0625 |
| | 8. Económico/social | 0.25 | 0.0625 | 0.25 | 0.0625 |
| | 9. Ambiental | 0.25 | 0.0625 | 0.25 | 0.0625 |
| | 10. Ecológico | 0.25 | 0.0625 | 0.25 | 0.0625 |
| Suma | | | 1 | | 1 |

Figura 4. Ponderación de cada pregunta para el análisis de riesgo MERI de acuerdo a los dos modelos propuestos (Golubov *et al.*, 2014).

4.1.2 Modelo de nicho ecológico

Para cada especie analizada se elaboró un modelo de nicho ecológico con el fin de predecir la probabilidad de establecimiento de la especie en Morelos. Los modelos de nicho ecológico son herramientas que estiman la relación estadística entre los registros de las especies (georreferencias) y las variables ambientales de tales sitios para describir, extrapolar y predecir la distribución espacial de una especie. En el campo de las invasiones biológicas, estos modelos pueden ser empleados para conocer los sitios con mayor probabilidad de establecimiento de una especie exótica o aquellos en los que sus impactos puedan llegar a ser más severos (Kulhanek *et al.*, 2011). Para ello, el software MaxEnt utiliza un algoritmo determinístico que busca la probabilidad óptima de distribución (distribución potencial) de una especie en el área de estudio basado en un conjunto de limitaciones ambientales a partir de los puntos de presencia de la especie (Elith *et al.*, 2011; Reshetnikov y Ficetola, 2011; Poulos *et al.*, 2012). Dicho software ha demostrado mejores resultados respecto a otros métodos de modelado de nicho (Poulos *et al.*, 2012). Además de mostrar una aproximación muy efectiva para la realización de

modelos de peces exóticos invasores dulceacuícolas (Reshetnikov y Ficetola 2011; Poulos *et al.*, 2012), incluso con muestras pequeñas (Hernandez *et al.*, 2006).

En el presente estudio, se elaboró el modelo de nicho ecológico utilizando la versión Maxent 3.3.3 (Phillips *et al.*, 2017). Para la obtención de los puntos de presencia georreferenciados para la especie, que indican las coordenadas geográficas en donde se ha reportado cada especie, se utilizó la base de datos de la *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF), la cual es una red internacional abierta que se fundó por varios gobiernos con el objetivo de ofrecer acceso a los datos de distribución sobre todos los grupos taxonómicos. Estos datos fueron filtrados para eliminar registros duplicados y erróneos (e.g. registros en zonas marinas). Como variables ambientales se utilizaron los datos de WorldClim (www.worldclim.org), los cuales incluyen las temperaturas mínimas, máximas y promedio, la precipitación, altitud y 19 variables bioclimáticas (Tabla 3) en formato ráster con una resolución de 30 arco-segundos (~1 km) (Rodríguez-Merino *et al.*, 2015).

| Tabla 3. Variables bioclimáticas utilizadas para el modelo de nicho ecológico | |
|---|---|
| Variable bioclimática | Definición |
| BIO1 | Temperatura media anual |
| BIO2 | Rango de temperatura diurno promedio (promedio mensual (max temp - min temp)) |
| BIO3 | Isotermalidad (BIO2/BIO7) (*100) |
| BIO4 | Estacionalidad de temperatura (desviación estándar *100) |
| BIO5 | Temperatura máxima del mes más cálido |
| BIO6 | Temperatura mínima del mes más frío |
| BIO7 | Rango de temperatura anual (BIO5-BIO6) |
| BIO8 | Temperatura media del trimestre más húmedo |
| BIO9 | Temperatura media del trimestre más seco |
| BIO10 | Temperatura media del trimestre más caliente |
| BIO11 | Temperatura media del trimestre más frío |
| BIO12 | Precipitación total anual |
| BIO13 | Precipitación del mes más húmedo |
| BIO14 | Precipitación del mes más seco |
| BIO15 | Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación) |
| BIO16 | Precipitación del trimestre más húmedo |
| BIO17 | Precipitación del trimestre más seco |
| BIO18 | Precipitación del trimestre más caliente |
| BIO19 | Precipitación del trimestre más frío |

Los resultados del modelo se evaluaron para el estado de Morelos, a partir del archivo ráster generado con los metadatos de salida de *MaxEnt*, la cual fue establecida con el formato de salida por defecto *logística*, el cual es más fácil de conceptualizar: ya que proporciona una estimación entre cero y uno de la probabilidad de presencia.

Con esta información se obtuvo el riesgo de establecimiento de cada especie para el Estado de Morelos, con el fin de contestar las preguntas relativas a esta cuestión en MERI y FISK utilizando las siguientes categorías de probabilidad de establecimiento: de 0 a 0.24 (bajo), 0.25 a 0.49 (medio), 0.50 a 0.74 (alto) y 0.75 a 1.00 (muy alto). Adicionalmente, se determinó el riesgo de establecimiento de cada especie cultivada por cada UPA relativo a su ubicación, lo cual se describe en la sección 4.1.2.

4.1.3 Herramienta de Identificación de Invasividad de Peces (Fish Invasiveness Scoring Kit)

Para aquellas especies para las que se obtuvo un resultado inconcluso de riesgo por el *Método de Evaluación Rápida de Invasividad* (MERI), se les realizó una evaluación de riesgo utilizando la herramienta FISK.

El FISK es una adaptación del análisis de riesgo australiano para malezas (*Weed Risk Assessment – WRA*; Pheloung *et al.*, 1999) para poder ser aplicado en peces de agua dulce (Copp *et al.*, 2005). A diferencia del MERI, que es aplicable para cualquier grupo taxonómico, FISK es un análisis de riesgo específico para especies de peces dulceacuícolas. La versión inicial de FISK (v1) ha sido calibrada y utilizada para la identificación de especies de alto riesgo en el Reino Unido (Copp *et al.*, 2009), Bielorrusia (Mastitsky *et al.*, 2010), Brasil (Troca y Vieira, 2012) y Japón (Onikura *et al.*, 2011). Recientemente, FISK se ha actualizado (v2) para ser utilizado en una mayor cantidad de zonas climáticas (Lawson *et al.*, 2013), y su eficacia ha sido confirmada para Australia (Vilizzi y Copp, 2013), la Región Balcánica (Simonovic *et al.*, 2013), Finlandia (Puntila *et al.*, 2013), la Península Ibérica (Almeida *et al.*, 2013), Turquía (Tarkan *et al.*, 2014), Portugal (Range, 2013), Hong Kong (Ho, 2013) Hungría (Ferincz *et al.*, 2016) y México (Mendoza *et al.*, 2015). Además, se ha comparado con otros análisis de riesgos con resultados positivos (Snyder *et al.*, 2013) convirtiéndose así en una de las herramientas más útiles para la identificación de especies potencialmente invasoras (Copp, 2013).

El FISK se compone de 49 preguntas las cuales se dividen en 8 secciones: Domesticación y cultivo, clima y distribución, reporte de invasiones, rasgos indeseables, hábitos alimenticios, reproducción, mecanismos de dispersión y características de persistencia. La respuesta a cada pregunta varía dependiendo de la información, siendo un Sí, No o Se

desconoce de acuerdo a la evidencia. Además, para cada pregunta hay un nivel de incertidumbre; estos corresponden a los siguientes valores: 1= muy incierto; 2= mayormente incierto; 3 = mayormente cierto y por último 4= muy cierto. El último valor “factor de certidumbre” (*certainty factor* - CF) es calculado mediante la siguiente fórmula: $\sum (CQ_i)/(4 \times 49)$ ($i = 1, \dots, 49$). Donde CQ_i (*certanty factor of question i*) se refiere a la certeza de la pregunta i , el número 4 es el máximo valor alcanzable de certidumbre, en este caso “muy cierto” y el 49 se refiere al número total de preguntas que comprende el FISK. Todas las preguntas se deben contestar con base en la información disponible ya sea de artículos científicos, libros o sitios web. La certidumbre para cada pregunta depende de la fuente de donde se obtuvo la información. Al terminar el cuestionario el programa brinda un reporte en donde se muestra el valor (-15 a 57) obtenido para la especie, el número de preguntas contestadas, el sector más afectado y el factor de certidumbre. Para las preguntas sobre similitud climática se utilizó la información del modelo de nicho ecológico, como se indicó en la sección 4.1.2.

Al final de los análisis, para obtener el riesgo para cada UPA se obtuvo el promedio de riesgo obtenido para cada especie cultivada, para lo cual se tomaron los valores de MERI en su ponderación Proceso de invasión (PI) y Biología-Taxonomía (BT) (valores de riesgo entre 0 y 1) así como los valores de FISK transformados en esta escala. En los análisis precedentes se dio un mayor peso para aquellas UPA que cultivan peces genéticamente modificados.

4.2 Ubicación

Un aspecto crucial para evitar que los animales cultivados no lleguen al medio ambiente natural, además de las medidas de bioseguridad respectivas, es la distancia de las unidades de producción a los cuerpos de agua. Así, en un estudio realizado en Inglaterra en donde se consideraron diferentes variables incluyendo la distancia a los cuerpos de agua colindantes, se encontró que la presencia de especies exóticas y la presencia inesperada de peces nativos no fue aleatoria, ya que el número de variedades ornamentales aumentaba a medida que la distancia al estanque de la carretera más

cercana disminuía (Copp *et al.*, 2005). De esta manera, la distancia es una variable importante que tiene una gran relevancia igualmente en el caso de las inundaciones. A este respecto, se ha hecho cada vez más común en los últimos años que se desborden los ríos de Morelos con las lluvias torrenciales (como las crecientes que provocaron grandes inundaciones documentadas en 2013) y se ha atribuido a estas inundaciones el escape de peces exóticos de las granjas a los cuerpos de agua naturales (Mejía-Mojica *et al.*, 2012).

Para obtener el riesgo de acuerdo a la ubicación de cada UPA se tomó en cuenta el promedio de los siguientes 3 aspectos:

1) La distancia de la UPA con respecto al cuerpo de agua más cercano. Estos datos fueron obtenidos a partir de la base de datos proporcionada por CESAEM (obtenido de las encuestas), para lo cual se consideró que existe un mayor riesgo de dispersión de especies exóticas para aquellas UPA ubicadas a una menor distancia de los cuerpos de agua.

2) La inclinación del terreno donde está ubicada la UPA. Para obtener este valor se generó un archivo ráster con el cálculo de la pendiente del terreno en qGIS a partir de los datos de elevación del terreno para México con una resolución de 60 metros (INEGI, 2017). El cálculo se obtuvo mediante la herramienta *Slope analysis* de modelos digitales de elevación (DEM, por sus siglas en inglés). A partir de este modelo se obtuvo la pendiente en grados de cada UPA de acuerdo a las coordenadas de ubicación proporcionados en la base de datos, considerando que existen un mayor riesgo de introducción de especies exóticas en el medio natural en caso de inundaciones por lluvias torrenciales para aquellas zonas en las que la pendiente es mayor.

3) El riesgo de establecimiento específico de cada UPA para las especies cultivadas de acuerdo a su modelo de nicho ecológico. Para obtener este dato se obtuvieron los valores individuales de probabilidad de establecimiento generados por Maxent (ver sección 4.1.2 de acuerdo a las coordenadas de ubicación de cada UPA para cada una de las especies cultivadas por éstas. Para esto se utilizó la herramienta de *Point Sampling Tool* de qGIS 2.16.2. Estos datos fueron promediados para las UPA que cultivan más de una especie. De forma que las granjas que se encuentran en una zona de alta probabilidad de establecimiento para las especies cultivadas recibieron un mayor riesgo en este

parámetro.

4.3 Bioseguridad

A pesar del establecimiento de diversas medidas de bioseguridad la introducción de especies exóticas en el medio natural ha sido muy común. Por ejemplo, de las 27 especies introducidas artificialmente en España, al menos 3 han sido por escapes de piscifactorías dedicadas a su cultivo (González del Tánago, 2007), mientras que en Colombia se ha reportado el escape de tambaquies, *Xiphophorus*, diversos cíclidos, guramis y carpas (Gutiérrez *et al.*, 2012). Mientras que, en México, y particularmente en Morelos se ha registrado la presencia de al menos nueve especies exóticas y tres traslocadas, producto de deficiencias en las medidas de bioseguridad de las granjas (Mejía-Mojica *et al.*, 2012). Para calcular el índice de bioseguridad se consideraron las características de la Tabla 4, las cuales fueron obtenidas a partir de la base de datos y encuestas proporcionadas.

| Tabla 4. Características tomadas en cuenta de cada UPA para asignar el parámetro de riesgo Bioseguridad. | |
|--|--|
| Producción bajo invernaderos | Registros de escape accidental |
| Control de acceso | Riesgo de inundación |
| Área de cuarentena | Sistema de filtrado |
| Descarga de agua | Tapetes sanitarios |
| Fuente de agua | Trampas a la entrada |
| Inactivación del agua | Trampas a la salida |
| Mallas anti-pájaro | Tratamiento sanitario a los organismos |
| Plan de mitigación | Cercado perimetral |
| Bitácoras | |

Se le asignaron diferentes valores a cada característica de acuerdo a su importancia, sumando los valores asignados para la evaluación de este parámetro para cada UPA determinada.

Fuente y descarga de agua: Las granjas toman agua y la descargan en diferentes lugares por lo que se les asignó un valor correspondiente al riesgo que esto representa en términos de la bioseguridad de la granja.

4.4 Infraestructura

Para calcular el parámetro de Infraestructura se consideraron las características presentes en la Tabla 5.

| Tabla 5. Características tomadas en cuenta de cada UPA para asignar el parámetro de riesgo Infraestructura. | |
|---|------------------|
| Tipos de estanques (rústicos, de concreto, cubiertos por geomembrana) y/o acuarios | Foso de desechos |
| Electricidad | Aireación |
| Bodega | Baños |

Al factor que se le dio más peso fue al tipo de estanque y/o uso de acuarios para producción en cada granja. Debido a que algunas de las granjas presentan más de un tipo de estanque se realizó un promedio ponderado en el que se le asignó mayor valor a los acuarios y tanques de geomembrana y un menor valor a los tanques de concreto y rústicos, considerando la facilidad para limpiarlos y la propensión a acumular materia orgánica en la que se pudieran acumular patógenos y parásitos o por contribuir a una mala calidad del agua, lo que repercutiría indirectamente en la salud de los peces.

Esta decisión se tomó bajo el fundamento de que se considera mejor que las granjas realicen su producción en tanques de geomembrana puesto que representa ventajas al reducir el desperdicio de alimento, facilitar cosecha y poder llevar a cabo un manejo optimizado del cultivo, lo cual da lugar a mejor calidad en el producto y por consiguiente un mayor precio de venta (Velazco *et al.*, 2006; Bautista-Covarrubias y Ruiz, 2011). Por otra parte, se ha reportado mayor incidencia de parásitos en estanques de tierra en comparación a los recubiertos por geomembranas, por presentar los primeros un medio más adecuado para estos patógenos (Espinoza *et al.*, 2014).

4.5 Factor humano

Para evaluar este parámetro se consideraron los siguientes aspectos: el grado de escolaridad de los productores, su capacitación en materia de acuicultura y el conocimiento que tienen acerca de especies exóticas invasoras; dando mayor peso al grado de escolaridad y capacitación en acuicultura ya que esto es un indicador del grado de concientización de los riesgos que implican la liberación de especies exóticas y/o OGM y porque sería más sencilla la creación de capacidades en cuanto a planes HACCP, Mejores Prácticas de Manejo (BMP) y programas de bioseguridad.

4.6 Presión del propágulo

Una de las aproximaciones más acertadas para evaluar la invasividad de especies exóticas es considerar las características biológicas de la especie, ya que estas características se verán reflejadas en la habilidad que tenga la especie para establecerse o proliferar en un

hábitat en el cual no son nativas (Williamson, 1996; Rejmánek, 2000). No obstante, existen otros factores poblacionales que intervienen en la probabilidad de introducción, establecimiento, dispersión y generación de impactos de las especies. Dentro de éstos destaca la presión del propágulo, la cual se define como el número y la frecuencia de individuos que son introducidos en una región en la cual no son nativos (Carlton, 1996). Esta medida integra las estimaciones de un número absoluto de organismos liberados, lo que se refiere al tamaño del propágulo y al número de eventos discretos de liberación, lo que corresponde al número de propágulos (Mendoza y Koleff, 2014). Este aspecto se ha relacionado con el éxito de las invasiones biológicas en diferentes taxa, ya que se ha reconocido como un factor causal del establecimiento exitoso y proliferación de una especie exótica en una nueva región (Wonham *et al.*, 2000; Forsyth y Duncan, 2001; Rouget y Richardson, 2003). La presión del propágulo no solo aumenta la posibilidad de que una especie exótica se establezca en la zona que fue liberada, sino que también incrementa la probabilidad de aumentar su rango de distribución, llegando a colonizar otras áreas en las que no fueron liberadas. Otro obstáculo que llegan a superar aquellas especies que tienen una gran presión del propágulo es el “cuello de botella genético”. Esto se refiere a que las poblaciones de especies exóticas con un número reducido de individuos pueden llegar a tener muy poca variabilidad genética (inbreeding load) al ser introducidas, lo que repercutirá en su habilidad para adaptarse al nuevo ecosistema. Contrariamente, aquellas poblaciones con una gran presión de propágulo tendrán naturalmente una mayor variabilidad genética lo que les conferirá, independientemente de su invasividad, una ventaja adaptativa al nuevo medio ambiente receptor, pudiendo poner en desventaja a los organismos nativos ya que tanto las especies nativas como las exóticas estarán expuestas a una selección por igual (Alroth *et al.*, 2003; Mendoza y Koleff, 2014). Dentro de este contexto es de esperarse, que las especies liberadas con la intención de fundar una población en el medio natural como, por ejemplo, para pesca deportiva tengan una presión de propágulo mucho más alta que los escapes accidentales o las liberaciones ilegales por acuicultores o acuaristas (Marchetti *et al.*, 2004; Bomford *et al.*, 2010).

Estimación de la presión del propágulo. - debido a que no se contó con los datos del volumen producción por especie para cada UPA, se realizó una estimación de la presión del propágulo tomando en cuenta el tipo de sistema de cultivo (intensivo, semi-intensivo, extensivo) y el espejo de agua de la UPA. De forma que se dio mayor peso al tipo de cultivo intensivo y a un mayor espejo de agua, en contraste con peso inferior para UPA con un menor espejo de agua y el empleo de sistemas extensivos. Además, se tomó en cuenta la presencia y número de acuarios, para aquellas granjas que los utilizan en su producción, tomando en consideración las dimensiones de un acuario de 40 litros (un acuario promedio), multiplicado por el número de acuarios presentes.

4.7 Enfermedades causadas por patógenos y parásitos

Dentro de la rápida evolución que ha experimentado la industria del acuarismo a nivel nacional se ha enfrentado a diversos obstáculos entre los que se encuentran la falta de detección temprana y el control de patógenos y parásitos en los cultivos, lo cual provoca cuantiosas pérdidas año con año. Es bien conocido que con la introducción de especies exóticas de peces de ornato se han introducido diversos parásitos (e.g. ciliados, monogéneos, nematodos y copépodos; Kim *et al.*, 2002), e igualmente, muchas infecciones bacterianas y virus asociados a especies ornamentales han causado mortalidades de peces (Adams *et al.*, 1970; Hendrick *et al.*, 2000). De aquí, que el Código Sanitario para los Animales Acuáticos y el Manual de Pruebas de Diagnóstico para los Animales Acuáticos (OIE, 2011a, b) de la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE) reconozcan la propagación internacional de enfermedades mediante el comercio de animales acuáticos ornamentales.

Son varias las enfermedades que se han registrado con la importación de especies exóticas, algunas de las que más han llamado la atención en los años recientes son algunas cepas de bacterias asociadas con peces importados de Asia, resistentes a los antibióticos que han resultado totalmente inmunes a diferentes tratamientos autorizados, *Yersinia ruckeri* causante de la enfermedad de la boca roja en guramies, cepas de *Edwardsiella tarda* también resistentes a los antibióticos presentes en diferentes especies

de *Pangasius*, el reciente brote de SVC (viremia primaveral de la carpa) que es una enfermedad notificable de la OIE y de manera muy especial ha destacado el virus herpes de las carpas koi (KHV) capaz de inducir una viremia grave y contagiosa en la carpa común (*Cyprinus carpio*) así como en la carpa koi y otros ciprínidos, y el Cyprinid herpesvirus-3 (CyHV-3) que afecta particularmente al goldfish (El-Matbouli y Soliman, 2011), uno de los peces más populares y por ende mayormente producido en Morelos. A esto se tiene que añadir que los patógenos de peces ornamentales y sus especificidades sobre los hospederos potenciales son muy poco conocidos, lo que dificulta la evaluación del riesgo de establecimiento en nuevos ambientes acuáticos y hospederos y sus impactos ambientales (Hine *et al.*, 2012). Otras dificultades se presentan porque la industria se ha resistido a la regulación y porque muchos países aceptan "certificados sanitarios" basados únicamente en la ausencia de signos manifiestos de enfermedad, sin conocimiento del estado de salud de las instalaciones de producción, origen de la población, o que los peces que se envían han sido inspeccionados para detectar parásitos y enfermedades.

Por otra parte, hay varios ejemplos de los severos efectos negativos que pueden tener, tanto sobre hospederos silvestres como cultivados, las especies de parásitos introducidas con peces traslocados para fines acuícolas (Taraschewski, 2006); una de ellas es *Gyrodactylus salaris*, el único patógeno no viral de peces incluido en el listado de enfermedades 2017 de la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE, 2017). De los parásitos en sí, destacan dos características biológicas que explican su amplia presencia como invasores entre los peces dulceacuícolas mexicanos: 1] el ciclo de vida directo, sin hospederos intermediarios, de los monogéneos, que justifica la riqueza de especies introducidas de parásitos establecidos en el país; 2] la virtual ausencia de especificidad hospedatoria de *Centrocestus formosanus* y *Bothriocephalus acheilognathi*, que justifica la amplitud del registro de hospederos de ambas especies (Salgado-Maldonado y Rubio-Godoy, 2014).

Por los motivos anteriores la Unión Europea (UE) introdujo una regulación específica para comercio de peces ornamentales, adoptando un enfoque de control de enfermedades

basado en el análisis de riesgo. Los reglamentos introducidos en 2008 y 2009 incluyen condiciones de comercialización, requisitos de certificación, posibles especies vectoriales, un modelo de certificado sanitario, una lista de terceros países autorizados, peces ornamentales susceptibles de enfermedades incluidas en la lista y la suspensión de importaciones procedentes de Malasia de algunos ciprínidos ornamentales (Hine *et al.*, 2012).

Estimación del parámetro de Enfermedades. - El parámetro de enfermedades se obtuvo solo parcialmente a partir de la información disponible que fue proporcionada por el CESAEM ya que solo se incluyó la lista de patógenos y parásitos presentes en 17 UPA que fueron muestreadas en 2016, por lo que no se tiene un registro parasitológico de las granjas faltantes. Por lo que tuvimos que acudir a los registros de las ocurrencias que se han suscitado en el Estado de Morelos y que se encuentran en la literatura (Jiménez-Bahena *et al.*, 2010) y a una lista sobre las enfermedades que han presentado las especies cultivadas en Morelos proporcionada por CESAEM. Cabe resaltar, que hubo especies dentro del análisis considerado en este trabajo para las que no se registró ningún patógeno ni parásito, esto debido a la falta de información proporcionada.

A partir de esta información se elaboró una base de datos con las 51 especies analizadas a las cuales fueron asignados los parásitos registrados. Posteriormente se relacionaron los patógenos y parásitos asociados a la especie con la lista de la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE, 2017). Esto dio lugar a la elaboración de una fórmula para la obtención de una cifra más específica que le diera un peso relativo a cada granja de acuerdo al número de parásitos que presentaba cada especie cultivada dándole un mayor peso a aquellos listados por la OIE.

4.8 Índice Integrado de Riesgo

Una vez obtenidos los valores de riesgo para cada uno de los parámetros anteriores se determinó un Índice Integrado de Riesgo (IIR) de cada UPA (adaptado del IBR de Beliaeff y Burgeot, 2002). Para lo anterior se representó cada uno de los parámetros de riesgo para cada UPA en una gráfica de radar utilizando la función *radarchart* del paquete *fmsb* en el

software R (R Core Team, 2014), donde se representa el valor de cada parámetro en una escala de 0 a 1, siendo de mayor riesgo los valores más cercanos a 1. Posteriormente se determinó el IIR, el cual es equivalente al área dentro del polígono calculada de acuerdo a Sánchez *et al.* (2007). Este modelo proporcionó un valor único por UPA, lo que permitió separar las granjas en tres categorías: *Riesgo Alto, Medio o Bajo*. Adicionalmente, a partir de estos datos se realizó un análisis clúster jerárquico de distancia euclidiana para determinar el grado de relación de las UPA respecto a los parámetros de riesgo obtenidos por cada una de ellas.

4.9 Propuesta de bioseguridad

La propuesta técnica se realizó en función de los riesgos considerados en las secciones anteriores para las especies cultivadas y las características de cada UPA (Figura 5). La valoración de las granjas se llevó a cabo utilizando como base las Buenas Prácticas de Manejo y Estándares de Certificación Internacionales para el cultivo de peces enfocados en la minimización del riesgo de escape y transmisión de enfermedades, a partir de los cual se deriva la propuesta para minimizar el riesgo de dispersión de EEI en el sector acuícola del estado de Morelos.

Proyecto GEF-EEL_ Servicios de consultoría para desarrollar una propuesta técnica entre los productores para minimizar el riesgo de dispersión de Especies Exóticas Invasoras (EEI) en el sector acuícola del estado de Morelos.

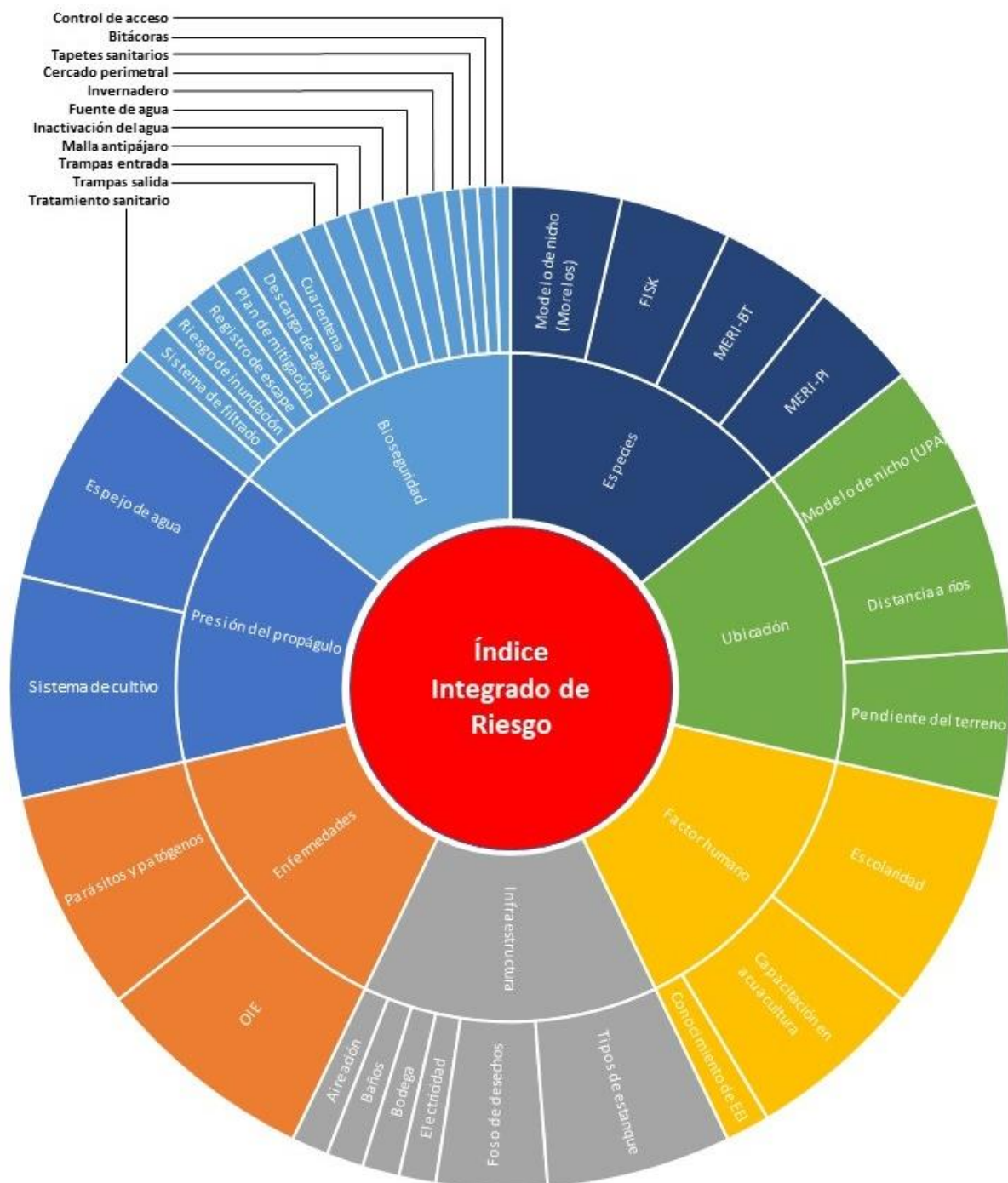


Figura 5. Evaluación de los riesgos de las especies y granjas para establecimiento de una propuesta de bioseguridad de acuicultura ornamental en el Estado de Morelos.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se determinaron los parámetros de riesgo y el Índice Integrado de Riesgo (IIR) para un total de 50 Unidades de Producción Acuícola cuya ubicación se muestra en la Fig. 6. A cada UPA se le asignó un número aleatorio el cual se mostrará a lo largo del documento, con fines de cumplir con el principio de confidencialidad de la información recabada por los consultores.

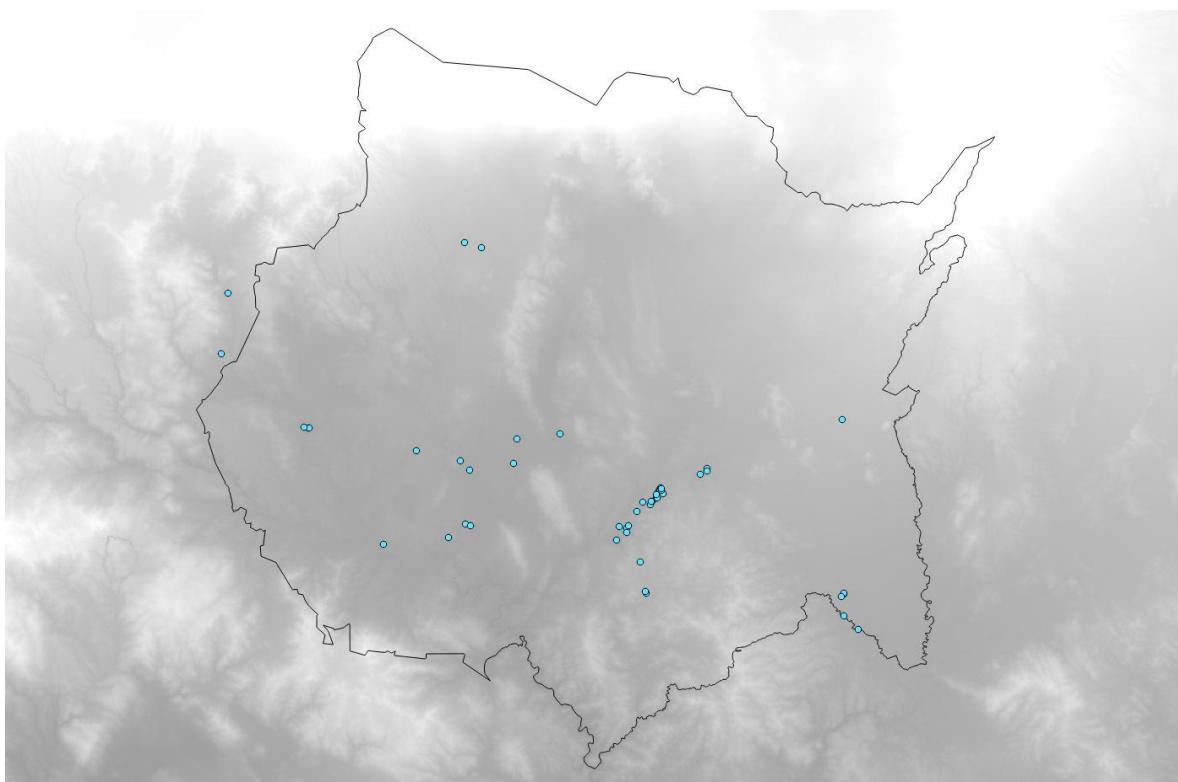


Figura 6. Ubicación de las 50 UPA dentro del Estado de Morelos.

5.1 Especies cultivadas

En lo que respecta al riesgo de las especies cultivadas en las 50 UPA analizadas se observó que se cultivan un total de 51 especies diferentes (Figura 7), incluyendo híbridos como el perico enano *Cichlasoma* sp., organismos solo identificados hasta género como los plecos *Pterygoplichthys* sp., así como variedades transgénicas de pez cebra (*Danio rerio*).

Para los análisis de riesgo, no se llevó a cabo la evaluación de la especie *Pseudotropheus acei* debido a que no ha sido descrita formalmente, a pesar de que, sí se cultiva y comercializa. Esta incertidumbre taxonómica dificulta la búsqueda de información, lo que conllevaría a la existencia de un sesgo en la categorización. Cabe mencionar que este dato no debería influir de forma significativa en el análisis ya que las granjas que producen esta especie también producen varias más, por lo cual el promedio de riesgo no se vería afectado en gran medida. Igualmente, la variedad de *Cichlasoma* sp. conocida como perico enano, es un híbrido que no existe de forma natural, y se desconoce con exactitud las especies a partir de las cuales fue producido, por lo cual no fue posible obtener información, salvo sobre aspectos de cuidado y reproducción en cautiverio.

Los valores de riesgo obtenidos para cada especie de acuerdo a los análisis MERI y FISK se muestran en el Anexo A.

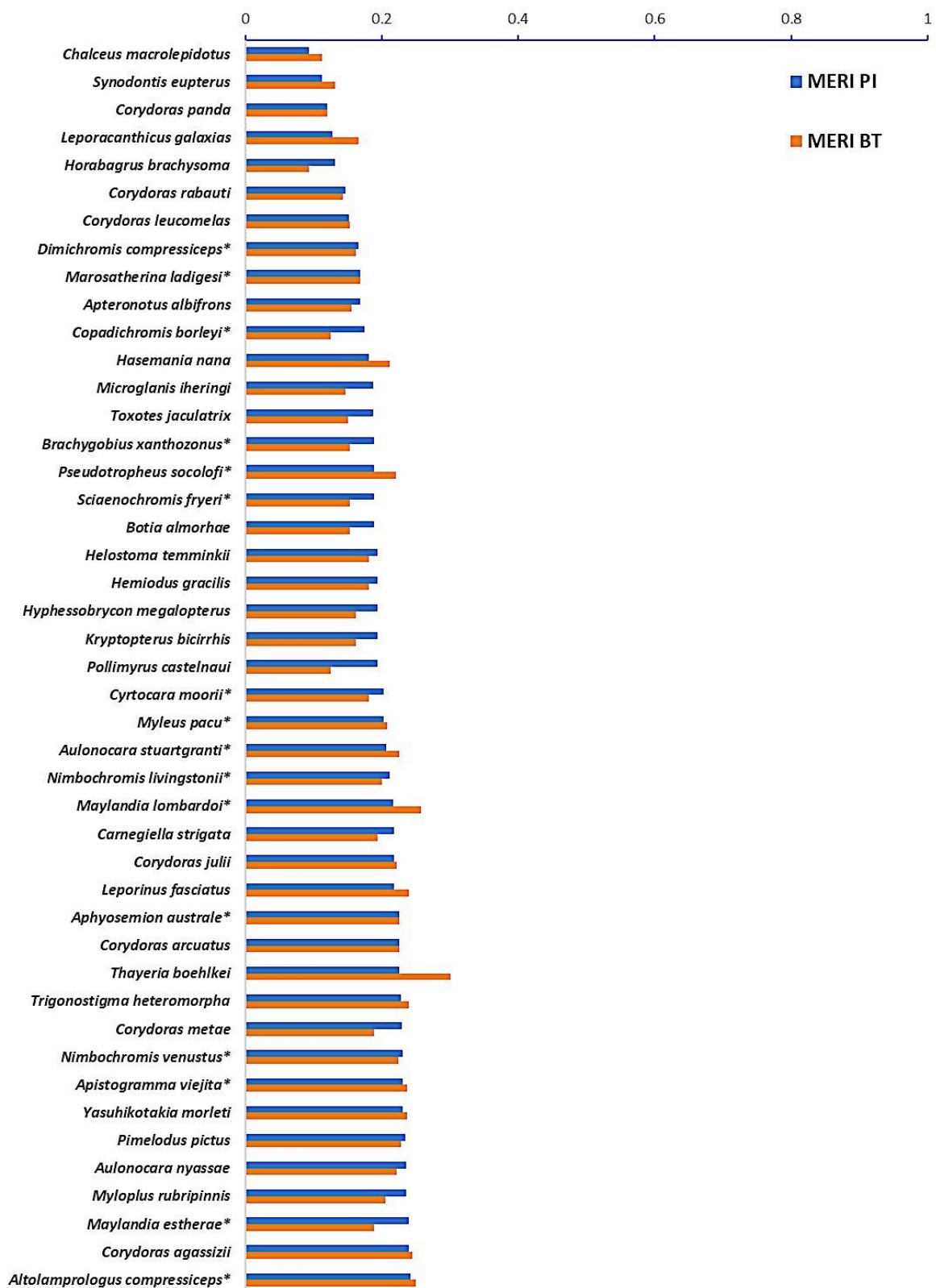


Figura 7. Puntuación obtenida por las especies analizadas en el presente estudio de acuerdo al análisis MERI. Las especies cultivadas por las 50 UPA analizadas se indican con un asterisco. PI: ponderación Proceso de Invasión; BT: ponderación Biología-Taxonomía.

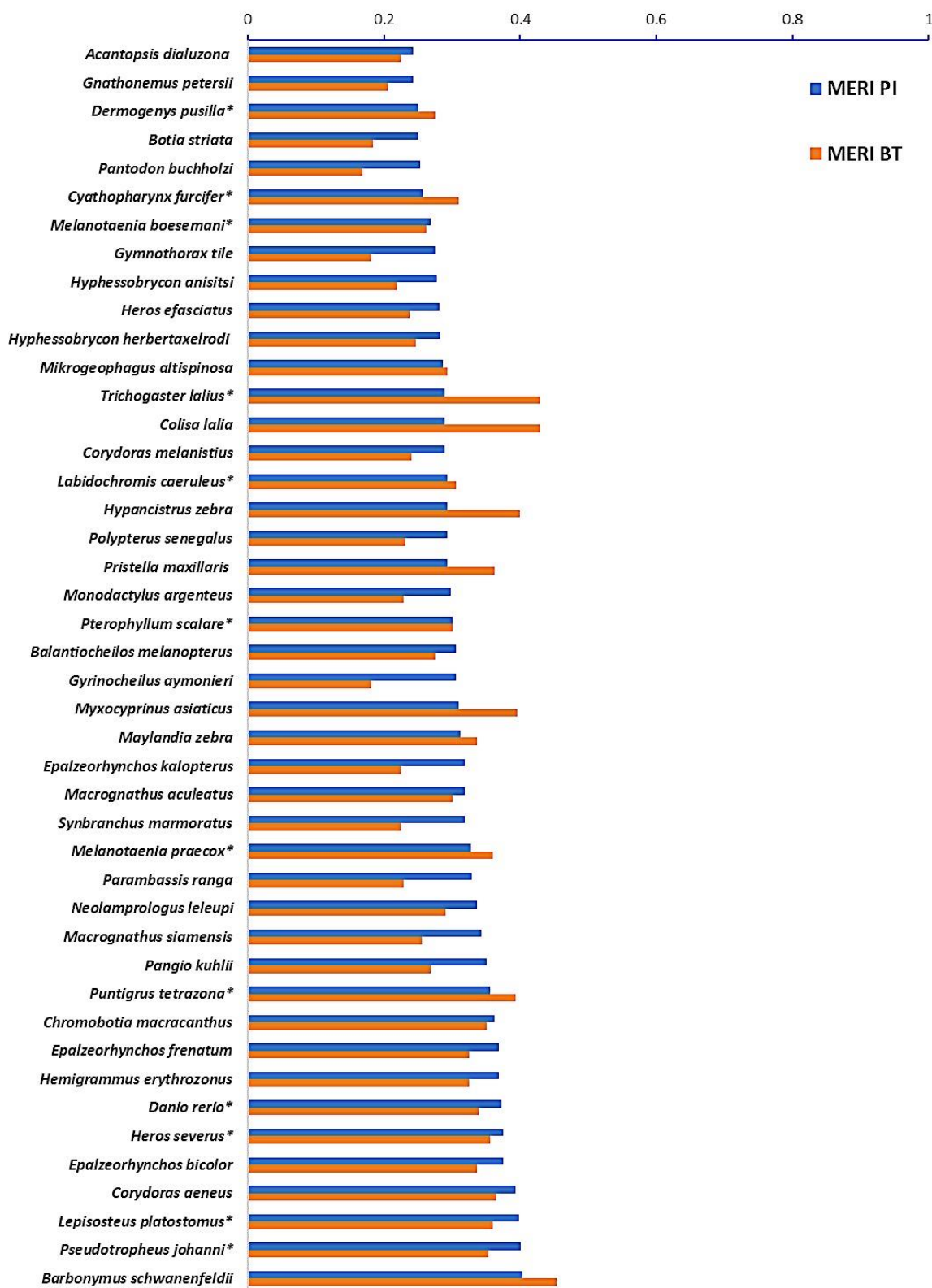


Figura 7. Continuación...

Proyecto GEF-EEI_ Servicios de consultoría para desarrollar una propuesta técnica entre los productores para minimizar el riesgo de dispersión de Especies Exóticas Invasoras (EEI) en el sector acuícola del estado de Morelos.

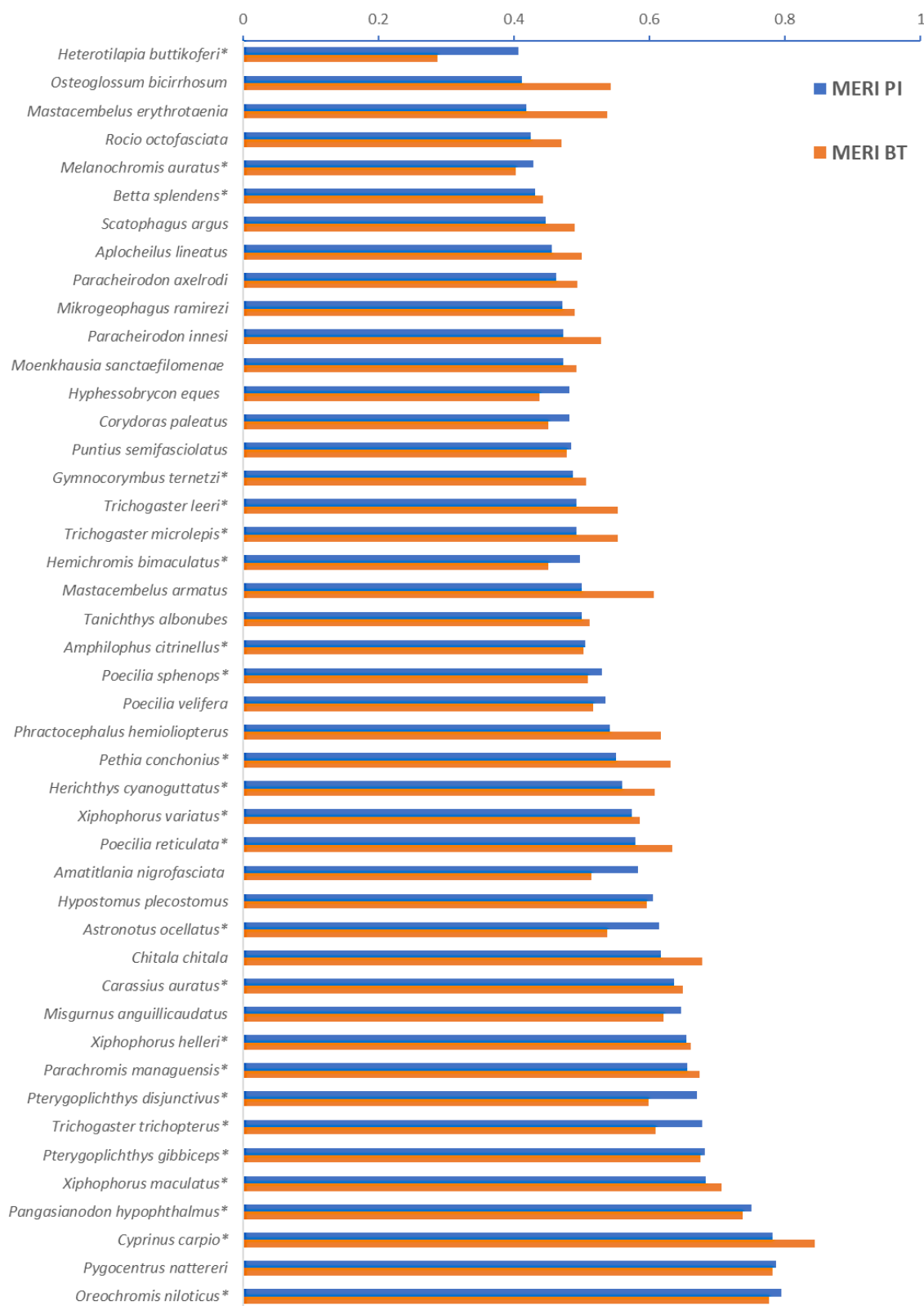


Figura 7. Continuación...

Cabe destacar que no fue posible realizar el análisis FISK para todas las especies cultivadas por las UPA que obtuvieron un riesgo medio en MERI, debido a que inicialmente se realizaron 112 análisis y posteriormente se enviaron los datos de las especies cultivadas, de las cuales solo 24 especies eran cultivadas para las UPA seleccionadas, por lo que fue necesario realizar 27 análisis de riesgo adicionales. Además, existe una tendencia a sobreestimar la categoría de riesgo mediante el análisis MERI (datos no mostrados), respecto a la categoría determinada por FISK para cuyo análisis si existe una calibración para México (Mendoza *et al.*, 2015), por lo cual sería recomendable analizar esta cuestión en estudios posteriores.

De acuerdo a los umbrales previamente definidos para la categoría de riesgo de MERI se obtuvieron clasificaciones muy parecidas para las ponderaciones del Proceso de Invasión (PI) y los aspectos relacionados con la Biología y Taxonomía (BT) de la especie (Fig. 8); encontrando 16, 19 y 16 especies de riesgo Medio, Alto y Muy alto, respectivamente para la ponderación PI y 15, 17 y 19 de riesgo Medio, Alto y Muy alto para la ponderación BT. En cuanto a los resultados de las especies analizadas mediante FISK se clasificaron 3 especies como de riesgo Medio y 11 de Riesgo Alto, de acuerdo a los umbrales definidos previamente (Mendoza *et al.*, 2015). Siendo las especies de mayor riesgo *Oreochromis niloticus*, *Cyprinus carpio*, *Pangasianodon hypophthalmus*, *Xiphophorus maculatus* y *Trichogaster trichopterus*.

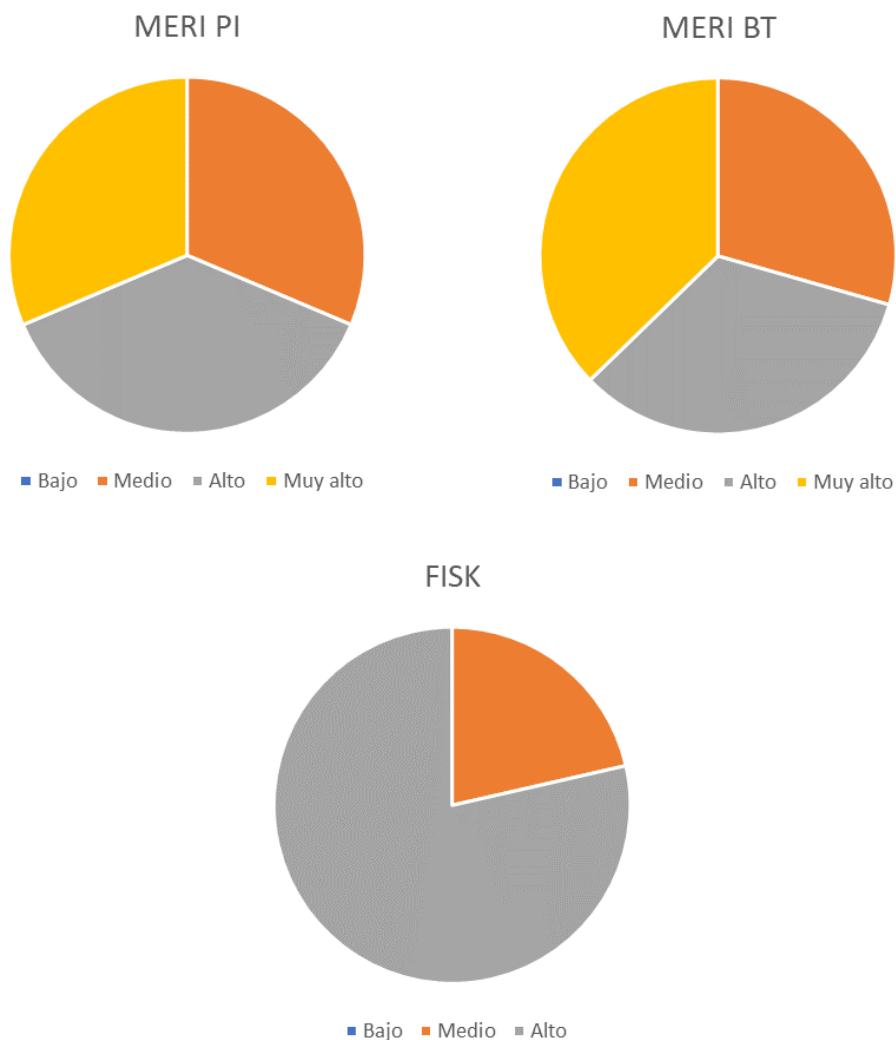


Figura 8. Categoría de riesgo obtenida de acuerdo a las ponderaciones Proceso de Invasión (PI) y Biología-Taxonomía (BT) del análisis MERI y categoría de FISK para las especies de peces ornamentales cultivadas en el Estado de Morelos.

Al analizar los resultados de la evaluación realizada usando el MERI se puede constatar que 70% de las especies (35) que manejan las UPA corresponden a las categorías de Alto y Muy Alto riesgo, lo que deja ver el grado de riesgo de este parámetro. Y esto a pesar de que se conoce que existen UPA en Morelos que cultivan diferentes carnívoros, las cuales no fueron incluidas dentro de las 50 granjas.

En cuanto al riesgo de establecimiento de cada especie de acuerdo a *MaxEnt*, los valores promedio más altos fueron obtenidos para las especies *Pseudotropheus socolofi*, *Brachyogobius xanthozonus*, *Labidochromis caeruleus*, *Maylandia lombardoi*, *Oreochromis niloticus*, *Trichogaster leerii* y *Poecilia sphenops*. No obstante, el riesgo puede diferir

dependiendo de la zona en la que está ubicada cada UPA. A este respecto, los modelos de nicho ecológico generados por *MaxEnt* se muestran en el Anexo B.

5.2 Ubicación

En cuanto a la ubicación se tomaron en cuenta los valores de la pendiente del terreno donde se encuentra la granja, los cuales estuvieron en un promedio de 3.2°, con un rango de 0.36 a 11.8°, que son valores que normalmente no deberían representar un gran riesgo en caso de inundación.

De mayor importancia en caso de escapes es la distancia de la UPA a los cuerpos de agua más cercanos. Las granjas analizadas se encuentran en el rango de dos a 2,467 metros, encontrándose seis UPA a menos de 50 metros y 30 (60%) a menos de 100 metros de distancia. Históricamente, se ha encontrado la presencia de especies exóticas en estrecha proximidad a algunos de los sitios de cultivo analizados en este estudio como se puede apreciar en la Figura 9. Por ejemplo, en años recientes se ha reportado la presencia de especies exóticas en diversos sitios del río Amacuzac, incluyendo algunas de alto riesgo como *Pterygoplichthys disjunctivus*, *P. pardalis*, *Cyprinus carpio* y *Oreochromis niloticus* (Mejía-Mojica *et al.*, 2012; 2015).

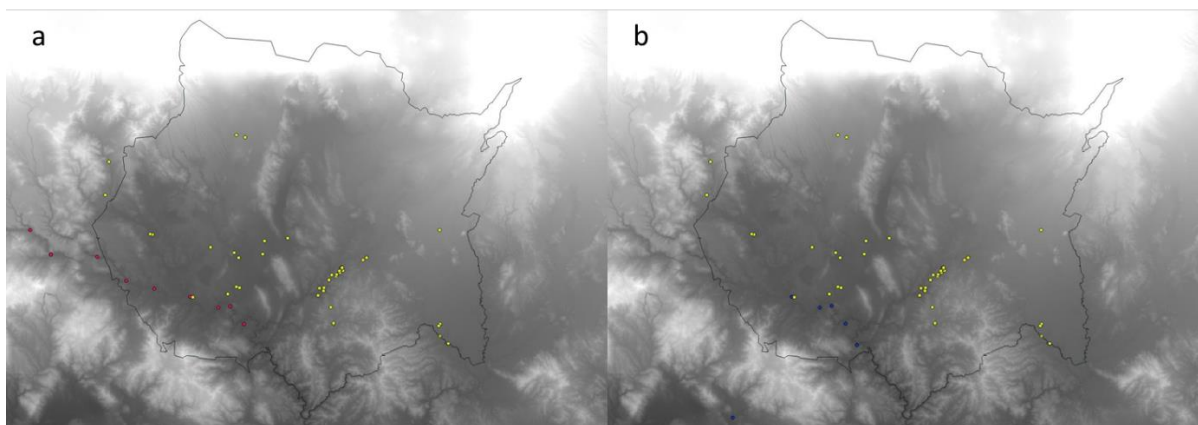


Figura 9. Sitios muestreados por Mejía-Mojica *et al.* (2012, 2015) para el Río Amacuzac (a; puntos en rojo) y la Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla (b; puntos en azul). La ubicación de las granjas se muestra en amarillo.

5.3 Medidas de bioseguridad, infraestructura y factor humano

En cuanto a las características de bioseguridad presentes en las UPA se tomó en cuenta la presencia de diversos factores de bioseguridad como el hecho de llevar a cabo el cultivo en invernaderos, el control de acceso, la existencia de bitácoras, etc. (Fig. 10).

Para la infraestructura de la UPA, se consideraron elementos indispensables como aireación, baños, bodegas, etc. (Fig. 11 y 12). Mientras que, para el factor humano, se contempló el grado de escolaridad, el conocimiento de las especies exóticas invasoras y la capacitación en acuicultura por parte del personal de las UPA (Fig. 13).

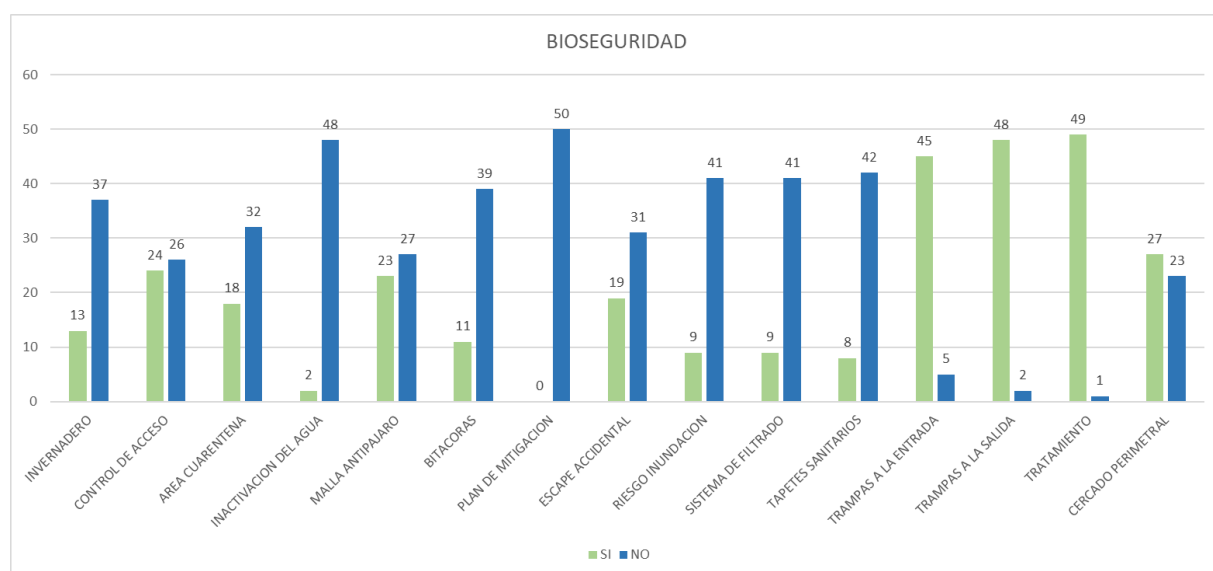


Figura 10. Medidas de bioseguridad presentes en las 50 UPA analizadas.

Del análisis de esta figura se desprende que la mayor parte de las UPA no cuentan con las medidas esenciales de bioseguridad, a excepción de trampas en la entrada y salida de las granjas (90%), de las cuales no se especificaron las características. Cabe destacar que la gran mayoría (96%) de las UPA no aplican ningún tipo de tratamiento al agua de descarga y que un poco más de la mitad (54%) cuentan con cercado perimetral. Destaca igualmente la carencia total (100%) de Planes de Mitigación, el escaso uso de bitácoras o registros (78%), que en la mayoría (64%) no se cuente con áreas de cuarentena y que en varias de ellas (38%) ya hayan sufrido escapes de organismos, lo que también puede ser explicable considerando que 82% de las granjas existen en zonas susceptibles a inundaciones y que también 82% carezcan de sistema de filtrado.

Es evidente que, de acuerdo a los sistemas de bioseguridad implementados actualmente, la mayoría de las granjas están lejos de alcanzar los tres estándares internacionales. En primer lugar, no atienden el requisito de los registros obligatorios sobre siembra de especies exóticas, libres de patógenos, híbridos y en particular del número sembrado en cada unidad de cultivo para cada periodo de cultivo, y aunque si bien reconocen la existencia de escapes no existen registros relacionados con los escapes documentados con precisión. Por otra parte, aunque si utilizan trampas en la entrada y la salida de las granjas, no se especifica si cumplen con los requisitos para minimizar el escape de los huevos, larvas, juveniles y animales adultos. De cualquier manera, aún si se hubieran cubierto en cierta medida los requisitos establecidos por los estándares internacionales, ninguna granja contaba con planes de mitigación, por lo que las especies que hubieran escapado no hubieran sido capturadas o eliminadas. Tampoco se cumple el requisito de inactivación de las aguas de descarga, y al no existir tapetes sanitarios ni sistemas de filtrado en la gran mayoría es altamente probable que una gran cantidad de microorganismos tengan como destino el medio ambiente natural.

Aunque no lo especifican los cuestionarios de las encuestas realizadas un aspecto que se tiene que considerar es el límite máximo de biomasa basado en el estado de salud de los peces y en los registros de supervivencia, ya que excediendo este límite queda comprometida la salud de los peces y se incrementaría el riesgo de patógenos que pudiera salir al medio ambiente.

Lamentablemente, en las encuestas tampoco se incluyeron aspectos cruciales como los esquemas de alimentación, la manera en que se efectuaba la disposición de los organismos muertos, si se sembraban organismos certificados como libres de enfermedades, o si las granjas contaban con un plan sanitario, o un plan de higiene.

No está documentada la manera en que se podrían identificar los lotes de peces sembrados, ni la manera en que se efectúa la cosecha y no hay evidencia de trazabilidad de los organismos producidos.

Se desconoce igualmente la altura de muros perimetrales y su mantenimiento, dimensión del francobordo y medidas especiales para evitar que se desborden los estanques en caso de inundación.

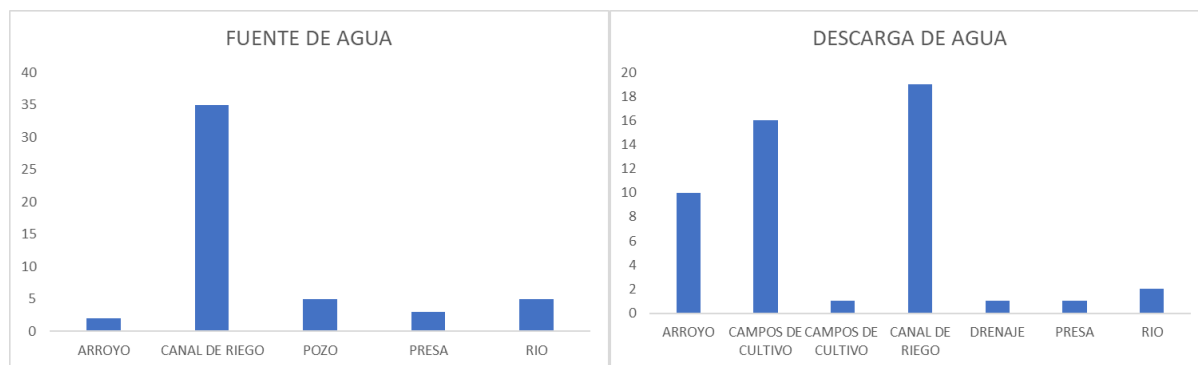


Figura 11. Sitios de fuente de origen y descarga de agua en las 50 UPA analizadas.

En lo que respecta a la fuente y la descarga de agua por las UPA, se puede observar que la mayoría de las granjas toman agua de canales de riego, lo que a su vez son alimentados por ríos o arroyos continuos y que por lo tanto pudieran contener ictiofauna nativa o exótica y probablemente patógenos y parásitos. Esta conjetura se ve fortalecida por el hecho de que una parte importante de las UPA descargan su agua directamente en canales de riego o arroyos con las medidas de bioseguridad señaladas anteriormente, mientras que un tercio de las UPA utiliza el agua de descarga para propósitos de riego. Obviamente estas prácticas también están alejadas de los estándares internacionales que indican que el agua debe ser tratada antes de ser descargada.

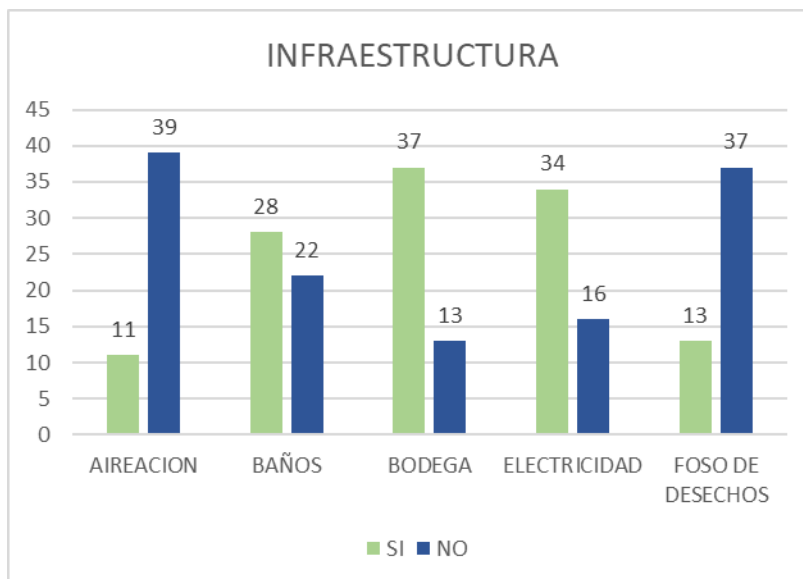


Figura 12. Infraestructura de importancia en cuanto al riesgo de dispersión de especies exóticas en las 50 UPA analizadas.

En materia de infraestructura, aunque es difícil generalizar se puede apreciar que la gran mayoría de las granjas (78%) no utilizan aireación, esto a pesar de que la mayoría (68%) dispone de electricidad. De hecho, un 93% de UPA de alto riesgo para el parámetro de *Especies* no cuentan con aireación, lo cual implica que utilizan especies que son resistentes a las fluctuaciones de oxígeno y por ende capaces de soportar altas cargas de materia orgánica, o que incluso pueden respirar aire atmosférico, lo que contribuye a explicar el resultado de los análisis de riesgo, al tratarse de especies robustas y que por lo tanto están pre-adaptadas a ambientes alterados antropogénicamente (Sax y Brown, 2000). De hecho, esto se confirma al haberse encontrado la presencia de una mayor abundancia de especies exóticas en ambientes donde la calidad de agua en los ríos de Morelos es menor (Mejía-Mojica *et al.*, 2015). Además, se ha reportado que la escasez de tecnificación en las instalaciones y su proximidad al cauce de los ríos son algunos de los factores que contribuyeron al escape y posterior establecimiento y dispersión del cíclido convicto (*A. nigrofasciata*) en el río Amacuzac (Contreras-MacBeath *et al.*, 1996; Mejía-Mojica *et al.*, 2012).

Igualmente, es notable la carencia de un foso de desechos y la ausencia de baños en varias de ellas, lo que explicaría la incidencia de patógenos y parásitos en estas granjas. A este respecto, se ha reportado la incidencia de enterobacterias (particularmente de coliformes fecales) en los estanques de cultivo de varias granjas en Morelos (Negrete-Redondo y Romero-Jarero, 1998). Por otra parte, ya que el sistema de flujo y recambio de agua en las granjas es generalmente un sistema abierto, tiende a disminuir el riesgo local de infección, sin embargo, estas granjas al estar en comunicación con granjas vecinas a través del flujo de agua y no instalar los filtros debidos arriesgan su producción si llegara a surgir un brote local de infección. Un riesgo similar es acarreado por aquellas granjas que carecen de bodegas, ya que seguramente existen grandes posibilidades de que el alimento se contamine con microorganismos o por la proximidad de vertebrados. Por cierto, en las encuestas no se menciona la existencia de animales como perros, gatos, etc., en las granjas.

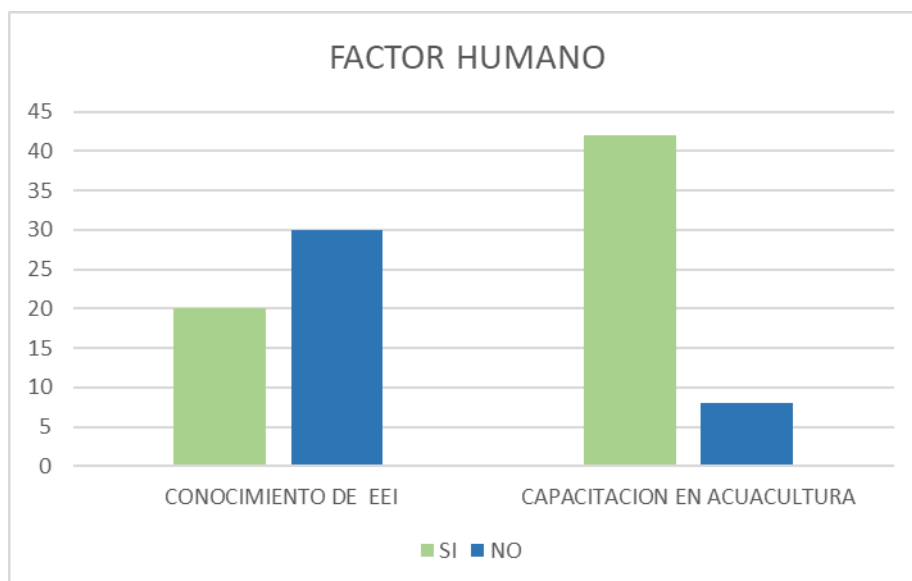


Figura 13. Número de productores con conocimiento en cuanto a especies exóticas invasoras y su capacitación en acuicultura.

Esta gráfica ilustra que la mayor parte de los acuicultores desconocen la importancia del tema de las especies exóticas invasoras y que por ende no han emprendido medidas de bioseguridad, esto a pesar de tener una capacitación en acuicultura.

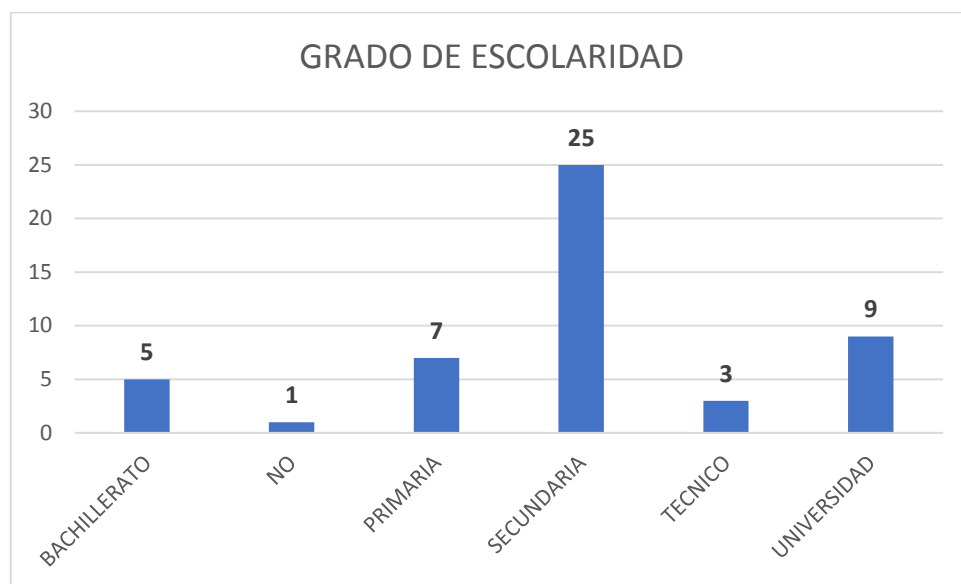


Figura 14. Grado de escolaridad de los productores de las 50 UPA analizadas.

Por otra parte, se puede apreciar que la mayoría de los operadores de las UPA sólo poseen estudios de primaria y secundaria, lo que pudiera dificultar la concientización de la importancia de la dispersión de especies exóticas y la creación de capacidades en torno a temas relacionados con la bioseguridad.

5.4 Presión de propágulo

Debido a que no se pudo disponer de la información sobre el volumen de producción por especies, se realizó una estimación sobre este parámetro en base al sistema de producción y al espejo de agua total de la UPA. Respecto al sistema de producción se pudo constatar que sólo 3 UPA realizan un cultivo intensivo, mientras que el resto maneja una producción semi-intensiva. En cuanto al espejo de agua, se reportaron superficies desde los 58 hasta 20,000 m², aunque algunas granjas producen peces en hasta 400 acuarios.

5.5 Enfermedades y parásitos

En total se documentaron 45 especies de parásitos y patógenos que afectan las especies cultivadas en el Estado de Morelos (incluyendo organismos identificados hasta género o sólo con nombre común), de los cuales se infiere un espectro de 14 a 19 especies-patógenos que pueden ser transmitidos por granja (es decir, si un patógeno puede ser transmitido por varias especies distintas en una sola granja). De estas especies, solo *Gyrodactylus salaris* se encuentra listada como especie de alto riesgo por la OIE; cabe destacar que no se reporta esta especie para Morelos, sin embargo, si se reportan organismos del género *Gyrodactylus* sp. no identificados hasta especie por lo cual a estos se les asignó un mayor riesgo debido a la imposibilidad de descartar que se traté de *G. salaris*.

De hecho, ya se ha reportado la presencia de algunas de estas especies de parásitos en el medio, al igual que sus hospederos, por lo cual no se puede descartar su introducción a través del cultivo de peces ornamentales en Morelos.

5.6 Índice Integrado de Bioseguridad

Integrando todos los parámetros de bioseguridad generados de acuerdo a los riesgos de cada especie cultivada y por la ubicación de cada UPA se obtuvo un Índice Integrado de Riesgo (IIR). En la Figura 15, se muestran los rangos de valores obtenidos para cada parámetro de riesgo para todas las UPA, mientras que en el Anexo C se representan los parámetros de riesgo y el IIR de cada UPA. En cada gráfica se muestra el valor de riesgo para cada parámetro en una escala de 0 a 1, mientras que el IIR representa el área dentro del polígono, lo cual provee una idea del riesgo global de cada UPA y el peso de cada parámetro. Este índice tiene un valor máximo de 2.7 para aquel polígono que tuviera un riesgo de 1 en cada vértice. No obstante, para las UPA analizadas se obtuvieron un valor mínimo y máximo de 0.72 y 2.29, respectivamente.

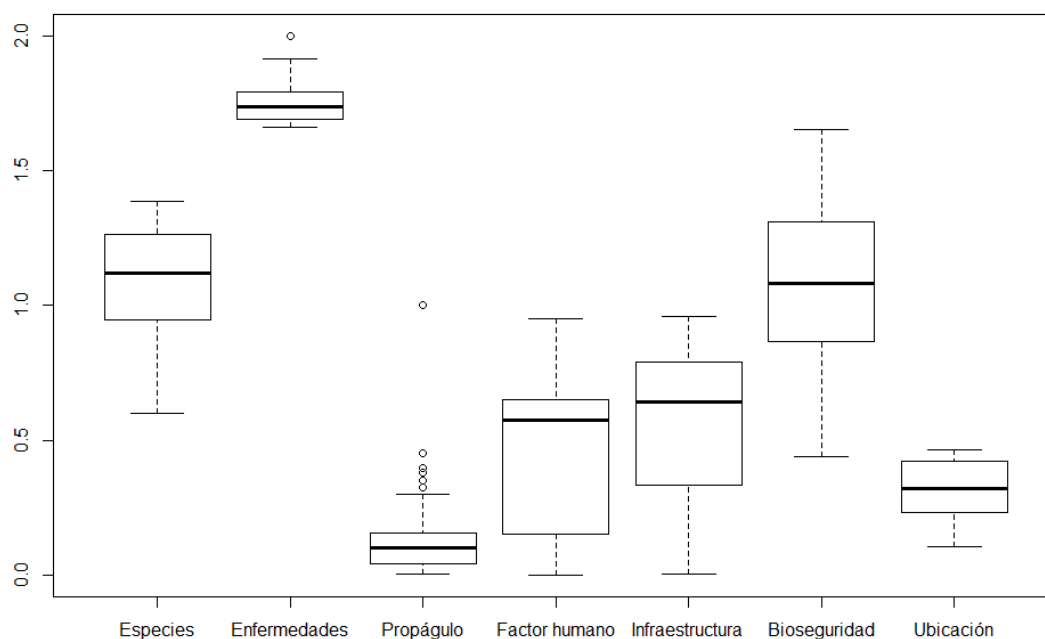


Figura 15. Whiskerplot con los valores de riesgo obtenidos para cada parámetro en las 50 UPA analizadas. Se muestra la mediana, cuartiles, rango y puntos extremos.

Esta gráfica pone de manifiesto que tanto los parámetros: enfermedades, bioseguridad y especies son los que definen principalmente el estado de bioseguridad de estas 50 granjas. Cabe destacar que pese a la relevancia del resto de los parámetros su importancia se ve disminuida debido a la variación ocasionada por la carencia de información, principalmente en cuanto a la presión del propágulo el factor humano y la infraestructura. En el caso específico de la presión del propágulo esta variación se explica principalmente por una UPA (*outlier*) que tiene un espejo de agua sumamente grande comparada con el resto de las UPA. Esta variación puede ser apreciada en el polígono que integra los valores del IIR de todas las granjas evaluadas (Fig. 16).

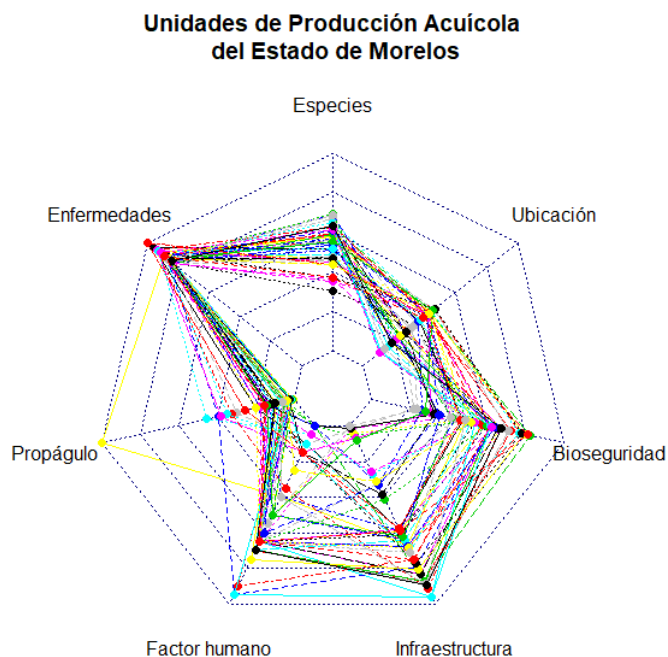


Figura 16. Índice Integrado de Riesgo para todas las UPA analizadas.

Este polígono ilustra el promedio de los IIR agrupando los resultados de las 50 UPA analizadas. En éste se puede apreciar que son los parámetros enfermedades especies, infraestructura y bioseguridad los que definen la importancia del índice. Por otra parte, al analizar las UPA por parámetro (Figura 17-23) se puede evidenciar la importancia de reforzar sus medidas de bioseguridad de manera específica, en cada uno de estos.

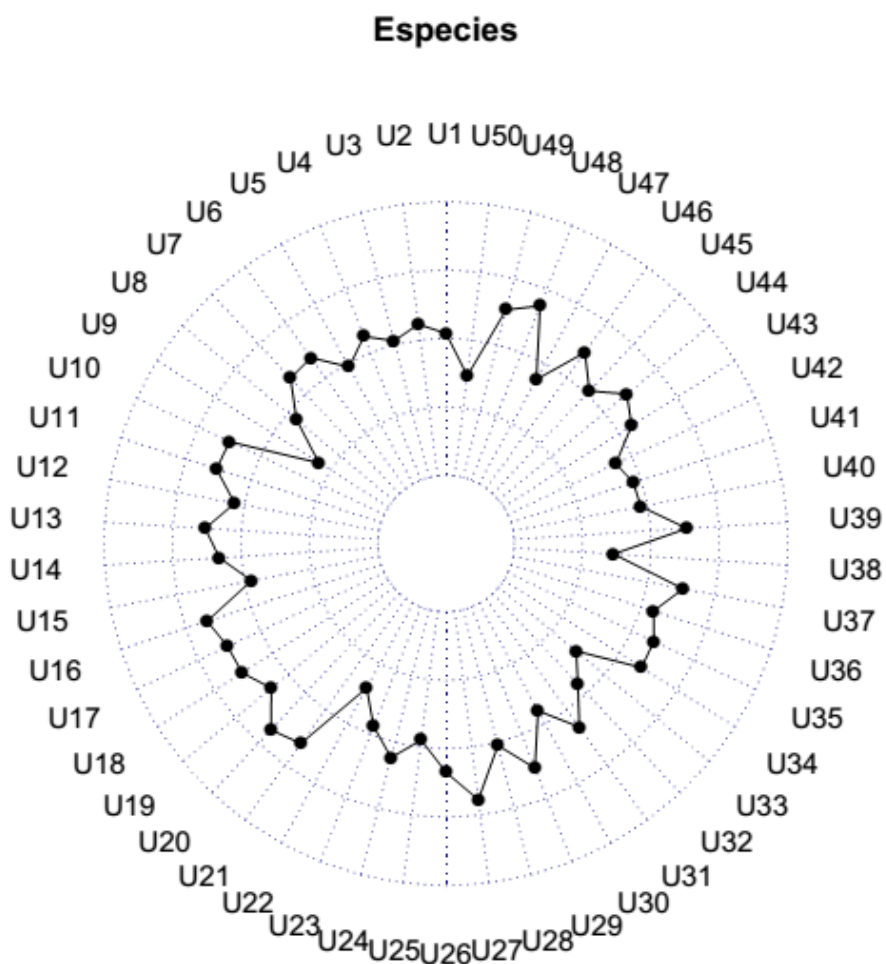


Figura 17. Riesgo para el parámetro Especies para todas las UPA analizadas.

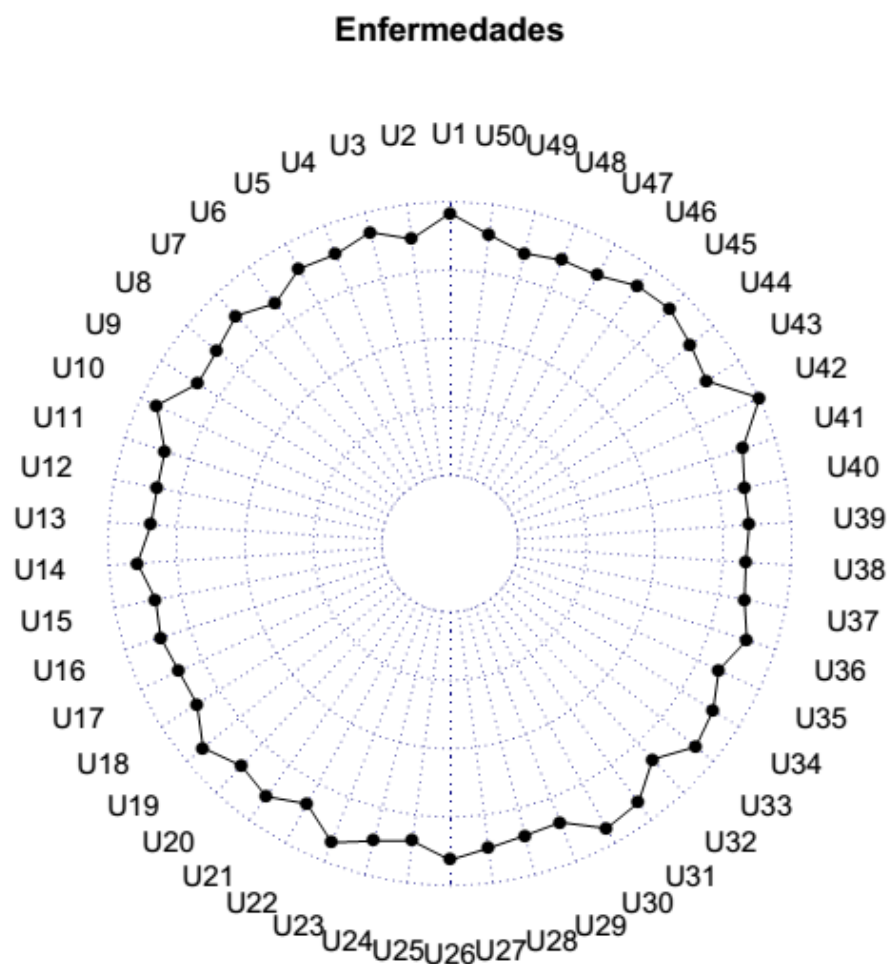


Figura 18. Riesgo para el parámetro Enfermedades para todas las UPA analizadas.

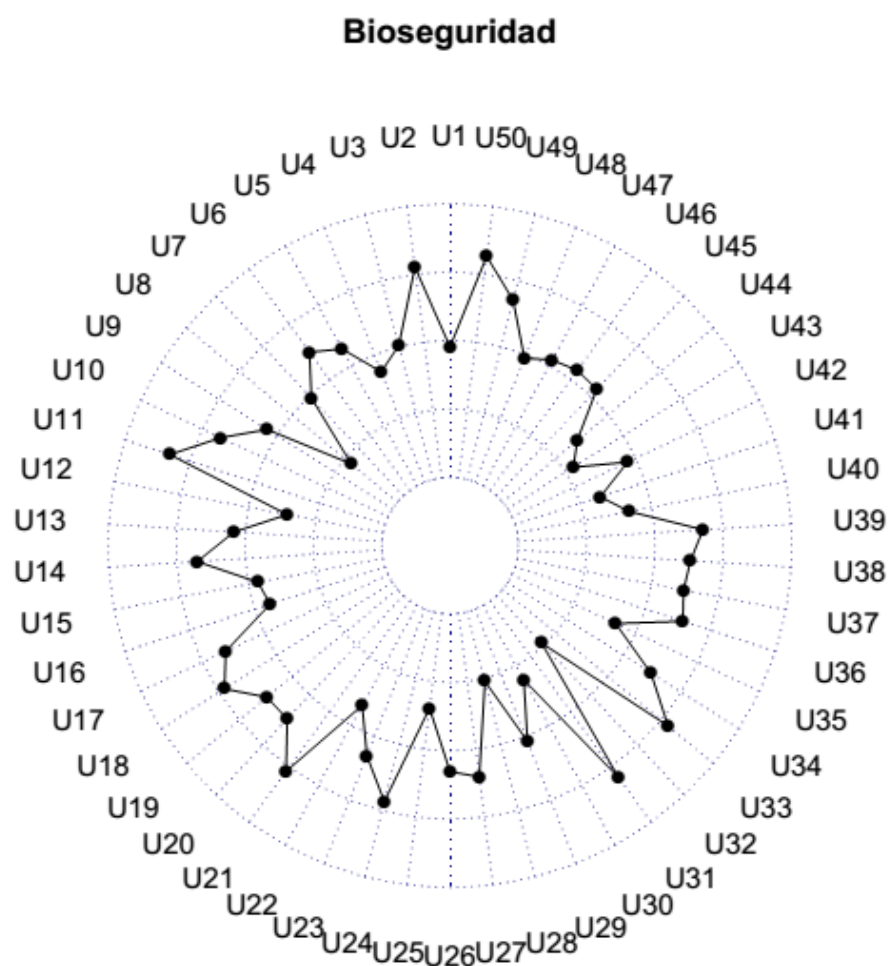


Figura 19. Riesgo para el parámetro Bioseguridad de todas las UPA analizadas.

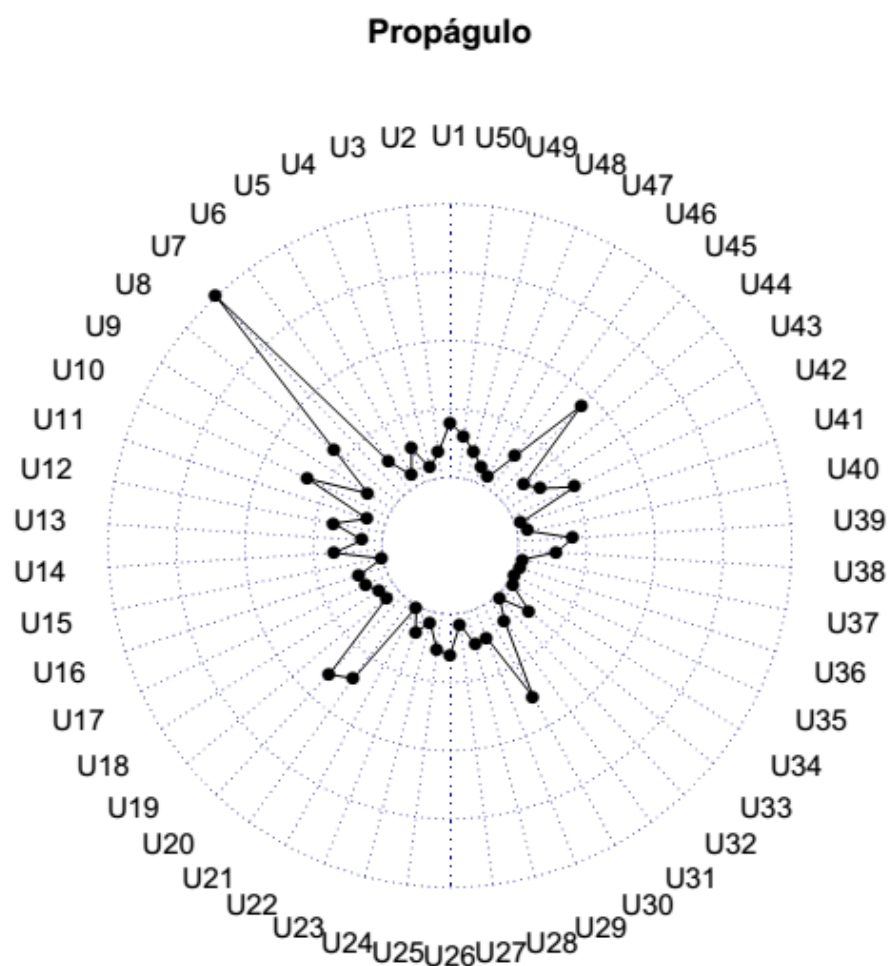


Figura 20. Riesgo para el parámetro Propágulo de todas las UPA analizadas.

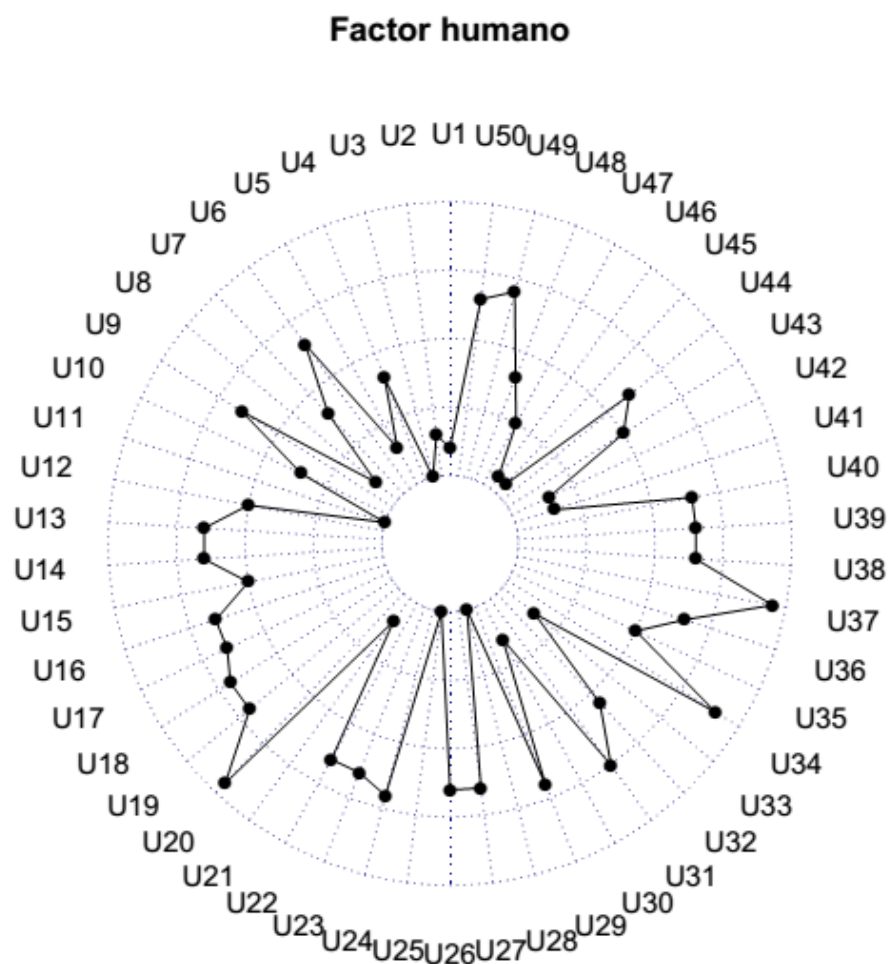


Figura 21. Riesgo para el parámetro Factor humano de todas las UPA analizadas.

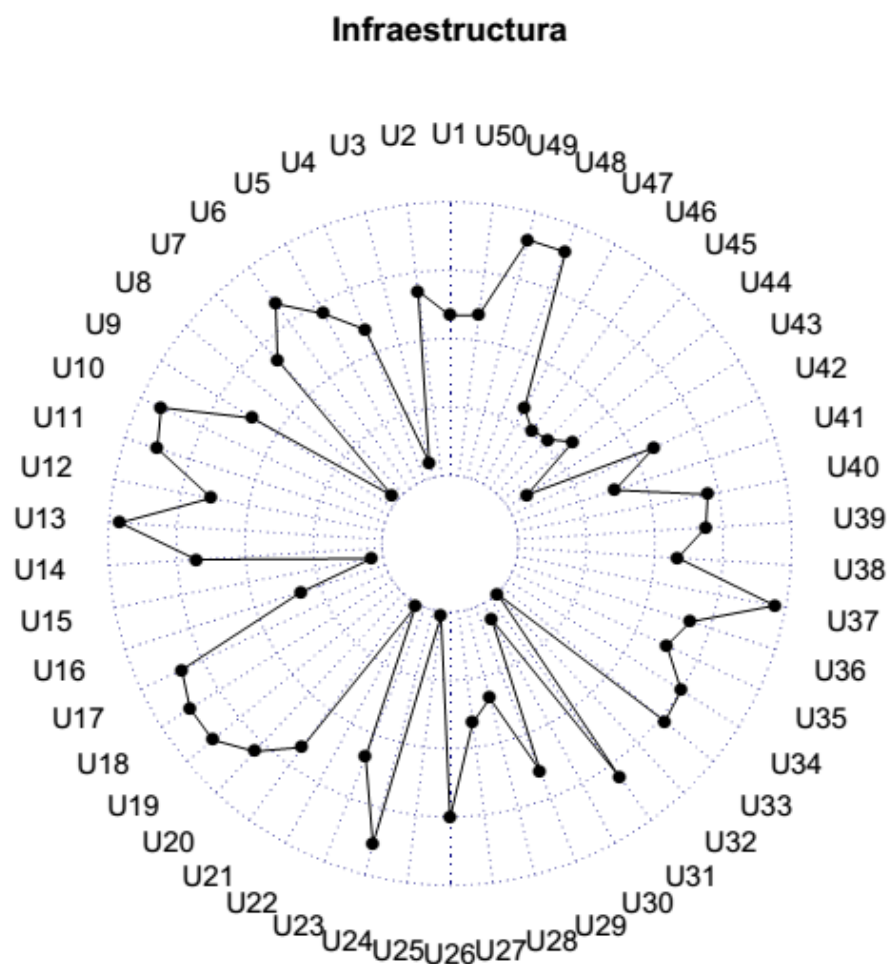


Figura 22. Riesgo para el parámetro Infraestructura de todas las UPA analizadas.

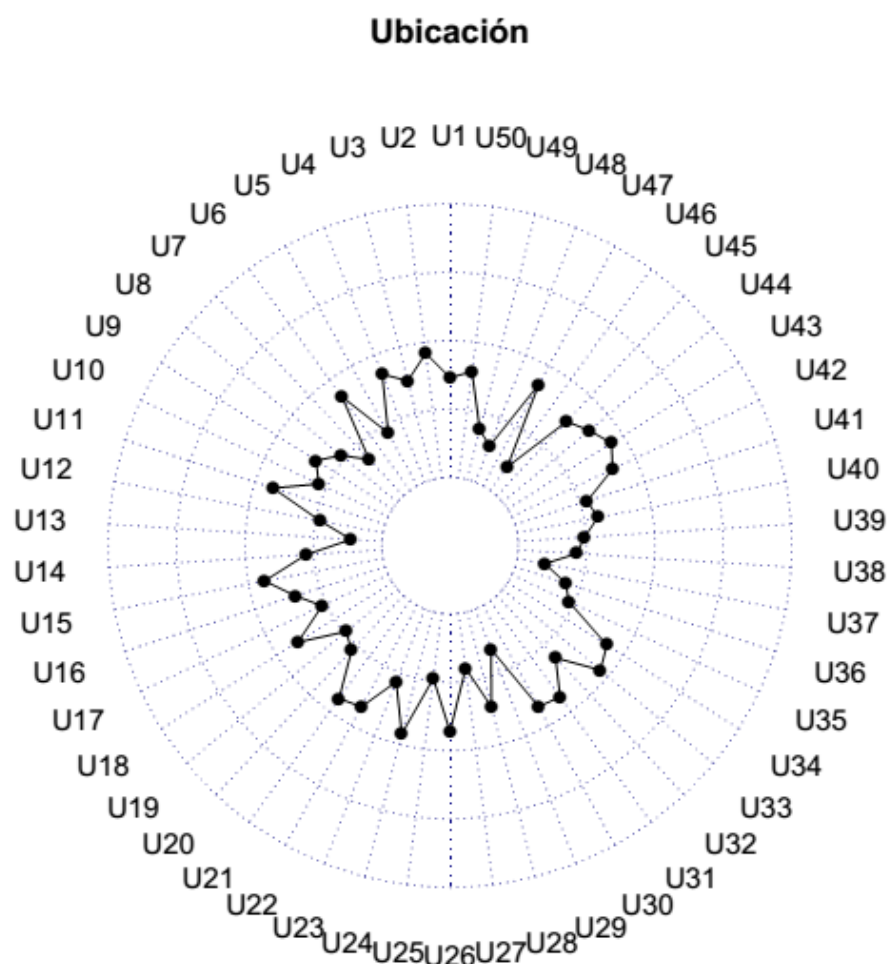


Figura 23. Riesgo para el parámetro Ubicación de todas las UPA analizadas.

Considerando los valores de los IIR y las UPA, se pudo establecer una categorización en la que se agruparon en aquellas de un riesgo generalizado bajo ($IIR < 1.4$), riesgo medio ($IIR 1.4-1.6$) y riesgo alto ($IIR > 1.6$) (Figura 24). De acuerdo a esta categoría, y a pesar de las carencias estructurales y humanas en cada UPA se encontraron 18 UPA de riesgo bajo, 13 de riesgo medio y sólo 19 de riesgo alto. De lo cual se destaca que la mayor parte de las UPA se encuentra en una categoría de riesgo alto, lo cual puede resultar significativo en términos de impactos negativos a la biodiversidad, aunque no se descarta que también las

de riesgo medio contribuyan a estos impactos. De aquí que la Propuesta Económica involucre tanto a las UPA con riesgo alto como las de riesgo medio (64% de las granjas).

A pesar de no cumplir la mayor parte de los estándares internacionales es sorprendente que solo un poco más de la mitad de las granjas estén consideradas de riesgo medio o alto.

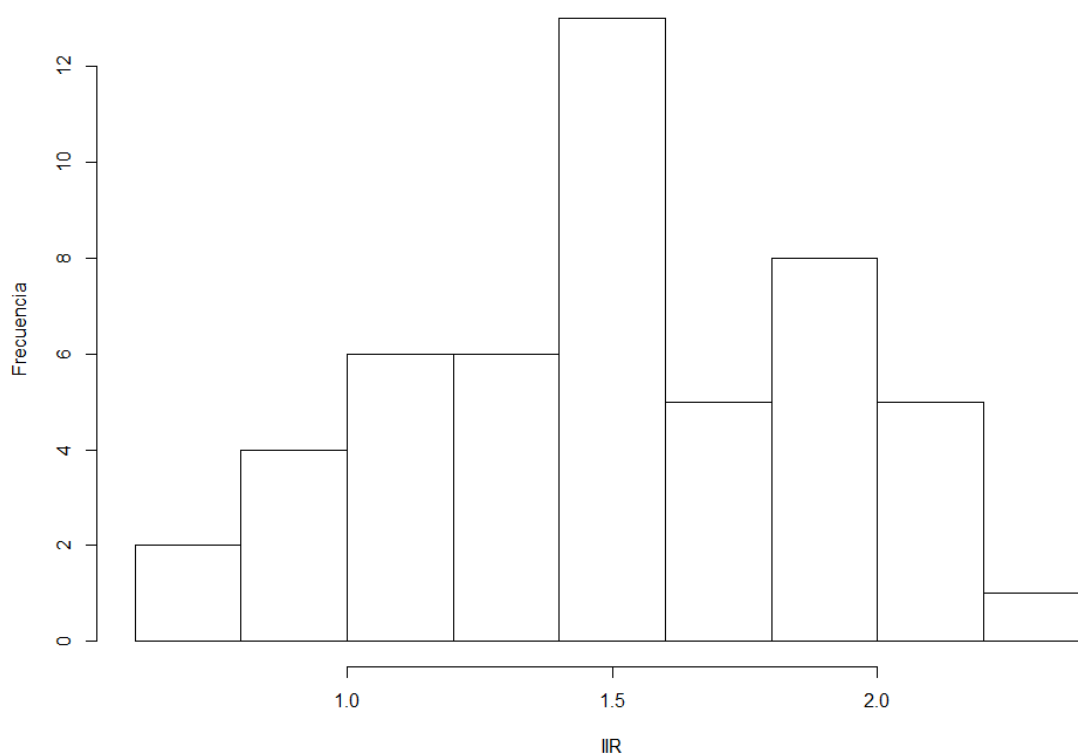


Figura 24. Histograma de la frecuencia de UPA de acuerdo al Índice Integrado de Riesgo obtenido.

Adicionalmente, se realizó un análisis clúster jerárquico de distancia euclidiana para determinar el grado de relación de las UPA con respecto a los parámetros de riesgo obtenidos por cada una de ellas (Figura 25), encontrándose dos grupos: aquellas con una mayor relación con los parámetros: Propágulo, Ubicación, Factor humano e Infraestructura y por otra parte aquellas en que los parámetros Enfermedades, Especies y Bioseguridad tuvieron mayor peso. En la figura 26 se muestran las UPA que corresponden a estos grupos de acuerdo a sus valores, observándose claramente porque se pueden agrupar las granjas con riesgo medio y alto.

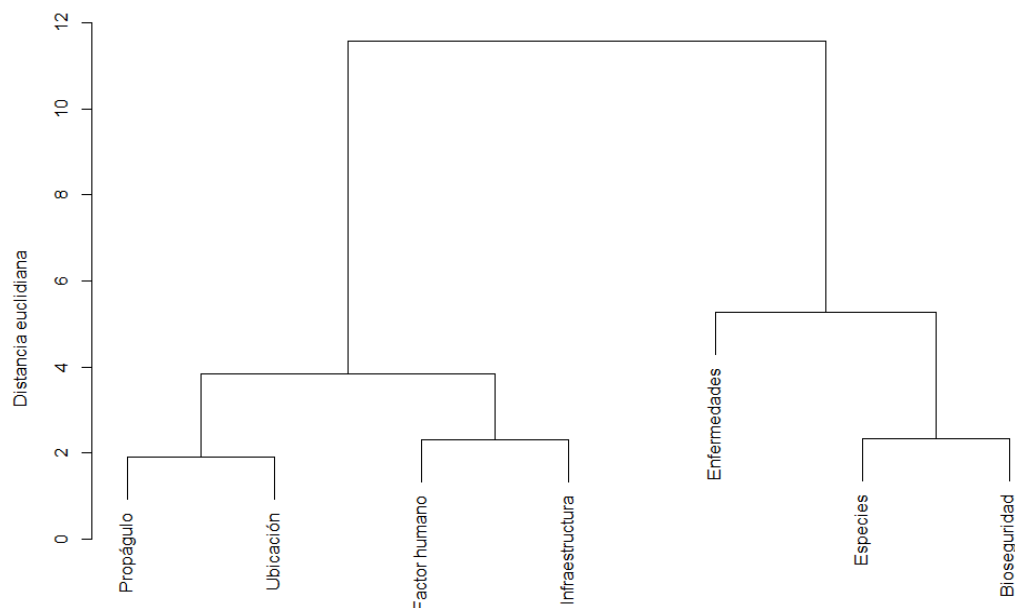


Figura 25. Análisis clúster jerárquico de similitud entre los parámetros de riesgo analizados basado en distancia euclidiana.

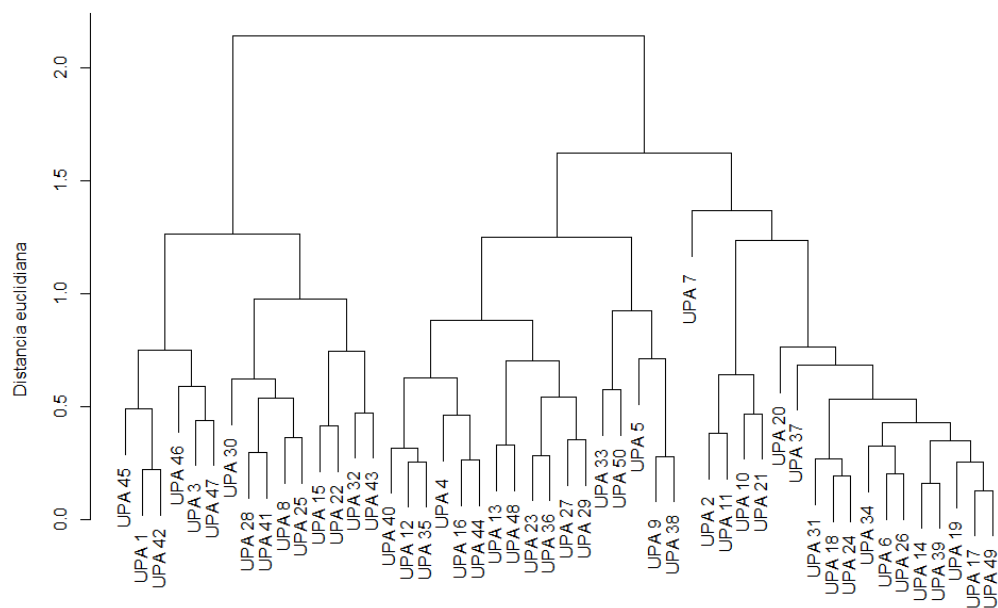


Figura 26. Análisis clúster jerárquico de similitud entre las UPA basado en la distancia euclidiana de los parámetros de riesgo analizados.

VI. PROPUESTA DE BIOSEGURIDAD

En función de los resultados obtenidos del análisis de las 50 granjas y considerando las endebles medidas de bioseguridad con las que cuentan la mayoría de ellas, se propone que se sigan los pasos que se describen en las siguientes secciones para elaborar un plan de bioseguridad por granja.

La propuesta está basada en diversos aspectos ilustrados en la Fig. 27, y que serán desglosados posteriormente.

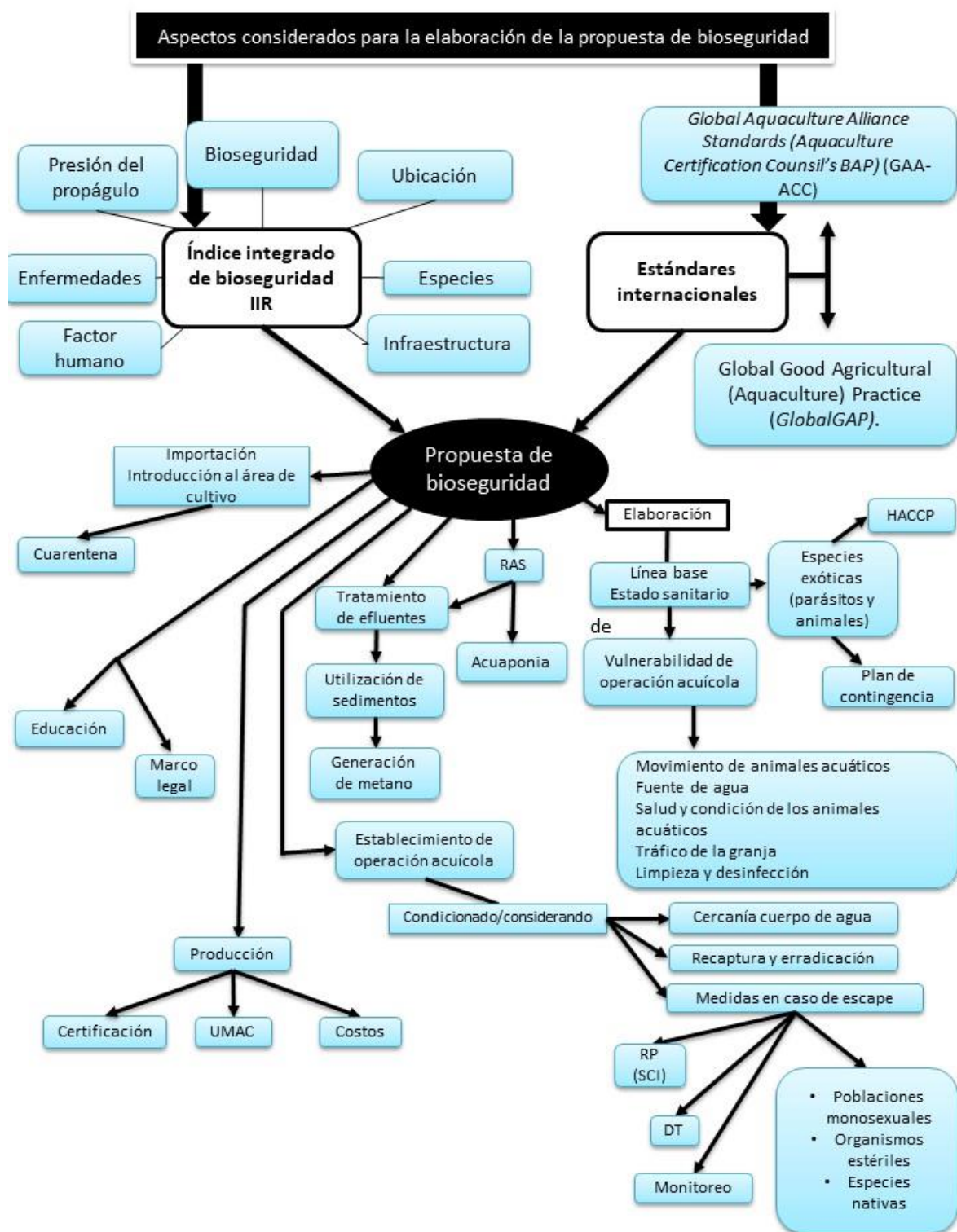


Figura 27. Aspectos considerados para la elaboración de la propuesta de bioseguridad.

6.1 Costos y beneficios de adoptar procedimientos de cuarentena y evitar la introducción de especies exóticas en el medio ambiente

Como es bien sabido el escape de las especies exóticas y las enfermedades resultantes de la introducción de nuevos patógenos y parásitos pueden tener impactos devastadores, mientras que actuar de forma proactiva de acuerdo a un plan de bioseguridad y con la adopción de buenas prácticas de manejo no solo disminuye tales impactos, sino que aporta grandes beneficios a la producción.

De acuerdo al gobierno de Queensland (Queensland Government, 2011), los beneficios incluyen:

- reducción de los costos de manejo o erradicación de especies invasoras y enfermedades de especies acuáticas.
- reducción del riesgo de pérdidas en los cultivos y la producción pesquera causadas por enfermedades e incursiones e impactos de organismos acuáticos que han escapado.
- beneficios a la salud humana a partir de una exposición reducida a especies invasoras y enfermedades y a productos químicos (utilizados para controlar especies invasoras y enfermedades de especies acuáticas) que pudieran afectar a los organismos acuáticos comestibles.
- conservación de la biodiversidad acuática (genes, especies y hábitats acuáticos); y un mejor acceso a los mercados de exportación por contar con productos libres de enfermedades.

Los costos incluyen:

- reducción del acceso a nuevas especies para la producción acuícola, lo que pudiera obstaculizar la diversificación de la industria.
- reducción del acceso a reproductores o lotes de peces más sanos o de más rápido crecimiento, o a diferentes poblaciones genéticas, lo que podría aumentar los costos de producción, disminuir la calidad de la producción y reducir la diversidad genética de las poblaciones cultivadas.
- reducción de la disponibilidad de alimentos importados, de la calidad de los alimentos y/o alimentos más caros.

- mayores precios al consumidor y/o menor posibilidad de elección de los consumidores;
- cumplimiento con las normas de la industria y de la administración gubernamental.
- potencial para disputas comerciales.

Otros impactos potenciales incluyen: pérdidas de producción por eventos de mortalidad, pérdida de acceso a los mercados, si ciertos patógenos están asociados con la instalación, el sector acuícola o la región y la consiguiente incapacidad para transportar el producto a otras granjas o lugares. Sobra mencionar que este tipo de acontecimientos tienen consecuencias económicas desastrosas, sin contar que la falta de información epidemiológica adecuada sobre muchos patógenos acuáticos o la falta de acceso a información actual y válida sobre enfermedades particulares agravan aún más los problemas en el sector de la acuicultura.

Adicionalmente, pueden existir otras implicaciones como mayor competencia en las importaciones lo que podría resultar en un incremento en beneficios a los acuicultores locales, pero a un mayor precio hacia los consumidores. El movimiento de peces entre diferentes ecorregiones siempre conlleva cierto riesgo. El mayor riesgo es la introducción de enfermedades, aunque la contaminación genética y la introducción de especies exóticas también tienen un impacto significativo. Estos factores de riesgo tienen el potencial de impactar seriamente a los recursos acuáticos nativos con la consecuente pérdida de productividad de la industria de la acuicultura.

Los patógenos y parásitos pueden estar presentes en los lotes de peces que se importan, pero también en el agua en que se transportan, y no ser evidentes, particularmente cuando los animales son traídos del medio silvestre. Una vez en las instalaciones acuícolas cuando los animales son cultivados en altas densidades el riesgo de enfermedades es mayor ya que se favorece la multiplicación de patógenos y parásitos si es que están presentes. Por otra parte, el potencial de introducción de enfermedades en el medio acuático natural (lo que puede resultar en mortalidad o morbilidad de la biota nativa) por la introducción de organismos acuáticos se considera un riesgo significativo e inaceptable. El riesgo se incrementa cuando los organismos provienen de ecorregiones diferentes ya

que las poblaciones nativas pueden no tener o tener muy poca resistencia natural o adquirida a los patógenos y parásitos que se introducen con estos organismos.

Adicionalmente, las especies exóticas pueden competir por alimento y el hábitat, depredar a las especies nativas o impactar el ambiente natural por medio de su compartimiento forrajero. Consiguientemente, además de los efectos biológicos, pueden ocurrir consecuencias negativas en la industria, se pueden generar consecuencias sociales negativas y daños en el ambiente. También se debe considerar el potencial de hibridación entre las poblaciones cultivadas y silvestres, ya que esto puede resultar en cambios significativos en el pool genético de la biota acuática natural. La dilución o alteración del pool genético puede hacer que las poblaciones silvestres se vuelvan menos competitivas y potencialmente menos adaptables para sobrevivir en el ambiente local. Cuando los organismos escapan de las operaciones de acuicultura pueden implicar un riesgo ambiental significativo. Desde el punto de vista del manejo, el escape incidental de cualquier recurso acuático de una operación acuícola hacia el medio silvestre es inaceptable. El control o la erradicación de las especies que se han escapado en la mayor parte de los casos es imposible y las consecuencias ambientales potenciales son difíciles de medir.

En efecto, en contraste con los beneficios económicos que la industria acuícola representa, esta actividad productiva durante su desarrollo ha venido generando impactos que han afectado de manera severa al medio ambiente. Algunos de los daños más conocidos son la afectación a las zonas de manglar de varias regiones del mundo (Barbier y Burgess, 2001), la liberación de especies exóticas en el medio natural (Heimowitz, 2001) y la introducción de patógenos que han diezmado a las poblaciones naturales de organismos acuáticos (Lightner *et al.*, 2002).

De esta manera, el manejo productivo o de investigación, dentro de zonas en las que pudiera ocurrir la descarga de efluentes o la liberación no intencional de organismos vivos contaminados con agentes patógenos, los cuales pudieran representar una leve o severa afectación a los organismos del medio circundante, representan un área de oportunidad

para el desarrollo de técnicas que permitan el sano y sostenido desarrollo de la actividad (Xiongfei *et al.*, 2005).

Un aspecto fundamental en la industria de la acuicultura es la bioseguridad, entendida como la protección de los organismos vivos por la exclusión de patógenos y otros organismos indeseables. Así, la bioseguridad en acuicultura significa proteger peces o invertebrados de los agentes infecciosos (virus, bacterias, hongos o parásitos) (Pietrak y Leavitt, 2014). Esto atañe igualmente al medio ambiente, ya que la mayor parte de las operaciones acuícolas tienen contacto directo con el medio natural. Así, los patógenos y parásitos introducidos en las poblaciones silvestres son capaces de alterar la dinámica de éstas (Grenfell y Dobson, 1995), y los brotes de enfermedades virulentas pueden diezmar a poblaciones que inmunológicamente no estén preparadas (Dobson y May, 1986). En los casos en que las poblaciones de vida silvestre son importantes para la sociedad humana como alimento o para recreación, los costos económicos y sociales de un brote de la enfermedad pueden ser enormes (Burroughs *et al.*, 2002), y la erradicación es en general más costosa.

Dentro de este contexto, existen múltiples reportes respecto a los impactos perjudiciales que el desarrollo productivo de la actividad acuícola ocasiona. Esta industria depende principalmente de cultivos abiertos con alto nivel de utilización de agua para recambio, lo que ha impactado de manera negativa a los ecosistemas y propiciado la diseminación de enfermedades (Samocha *et al.*, 2004).

La introducción o liberación de agentes patógenos puede ser propiciada por transmisión horizontal y vertical en las granjas, laboratorios de producción de crías y medio silvestre (Figura 28). En los laboratorios de reproducción y en las granjas por la administración de alimento seco o fresco, por las descargas de agua de recambio y en las plantas procesadoras de productos, por la descarga de agua y los residuos sólidos (Stuck y Wang, 1996; Golburg y Triplett, 1997; Losordo *et al.*, 1998).

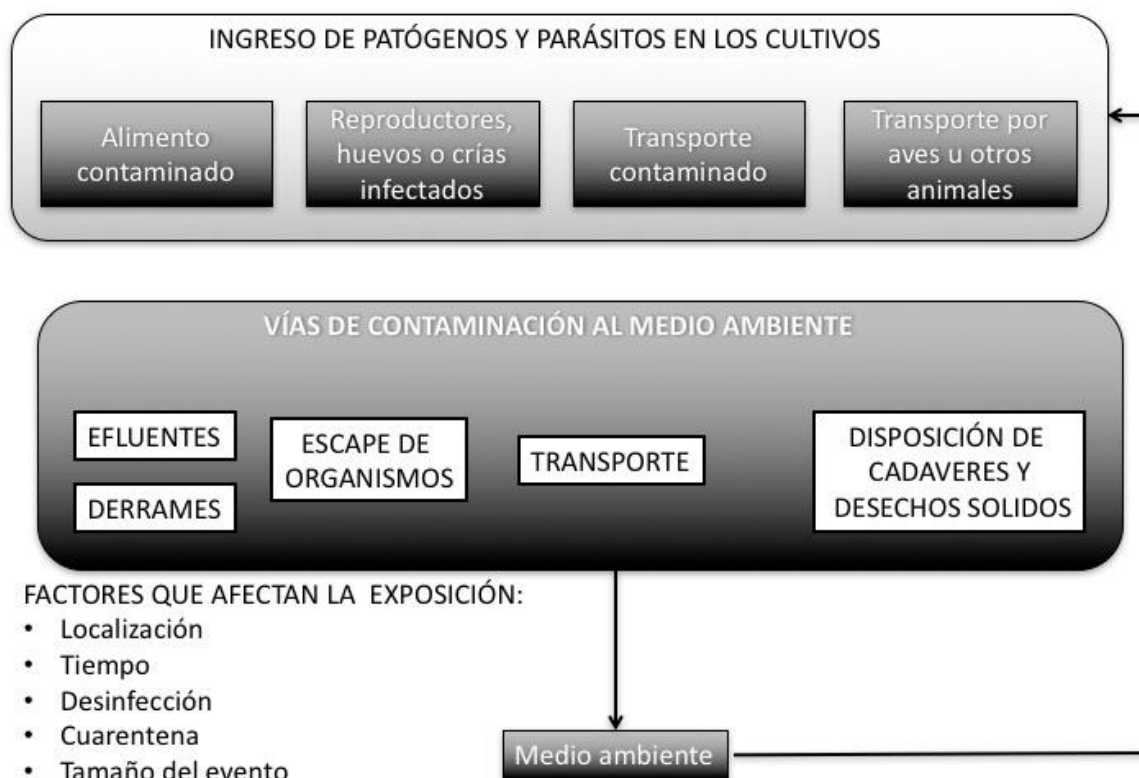


Figura 28. Ingreso y flujo de patógenos y parásitos en los medios de cultivo de peces (modificada de JSA, 1997).

Las medidas de bioseguridad comprenden dos grandes grupos: unas dirigidas a evitar la introducción del patógeno o medidas de exclusión y otras enfocadas a proporcionar las condiciones adecuadas de cultivo que permitan que el organismo se desarrolle en forma óptima y sea capaz de resistir o minimizar los efectos de algún patógeno que haya evadido las primeras medidas de bioseguridad (Figura 29 y 30).

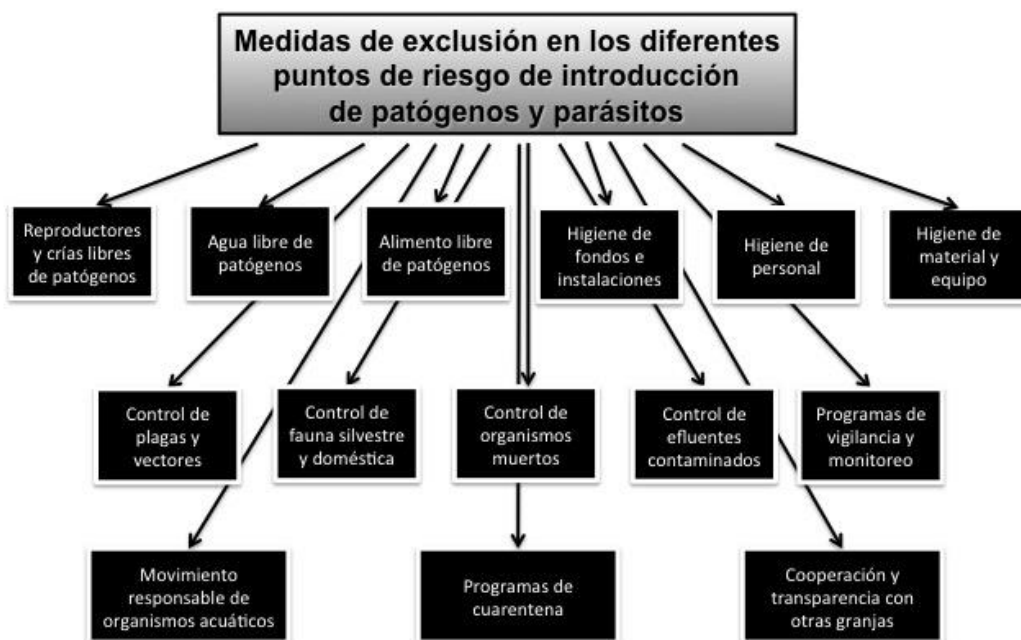


Figura 29. Medidas de exclusión que se aplican en los diferentes puntos de riesgo de introducción de patógenos y parásitos (modificado de Chávez y Montoya, 2004).

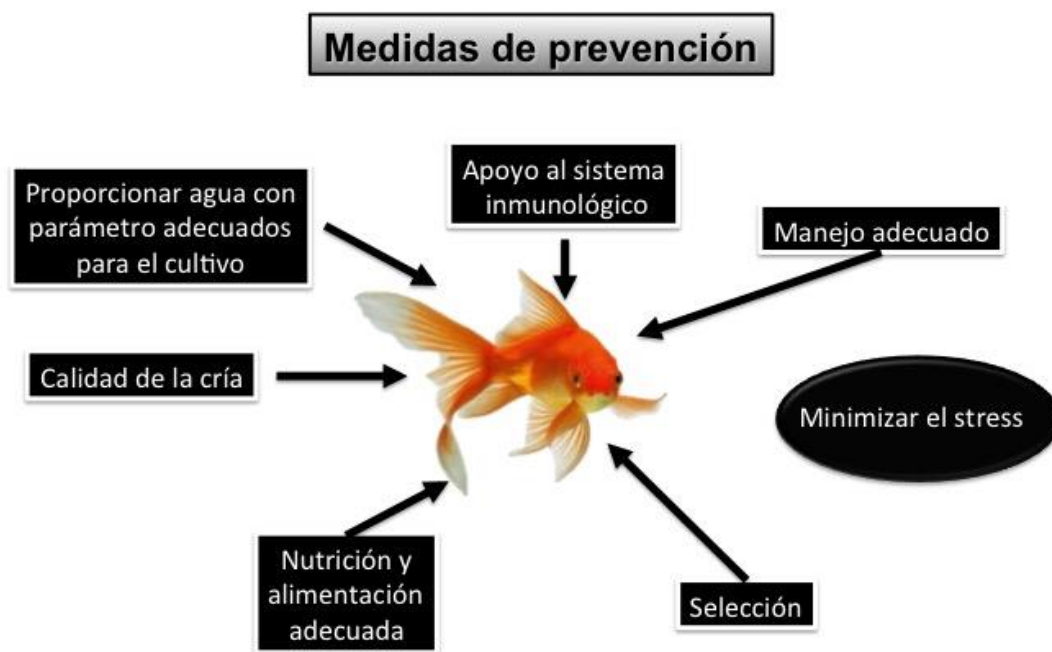


Figura 30. Medidas preventivas enfocadas a proporcionar las condiciones de cultivo necesarias para el desarrollo óptimo de los organismos en cultivo (modificado de Chávez y Montoya, 2004).

6.2 Guía para desarrollar un plan de bioseguridad

Una manera voluntaria y altamente efectiva para reducir el riesgo de enfermedades en una granja es el desarrollo de un plan de bioseguridad.

Por definición: "En la acuicultura, la bioseguridad es un término colectivo que se refiere al concepto de aplicar medidas apropiadas (por ejemplo, análisis proactivo del riesgo de enfermedades) para reducir la probabilidad de que un organismo o agente biológico se transmita a un individuo, población o ecosistema, y para mitigar los efectos adversos del impacto que resulte".

Los planes de bioseguridad eficaces deben diseñarse para sitios específicos de la granja, ser adaptables, enfrentar las amenazas de enfermedades locales y evitar el daño ambiental. Las políticas y prácticas de bioseguridad de una empresa acuícola son controladas directamente por el acuicultor. Los objetivos de estas políticas y prácticas deben coincidir con los diversos niveles de bioseguridad regulados por el gobierno, es

decir, deben estar enfocados a reducir la probabilidad de que un patógeno infecte a uno o más animales bajo el cuidado del acuicultor o afecte negativamente a las granjas vecinas o el medio ambiente circundante. Desafortunadamente, no existe un programa de bioseguridad "a la medida". A nivel de empresa y de granja, los componentes del plan de bioseguridad desarrollado dependen de las características de cada instalación.

El diseño de un plan eficaz de bioseguridad en las granjas depende de la comprensión de los mecanismos por medio de los cuales se introducen y propagan los organismos causantes de enfermedades y de la identificación precisa y oportuna de cualquier patógeno que pudiera estar presente. Las directrices que se enuncian a continuación ofrecen un punto de partida para facilitar la reflexión sobre los riesgos para la salud de los animales acuáticos y las formas activas de minimizar el riesgo.

Se debe tener en cuenta que un buen plan de bioseguridad, implementado sólidamente, funciona como un tipo de póliza de seguro contra la enfermedad. El uso rutinario de medidas de bioseguridad tales como: el suministro seguro de agua, peces sanos, buenas prácticas de higiene para todos los que entran y salen de la granja, por mencionar algunos, pueden reducir el riesgo de introducción y el impacto económico de estas enfermedades en la granja.

6.2.1 Elaboración de un plan de bioseguridad para las operaciones acuícolas

Pietrak y Leavitt (2014) establecieron las siguientes directrices, basadas en 4 etapas, para elaborar un plan de bioseguridad.

6.2.1.1 PASO 1: Establecer una línea de base del estado sanitario y el riesgo de enfermedades en la granja.

Un primer paso importante es llevar a cabo un análisis de riesgo de la instalación. El análisis ayuda a determinar los riesgos de incidencia de patógenos y parásitos para las especies cultivadas en la granja, aquellos relacionados con las estructuras físicas de la instalación y para la región geográfica. Este análisis daría como resultado una lista que documenta todos los riesgos identificados después de considerar tres principales áreas:

1. ¿Cuáles son los riesgos de que se presenten enfermedades locales y regionales en las especies que se cultivan o se pretenden cultivar?
2. ¿De que manera la operación acuícola es vulnerable a determinada enfermedad? ¿Qué factores (por ejemplo, el estado de salud de los animales introducidos, el agua de transporte, la fuente de agua de la granja, etc.) podrían influir en ese estado?
3. ¿Cuál es el estado sanitario actual de los animales que se cultivan en la granja?

Responder a las siguientes preguntas permitirá a los acuicultores comprender mejor la importancia de las enfermedades de preocupación en un área. La comprensión del peligro que conlleva la enfermedad constituye un punto focal para evaluar el riesgo de que se presente la enfermedad:

- ¿Qué enfermedades que pudieran afectar las especies, o variedades que se cultivan son nativas del área?
- ¿Existe alguna enfermedad de preocupación en áreas vecinas que no se presenta en el área?
- ¿Qué otros tipos de operaciones comerciales (pesca comercial o recreativa, acuicultura), y/o actividades que pudieran introducir enfermedades, están ocurriendo en el área?

Vulnerabilidad de la operación acuícola

Al identificar la vulnerabilidad de una operación acuícola a una enfermedad, es necesario considerar la manera en que la enfermedad puede entrar y propagarse en la granja.

A continuación se describen los cuatro medios más comunes por medio de los cuales las enfermedades entran y se propagan dentro de las instalaciones acuícolas.

1. Movimiento de animales acuáticos - Los animales importados (especialmente aquellos que no son examinados con regularidad para patógenos) pueden introducir la enfermedad a una granja que hasta el momento no había sido afectada, o bien, los animales pueden infectarse *in situ* (por ejemplo, a través de

una fuente de agua infectada) y luego dispersar la enfermedad a medida que son movidos en diferentes áreas de la granja. Algunos portadores asintomáticos pueden albergar patógenos sin mostrar evidencias de ninguna manifestación de la enfermedad. Una granja que importa animales sin certificación sanitaria o mueve animales a través de una instalación sin conocimiento del potencial para propagar la infección será, sin duda, vulnerable a la enfermedad.

2. Fuente de agua - Existen diferentes riesgos asociados con cada fuente de agua, y con los diferentes sistemas de cultivo (de flujo continuo, en estanques, sistemas de recirculación o jaulas), que afectarán la forma en que la enfermedad pueda moverse. Los cultivos en aguas abiertas, como las jaulas o los cultivos que se abastecen de aguas superficiales, están expuestos a todas las condiciones locales, de tal manera que si los patógenos están presentes en los peces silvestres o aguas de la zona, los animales cultivados consecuentemente estarán expuestos. Este tipo de sistemas se consideran de alto riesgo porque varios factores relacionados con la introducción de las enfermedades están más allá del control del acuicultor. En contraste, las fuentes de agua subterránea están típicamente libres de enfermedades, aunque a veces se deben abordar problemas de calidad del agua. Los sistemas de recirculación ofrecen un alto grado de control sobre la calidad del agua, pero si se introduce la enfermedad, los patógenos que pueden sobrevivir a los sistemas de filtración y tratamiento pueden propagarse fácilmente en todas las áreas y pueden resultar difíciles de eliminar.
3. Salud y condición de los animales acuáticos - La capacidad de un animal para resistir las enfermedades está relacionada tanto con la salud como con la condición del animal. El hacinamiento, la mala nutrición y la mala calidad del agua pueden hacer que todos los animales se sientan estresados, reduciendo así su salud general y aumentando sus posibilidades de enfermarse.
4. Tráfico de la granja (equipos, vehículos, depredadores, personas) - Así como las enfermedades pueden dispersarse con los peces mientras se mueven dentro o fuera de una granja, o entre áreas de la misma, también pueden propagarse por

medio de la gente, el equipo, los vehículos y los animales presentes dentro de la granja.

Afortunadamente, hay una variedad de acciones que se pueden tomar en cuenta para minimizar todos estos riesgos, como se describe en el Paso 2.

Estado de salud actual de los animales en la granja

El paso final en el análisis de riesgo es determinar el estado de salud actual de la granja. Una inspección del estado sanitario de los animales acuáticos, donde se examinan los patógenos y parásitos de interés en todas las poblaciones presentes en el sitio, puede ser útil para determinar cualquier enfermedad preexistente en una operación acuícola. Se pueden adoptar algunas pruebas de seguimiento, dependiendo de los resultados de las pruebas iniciales y las oportunidades de mercado para la granja.

6.2.1.2 PASO 2: Desarrollar e implementar estrategias para minimizar los riesgos identificados

Es necesario desarrollar y adoptar prácticas de manejo que minimicen la introducción y posible propagación de enfermedades en la granja. Para esto es indispensable utilizar diferentes aproximaciones para identificar los riesgos. Esas prácticas se organizan en función de las mismas áreas de vulnerabilidad mencionadas en el Paso 1. Se debe tener en cuenta que la utilización de múltiples prácticas es a menudo necesaria para asegurar la bioseguridad. Rara vez puede un solo cambio, como la adición de tapetes sanitarios, remediar todos los posibles métodos de propagación de la enfermedad dentro y alrededor de una instalación.

Movimiento de los animales acuáticos

- Minimizar en la medida de lo posible el movimiento de los animales. Esto incluye prácticas tales como: siembra de todo el lote y cosecha total, siembra considerando la densidad final y separación por estructura de edades o lotes de animales.

- Sólo introducir animales con estado sanitario conocido. Esto incluye prácticas tales como: comprar juveniles sin patógenos específicos o animales de fuentes certificadas libres de enfermedades, limitar el movimiento de los animales dentro de la misma cuenca, y rechazar la introducción de animales que no están certificados como libres de enfermedades, o bien ponerlos en cuarentena.
- Utilizar alimentos que hayan pasado por procesos de calentamiento cuando sea posible (e.g. extrusión, secado en tambor, etc.). Si utiliza una harina de pescado, alimento húmedo o vivo, debe cumplir con los mismos estándares establecidos para mover animales vivos a la granja.

Fuente de agua

- Implementar los pasos para cubrir todos los riesgos puede ser difícil, ya que a menudo no se tiene la capacidad de elegir o cambiar el tipo de fuente de agua en una instalación existente. Por ejemplo, en una situación de cultivos en aguas abiertas hay menos pasos que pueden ser adoptados por los productores individuales. De aquí, que ésta situación requiera de la participación en acciones comunitarias para tratar de proteger la fuente de agua en la que se opera.
- En situaciones en las que las aguas superficiales se utilizan para cultivos de flujo continuo o para llenar un estanque o sistema de recirculación, el agua puede ser tratada principalmente con luz UV u ozono. La eficacia y el costo de dicho sistema dependerán de muchos factores, incluyendo el volumen de agua a tratar, las enfermedades blanco y el tiempo de contacto del tratamiento. Si se decide tratar el agua, es necesario considerar tanto el agua entrante como el agua efluente. Un claro ejemplo son los sistemas en los que descarga agua en el mismo sistema del que se abastece, como un lago, el agua de descarga no tratada puede introducir enfermedades en su fuente de agua, que puede regresar a la instalación. Aunque, esto mismo aplica para cuando granjas vecinas descargan y toman agua del mismo cuerpo de agua (río, arroyo, canal).

Salud y condición de los animales acuáticos

- Minimizar el estrés. Esto puede lograrse siguiendo las mejores prácticas de cultivo establecidas, manteniendo densidades de almacenamiento adecuadas y manteniendo una excelente calidad del agua.
- Utilizar vacunas preventivas cuando estén disponibles y sean apropiadas.
- Proporcionar una nutrición adecuada. Esto incluye considerar la manera en que se almacena el alimento para prevenir el deterioro, la eliminación de roedores, aves y otras plagas.
- Eliminar los animales muertos o moribundos de forma regular.
- Mantener registros exactos: Mantener registros escritos de enfermedades o muertes de animales acuáticos, del mantenimiento diario de animales (tasas de alimentación, calidad del agua, régimen de limpieza), tasas de crecimiento, tasas de conversión alimenticia y nuevas introducciones de animales. Los registros exactos pueden ayudar a maximizar la eficiencia de la producción, detectar problemas de enfermedades subclínicas y ayudar a identificar los puntos de entrada de la enfermedad en caso de un brote de enfermedad o pruebas positivas para patógenos.

Tráfico en la granja

El tráfico es una gran área donde se pueden implementar muchas prácticas y combinaciones de prácticas diferentes. En la siguiente sección se incluyen diversas prácticas importantes sobre limpieza y desinfección.

- *Mantener equipo separado para cada sitio.* Esto incluye redes exclusivas para cada estanque, tanque o acuario, bolsas y otros equipos que se deberán usar sólo en un lugar determinado o para una tarea específica (e.g. para la eliminación de la mortalidad), o impermeables y botas para cada ubicación.
- *Reducir el tráfico entre las granjas.* Esto incluye un estacionamiento designado fuera de la granja para los vehículos que no se requieren para el uso en las operaciones de la granja. Los vehículos utilizados en la granja deben permanecer

en esta sola granja y minimizar el movimiento con otras granjas. Se deben aplicar restricciones similares a los empleados. Si es necesario para que los empleados visiten varios sitios, se debe optar por que visiten solo una granja por día. Si fuera necesario visitar varias granjas en un día, sería recomendable que visitaran la granja de menor riesgo primero y después las de mayor riesgo (en orden de riesgo creciente).

- *Mantener registros de los visitantes.* Esto incluye solicitar que los empleados que no trabajan diariamente en la instalación se registren cuando visitan el sitio.
- *Seleccionar el equipo apropiado.* Cuando se construyan o adquieran equipos, es necesario evitar los materiales porosos y/u orgánicos como la madera, que no puedan ser desinfectados fácilmente.
- *Establecer puntos de acceso limitados.* Todo el tráfico hacia y fuera de una granja debe pasar por puntos de control en donde sea posible llevar a cabo la desinfección apropiada. Se deben designar lugares apropiados para cambiarse la ropa o para establecer tapetes sanitarios. También es necesario establecer áreas restringidas en donde regularmente se llevan a cabo actividades delicadas, como la zonas de reproducción y cultivo larvario. Estas áreas pueden ser tratadas como mini-granjas dentro de la granja, utilizando equipos separados y restringiendo el movimiento de empleados y vehículos

Limpieza y Desinfección

- Cualquier equipo o vehículo utilizado en las instalaciones de acuicultura debe limpiarse y secarse completamente (preferiblemente bajo la luz solar directa) o desinfectarse químicamente antes de ser utilizado en otro lugar.
- El primer y más importante paso para la desinfección adecuada de los vehículos o equipos es limpiarlos a fondo. Esto incluye el lavado con agua y jabón. El jabón y el agua pueden matar o eliminar la mayoría de los patógenos en un artículo. Una vez que el artículo está limpio, es posible desinfectarlo. Hay una gran variedad de desinfectantes disponibles. Al seleccionar un desinfectante, se debe considerar

qué riesgos de patógenos o parásitos se están tratando de minimizar, ya que los desinfectantes específicos pueden funcionar muy bien contra algunos parásitos o patógenos, pero no contra otros. Igualmente, es extremadamente importante que se sigan las instrucciones del fabricante o de un veterinario de animales acuáticos sobre la manera de utilizar cada desinfectante, ya que el cambio de las concentraciones o tiempos de contacto de los procedimientos recomendados pudiera no permitir una desinfección adecuada o posiblemente contribuya a incrementar el riesgo para la salud humana o animal. En el Anexo D se muestra una tabla con los desinfectantes comunmente utilizados en las instalaciones acuícolas y las dosis recomendadas.

- Para minimizar la dispersión de patógenos dentro y alrededor de las instalaciones, deben colocarse tapetes sanitarios cerca de la entrada de todas las áreas de cultivo. Se debe proporcionar a todo el personal (y visitantes) cepillos para eliminar físicamente los desechos visibles del calzado antes de usar los tapetes sanitarios. Las botas y la ropa de protección deben limpiarse o rociarse durante un período de tiempo apropiado (según la etiqueta del producto) antes de entrar y salir de una zona. Las soluciones para los tapetes sanitarios deben mantenerse libres de desechos visibles y deben ser verificadas regularmente (al menos una vez por semana) para asegurar que la concentración del desinfectante sea la adecuada.

6.2.1.3 PASO 3: Coordinar esfuerzos

Algunas de estas recomendaciones de prevención pueden implementarse en una granja independientemente de otras actividades, mientras que otras medidas pueden requerir cooperación externa o pueden ser más efectivas con la cooperación externa. Por ejemplo, cuando se cultivan animales en un sistema de aguas abiertas como un lago, un río o una bahía, la eficacia de las estrategias de bioseguridad puede ser menor si un vecino emplea procedimientos de operación menos estrictos. En situaciones como ésta, los acuerdos de cooperación entre todos los productores de la zona o a través de una asociación comercial, a menudo bajo la forma de Mejores Prácticas de Manejo (BMP), pueden ser mutuamente benéficos.

6.2.1.4 PASO 4: Desarrollo del Plan de Bioseguridad

El desarrollo formal y la implementación de un plan de bioseguridad tiene una serie de ventajas sobre la simple implementación de prácticas que pueden reducir el riesgo de manera aleatoria. En primer lugar, la creación de un plan escrito de bioseguridad obliga a examinar, evaluar y registrar todas las fuentes potenciales de riesgo que enfrentan las operaciones. Esta lista exhaustiva de riesgos permite tener conciencia y abordar cada uno de los riesgos a los que se está expuesto por separado, de manera que se pueda diseñar una medida de bioseguridad apropiada para ese riesgo.

Un plan de bioseguridad escrito también es ventajoso porque permite una implementación más consistente y proporciona un medio para verificar que los procedimientos deseados realmente ocurrieron. Al desarrollar el plan de bioseguridad por escrito, se deben abordar los siguientes aspectos:

- Identificar peligros potenciales
- Enumerar las medidas adoptadas para reducir al mínimo cada riesgo
- Definir quién es el responsable de cada acción
- Describir un método para registrar que se han completado las acciones

De preferencia se debe seguir algún tipo de sistema formal, como el sistema de *Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control* (HACCP), que ayuda a asegurar que todos los riesgos estén incluidos en el plan y han sido reflexionados. En las operaciones en las que los empleados pueden estar realizando algunas de las acciones descritas en el plan de bioseguridad, el mantenimiento de registros exactos permitirá al gerente o propietario constatar que efectivamente se están llevando a cabo las tareas que requieren completar.

La última gran ventaja de un plan formalizado es que proporciona la oportunidad de evaluar periódicamente la efectividad del plan. El plan debe especificar algún intervalo de tiempo en el que se realicen auditorías internas. Si el plan es utilizado para documentar procedimientos operacionales, por razones tales como reclamos comerciales o certificación, es conveniente que se realicen auditorías externas periódicas del plan. Las auditorías verificarán que el plan está funcionando según lo diseñado. También ofrecerán la oportunidad de reevaluar los riesgos y amenazas presentes y permitirán ajustar el plan

en consecuencia. A largo plazo, esta capacidad de adaptación ayudará a garantizar que el plan proporcione la máxima protección, incluso cuando se lleguen a presentar enfermedades emergentes o nuevas.

Sin embargo, la creación de un plan de bioseguridad para su operación o la participación en un programa cooperativo de BMP con otros acuicultores no significa que se puedan pasar por alto los requisitos legales relacionados con la acuicultura en el área. Muchos aspectos de las operaciones acuícolas requieren permisos o licencias. Otras actividades son reguladas por la autoridades locales, estatales o federales. El cumplimiento de todos los requisitos aplicables, ya sean locales, estatales o federales, es un requisito básico de la acuicultura sustentable y responsable. Está implícito en estas recomendaciones que todos los participantes en la industria asumirán la responsabilidad de determinar qué requisitos reglamentarios se aplican, y de cumplir con esos requisitos.

Un plan de bioseguridad escrito es tan efectivo como el esfuerzo para implementarlo en las operaciones normales de la granja y trazará el rumbo específico de las acciones que el acuicultor debe tomar para proteger su granja contra los riesgos de alguna enfermedad. Una vez escrito, el acuicultor necesitará seguir y poner en funcionamiento cada una de las medidas especificadas en el plan. Por ejemplo, si el plan especifica que se requieren tapetes sanitarios en cada entrada y salida de las áreas de cultivo, entonces el acuicultor necesita instalar los tapetes y asegurarse de que el desinfectante que los cubre se cambie regularmente para asegurar la vigencia y eficacia de la medida.

Por otra parte, un plan de bioseguridad debe ser un documento altamente flexible que permita modificaciones a medida que se adquieren nuevos conocimientos, al cambiar las condiciones o cuando se mejoren las prácticas acuícolas.

Se recomienda que el acuicultor invite a un profesional de la salud de animales acuáticos a realizar una auditoría externa de la granja de manera regular (una vez cada 1-2 años). Una auditoría externa incluye un examen detallado del plan de bioseguridad y la granja. El profesional de la salud, además de revisar el plan, puede realizar revisiones de salud a una muestra representativa de animales de la granja para evaluar el estado general de salud

de los lotes de peces y juzgar la efectividad del plan general, además de poder hacer recomendaciones para mejorar el plan si es necesario.

Por último, en caso de que se produzca un problema en la granja, los registros mantenidos en relación con el plan de bioseguridad podrían resultar invaluable en la reconstrucción de escenarios e identificación de posibles fuentes del problema.

Finalmente, si bien la implementación de las medidas de bioseguridad descritas no garantiza totalmente que una granja esté a salvo de brotes de enfermedades, al menos proporciona al acuicultor las mejores prácticas disponibles para minimizar el riesgo de enfermedades en la granja. Además, siguiendo estas directrices y en el caso de que se produjera una situación de enfermedad, el acuicultor estaría en la mejor posición para ayudar al profesional de la salud a combatir la enfermedad y restaurar la productividad de la granja en el menor tiempo posible.

Por lo tanto, está en el mejor interés del propietario de la granja desarrollar y aplicar un plan de bioseguridad formal para garantizar la producción de peces saludables y para mantener la integridad económica de la empresa.

6.3 HACCP

El Análisis de Riesgos y Puntos Críticos de Control (HACCP - *Hazard Analysis Critical Control Points*) es una metodología por medio de la cual se identifican, priorizan y reducen los riesgos sanitarios y de especies exóticas que pudieran afectar a las poblaciones de peces (silvestres o cultivados), así como los puntos en los que pudieran ser controlados dichos riesgos. Se trata de un sistema racional con un enfoque activo de control de calidad, que incluye la anticipación de los riesgos asociados con la producción.

El HACCP, fue originalmente creado por la compañía Pillsbury en los años sesenta para el control de la seguridad, especialmente la seguridad microbiológica de los alimentos procesados de los astronautas que viajaban al espacio. Esta metodología ha sido modificada como una herramienta para el manejo de vías y vectores con el propósito de evitar la propagación indeseada de patógenos, parásitos y especies invasoras. En la actualidad se ha modificado aún más en lo concerniente a los recursos naturales, de tal

manera que cuenta con un gran potencial para reducir la amenaza que representan las especies indeseables de plantas, animales y otros organismos biológicos que pueden contaminar los recursos naturales (Pitman, 2003). La planificación HACCP implica una revisión exhaustiva de acciones cotidianas durante la operación acuícola, lo que proporciona un método sistemático para identificar amenazas producto de la contaminación por parte de especies indeseables. El proceso de planificación resalta estratégicamente los puntos de control críticos en los que se deben usar acciones específicas para eliminar o reducir significativamente el riesgo de contaminación de especies indeseables. Al mismo tiempo, la planificación HACCP provee una importante fuente de referencia que permite mejorar, con el tiempo, los procedimientos y procesos y establecer finalmente Mejores Prácticas de Manejo (BMP).

Ésta es una metodología sistemática, proactiva y preventiva para asegurar la calidad, seguridad y confiabilidad de los productos (WHO, 2003). En el caso de las especies invasoras, se ha adaptado para tener una aproximación estructurada que aplica principios técnicos y científicos para analizar, evaluar, prevenir y controlar los riesgos o consecuencias adversas de la presencia de estas especies. De esta manera, el proceso de planeación estratégico HACCP elimina o minimiza riesgos (especies no deseadas o contaminantes) en puntos críticos de control, antes de ser introducidos en nuevas localidades. Algunos ejemplos de movilidad inadvertida de las especies incluyen la recolección y movilización planeada de plantas o animales para su preservación, reubicación, restauración o recreación. Otra consideración importante incluye el equipo utilizado en actividades de campo como camionetas, el equipo de muestreo como redes o trampas y la vestimenta y el calzado de los trabajadores. La razón es que éstos también pueden ser vectores para la propagación de especies.

El proceso HACCP documenta el quién, qué, por qué, dónde, cuándo y cómo.

Como base estructural para una forma estratégica de actuar, la planeación HACCP enfoca la atención en los puntos críticos de control en los que se podrían evitar o eliminar las especies indeseadas; los riesgos documentados e identificados y los métodos usados para eliminar las especies indeseables les dan a los acuicultores y a los administradores de

recursos naturales información confiable para la toma de decisiones consistentes. Los planes bien concebidos permiten a las personas encargadas de tomar las decisiones poder analizar los riesgos de propagación de especies que vayan en contra de los beneficios de la actividad que realicen. En el caso de algunos vectores, mientras no se encuentren mejores procedimientos de eliminación, los riesgos identificados pueden ser mayores que los beneficios.

Es indispensable que se reúna un equipo multidisciplinario para llevar a cabo el análisis, ya que la variedad de opiniones y la discusión contribuyen a la identificación de los puntos críticos que se deberán controlar, además de asegurar que no se ignoren pasos importantes. A continuación se presenta un resumen del manual de adiestramiento de HACCP para especies invasoras, editado por Gunderson y Kinnunen (2002).

6.3.1 PASOS DE LA PLANEACIÓN HACCP

- 1] Realizar un análisis de riesgo. Preparar una lista de pasos del proceso en los que ocurren los peligros significativos y describir las medidas preventivas.
- 2] Identificar los puntos críticos de control (CCP) en el proceso (Fig. 31).
- 3] Establecer controles para cada CCP identificado.
- 4] Establecer requisitos de monitoreo de CCP, mediante procedimientos para utilizar los resultados del monitoreo y ajustar el proceso y mantener el control.
- 5] Establecer medidas correctivas que deberán adoptarse cuando el monitoreo indique una desviación de un límite crítico establecido.
- 6] Establecer procedimientos para verificar que el proceso HACCP está funcionando correctamente.
- 7] Establecer procedimientos efectivos de mantenimiento de registros que documentan el proceso HACCP.

Los equipos formados para la planeación HACCP deberán describir el proceso de producción, identificar los riesgos, separar los puntos críticos de control de los simples puntos de control y describir los procedimientos para eliminar los riesgos. También deberán establecer los límites de control y detallar qué hacer cuando se excedan estos

límites. El plan final deberá proveer la documentación para verificar que los procedimientos especificados fueron seguidos. Para más detalles consultar Mendoza (2014).

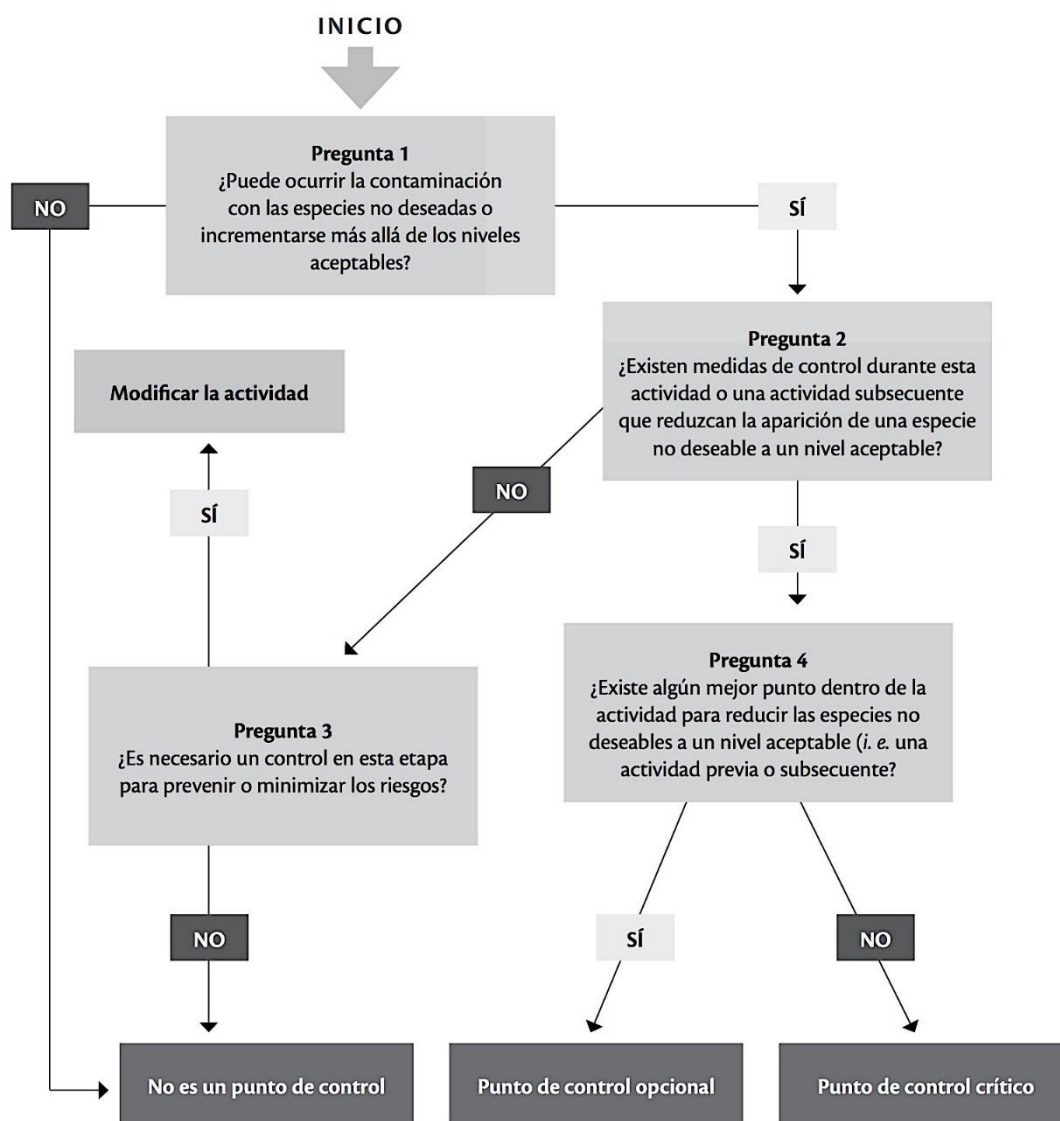


Figura 31. Diagrama de decisión para identificar puntos críticos de control (fuente: Mendoza, 2014).

6.4 Plan de Contingencia

Un aspecto fundamental en la operación cotidiana de la producción de peces de ornato es contar con un plan de contingencia sanitario en caso de presentarse enfermedades de alto impacto.

A este respecto tanto la FAO/NACA (2001) como el gobierno de Queensland en Australia (Queensland Government, 2008) sugieren las acciones que se detallan a continuación para desarrollar y probar un plan de contingencia.

Necesidad de contar con un Plan de Contingencia. La planificación anticipada para hacer frente a brotes graves de enfermedades ocasionadas por patógenos y parásitos puede reducir significativamente los impactos sociales y económicos que ocasionen éstos. Además, la acción rápida, basada en un plan de contingencia sólido, puede reducir eficazmente la posible propagación de los agentes patógenos al medio ambiente y a las granjas vecinas. Utilizando el fuego como una analogía, las pérdidas económicas serán menores si el fuego es detectado rápidamente y los bomberos llegaran al sitio con rapidez y con los recursos necesarios para detener el fuego. La celeridad de su llegada dependerá de la eficiencia del sistema de notificación, la velocidad de respuesta y la disponibilidad de equipos de lucha contra incendios. La eficacia del equipo de lucha contra incendios depende de su formación y experiencia bajo diferentes condiciones. Un escenario similar puede aplicarse a la reducción de las pérdidas económicas y de poblaciones de organismos causadas por patógenos y parásitos. Para minimizar tales pérdidas, es necesario tener una buena vigilancia, un diagnóstico preciso de la enfermedad, sistemas eficientes de información y especialistas bien entrenados que sepan cómo manejar las diferentes emergencias ante la enfermedad. Aunque las necesidades son las mismas para los niveles gubernamentales/institucionales y a nivel de granja, el alcance y la forma de acción pueden diferir entre ambos.

El fracaso para eliminar una nueva enfermedad en un país a menudo se debe a la imposibilidad de montar una campaña rápida y eficaz de contención y erradicación de enfermedades, más que a la falta de conocimiento científico. Algunos ejemplos son:

- Sistemas ineficaces de vigilancia y notificación de enfermedades - incluyendo la negación y/o el secreto
- Falta de servicios de diagnóstico adecuados
- Estructura inadecuada de presentación de informes
- Mano de obra inexperta o insuficientemente capacitada

- Falta de un plan de trabajo de emergencia
- Apoyo jurídico ineficaz para ejecutar una campaña de erradicación, incluyendo compensación por pérdida de poblaciones de organismos
- Falta de fondos/equipo/suministros
- Falta de apoyo público y cooperación.

Un plan de contingencia es un plan de acción documentado para asegurar que:

- Se han considerado todos los posibles escenarios
- Se han definido los requisitos para afrontarlos
- Se dispone de recursos suficientes en caso de situaciones de emergencias (incluyendo desastres naturales, escape de organismos, enfermedades, etc.)
- Los recursos pueden desplegarse de manera rápida y eficiente.

Aunque pueden diferir en detalle, todos los planes de contingencia contienen tres elementos principales: a) información de antecedentes, b) escenarios de brotes de enfermedades y c) acciones de respuesta.

6.4.1 Antecedentes

La información de antecedentes específicos sobre acontecimientos pasados de ocurrencias de patógenos y parásitos es vital para tomar decisiones razonables y bien informadas sobre cómo contener y tratar una enfermedad. Dicha información debe incluir:

- Una lista de las enfermedades de mayor preocupación, con toda la información disponible sobre los modos de transmisión, los procedimientos de prevención y control.
- Una descripción completa de los diversos sistemas acuícolas susceptibles a las enfermedades de interés.

- Nombres y números de teléfono de individuos y agencias gubernamentales que pueden ayudar con los esfuerzos de control de enfermedades.
- Descripciones de técnicas físicas, químicas y biológicas que pueden utilizarse para contener o tratar enfermedades
- Listas de recursos locales disponibles, lugares y personas de contacto.
- Listas de recursos disponibles a nivel nacional, dentro de la región o en otros países.
- Fuentes de financiación para medidas/actividades de control de enfermedades.
- Descripción del sistema de comunicación que se utilizará para coordinar el personal.
- Agencias involucradas en el esfuerzo de control.

6.4.2 Escenarios de brotes de enfermedades

Es imposible saber cuándo va a aparecer una nueva enfermedad o cual será la magnitud de los impactos que produzca en los recursos acuáticos. Aunque se pueden desarrollar planes de contingencia genéricos de brotes de enfermedades, las enfermedades con información etiológica establecida son más predecibles y, por lo tanto, más fácilmente evitables o prevenibles. Algunos brotes de enfermedades son pequeños y/o localizados, y por ende pueden ser más fácilmente controlados. Otros pueden ser de mayores dimensiones, propagarse rápidamente y resultar muy difíciles de manejar. Esta impredecibilidad radica en que los brotes de enfermedades son influenciados por diferentes factores, incluyendo el clima, el aislamiento geográfico y la dinámica de transmisión. Todos afectan igualmente a la capacidad del personal para responder, contener y hacer frente a un brote de la enfermedad. Las empresas privadas, junto con las agencias locales, estatales y del gobierno central, deben ser incluidas o diseñar sus propios planes de contingencia para analizar la gama de escenarios posibles. Estos pueden determinarse a partir de la siguiente información:

- Enfermedad (es) que se sabe que ocurre (n) con frecuencia/infrecuentemente dentro de una zona, o de especial preocupación.
- Condiciones que predisponen a los animales acuáticos a distintas enfermedades.
- Proximidad a otras granjas y áreas en donde la enfermedad puede ocurrir.
- Condiciones climáticas extremas que pueden ocurrir en la zona en diferentes épocas del año.

Los planes de contingencia están diseñados para que el personal esté preparado para el tipo de brote de enfermedad que es "muy probable" que ocurra en un lugar/instalación particular. En raras ocasiones, una nueva enfermedad se produce, o el impacto de una enfermedad es mayor de lo esperado, pero si se llegara a presentar, la falta de previsión generaría consecuencias catastróficas. De esta manera, para prepararse para estos incidentes inusuales, pero sumamente significativos, los planes de contingencia también deben incluir los escenarios del "peor de los casos", como, por ejemplo, una enfermedad altamente infecciosa que se propague rápidamente y cause fuertes mortalidades.

Una de las mayores dificultades con las situaciones de "nuevas" enfermedades (que no necesariamente significaría "el peor de los casos") es la definición del problema, es decir, ¿Hasta qué punto es lo suficientemente grave la nueva enfermedad como para justificar una reacción de emergencia? El diagnóstico puede tener un valor limitado como herramienta de toma de decisiones, ya que el origen (y la causa) del problema puede ser desconocido durante el brote inicial. Mientras tanto las muestras necesariamente deben enviarse para análisis con el fin de obtener información sobre patología (en el Anexo E se incluye la información de base para la realización de diferentes tipos de biopsias). Desafortunadamente, el tiempo requerido para el procesamiento de las muestras puede ser demasiado largo para impedir mortalidades agudas o severas, particularmente cuando el análisis patológico requiere la identificación de un nuevo patógeno y sus modos de transmisión. No obstante, el diagnóstico definitivo de la enfermedad no siempre es necesario para tomar decisiones sobre medidas de control "provisionales". Muchas

enfermedades se han descrito en base a su patología macroscópica (por ejemplo, WSSV de camarón) o características (por ejemplo, *Epizootic ulcerative syndrome* - EUS - de peces de agua dulce y salobre). Estas descripciones permiten a los acuicultores o al personal hacer un diagnóstico presuntivo con una definición de caso clara y consistente, conducente a una decisión o recomendación para las medidas de control de la enfermedad. Los resultados de laboratorio al reforzar o refutar el diagnóstico presuntivo, aumentan el nivel de certeza diagnóstica y permiten el refinamiento de estrategias de control efectivas. El desarrollo de una buena definición de caso debería permitir la identificación de la enfermedad o condición específica usando las instalaciones o técnicas que están más comúnmente disponibles para los investigadores de la enfermedad en el sitio del brote. Esto puede incluir pruebas diagnósticas, pero también puede incluir criterios de observación. Aunque los criterios utilizados deben separar claramente la enfermedad específica, generalmente no es necesario hacerlo al más alto nivel de certeza. Para brotes graves con un alto potencial de propagación rápida, a menudo es necesario adoptar un enfoque cauteloso y tomar decisiones basadas en información disponible, más que en la información ideal.

6.4.3 Acciones de respuesta

Un plan de contingencia cuidadosamente diseñado deberá describir las acciones principales que se emprenderán cuando ocurra una enfermedad. Para optimizar la eficacia y minimizar la propagación de una enfermedad, estas acciones deben realizarse inmediatamente después de la detección/notificación del brote.

Las acciones de respuesta incluyen:

- Notificar a todo el personal, las personas físicas, las empresas privadas y los organismos gubernamentales responsables del control de la enfermedad, así como a los que puedan verse afectados por la enfermedad o las medidas de control adoptadas.
- Llevar personal capacitado al sitio rápidamente

- Determinar la extensión de la enfermedad, su naturaleza, velocidad de transmisión y probabilidad de propagarse a las granjas, cuerpos de agua naturales o entornos vecinos.
- Detener la entrada continua del agente patógeno en un sitio o en una población.
- Confinar el brote a un área limitada. Se debe tener un plan y la habilidad para aislar cada estanque, tanque, subunidad o sistema para evitar la transferencia de los patógenos por agua, aves, animales o humanos a otras granjas y al ambiente acuático natural.
- Erradicar la enfermedad, siempre que sea posible (normalmente sólo es posible en las instalaciones basadas en tierra - hay pocos casos de erradicación exitosa de un agente infeccioso en poblaciones de aguas abiertas). Se debe tener la capacidad de desinfectar un estanque completo, tanques, subunidades y sistemas.
- Remoción rápida de los animales moribundos o muertos del agua y llevar a cabo la disposición de cadáveres de forma estéril o enterrándolos (en el ANEXO E, se incluye una guía para la disposición de animales muertos).
- Dar seguimiento a la vigilancia/monitoreo después de que el brote de la enfermedad haya sido controlado.

6.4.4 Planificación de Contingencia a nivel de granja

A nivel de la granja, la complejidad (pero no necesariamente la eficacia) de un plan de contingencia depende del tamaño y de la escala de la operación. Las pequeñas granjas generalmente se pueden administrar con planes básicos (monitoreo/vigilancia general) debido a que están basadas en una estructura organizativa directa (propietario/operador, propietario/gerente, propietario/técnico) en la que todos tienen papeles y responsabilidades claras, así como acceso a la comunicación. En contraste, las grandes operaciones acuícolas tienen una división de responsabilidades más compleja, por lo que necesitan planes de contingencia más profundos y detallados. La capacidad de las granjas y las organizaciones para cooperar en estos planes depende de la conciencia de la

importancia (beneficios a largo y corto plazo) de tal planificación. La cooperación funciona mejor en base a la asignación de responsabilidades a los miembros de todas las partes de la organización, o representantes de las granjas u organizaciones involucradas.

El desarrollo de un plan de contingencia a nivel de granja consta de varias etapas:

- Evaluación de riesgos / identificación de peligros
- Evaluación de la capacidad existente
- Desarrollo del plan de contingencia
- Pruebas del plan de contingencia
- Evaluación y modificación del plan de contingencia.

6.4.5 Evaluación del riesgo / identificación de peligros

Deberá realizarse una evaluación del riesgo para determinar la probabilidad de que se presente una enfermedad y las condiciones ambientales que podrían afectar adversamente una granja, un sitio o el ambiente circundante. Esto incluye determinar los controles necesarios para prevenir o minimizar los posibles efectos, los cuales pueden ser identificados y priorizados por medio del desarrollo de un plan HACCP. También deben considerarse los análisis de costo-beneficio para justificar la inversión en el control. Algunos ejemplos de consideraciones dentro del contexto de la evaluación de riesgos incluyen:

- Riesgos potenciales de ocurrencia de enfermedades en la granja o el ambiente circundante
- Experiencia externa requerida y disponible para ayudar en una emergencia de enfermedad
- Vulnerabilidad (actividades vecinas, factores climáticos, etc.)
- Posibilidades de reducción del riesgo
- Niveles de riesgo aceptables
- Existencia/disponibilidad de procedimientos de respuesta apropiados y existencia de planes de contingencia.

Aunque la actitud de los acuicultores respecto a los riesgos de enfermedad varía, las enfermedades con alto potencial de pérdida y un riesgo moderado o alto de exposición

deben ser consideradas como una prioridad en los planes de contingencia. Es importante recordar que, para todos los análisis de riesgo, el resultado rara vez es totalmente previsible. Esto es especialmente relevante para las enfermedades de especies acuáticas para las que se tiene relativamente poco conocimiento sobre los ciclos de vida, los portadores de la enfermedad, la supervivencia ambiental y la capacidad de detectar infecciones subclínicas. Esto hace que el proceso sea altamente subjetivo - un hecho que debe ser reconocido y abordado en los análisis de riesgo. El esfuerzo se canaliza mejor hacia enfermedades de riesgo moderado a alto y para las cuales existe suficiente información para desarrollar planes efectivos de mitigación o contingencia. En el caso de las enfermedades de alto riesgo (*e.g.* si el patógeno es exótico y ha causado pérdidas significativas en otros lugares), para las cuales no existe información epidemiológica precisa, la planificación de mitigación o de contingencia implica conjeturas, en los cuales el riesgo es necesariamente "inaceptable".

Una vez que se ha elaborado una lista de enfermedades significativas (enfermedades enlistadas por la OIE o las reportables a NACA/FAO y OIE), se debe recopilar toda la información disponible sobre estas enfermedades, tanto publicada como anecdótica. La información debe ser evaluada y actualizada regularmente, reconociendo que cualquier información anecdótica puede necesitar ser corroborada para asegurar su confiabilidad y consistencia con la información publicada. Se deben identificar y mantener actualizadas las fuentes de información fiables.

6.4.6 Evaluación de la capacidad existente

Los procedimientos existentes deben ser evaluados para determinar si son adecuados a la luz de nuevos conocimientos o a la ocurrencia de enfermedades previamente desconocidas. Así, la planificación de contingencias es un proceso continuo que requiere una reevaluación regular a medida que se obtiene nueva información o cuando personas con papeles y responsabilidades particulares cambian o dejan sus funciones laborales. La evaluación debe abarcar todos los aspectos del sistema acuícola. Algunos ejemplos de áreas vulnerables son:

- Uso de larvas o alevines silvestres versus aquellos organismos cultivados en cautiverio
- Producción de larvas de la propia granja vs. producción externa
- Calidad de larvas o alevines disponibles (historias de manipulación y de los reproductores)
- Uso de alimentos frescos o fauna de acompañamiento en comparación con alimentos producidos comercialmente
- Calidad y tratamiento de la fuente de agua
- Capacidad de intercambio de agua
- Falta de recursos disponibles capaces de controlar un brote de enfermedades frente a la presencia de fuertes recursos de apoyo sanitario.

Así, se pueden identificar y evaluar métodos para reducir el riesgo de exposición de las enfermedades a través de estas rutas. También debe considerarse el impacto del medio ambiente. Muchas enfermedades tienen distintas dinámicas estacionales que deben tenerse en cuenta, ya que la extensión de un brote y la capacidad de tratarlo pueden estar influenciados por factores estacionales, como lluvias e inundaciones.

6.4.7 Costo-beneficios

Se pueden aceptar medidas de mitigación de alto costo, si se perciben riesgos y pérdidas financieras elevadas asociadas con una enfermedad en particular. Además, si los beneficios percibidos compensan los posibles impactos, el costo de las medidas de mitigación pueden también ser aceptables. La escala de la operación o el impacto ambiental potencial también pueden ser factores importantes para determinar la rentabilidad de los programas de mitigación o control.

Los niveles aceptables de riesgo varían entre los acuicultores. Algunos aceptan un alto grado de riesgo, especialmente cuando los rendimientos y las ganancias potenciales son altos, mientras que otros agricultores son más cautelosos y prefieren aceptar niveles de rendimiento y ganancias más bajos para tener una mayor consistencia o certeza de la producción. En una granja pequeña, este conflicto es poco probable que ocurra. Sin embargo, a medida que las granjas crecen, el grado de riesgo aceptable para diferentes

empleados o gerentes se convierte en un problema en el desarrollo de un plan de contingencia. Por lo tanto, los niveles aceptables de riesgo deben ser acordados en la fase de evaluación del riesgo, más que durante el curso de un brote. Cabe hacer notar que la evaluación del riesgo para la producción de animales acuáticos rara vez afecta sólo a las instalaciones o lugares de producción individuales. Por lo que deben tenerse en cuenta las aguas confluentes y la productividad que sostienen ("evaluación del riesgo del buen vecino"). De aquí, se deriva la importancia de que las granjas vecinas cooperen en sus evaluaciones de riesgo y en el desarrollo de sus planes de contingencia.

6.4.8 Desarrollo del Plan de Contingencia

Los planes de contingencia para las operaciones acuícolas deben identificar posibles escenarios de brotes de enfermedades y determinar estrategias para tratarlos. Así, los planes de contingencia de la granja deben:

- Identificar las estrategias disponibles, su eficacia, ventajas, desventajas y costos
- Identificar los requerimientos fuera del sitio
- Identificar las necesidades de información
- Identificar las necesidades de recursos locales
- Establecer criterios claros en la toma de decisiones
- Establecer descripciones claras de tareas y responsabilidades
- Desarrollar procedimientos de emergencia cuando no existan
- Desarrollar un proceso adecuado de comunicaciones para manejar un brote.

A nivel de la granja, los planes de contingencia generalmente constarán de dos componentes, uno de los cuales es general y uno que será específico para el sitio de la granja. Los componentes generales de un plan de contingencia serán los detalles comunes a cualquier granja o sitio que experimente el mismo problema, por ejemplo, el tipo de información que se va a recopilar, cómo se debe analizar y las fuentes de asistencia externa. Ejemplos de componentes específicos de la granja serían los requerimientos de

recursos *in situ*, los criterios para activar el plan de contingencia y las actividades de control basadas en la susceptibilidad del agua y las poblaciones de peces que se manejan.

6.4.9 Identificación de estrategias de control de enfermedades

El primer paso es analizar el impacto de los escenarios de brote de la enfermedad identificados en la evaluación del riesgo, ya que estos determinarán el rango de opciones de control. Siempre que sea posible, se deberán elaborar planes de control específicos en consulta con personas que tengan experiencia en situaciones similares.

Aunque es posible planificar estrategias de control no específicas de la enfermedad. Estos pueden incluir:

- Establecer vínculos con el personal de apoyo sanitario y determinar procedimientos óptimos de muestreo que permitan la entrega expedita a los laboratorios de diagnóstico para así acortar el tiempo de respuesta para los resultados
- Contar con suficientes suministros de desinfección
- Garantizar que los tanques, y estanques de producción puedan aislarse del resto de la granja.

También se pueden tomar medidas preventivas específicas para la enfermedad, como el control del acceso a la granja o al sitio de portadores potenciales de agentes infecciosos (por ejemplo, otros animales acuáticos, poblaciones de fuentes no revisadas/certificadas, etc.), control de daños por inundaciones o tormentas, minimizar el manejo, maximizar el intercambio de agua, asegurar la limpieza regular de las tuberías, tanques, redes y otros equipos y ropa.

6.4.10 Identificación de estrategias viables y rentables

Es deseable que se identifiquen una serie de estrategias. Aunque estas pueden ser priorizadas, es útil desarrollar varias alternativas para mantener la flexibilidad. Estas estrategias pueden ser consolidadas en un plan maestro, que puede consistir en un "árbol de decisiones" (Figura 32). Algunos factores importantes a considerar son la capacidad existente para llevar a cabo la estrategia y la capacidad adicional y los fondos requeridos.

El costo de implementación debe ser considerado en función del riesgo evaluado y las pérdidas potenciales.

6.4.11 Identificación de los requerimientos de información

El mantenimiento de registros y, lo que es más importante, el análisis de los registros son componentes esenciales de un plan de contingencia para la respuesta a las enfermedades. A pesar de esto, sin embargo, se descuidan con frecuencia, especialmente en las unidades de producción pequeñas, donde los registros escritos suelen ser básicos y utilizados para necesidades inmediatas de información en lugar de evaluación y planificación. Sin registros adecuados, la evaluación del riesgo es subjetiva altamente, lo que hace prácticamente imposible el desarrollo y la evaluación de los planes de contingencia. Incluso los registros básicos pueden ayudar a los procesos de toma de decisiones a ser más eficaces. Además del mantenimiento de registros en el sitio, es importante mantener información actualizada de recursos externos. Dicha información debe ser compartida con los productores vecinos que comparten los mismos recursos acuáticos, siempre que sea posible, con el fin de reunir los recursos. La planificación colaborativa de contingencia es especialmente valiosa para los productores pequeños de animales acuáticos, así como para aquellos que operan lejos de los recursos de apoyo sanitario.

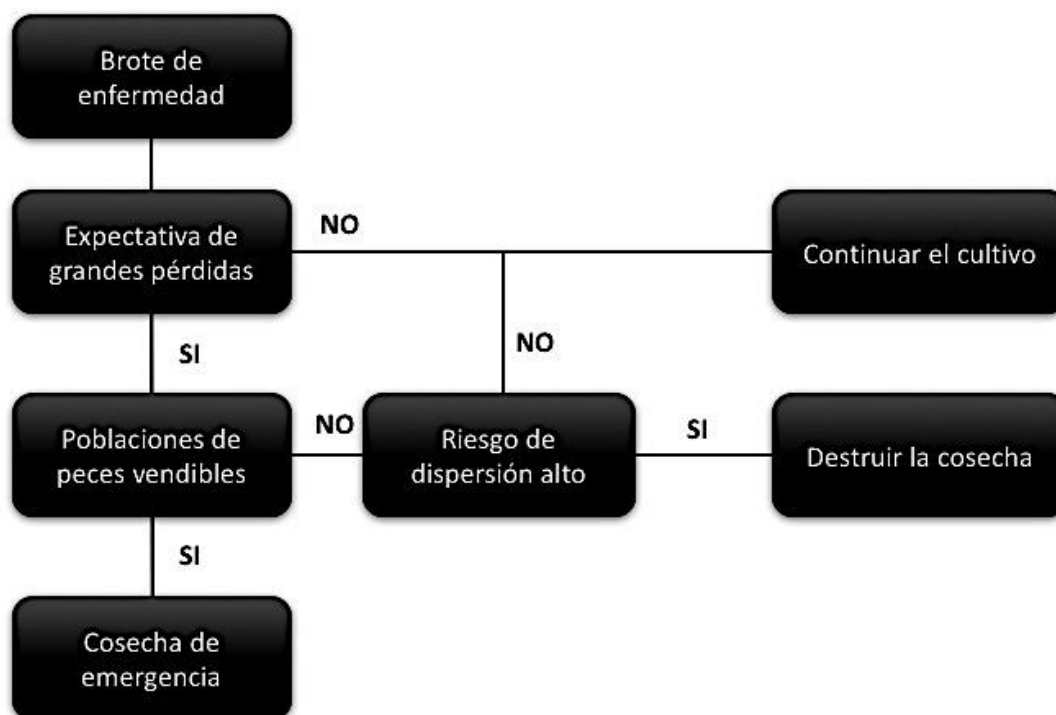


Figura 32. Árbol simple de decisión estratégica para un brote de enfermedad infecciosa.

6.4.12 Toma de decisiones y líneas de responsabilidad

En cuanto a los planes de contingencia a nivel nacional, una actividad clave para estos planes de contingencia es la identificación de criterios claros e inequívocos para toma de decisiones y la identificación de los principales tomadores de decisiones. Los criterios pueden ser generales, como peces que llegan con frecuencia a la superficie o la presencia de animales moribundos o muertos. Los peces con signos claros de una enfermedad particular constituyen criterios más específicos. Si las enfermedades significativas comparten signos clínicos comunes con enfermedades relativamente benignas, pueden requerirse procedimientos diagnósticos específicos. Las pruebas diagnósticas rápidas o los procedimientos de nivel I pueden ser un componente importante de dichos criterios. Los

signos o criterios clínicos generales deben ser verificados mediante enlaces preestablecidos con especialistas locales o externos.

Los responsables clave deben ser identificados y estar disponibles. Cuando se delega la responsabilidad de una granja o un sitio a un gerente de producción, también debe delegarse claramente la autoridad para tomar decisiones, ya que los retrasos en contactar a los principales tomadores de decisiones pueden ocasionar mayores pérdidas. Es igualmente importante que todos en la granja/sitio entiendan quién es responsable de las decisiones en caso de un brote de enfermedad, y cuáles son sus papeles individuales. La información de contacto debe estar fácilmente disponible (anunciada) e indicar claramente al personal clave y quién coordina las comunicaciones *in situ*. Esto puede ser un papel de tiempo completo o puede ser de tiempo parcial. Si el personal encargado de la toma de decisiones vive fuera de las instalaciones, se debe establecer una comunicación rápida (radio, teléfonos móviles, etc.).

6.4.13 Comunicación

La comunicación entre los responsables de la toma de decisiones y el personal de la granja en el caso de un brote y la comunicación entre el mismo personal son los requisitos más obvios. Sin embargo, a menudo se soslayan otras dos áreas clave de la comunicación: la comunicación con el personal que no está directamente involucrado en el problema y la comunicación con intereses externos. El personal que no está directamente involucrado normalmente vive en la localidad y es una fuente de información sobre la granja para la comunidad local. Al mantenerlos informados y alentar su participación, es posible reducir cualquier conflicto o desinformación que pueda ocurrir. La comunicación de información sobre planes de contingencia y brotes de enfermedades a personas externas también es valiosa, ya que los aportes externos a menudo pueden contribuir con nuevas ideas y fuentes de apoyo. Mantener el conocimiento de la enfermedad en secreto resulta contraproducente ya que evita el control que resultaría efectivo al utilizar la experiencia de personal externo y de recursos adicionales. También por esta razón la enfermedad puede establecerse en el sistema acuático y/o extenderse a sitios vecinos. Esto resultaría

obviamente perjudicial para un control efectivo, así como para adquirir ayuda de los vecinos, si fuera necesario.

Así mismo, debe tenerse en cuenta la necesidad de comunicar y coordinar las actividades con las autoridades locales. Esto es importante cuando existen estatutos o regulaciones que afectan directamente el plan de contingencia.

El enlace cercano con los funcionarios del gobierno local y los laboratorios es a menudo esencial para la implementación y coordinación de planes de contingencia. En el caso de enfermedades de notificación obligatoria, la comunicación con las autoridades pertinentes puede incluso ser un requisito legal.

6.4.14 Implementación

Al implementar incluso el mejor plan de contingencia es probable que surjan dificultades imprevistas. En efecto, aún los planes más detallados pueden verse afectados por problemas sencillos, como la dificultad de contactar al propietario de la granja o al tomador de decisiones que está de vacaciones. La fase de implementación suele incluir varias actividades, dentro de las que destacan:

- Implementar y probar el plan para su evaluación (realizar un simulacro)
- Documentar y evaluar los resultados
- Reportar los resultados de la evaluación a la gerencia y al equipo del plan de contingencia
- Revisar el plan, y modificarlo según sea necesario.

6.4.15 Documentar el plan de contingencia

El proyecto de plan de contingencia debe ser redactado y revisado por los trabajadores de la granja para asegurar que se entienda claramente. Dichos planes deben incluir diagramas de flujo que describan las responsabilidades individuales y listas de números de contacto en caso de emergencias. Esta información preferentemente debe estar a la vista de todo el personal de la granja. Dada la elevada tasa de rotación de personal en muchas operaciones de acuicultura, es esencial que los procedimientos se registren, se actualicen periódicamente y se pongan a disposición del nuevo personal a su llegada. Esto asegura

que conozcan su papel dentro del plan de contingencia y sus responsabilidades antes de que surja cualquier enfermedad.

6.4.16 Prueba del plan de contingencia

Una vez que el plan de contingencia ha sido diseñado, debe ser probado mediante la realización de un simulacro de brote de la enfermedad. Esto resulta sumamente útil para evaluar el funcionamiento del plan y la eficacia de los papeles individuales de los participantes. Si esto no es posible, se deben realizar esfuerzos para imitar todos los detalles delineados en el plan y evaluar con honestidad el éxito de la implementación. Es útil involucrar a las partes externas, cuando sea posible, criticar objetivamente el plan de contingencia y su funcionamiento. Así, una revisión exhaustiva de las debilidades posibles permite la optimización del plan.

6.4.17 Evaluación

Una vez completada la prueba, el plan de contingencia puede ser revisado para incorporar los resultados del simulacro. El plan final debe ser revisado regularmente y se deben generar los ajustes necesarios que tomen en cuenta los problemas que hayan surgido durante la simulación. También debe considerarse la posible redundancia de partes del plan (o de los papeles del personal) y se deben evaluar las implicaciones de su eliminación. Este es un proceso continuo que requiere la participación activa de todos los empleados.

6.4.18 Capacitación y sensibilización del personal

Es esencial contar con programas de capacitación para mejorar la concientización sobre los riesgos de enfermedades y la necesidad de los planes de contingencia. También son útiles los programas para mejorar la comunicación y la coordinación entre los diferentes grupos o departamentos, tanto en el lugar como fuera del sitio, ya que los planes de contingencia pueden incluir personal y recursos de diferentes áreas. Finalmente, es importante que se incluyan en los planes de formación una capacitación especializada para personal clave, particularmente en las áreas diagnóstico, mantenimiento de registros y la evaluación de la información registrada

6.5 Cuarentena

La importación de animales acuáticos de “alto riesgo” destinados a la introducción a instalaciones acuícolas o a la transferencia a aguas naturales, conlleva a menudo un riesgo significativo de introducir patógenos graves que puedan escapar e infectar a las poblaciones cultivadas o naturales. Por lo tanto, se debe mantener un nivel de bioseguridad extremadamente alto todo el tiempo. Por esta razón las instalaciones de cuarentena deben ser construidas y operadas de tal manera que se garantice el aislamiento de los animales acuáticos importados, y que los peces y cualquier patógeno, parásito u otro organismo vivo que estos puedan llevar contenidos en sus aguas de transporte no puedan ser liberados de las instalaciones. Se debe prevenir igualmente la posible entrada de patógenos de origen doméstico que puedan infectar el lote mantenido en cuarentena, a través de la entrada de agua contaminada, o de la entrada del personal, alimento o cualquier agente que pueda transmitir gérmenes.

Durante el período de cuarentena, el operador debe asegurarse que ningún animal vivo, equipo o materiales salgan de las instalaciones de cuarentena. A continuación, se detallan las sugerencias para el área de cuarentena y las medidas cuarentenaria propuestas por Arthur *et al.* (2008).

6.5.1 Principios generales de cuarentena

- Cuando el análisis de riesgo muestra que el nivel de riesgo presentado por la propuesta de importación de un envío de animales acuáticos vivos es inaceptable, la cuarentena es una de las medidas de mitigación potenciales que sola o en combinación con otras medidas, puede ser considerada para reducir el riesgo dentro del nivel nacional adecuado de protección (*Appropriate Level of Protection* - ALOP).
- El rigor de la cuarentena aplicada debe estar en proporción con el nivel admisible de riesgo, el cual a su vez está en función de la fuente y el destino del movimiento de animales acuáticos. La importación de especies exóticas para el desarrollo de la acuicultura y aquellas que se originan de poblaciones silvestres

u otras fuentes de estatus de salud desconocido o pobremente documentado, requerirá de medidas de cuarentena más estrictas.

- Debido a que la transmisión de patógenos puede ocurrir a través de diversos grupos taxonómicos de animales acuáticos, los países deben evitar hacer distinciones científicas cuestionables y arbitrarias entre especies de agua marina y agua dulce, o entre especies silvestres, ornamentales o cultivadas, con respecto al riesgo presentado y el nivel de cuarentena requerido. Debido a que es extremadamente difícil y a menudo imposible erradicar a las enfermedades de animales acuáticos una vez que se han establecido en el medio ambiente, se debe tener cuidado particular en las introducciones que tienen la intención de ser liberarlos en aguas naturales.
- Los procedimientos de cuarentena, incluyendo las observaciones de señales clínicas de enfermedad y las pruebas de diagnóstico, pueden ser realizados en el país de origen, en un país de tránsito y/o en el país receptor.
- Las instalaciones de cuarentena deben cumplir con los estándares mínimos de localización, diseño, infraestructura, equipo, seguridad física, tratamiento de toma y descarga de agua, personal experimentado y entrenado y protocolos de operación para asegurar su funcionamiento eficaz y que los animales acuáticos y cualquier patógeno que éstos puedan llevar no escapen hacia el medio ambiente que los rodea.
- Los movimientos que involucren un riesgo de salud alto (por ejemplo, de áreas donde se conoce que se presentan enfermedades exóticas) o desconocido, se deben llevar a cabo en instalaciones en donde existe total aislamiento y servicios de soporte (capacidad de diagnóstico, seguridad, inspección). Cuando las instalaciones no cumplen con estos requerimientos, solamente se deben aprobar los movimientos de bajo riesgo.
- Los desinfectantes, antibióticos, drogas y otros químicos para uso en las instalaciones de cuarentena se deben seleccionar y aplicar en conformidad con las leyes y regulaciones locales de tal manera que se asegure la protección del

personal, de los animales acuáticos que se están manteniendo y del medio ambiente externo de posibles efectos dañinos.

- Todos los efluentes y desechos generados por las instalaciones de cuarentena se deben tratar de manera que destruyan efectivamente a todos los patógenos. Para asegurar un continuo y completo aislamiento, el sistema de efluentes de cuarentena se debe equipar con sistemas de respaldo a prueba de fallas. Como el efluente y los desechos tratados pueden contener sustancias peligrosas para el medio ambiente (por ejemplo, desinfectantes activos), estos deben ser eliminados o neutralizados de tal manera que se reduzca el impacto medioambiental (en el Anexo F, sobre desinfectantes se señala la forma de tratar estos efluentes y su neutralización).
- Cuando sea posible, los países deben reducir el nivel de riesgo importando huevos, estados embrionarios o estados juveniles, ya que estos normalmente llevan menos infecciones subclínicas que los adultos y es a menudo más fácil mantenerlos bajo condiciones de cuarentena.
- Cuando sea posible, los lotes de organismos candidatos para la introducción deben ser movidos por lotes, siendo un lote un grupo de animales de la misma edad, de la misma población y mantenido como un grupo discreto en la misma fuente de agua. No se deben mezclar animales, agua o equipo entre lotes.
- Se deben realizar experimentos de cohabitación en los cuales organismos de especies nativas clave, son mantenidos en contacto con organismos de la especie exótica o con el efluente de agua de los tanques de mantenimiento para investigar la presencia de patógenos en animales acuáticos importados y la susceptibilidad de las especies nativas. Sin embargo, se debe considerar que los resultados negativos no demuestran la ausencia de patógenos. Igualmente, es necesario someter a los animales a condiciones de estrés en aumento, ya que de esta manera puede surgir la expresión de infecciones subclínicas.
- Muchas enfermedades, especialmente aquellas causadas por parásitos externos, se pueden tratar. Sin embargo, debido a que la terapia química

puede ser causa adicional de complicaciones de salud, tales como el desarrollo de resistencia de cepas bacterianas a antibióticos, los tratamientos deben ser usados responsablemente, con las precauciones y asesoría de expertos.

- Debido a que muchos tratamientos, tales como aquellos para parásitos monogéneos de branquias, son a menudo parcialmente efectivos, es crítico asegurar que el patógeno sea eliminado y que no se presenten infecciones subclínicas.
- En el caso de que se llegaran a presentar enfermedades o patógenos peligrosos intratables en los animales acuáticos mantenidos en cuarentena, el lote completo deberá ser destruido y las instalaciones apropiadamente desinfectadas.
- Los lotes provenientes de fuentes que han pasado por un proceso de aislamiento cuarentenario pueden recibir el estatus de “aprobación” si las condiciones no cambian en el sitio de exportación, reduciendo posteriormente la duración o requerimiento de cuarentena.

6.5.2 Periodo de cuarentena

No se deben fijar períodos de cuarentena. Los períodos de mantenimiento dentro de las instalaciones de cuarentena dependerán de los resultados, observaciones y pruebas que resulten del lote importado y los resultados de la generación F1. En todos los casos, una vez que la autoridad competente esté satisfecha de que la F1 o las generaciones subsecuentes están exentas de peligro para su liberación limitada, los progenitores del lote deben ser destruidos y las instalaciones de cuarentena deberán ser minuciosamente desinfectadas.

6.5.3 Instalaciones de cuarentena: Requerimientos generales

Las instalaciones de cuarentena deben estar localizadas dentro de una sola entidad operacional que esté estructuralmente separada de todas las otras áreas operacionales y deberá estar dedicada exclusivamente a la observación y evaluación del nuevo lote de organismos. Preferentemente, el área de cuarentena no deberá ubicarse en edificios que

tengan áreas que sean usadas para diferentes propósitos y no deberá servir como camino de acceso hacia otros edificios o actividades. Las instalaciones de cuarentena no deben ser utilizadas para ningún propósito, que no sea otro que llevar a cabo la cuarentena. La capacidad de las instalaciones de cuarentena debe ser adecuada para mantener las cantidades de animales acuáticos que se evaluarán.

6.5.4 Especificaciones de construcción y requerimientos de equipo

Las instalaciones deberán ser resistentes a los eventos meteorológicos extremos (lluvias torrenciales, inundaciones, etc.) y temblores, y siempre se deberán mantener en un buen estado. Deberán ser seguras, esto implica que puedan ser cerradas con llave y de preferencia deberán estar rodeadas por una barda o cerca de seguridad.

Las instalaciones deberán estar equipadas para la esterilización de todo el equipo que entre en contacto con los animales acuáticos o agua de los tanques durante el periodo de cuarentena. Además, deberán estar equipadas con sistemas de reserva o respaldo de los componentes esenciales (ejemplo, electricidad, circulación de agua, aireación, control de temperatura, filtración, etc.) para mantener la bioseguridad y la salud de los lotes en el caso de fallas mecánicas o de electricidad.

Especificaciones de la instalación:

- a) Las ventanas deben tener mosquiteros para evitar la entrada de insectos.
- b) Los pisos y paredes deben ser contruidos de concreto, mosaicos y otros materiales herméticos que se puedan lavar y desinfectar fácilmente. El piso deberá ser suficientemente liso y con suficiente pendiente para drenar el agua a un tanque cerrado de almacenamiento temporal.
- c) Las uniones de los pisos a la pared y todos los huecos y grietas en las paredes, pisos y techo deberán ser efectivamente sellados de tal manera que el área de cuarentena sea capaz de contener todas las filtraciones e inundaciones que puedan ocurrir.
- d) La iluminación debe ser lo suficientemente intensa para permitir la inspección apropiada de todos los animales acuáticos.
- e) En el drenaje del piso se deberá instalar una tapa con trampa u otro mecanismo para prevenir el escape accidental de animales acuáticos o la liberación accidental de agua.

El drenaje debe desembocar en un tanque de retención. Este tanque de almacenamiento deberá ser de un tamaño adecuado para contener el volumen total de todos los tanques usados para el mantenimiento de los animales.

- f) Las puertas deberán estar equipadas con mecanismos de auto-cierre para asegurar que permanezcan cerradas después de que alguien entre, o por lo menos deberá instalarse una puerta con una malla a prueba de insectos que se auto-cierre.
- g) El acceso a las instalaciones de cuarentena deberá ser solamente a través de una entrada que conduzca a un cuarto independiente, provisto con instalaciones para que el personal de cuarentena se lave las manos y se cambien la ropa con la que viene del exterior antes de entrar o salir del área de cuarentena.
- h) En la puerta de entrada de las instalaciones de cuarentena se deberá colocar, un tapete sanitario con desinfectante para los pies.
- i) Todos los tanques de almacenamiento de animales acuáticos:
 - deberán estar identificados con números permanentes, de tal manera que se pueda llevar un registro individual relacionado con ellos
 - deberán contar con tapas u otras cubiertas apropiadas de tal manera que se prevenga la transmisión de patógenos entre tanques adyacentes debido a salpicaduras y para prevenir el escape de los animales acuáticos
 - deberán tener líneas con tomas de agua equipadas con válvulas automáticas de cerrado
 - los tanques deberán estar dispuestos de tal manera que permitan el fácil acceso para propósitos de inspección, incluyendo un ancho mínimo de 75 cm para los corredores entre hileras de tanques y de la pared
 - los tanques deben contener solo material esterilizable (ejemplo plástico) que no interfiera con la inspección
 - los tanques deberán tener al menos el frente transparente para proporcionar buena visibilidad de su contenido y ser apilables para una adecuada revisión

- los tanques deberán contar con su propio grupo de redes, cubetas, vasos de precipitado y otros artículos asociados con el uso del tanque
- j) Como se considera que todos los animales dentro de las instalaciones tienen el mismo estatus de cuarentena, el uso del sistema del agua en recirculación compartida es permisible pero no aconsejable, debido a que esto puede facilitar la dispersión de patógenos entre tanques.
- k) En todos los puntos de entrada y salida a las instalaciones de cuarentena se deberá mostrar de manera sobresaliente una señal fija, hecha profesionalmente, que diga “Área de Cuarentena – Solamente Personal Autorizado”. Estos anuncios deberán ser muy visibles (ejemplo letras negras de cerca de 5 cm de alto sobre un fondo amarillo).
- l) Deberá existir un lavabo adecuado en el área de cuarentena para la limpieza y desinfección del equipo. En el lavabo siempre deberá estar disponible un desinfectante aprobado. Se deberá colocar un escurrer platos apropiado para secar el equipo al aire.
- m) Se deberá designar un refrigerador o congelador exclusivamente para el almacenamiento y conservación de animales acuáticos muertos. En este caso se deberá señalar claramente que el refrigerador o congelador es de uso exclusivo para la sección de cuarentena. El refrigerador se deberá encontrar dentro del área de cuarentena y se deberá poder cerrar con llave.
- n) Se deberá contar con el equipo necesario para llevar a cabo la desinfección de toda el agua residual (tanto la del transporte como el agua doméstica utilizada en las instalaciones de cuarentena).
- o) Se deberá contar con instalaciones seguras de almacenamiento para el alimento utilizado, que eviten la contaminación o infestación por plagas.
- p) Se deberá proporcionar y mantener un gabinete completo de primeros auxilios.
- q) Se deberá contar con los servicios básicos para el uso de un inspector de sanidad acuícola, incluyendo el acceso a un escritorio, silla, teléfono con línea directa al exterior, baños, instalaciones para lavarse las manos (dentro del área de cuarentena) y un medio higiénico para secarse las manos.

Existen estándares recomendados para construcción, seguridad y operación para instalaciones de cuarentena para movimientos de “bajo riesgo” y de “alto riesgo” específicos para animales acuáticos ornamentales

6.6 Condiciones para el establecimiento de una operación acuícola con respecto a la cercanía de los cuerpos de agua naturales

Un aspecto fundamental dentro de las medidas de bioseguridad para las granjas acuícolas es el evitar que los organismos se escapen al medio ambiente debido a las inundaciones, ya que, si el brote de una enfermedad en un estanque coincide con un evento de inundación, el organismo causante de la enfermedad podría ser transferido a la naturaleza. Sin embargo, una consideración importante es que en el caso que una inundación y un evento de enfermedad coinciden, la concentración del organismo de la enfermedad se diluiría considerablemente por la naturaleza misma del evento de inundación, minimizando el riesgo de transferencia a la población silvestre. A este respecto el Departamento de industrias primarias y pesca de Australia (Department of Primary Industries and Fisheries, 2004) propone las siguientes medidas para evitar que los organismos se escapen de las instalaciones debido a las inundaciones.

El nivel Q_{100} está basado en la evaluación de riesgos. El consejo de las compañías de seguros que aseguran a los acuicultores es que los estanques construidos por debajo del nivel de inundación de 1 en 100 años o nivel Q_{100} sea considerado por aseguradores como de alto riesgo de inundación.

En el caso de inundaciones de magnitud suficiente para sobrepasar estanques construidos en tierra por encima del nivel Q_{100} , la dispersión será tan pequeña que el impacto será insignificante. Además, la cuestión de la superación del nivel de los estanques y tanques es abordada por la industria a través de la gestión basada en incentivos, ya que está en el mejor interés del acuicultor no perder su producto durante las inundaciones.

Para minimizar el potencial de que los organismos de la operación acuícola escapen al medio natural en caso de inundación y que puedan afectar los recursos pesqueros

silvestres es necesario asegurar que los sitios utilizados para las operaciones acuícolas no sean propensos a inundaciones.

6.6.1 Acuerdos de manejo

1. Al considerar la construcción de nuevas instalaciones de producción que se planeen usar y/o ubicar de manera adyacente a los suministros de agua superficial es necesario considerar el riesgo que representan las inundaciones que pudieran contribuir al desbordamiento de los tanques de producción, especialmente aquellos que se encuentran en el exterior. Se debe considerar la elevación de los tanques de cultivo en relación con los niveles históricos de inundación para evitar el riesgo de inundación y la posibilidad de escape cuando el agua retroceda.

2. La inspección del emplazamiento para la construcción de nuevos criaderos también debe considerar el tipo de suelo y la precipitación para determinar el potencial de los tanques y tuberías exteriores a ser socavados, dañados o derribados en caso de que las inundaciones o las fuertes lluvias debiliten el suelo circundante.

En función de lo anterior las siguientes medidas de ordenación se han elaborado sobre la base de la evaluación de riesgos y se consideran apropiadas para la acuicultura de operaciones basadas en tierra.

En esta política, la inmunidad a las inundaciones se discute en términos de la altura de los muros perimetrales o paredes de los estanques con respecto a la altura Q_{100} o 1 en 100 años (es decir, la distancia vertical entre la parte superior de la pared y la altura Q_{100}), más que en la ubicación espacial de los estanques con respecto al contorno Q_{100} (es decir, la diferencia horizontal entre los estanques y el contorno Q_{100}). Los estanques pueden ser estanques enterrados o tanques sobre el suelo.

6.6.2 Inmunidad a las inundaciones

Estanques de producción

A. Cuando se utilice un muro perimetral con el fin de contener agua para cultivar peces dentro de un estanque, el punto más bajo en la parte superior de la pared deberá ser más alto que la altura vertical del nivel de inundación Q_{100} .

B. Cuando el registro del nivel de inundación Q_{100} no esté disponible, la ubicación de los estanques y tanques no deberá ser menor que el nivel de inundación más alto registrado. Esta inmunidad de inundaciones (Fig. 33) debe mantenerse para evitar el escape de los peces y posibles enfermedades de la operación acuícola. Si esta medida se ve comprometida por fuertes lluvias, debe restablecerse tan pronto como sea posible.

Estanques para sedimentación /tratamiento de agua

Los estanques o tanques utilizados para la sedimentación y/o tratamiento del agua de afluentes o efluentes como parte del ciclo de producción, y cualquier canal asociado, deben construirse de manera que el punto más bajo en la parte superior de la pared sea equivalente o superior a la altura vertical del nivel de inundación Q_{50} (1 en 50 años).

En los estanques de sedimentación/tratamiento hay un menor nivel de riesgo porque las condiciones de aprobación de la acuicultura excluyen a todos los organismos acuícolas de estos estanques. Dichos estanques deben destinarse al tratamiento de residuos y no deben contener peces procedentes de la instalación de producción acuícola ni utilizarse para su producción comercial.

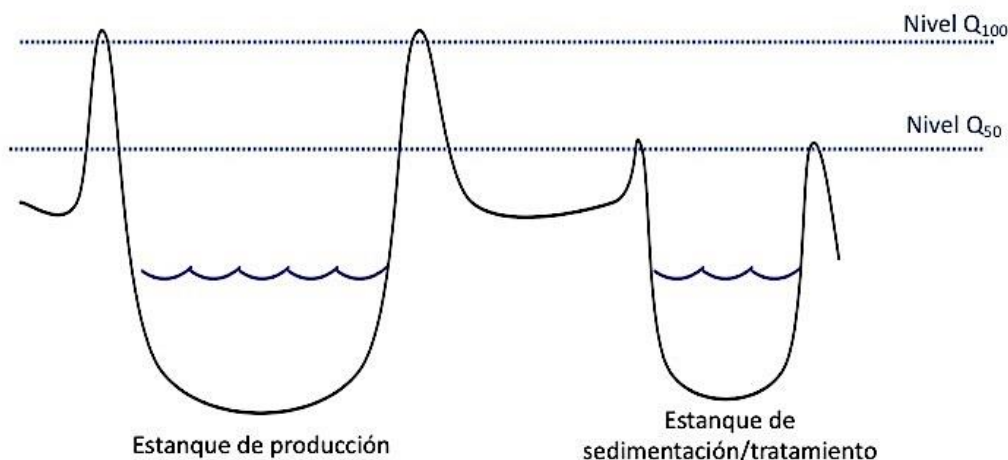


Figura 33. Altura de francobordo para los niveles de inundación de los últimos 50 (Q_{50}) y 100 años (Q_{100}).

Estanques usados para biorremediación

Actualmente existe una tendencia a cultivar ciertas especies en el agua de descarga (e.g. moluscos) para eliminar parte de los sólidos disueltos. Sin embargo, algunas asociaciones internacionales desaconsejan esta práctica.

6.6.3 Protección de desbordamiento (francobordo)

Estanques

Se debe mantener una altura de francobordo (distancia desde el nivel del agua hasta el punto más alto de la pared) adecuada para evitar el desbordamiento en los estanques utilizados para la acuicultura (Fig. 34). DPI y F (2004) recomienda un francobordo de al menos 0.5 m. El francobordo debe ser restablecido tan pronto como sea posible después de la lluvia. Los tubos para control de nivel y las salidas de rebosadero situadas a la altura de francobordo deseada son un medio sugerido para mantener un nivel de francobordo adecuado. El tamaño y el número de las salidas de desbordamiento deben diseñarse con la ayuda de personal calificado que también tenga conocimiento de los eventos de lluvia en la zona.

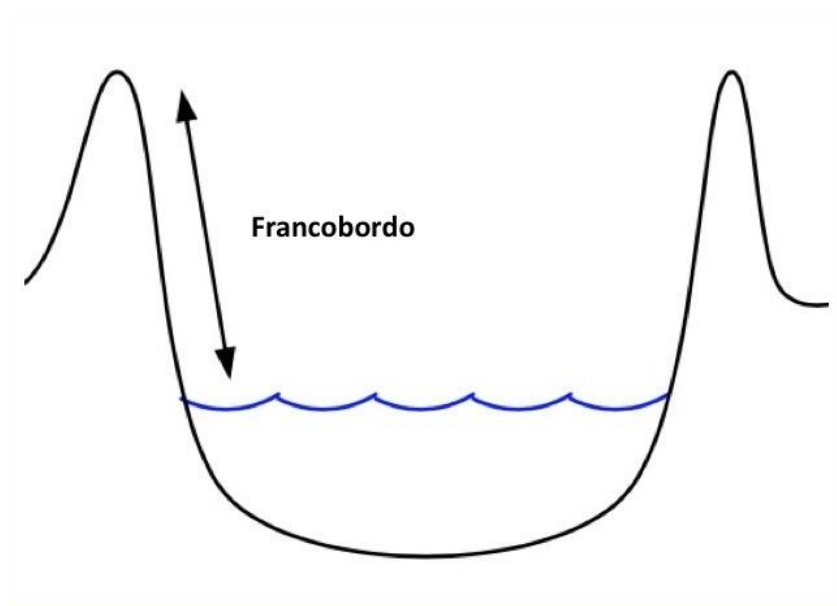


Figura 34. Altura de francobordo (distancia desde el nivel del agua hasta el punto más alto de la pared) para evitar el desbordamiento en los estanques utilizados para la acuicultura.

Tanques

Se debe mantener un francobordo en los tanques utilizados para el cultivo de peces para evitar el desbordamiento. Los tanques deben ser construidos con la resistencia y compactación suficiente para evitar el riesgo de desestabilización durante las inundaciones.

6.6.4 Protección contra las escorrentías de las aguas pluviales

Además de las medidas para evitar el desbordamiento de tanques y estanques por inundaciones, la construcción de todas las estructuras enterradas, incluyendo cualquier estructura o embalse utilizada para la recolección y/o tratamiento de aguas residuales, debe ser construida de manera que evite adecuadamente la entrada de aguas pluviales. Lo más recomendable es construir una barrera o muro alrededor de la estructura o el embalse.

6.6.5 Drenaje por medio de tuberías

Una alternativa es el drenaje por medio de tuberías en forma de “L” (Hill y Ohs, 2009). En este caso el nivel de agua en un estanque se controla por medio de un vertedero vertical (Figura 35): un tubo de PVC en forma de “L” con la sección horizontal larga colocada a través del terraplén de tierra y el tubo vertical más corto dentro del estanque. Los propósitos de la “tubería de aliviadero” son mantener el nivel normal del estanque y drenar el exceso de lluvia que pudiera elevar el nivel del agua del estanque por encima de la parte superior del tubo vertical. Cuando una cantidad suficiente de lluvia eleva el nivel del estanque por encima del tubo vertical, el exceso de agua drena rápidamente para restablecer el nivel normal de agua. El diámetro de la tubería debe ser lo suficientemente grande y el francobordo (la distancia entre el nivel de agua máximo deseado y la parte superior del terraplén) debe ser lo suficiente alto para evitar que el agua sobrepase el terraplén durante grandes tormentas.

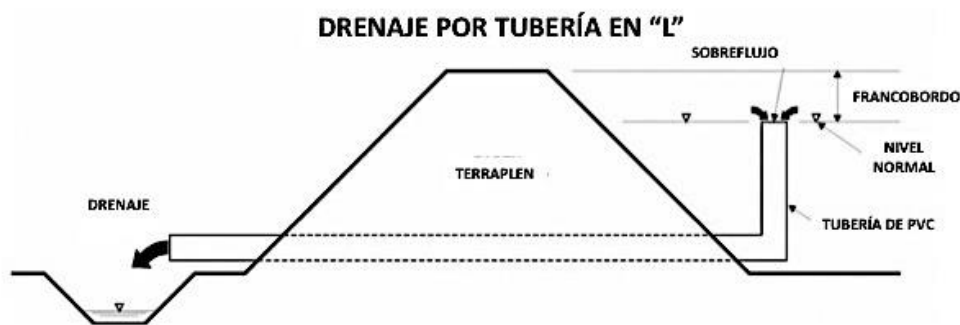


Figura 35. Vertedero vertical en "L", usado para mantener el nivel normal del nivel de agua en los estanques

Sin embargo, un problema común que suele presentarse cuando se utilizan lagunas de oxidación o estanques de sedimentación es que el agua drena rápidamente, sobrepasando el tamaño del estanque de sedimentación requerido, especialmente cuando varios estanques de producción drenan en un solo estanque de sedimentación.

Un diseño mejorado proporcionaría una capacidad para paliar con el excedente de agua en los estanques de producción en caso de lluvia intensa, y para que el flujo del drenaje no fuera tan rápido como para exceder la capacidad del estanque de sedimentación.

El vertedero vertical típico de la tubería se puede modificar fácilmente para manejar las fluctuaciones de las lluvias con mayor efectividad. La Figura 36 muestra un modelo con un dispositivo de control de flujo por medio de orificios y una extensión adicional en el tubo vertical que sirve como vertedero para proporcionar un almacenamiento temporal en caso de inundaciones y un flujo de salida de agua desde el estanque. Aquí el nivel normal del estanque se establece por uno a tres orificios en el tubo vertical. Esto provocará que el exceso de agua por encima del orificio de control de flujo drene más lentamente. El control del caudal de flujo depende del área del orificio (tamaño y número de orificios) y de la profundidad del agua por encima del orificio.

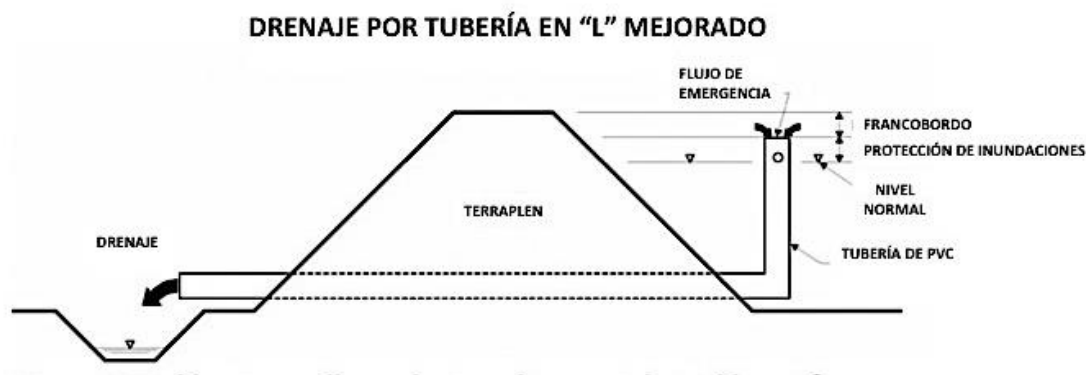


Figura 36. Vertedero vertical en "L", con un dispositivo de control de flujo por medio de orificios y una extensión adicional en el tubo vertical.

En el Anexo G se presenta un protocolo para evaluación de riesgo cualitativa para inundaciones de estanques para acuicultura.

6.6.6 Aspectos específicos para el cultivo de especies exóticas

El objetivo de la acuicultura sustentable es minimizar el riesgo de translocación de organismos de operaciones acuícolas en los cursos de agua naturales, en particular cuando no son nativos del área o cuando tienen el potencial de repercutir en la diversidad genética de las poblaciones silvestres, así como minimizar el riesgo de introducir parásitos y patógenos en las poblaciones silvestres y minimizar los impactos socioeconómicos que pueden resultar de los riesgos mencionados. De tal manera que cuando se pretendan cultivar especies exóticas se debe adoptar las siguientes consideraciones:

- El cultivo de especies exóticas deberá ser autorizado caso por caso en base a su respectiva evaluación de riesgo.
- Aquellas especies de alto riesgo no deberían ser autorizadas para su cultivo.
- Las especies exóticas autorizadas deben ser cultivadas en sistemas de recirculación cerrados.
- La ubicación de las granjas que pretendan cultivar especies exóticas deberá considerar un conjunto único de circunstancias ambientales para su

evaluación. El proceso de evaluación debe tener en cuenta los valores ambientales circundantes y sopesar los impactos potenciales de la actividad acuícola en el ambiente receptor.

- Los atributos físicos del sitio y el área circundante serán importantes para determinar las medidas de bioseguridad apropiadas que se impondrán en la granja.
- Los estanques utilizados para la acuicultura de peces exóticos de agua dulce deberán ser construidos en terrenos situados por encima del nivel de inundación 1:100 (Q100) (cabe hacer notar que esto es más restrictivo que las disposiciones normales para la acuicultura en tierras propensas a inundaciones).
- Todos los estanques deben estar cubiertos por mallas para la exclusión de vertebrados (*e.g.* aves).
- Todos los estanques deberán estar provistos de mallas y filtros para evitar el escape de huevos, juveniles o adultos y de preferencia el agua deberá ser tratada.
- Los lotes de peces deben ser obtenidos de proveedores autorizados y se debe exigir un certificado sanitario para el lote.
- En caso de mortalidades de las especies exóticas, éstas se deberán registrar y se notificará a las autoridades si se observan mortalidades de más del 5% en un tanque dentro de un periodo de 24 hrs.
- Los registros deberán incluir:
 - La fuente del lote obtenido
 - La edad de los especímenes
 - El número de especímenes
 - Una copia firmada del certificado sanitario
 - La fecha en que se obtuvo el lote
 - Las tasas de mortalidad
 - Cualquier característica o comportamiento inusual

- El número de lote
- El destino de las poblaciones una vez retiradas de la instalación acuícola
- En caso de mortalidad los métodos de disposición aceptables son incineración y entierro de los animales. En caso de entierro:
 - a) La fosa de entierro deberá estar a 1 m por encima del manto freático
 - b) Los cadáveres deben estar cubiertos por al menos 4 cm de cal sobre la cual se deberá depositar al menos 1 m de tierra
 - c) El exceso de tierra se deberá compactar sobre el pozo

En el Anexo H se presenta un protocolo de evaluación de riesgo cualitativo para el cultivo de peces exóticos de agua dulce.

6.7 Medidas a adoptar en caso de escape

Claramente, no existe una estrategia única que pueda resolver por completo el problema de las especies invasoras. Sin embargo, una combinación de estrategias podría funcionar para minimizarlo. Estas incluyen la preselección de las especies importadas intencionalmente en función de su invasividad (análisis de riesgo), inspección y control de plagas en las fronteras, la Detección Temprana y Respuesta Rápida (DTRR) de las nuevas especies invasoras, y la gestión a largo plazo de los taxones ampliamente establecidos.

De todas estas opciones, la DTRR resulta ser la más rentable, así como el enfoque más razonable debido a las siguientes razones: (1) La DTRR no restringe el comercio y el movimiento de las especies que pueden o no convertirse en invasoras, (2) la DTRR solo concierne a aquellas especies que han sido introducido en los ambientes naturales y que se han establecido, (3) la DTRR provoca efectos mínimos y de corto plazo en el hábitat invadido independientemente de los métodos que se utilicen para la erradicación de la población, y (4) la DTRR tiene como objetivo restaurar el hábitat invadido a una equilibrio natural (Westbrooks, 2004).

6.7.1 Detección temprana

El valor de la Detección Temprana puede ser mejor apreciado con el establecimiento de un sistema de Respuesta Rápida. Así entre más oportunamente sea detectada una especie y más rápido se responda habrá mayores oportunidades de que la erradicación sea exitosa. De aquí, se deriva igualmente la necesidad de contar con listados de especies de alto impacto ("*watch lists*"), que a menudo incluyen especies que se sabe que están presentes en una región y que de un momento a otro se pueden mover a la región adyacente por cambios en el ambiente (disponibilidad de recursos, cambio climático, etc.). En muchos casos las prácticas y herramientas asociadas con la identificación de vías de invasión y análisis de riesgo pueden contribuir a definir las estrategias de detección en términos de la priorización de localidades y especies que tendrán que ser observadas.

6.7.2 Monitoreo

La evaluación de la distribución, abundancia y dinámica de poblaciones o especies requiere frecuentemente la recolección e identificación de individuos de los sitios de muestreo. Como tal, la detección de especies es fundamental para disciplinas científicas como la filogenética, la biología de la conservación y la ecología. La idea de que una especie esté presente o ausente en ciertos sitios es de gran relevancia en ecología, ya que proporciona la base para evaluar el estado y la dinámica de las especies a escala local y paisajística. Dentro del contexto de la presente propuesta vale la pena mencionar los estudios de Mejía-Mojica *et al.* (2012; 2015) quienes gracias al monitoreo de los ríos de Morelos pudieron constatar la presencia de nueve especies exóticas (*Amatitlania nigrofasciata*, *Aequidens rivulatus*, *Oreochromis mossambicus*, *Poecilia reticulata*, *Pterygoplichthys disjunctivus* y *P. pardalis*), y translocadas (*Thorichthys ellioti*, *Poeciliopsis gracilis* y *Heterandria bimaculata*), cuya abundancia poblacional es más importante que la de la ictiofauna nativa en los últimos 15 años. Su presencia en el medio ambiente natural está asociada al escape de algunas de las más de 150 granjas de cultivo de peces para el comercio ornamental que operan a lo largo de la cuenca hidrológica del Amacuzac. Los eventos incidentales de escapes o liberación de algunas de estas especies son comunes, principalmente por la escasez de estructura técnica en algunas de las instalaciones

acuícolas y la proximidad de éstas al cauce de ríos; por ejemplo, en 1994 el aumento en el flujo de uno de los tributarios del río Amacuzac, condujo al escape y posterior establecimiento y extensión de *A. nigrofasciata* (Mejía-Mojica *et al.*, 2012). A varias de estas especies exóticas se les atribuye el desplazamiento de poblaciones de especies nativas en la cuenca del Balsas.

De lo anterior se deriva un elemento indispensable de esta propuesta es el establecimiento de un sistema de monitoreo para la detección temprana de especies exóticas invasoras en ambientes naturales, como lo sugiere la Carta Nacional Acuícola (CNA, 2010).

Uno de los grandes retos en el caso del monitoreo de las especies de ornato es su correcta identificación ya que en el acuarismo es común la hibridación entre las especies para lograr peces más atractivos o “raros”. Así es común encontrar híbridos de cíclido convicto X boca de fuego, terror verde X acara azul, molly X guppy, etc. (Cox, 2004). Por otra parte, la detección confiable de especies durante el muestreo puede ser difícil de lograr, especialmente para especies que están presentes en bajas abundancias, como taxones amenazados y en peligro de extinción, y en algunos casos, invasiones recientes (Ficetola *et al.*, 2008; Goldberg *et al.*, 2011; Jerde *et al.*, 2011).

Sin embargo, los recientes avances en los métodos moleculares y forenses han proporcionado herramientas innovadoras para la detección de organismos acuáticos que pueden eludir las limitaciones antes mencionadas (Valentini *et al.*, 2009; Lodge *et al.*, 2012; Thomsen *et al.*, 2012). En efecto, actualmente las técnicas modernas como el Barcode resultan especialmente útiles al trabajar con especies crípticas o aquellas que son difíciles de identificar. A medida que los costos disminuyen y la portabilidad se incrementa estas herramientas serán más viables en el campo (Ad Hoc Working Group on Invasive Species and Climate Change, 2014). Actualmente este es el caso del Barcode, herramienta para cual ya se cuenta con un kit que permite la extracción *in situ* de DNA en pocas horas. El concepto de “código de barras de la vida” consiste en la existencia de un fragmento de ADN estandarizado para identificar las especies de todos los organismos vivos y en el caso particular de animales, se utiliza el gen mitocondrial COI (Hebert *et al.*, 2003). La adopción

de la herramienta cobró gran popularidad al grado que más de 50 naciones se han integrado en el Consorcio del Código de Barras de la Vida (CBOL).

Otra herramienta que resulta particularmente prometedora es el ADN ambiental (*environmental DNA* - eDNA). Definido como fragmentos de ADN cortos que un organismo deja atrás en componentes no vivos del ecosistema (es decir, agua, aire o sedimentos) (Foote *et al.*, 2012; Taberlet *et al.*, 2012), el eDNA puede ser usado para detectar la Presencia (o ausencia) de una especie a través de células o tejidos encontrados en el medio ambiente que contienen el material genético. En los sistemas acuáticos, el material genético puede ser recolectado a través de una filtración de agua a través de un filtro de micras y este material puede ser probado para la presencia de las especies objetivo utilizando marcadores genéticos específicos a través de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR), PCR cuantitativa (qPCR) o secuenciación directa del producto de la PCR. La técnica básica descrita anteriormente plantea la posibilidad de detectar y monitorear taxones objetivo en entornos acuáticos, al tiempo que elimina el ruido extraño generado por la presencia de taxones no objetivo (potencialmente numerosos). En consecuencia, el eDNA ha ganado una gran atención para su utilización con organismos acuáticos en peligro (Goldberg *et al.*, 2011; Thomsen *et al.*, 2012) y las especies acuáticas invasoras (Ficetola *et al.*, 2008; Dejean *et al.*, 2012; Takahara *et al.*, 2012).

6.7.3 Respuesta Rápida

Debido a la falta de monitoreo a intervalos suficientemente frecuentes diferentes países han desarrollado sistemas para reportar, verificar la identificación y alertar sobre nuevos avistamientos de especies exóticas basados en análisis de riesgo. Actualmente, ante la crisis de biodiversidad existente en el medio acuático producto de la introducción de especies invasoras y su interacción con factores de cambio de la biodiversidad (cambio climático, contaminación, sobre-explotación etc.) la NOAA desarrolló un sistema basado en seis componentes: 1) un sistema de alerta regional, 2) un inventario de especies acuáticas dentro del cual se pueden identificar las invasoras, 3) un sistema nacional para mostrar la dispersión de las especies exóticas, 4) un banco de análisis de riesgo y predicciones de especies exóticas que se pueden volver invasoras, 5) un sistema de

detección temprana y monitoreo de especies exóticas y 6) un plan de respuesta rápida federal para ejercer acciones de mitigación (NOAA, 2002).

Analizando estos componentes México no está lejos de integrar un sistema holístico de este tipo, ya que el Sistema de Información Sobre Especies Invasoras en México (SIEI) desarrollado por CONABIO se puede aprovechar como plataforma para emitir alertas regionales y nacionales; por otra parte, ya se cuenta con el Sistema de Alertas del SINAVEF (Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica y Sanitaria de SAGARPA) probado en plagas, y con el Sistema de monitoreo de plagas (SIM de SENASICA). Éste último podría ser utilizado para describir la expansión de rango de aquellas especies de alto impacto, gracias a la capacidad de geoprocésamiento con la que cuenta, tanto por esta institución como por parte de CONABIO. Por otra parte, CONABIO ya cuenta con un importante inventario de especies exóticas, que se actualiza continuamente y ha venido fortaleciendo su acervo de análisis de riesgo, lo que permitiría focalizar la detección temprana sobre ciertas especies con herramientas como las descritas anteriormente.

Sin embargo, México actualmente no cuenta con una estrategia de coordinación y acción entre dependencias para la respuesta rápida, contención y control de las especies invasoras de alto impacto. Esta área de oportunidad puede ser cubierta por medio de la implementación del Sistema de Comando de Incidentes, el cual constituye una alternativa eficaz probada en múltiples ocasiones para hacer frente a distintos tipos de desastres naturales en Norteamérica.

Algunos beneficios del SCI son:

- a) Ser organizacionalmente flexible, de tal manera que puede crecer o hacerse más pequeño, para satisfacer las necesidades de incidentes de cualquier tipo y magnitud
- b) Estar lo suficientemente estandarizado, por lo que el personal de una gran variedad de dependencias y diversas ubicaciones geográficas podrá rápidamente unirse en una estructura de gestión común
- c) Ser flexible, de manera que las dependencias pueden utilizar el sistema sobre una base diaria para situaciones rutinarias, así como para emergencias graves, y
- d) Ser rentable.

Sin una estructura de mando, las dependencias que están cooperando en una respuesta rápida a menudo experimentan dificultades debido a una autoridad ambigua, el choque de culturas organizacionales, cuestiones de jurisdicción, mala asignación de recursos, etcétera.

La organización del SCI está construida alrededor de cinco funciones principales:

- 1) Comando.- Establece objetivos y prioridades, tiene toda la responsabilidad en el incidente o evento.
- 2) Planificación.- Desarrolla el plan de acción para lograr el cumplimiento de los objetivos, recopila y evalúa la información, mantiene el estado del recurso.
- 3) Operaciones.- Realiza operaciones tácticas para llevar a cabo el plan, desarrolla los objetivos tácticos y la organización, además de dirigir todos los recursos.
- 4) Logística.- Proporciona apoyo para satisfacer las necesidades para enfrentar el incidente, proporciona recursos y todos los demás servicios necesarios.
- 5) Finanzas y Administración. Monitorea los costos relacionados con el incidente, proporciona la contabilidad, adquisiciones, registro del tiempo, análisis de costos.

En un pequeño incidente, todas estas actividades pueden ser manejadas por una sola persona (el comandante de incidente). Si las necesidades crecen, se agregan personas. Una directriz de funcionamiento básico de SCI consiste en que la persona en la parte superior de la organización sea responsable, a menos que y hasta que se delegue la autoridad a otra persona. Así, en pequeñas situaciones en las que no son necesarias personas adicionales, el comandante de incidente administra directamente todos los aspectos de la organización del incidente (Smits y Moser, 2009).

Este sistema ha sido probado exitosamente a nivel internacional con especies acuáticas invasoras. A título de ejemplo, ante la inminente invasión de las carpas Asiáticas del Río Mississippi de los EEUU a los Grandes Lagos en Canadá se creó una comisión cuya estructura se basó enteramente en el SCI, dando lugar al Plan Bi-nacional de Respuesta Rápida para especies acuáticas invasoras (Donahue, 2012). Cabe mencionar que este plan fue implementado y se ha logrado evitar la introducción de las carpas a los Grandes Lagos.

6.8 Captura de peces que han escapado y erradicación de poblaciones

Tres aspectos fundamentales de la acuicultura sustentable son: evitar la liberación deliberada de especies exóticas, reducir la incidencia de escapes accidentales y privilegiar el cultivo de especies nativas. A estos aspectos se pueden agregar el cultivo de especies estériles o poblaciones monosexuales, como una garantía para evitar su reproducción en la naturaleza.

Por otra parte es esencial la concientización del personal operativo a través de una formación que involucre técnicas para la contención segura de las especies a su cargo, la limpieza correcta de los acuarios y tanques en los que se cultivan los peces, la adecuada remoción y disposición de los peces muertos, practicas adecuadas de tamizaje para separar tallas y especies, evitar el escape de peces pequeños y sus eventuales patógenos y parásitos, pérdidas económicas potenciales y protocolos técnicos para cultivar especies nativas (Azevedo-Santos *et al.*, 2015).

Al menos 20% de los escapes de peces en las operaciones dulceacuícolas son atribuibles al error humano. Un mejor entrenamiento en conjunto con el desarrollo de planes HACCP reducirían considerablemente este porcentaje de escapes. La identificación de los puntos críticos de control ayudaría a centrar los esfuerzos de manejo para desarrollar procedimientos operativos estándares apropiados y oportunidades de capacitación del personal para mitigar el escape de los peces.

Los operadores de las granjas deberán tener un plan de mitigación para hacer frente a los escapes antes de que se produzcan otros riesgos ecológicos, financieros o de responsabilidad civil. La captura de peces que se han escapado debe realizarse directamente por el personal de la granja, o un tercero contratado por la industria o alguna agencia reguladora.

Para probar la efectividad de la recuperación de peces se han empleado diversas técnicas, entre ellas la telemetría que sirve para rastrear peces a los que se les ha implantado un chip. La captura de los peces también dependerá de su comportamiento, ya que hay especies que tienden a desplazarse en cardumen, mientras que otras se dispersan inmediatamente. También interviene el comportamiento de “fidelidad” a la granja, este se

refiere a peces que han escapado y que regresan después de cierto tiempo, esencialmente por motivos de supervivencia ya que posiblemente no encontraron alimento en el medio ambiente natural.

Todas las operaciones deben mantener un plan de contingencia apropiado ante eventos de escape accidental que incluya acciones para identificar cualquier probable evento de escape, una estrategia para corregir deficiencias y evitar pérdidas adicionales, un protocolo para reportar de inmediato el evento de escape a las autoridades apropiadas y pasos de seguimiento apropiados incluyendo la consulta y actualización del inventario, un análisis del evento incluyendo informes de inspección recientes, intercambio de información con todo el sector local y acciones correctivas de equipos y prácticas para mitigar escapes adicionales en toda la industria por las mismas razones (Bridger *et al.*, 2015).

Actualmente se dispone de una serie de técnicas de muestreo para reducir o erradicar las especies exóticas que han escapado. No obstante, los impactos sobre las especies blanco y no blanco varían con la técnica utilizada. La técnica que se aplicará a la captura de cualquier especie de peces variará dependiendo del uso final de los peces recolectados. Se deben utilizar técnicas no destructivas si se van a capturar peces con fines de conservación. Por el contrario, se pueden utilizar técnicas destructivas para erradicar una población de peces en una localidad determinada. Es importante, que, al seleccionar una técnica, se evalúe su costo - beneficio. Además, debe tenerse en cuenta el impacto social del uso de cada técnica, particularmente cuando la captura tenga que llevarse a cabo en un área pública. Usando cualquiera de las técnicas discutidas, se debe tener presente que la erradicación completa requiere un esfuerzo significativamente mayor que una simple reducción en el tamaño de la población, y que son pocas situaciones en las que la erradicación es realista. De aquí, que la eliminación de una pequeña proporción de la población represente solo una fracción del costo de la erradicación. Sin embargo, en algunos casos se puede considerar que la erradicación no es necesaria y que una reducción significativa del tamaño de la población es adecuada. Muchos métodos de

captura de peces no son específicos, pero pueden adaptarse para capturar amplia gama de tamaños con el fin de ayudar en la captura de una especie blanco.

Un resumen de las técnicas disponibles junto con el impacto potencial de las mismas se describe en la Tabla 6. La magnitud de los impactos de cada técnica se ha clasificado de bajo a alto, en donde bajo significa que es poco probable que conduzca a la muerte de los peces; los impactos moderados pueden conducir a la muerte de los peces capturados el 50% del tiempo; y los impactos altos pueden conducir a la muerte de los peces la mayor parte del tiempo.

| Tabla 6. Técnicas de captura de peces que han escapado. | | |
|--|---|---|
| Técnica de captura | Impacto potencial sobre las especies blanco | Impacto potencial sobre las especies no-blanco |
| Redes de cuchara | Bajo | Bajo |
| Electropesca | Moderado | Moderado |
| Envenenamiento | Alto | Alto |
| Senas | Moderado | Moderado |
| Redes agalleras | Alto | Alto |
| Nasas | Bajo | Bajo |
| Trampas con carnada | Moderado | Moderado |
| Reducción del nivel del agua hasta quedar seco | Alto | Alto |
| Reducción parcial del nivel del agua | Bajo a Alto, dependiendo de la técnica complementaria | Bajo a Alto, dependiendo de la técnica complementaria |

6.8.1 Redes

La utilización de redes incluye el uso de redes que inmovilizan y capturan peces (por ejemplo, redes agalleras) y aquellas que encierran a una parte de una población de peces (por ejemplo, las senas o redes de cerco). Las redes agalleras además inmovilizan a todos los peces, lo que significa que se encontrarán también capturas accidentales de especies

no-blanco en la red. Corresponde entonces a las personas que realizan la captura de los peces que escaparon que se eliminen de las redes las especies no-blanco antes de que sufran una lesión grave o la muerte. Por lo tanto, está considerado que las redes agalleras tienen un alto impacto potencial en las especies de peces que escaparon, así como en las capturas incidentales. Una ventaja de la utilización de las redes agalleras es que pueden abarcar un amplio espectro de tallas de peces mediante el uso de mallas de tamaños particulares o establecerse en ciertas profundidades para capturar peces en distintos sitios de la columna de agua. Sin embargo, las redes agalleras no se pueden utilizar para capturar una especie en particular. Las redes agalleras pueden construirse a partir de multifilamento o monofilamento, siendo más difícil de liberar los peces que no hayan sido dañados de las redes de monofilamento. El uso de redes agalleras es laborioso ya que es necesario el chequeo regular del equipo para evitar lesiones en los peces capturados y se requiere de tiempo y esfuerzo significativos para desenredar algunos peces. También es una técnica pasiva, ya que depende del movimiento de los peces hacia las redes. Finalmente, las redes agalleras pueden ser percibidas negativamente por el público, ya que pueden recolectar indiscriminadamente otros animales como aves, anfibios y reptiles y por lo tanto necesitan ser monitoreadas regularmente si es que se considera una técnica necesaria.

Las redes de cerco (senas) son otra técnica reconocida para la captura de peces, sin embargo, éstas tienen aplicaciones restringidas. Para tener más eficacia en la captura de peces, las redes de cerco deben establecerse de modo que la red forme una barrera desde la superficie del agua hasta el fondo del cuerpo de agua a medida que la red se mueve alrededor de un semicírculo en un movimiento constante y luego es arrastrada hacia la orilla. Su uso generalmente se limita a áreas libres de escombros o de troncos para evitar que se enganche la red (por ejemplo, en humedales o pequeñas represas). Debido a las restricciones de esta técnica para ser utilizada sólo en cuerpos de agua poco profundos, con fondos liso y con bancos de pendiente suave, es probable que se utilice con poca frecuencia para la remoción de especies que han escapado. No obstante, cuando se aplica en el hábitat adecuado, puede ser una técnica eficaz para la conservación de los

peces. Los impactos a las especies blanco y no-blanco se consideran moderados, mientras que la técnica generalmente es percibida positivamente.

6.8.2 Trampas

Las trampas con carnada y las nasas consisten en atrapar los peces vivos en un espacio restringido. Ambas técnicas se consideran no destructivas ya que generalmente no inmovilizan el pez per se, sino que los peces están contenidos y pueden ser removidos vivos. Por lo general, las nasas se utilizan para atrapar peces de tamaño moderado a grande (dependiendo del tamaño de malla), mientras que las trampas con carnada se utilizan para capturar peces pequeños o individuos pequeños de especies grandes. El método recomendado para establecer las nasas es asegurar que el extremo de la trampa quede expuesto fuera del agua para que las capturas incidentales de respiración aérea (pequeños mamíferos, tortugas, aves) sobrevivan hasta ser liberados. Típicamente, esto lleva a que esta técnica tenga un bajo impacto en la captura de especies no-blanco.

Contrariamente, las trampas con carnada están completamente inmersas durante el periodo de captura lo que puede resultar en mortalidades de la fauna de respiración aérea. Por ejemplo, las ratas acuáticas y las aves buceadoras pueden quedar atrapadas en la pequeña entrada de las trampas con carnada y no pueden escapar. La probabilidad de esto ocurra es baja, aunque el impacto puede ser grande. Del mismo modo, algunos peces pueden ser predados por crustáceos u otras pequeñas especies depredadoras mientras están encerradas en estas trampas, provocando mortalidades importantes e impactos moderados en las especies blanco y no-blanco. Al igual que las redes de pesca, son un arte de pesca pasiva que no es muy eficaz para reducir el tamaño de una población de peces. Sin embargo, si se emplean correctamente, estas técnicas son a menudo bien percibidas por el público.

6.8.3 Electropesca

La electropesca es una técnica eficaz que ha sido ampliamente utilizada. La operación de la electropesca se rige en diferentes países bajo códigos que describen la operación

segura y la certificación de los equipos necesarios para evitar lesiones a los operadores y animales.

La electropesca se puede dividir en tres técnicas reconocidas que se utilizan comúnmente equipo portátil, equipo montado en una embarcación y equipo montado en la orilla. La electropesca con equipo portátil es ligero y todo el equipo se limita a una unidad contenida en una mochila y un poste. La electropesca con equipo portátil está limitada a cuerpos de agua con salinidad baja a moderada. Esta técnica es ampliamente utilizada en pequeñas corrientes y arroyos. La electropesca en embarcaciones está limitada por el acceso de los botes, se puede utilizar en salinidades moderadas a altas y es una técnica eficaz para la captura de peces en grandes ríos y lagos. El equipo de electropesca montado en la orilla se utiliza en ríos y arroyos pequeños y se puede aplicar en salinidades moderadas a altas, ya que a menudo utiliza la misma fuente de alimentación como las unidades montadas en barcos. Con este tipo de electropesca se pueden recorrer las riberas del hábitat gracias al largo del cableado.

La electropesca es una técnica activa que puede utilizarse para capturar grandes cantidades de peces de un amplio rango de tamaños. Aplicada de manera efectiva, la electropesca puede tener un impacto mínimo en la fauna, sin embargo, hay una probabilidad moderada de lesión a los peces blanco y no-blanco si se usa de manera inapropiada provocando hemorragia, dislocación espinal (por contracción muscular severa) o electrocución. Esta técnica es generalmente percibida bien por el público, aunque muchas personas continúan siendo intrigadas por la electropesca.

6.8.4 Venenos

La rotenona es un inhibidor de cadena respiratoria y es no selectivo si se utiliza en concentraciones elevadas. Se comercializa en polvo o en presentación líquida y puede tener una persistencia de varios meses dependiendo de la temperatura (Baldry, 2000). La rotenona ha sido ampliamente utilizada como piscicida en todo el mundo y su concentración puede controlarse para afectar sólo a cierto tipo especies u organismos de un tamaño particular en el cuerpo de agua. La rotenona se ha utilizado particularmente para controlar especies exóticas de peces y puede aplicarse con igual facilidad para

controlar la distribución de especies que han escapado. Esto debe hacerse bajo condiciones controladas, lo que significa usar concentraciones adecuadas para rescatar a las especies no-blanco. Por ejemplo, la rotenona puede neutralizarse mediante la aplicación de permanganato de potasio (Rayner y Creese, 2006). Ejemplos de su aplicación incluyen el control de *Gambusia holbrooki* en estanques seleccionados en Nueva Gales del Sur y para erradicar la perca de río (*Perca fluviatilis*) en Tasmania. La aplicación de este piscicida depende de la medida en que este aislado el cuerpo de agua, calidad del agua y el flujo, la presencia de refugios acuáticos, la susceptibilidad de las especies blanco, el tipo de rotenona y los métodos de aplicación (Rayner y Creese, 2006). Cuando se ha utilizado con fines de erradicación, su empleo ha sido más exitoso en sistemas lénticos pequeños, fácilmente accesibles y cerrados, poco profundos y con escasa vegetación (Rayner y Creese, 2006; West *et al.*, 2007).

Actualmente se venden carnadas que contienen rotenona y se comercializan como *Prentox*® y *Prenfish*™. También se venden pellets con rotenona y con el químico butóxido de piperonil, que incrementa sinérgicamente el efecto de la rotenona. Cada pellet tiene un ingrediente activo para matar 1 kg de pez. Estos métodos tienen la ventaja de ser relativamente selectivos y evitan la muerte de un gran número de peces; sin embargo, su eficacia fluctúa entre 50 y 77% (Ling, 2002). Aunque la rotenona es una opción bien reconocida para controlar químicamente especies de peces invasores (y especies de peces no deseadas), la antimicina también ha sido identificada como una alternativa potencial (Hewitt *et al.*, 2002; West *et al.*, 2007). La antimicina es un piscicida selectivo por lo que afecta a algunos peces más que otros. No persiste después de la aplicación por lo que es esencial asegurarse de tener disponibles las cantidades adecuadas para recargar la aplicación inicial.

Cualquiera de los venenos mencionados anteriormente puede tener impactos significativos sobre las especies de peces blanco y no-blanco si no se maneja de manera eficaz. Sin embargo, la aplicación de venenos de cadena respiratoria es una técnica eficaz para la eliminación de un gran número de peces cuando se usa en condiciones adecuadas. La eficacia de esta técnica probablemente será compensada por la reacción negativa

del público al envenenar potencialmente un gran número de especies no-blanco y las preocupaciones sobre los efectos ecológicos de estos venenos.

6.8.5 Reducción del nivel del agua

La reducción del nivel de agua puede ser un método eficaz para concentrar los peces y reducir el área que se tiene que muestrear. Este método se limita a sitios en donde el nivel de agua puede ser controlado de manera efectiva. La reducción del nivel de agua se puede aplicar de dos maneras: a) la reducción controlada del nivel del agua para permitir el uso de una técnica suplementaria o b) el secado completo del cuerpo de agua. La reducción controlada del nivel del agua conducirá a que los peces se concentren en un área más pequeña, permitiendo así una remoción efectiva al usar una técnica de pesca adecuada. El impacto sobre las especies de peces blanco y no- blanco dependerá entonces de la técnica complementaria que se aplique. Sin embargo, esta aproximación puede llegar a afectar la vegetación ribereña y acuática (hábitat) si el nivel del agua se reduce durante períodos prolongados.

El secado completo de un cuerpo de agua conducirá a la muerte de los peces y sólo se debe aplicar donde la comunidad de peces del cuerpo de agua es conocida y es deseable matar a todos los individuos. Por lo tanto, resulta más apropiado aplicar esta técnica una vez que se puede confirmar que sólo quedan las especies blanco, o que se ha hecho un resguardo de las especies no-blanco. Esta puede ser una técnica muy laboriosa y peligrosa, ya que el movimiento a través de un sustrato blando puede ser difícil o puede llevar al personal a atascarse. El impacto de esta técnica sobre las especies de peces blanco y no-blanco es elevado, ya que es probable que se capture una alta proporción de ambos tipos de peces. La percepción de la comunidad es muy probable que sea negativa, ya que tomará mucho tiempo antes de que todos los peces se eliminen conduciendo a posibles malos olores.

6.9 Tratamiento de efluentes

La producción de peces, como cualquier otra producción de organismos vivos, genera impactos al medio ambiente que incluyen desde liberación de excretas, restos de alimento y medicamentos, hasta “contaminantes genéticos” como es el caso de los peces exóticos, sin contar con patógenos y parásitos que son comunes en los efluentes al estar asociados a la materia orgánica.

Dentro de varios factores, el suministro de alimento es el principal causante de deterioro de la calidad del agua. Esto es debido a que no todo el alimento es consumido. En consecuencia, una gran cantidad de materia orgánica es descargada en los cuerpos de agua naturales. Cerca de un 85% del fósforo, un 80-88% del carbono y un 52-95% del nitrógeno introducido al medio acuático, proviene de residuos alimenticios y del metabolismo de los peces (excreción y respiración) en cultivo. Sin embargo, al manejar de manera adecuada los tratamientos para efluentes no sólo se incrementa la producción, sino que además se cumple con la legislación.

En la acuicultura integrada a otros sistemas de producción animal y vegetal, generalmente los efectos son positivos, pues el sistema utiliza desechos que de otra forma irían directamente al medioambiente. Aunque el medio acuático es capaz de procesar una determinada cantidad de materia orgánica sin deteriorarse, es muy importante considerar el contenido de la materia orgánica del lodo desechado en la cosecha. Los efluentes de los estanques descargados en una fuente natural generan variaciones como disminución en la concentración de oxígeno (OD), aumento en la concentración de sólidos en suspensión (SST), aumento en la demanda biológica de oxígeno (DBO), aumento en la demanda química de oxígeno (DQO), formas de nitrógeno y fósforo, crecimiento exagerado de algas, eutrofización, entre otras. Adicionalmente a la presencia de metales pesados se deben considerar los riesgos para la salud pública por la proliferación de bacterias del tipo coliformes fecales y otras (Pardo *et al.*, 2006).

6.9.1 Mejores Prácticas de Manejo (BMP, por sus siglas en inglés)

Boyd (2003) recomienda la aplicación de mejores prácticas de manejo como una vía para mejorar la calidad y reducir el volumen. Estas implican:

- no usar tasas de siembra ni de alimentación superiores a la capacidad de carga del efluente;
- mantener prácticas de alimentación conservadoras evitando la sobrealimentación;
- fertilizar solamente lo indispensable para promover el fitoplancton;
- reducir el recambio de agua tanto como sea posible;
- cosechar sin drenar el estanque;
- pasar el efluente por un tanque de sedimentación antes de la descarga final.

Estas prácticas tienen sentido, ya que se ha demostrado que al reducir la cantidad de recambio de agua se reduce también la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), los sólidos suspendidos totales (SST) y los nutrientes del efluente, con una mejora sustancial de la calidad del agua. Por otra parte, se ha demostrado que la calidad del efluente proveniente de un estanque de bagre después de un año de cultivo era de la misma calidad del efluente de un estanque en el que se cultiva bagre durante tres años, con lo que se confirma el beneficio de reducir el intercambio de agua.

Otro aspecto que contribuye a mejorar la calidad de los efluentes es la calidad de la dieta. De esta manera, al proporcionar dietas con una alta digestibilidad será mejor asimiladas y el desperdicio será menor. Por otra parte, la eficiencia del tratamiento mecánico de los efluentes depende de la relación entre la carga de partículas ligada a los residuos y la carga total de residuos y sobre la distribución del tamaño de los sólidos en suspensión. En función de esto, se ha probado un enfoque innovador para aumentar la eficiencia del tratamiento mecánico mediante la adición de pequeñas cantidades de aglutinantes indigeribles en alimentos de trucha. El resultado es que la adición de aglutinantes mejora la estabilidad y resistencia de las heces. Esto permite disminuir la descomposición de las heces por las turbulencias del agua que producen partículas más grandes. Así, son más fáciles de eliminar por filtración y son más resistentes a la lixiviación que las partículas pequeñas (Brinker *et al.*, 2005).

6.9.2 Biotransformación

Es un conjunto de métodos destinados a mejorar la calidad del efluente antes de ser descargados en el ambiente. Las técnicas utilizadas van desde la sedimentación, remoción

de sólidos hasta la filtración del efluente a través de mangles artificiales, plantas, algas, moluscos (revisión en Pardo *et al.*, 2006).

6.9.2.1 Sedimentación

Los estanques de sedimentación deben retener el agua por un tiempo suficiente para la sedimentación de sólidos. Desafortunadamente por el gran volumen y la gran cantidad de descarga de un estanque al momento de la cosecha esta solución se torna un tanto impracticable. No obstante, la eficiencia se puede incrementar si se descarga solamente la porción final del efluente dentro del estanque de sedimentación. Esto porque es el final del volumen del efluente (20 a 5%) la fracción principalmente contaminante, cuando lleva las mayores cantidades de nutrientes y sólidos en suspensión (Pardo *et al.*, 2006).

6.9.2.2 Sistemas de biofiltración

Existen varios tipos de sistemas de biofiltración, dentro de los cuales destacan los siguientes:

- Filtración por moluscos. Los bivalvos son filtradores muy eficientes, capaces no solo de reducir el plancton de la columna de agua, sino también los niveles de nutrientes y la concentración de sólidos suspendidos.
- Filtración por plantas acuáticas. Las plantas acuáticas poseen habilidad para asimilar nutrientes y crear condiciones favorables para la descomposición microbiana de la materia orgánica, por esta razón son conocidas como autodepuradoras de ambientes acuáticos y son utilizadas en el tratamiento de aguas servidas.
- Humedales artificiales. Estos sistemas pueden remover altas concentraciones de sólidos en suspensión y de desechos nitrogenados. Se ha demostrado que humedales artificiales del 25% del tamaño de los estanques de producción de bagre y después de dos días de retención de agua mejoran significativamente los parámetros de calidad de agua.
- Sistemas mixtos. Se han propuesto sistemas que involucran la utilización de varias operaciones de tratamiento como tanques sedimentadores, moluscos y finalmente algas (revisión en Pardo *et al.*, 2006).

Por otra parte, gracias a los nutrientes contenidos en los efluentes provenientes de cultivos de peces, estos pueden ser utilizados para irrigar y fertilizar ciertos vegetales. Un claro ejemplo es el cultivo de pepino en hidroponia con efluentes de un cultivo de tilapia (Pickens, 2015).

Un excelente ejemplo de tratamiento de efluentes en una granja de peces de ornato es de la granja de peces Zacango en el Estado de México. En esta granja el encargado Mario Rocha Coghlan implementó un sistema 100% biológico y sustentable, que consta de filtros y tratamiento de agua residual de los 200 mil litros de agua distribuidos en toda la granja, cantidad que regularmente se desecha en los tradicionales sistemas de producción acuícolas. La Granja Zacango está dividida en tres áreas: una donde se reproducen los peces ornamentales guppies; la segunda en donde se cultivan los kingyo (peces japoneses) y la tercera está compuesta por un estanque al aire libre que recibe el agua usada y que sirve como filtro para regenerar las propiedades del líquido, mediante plantas acuáticas. Las piletas fueron diseñadas para limpiarse automáticamente luego de almacenar 3 mil litros de agua con 10 mil peces. Poseen una forma cónica en la parte inferior que ayuda a que las heces fecales de los peces se concentren en el centro y resbalen para ser desechadas automáticamente sin necesidad de realizar un desagüe que originaría la pérdida de agua aún útil. El agua sucia es desechada por un tubo hacia un sistema de tratamiento de agua residual biológico donde se vuelve a purificar. Durante el ciclo, primero se retienen las grasas, después se generan bacterias para que restituyan las propiedades del líquido. Una vez limpia el agua pasa a la segunda sección de la granja, en donde se encuentran las albercas que hospedan a los peces japoneses. Cada alberca tiene capacidad para 10 mil litros de agua para reproducir 5 mil peces y su tratamiento de limpieza también es automático. Cuando el agua sucia sale de las albercas por la parte inferior, pasa por una cámara de sedimentación y por un borbollón que contiene arenas y plantas que vuelven a separar las grasas para poder restituir las propiedades del agua. Posteriormente, el agua ya tratada es distribuida en la primera sección en donde se reproducen los guppies. Es entonces cuando inicia nuevamente el ciclo biológico para la producción de los peces. Diariamente la granja requiere sólo de la entrada de 300 litros

diarios de agua pura para mantener el proceso biológico vivo las 24 horas y para que no se estanque. El proceso de tratamiento de agua residual también cuenta con un filtro de plata coloidal para eliminar cualquier tipo de virus e impedir que haya una enfermedad masiva. La unidad de producción genera un millón y medio de organismos, con un porcentaje de mortandad de 1 o 2%, mientras que en las granjas que no tienen un control en la calidad de sus peces, la mortandad es del 60%.

DISEÑO DE SISTEMA DE BIOREMEDIACIÓN "BEAD FILTER" JAPONES

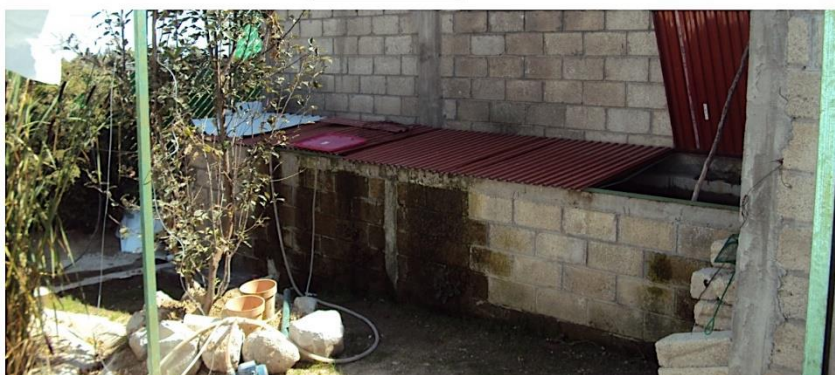
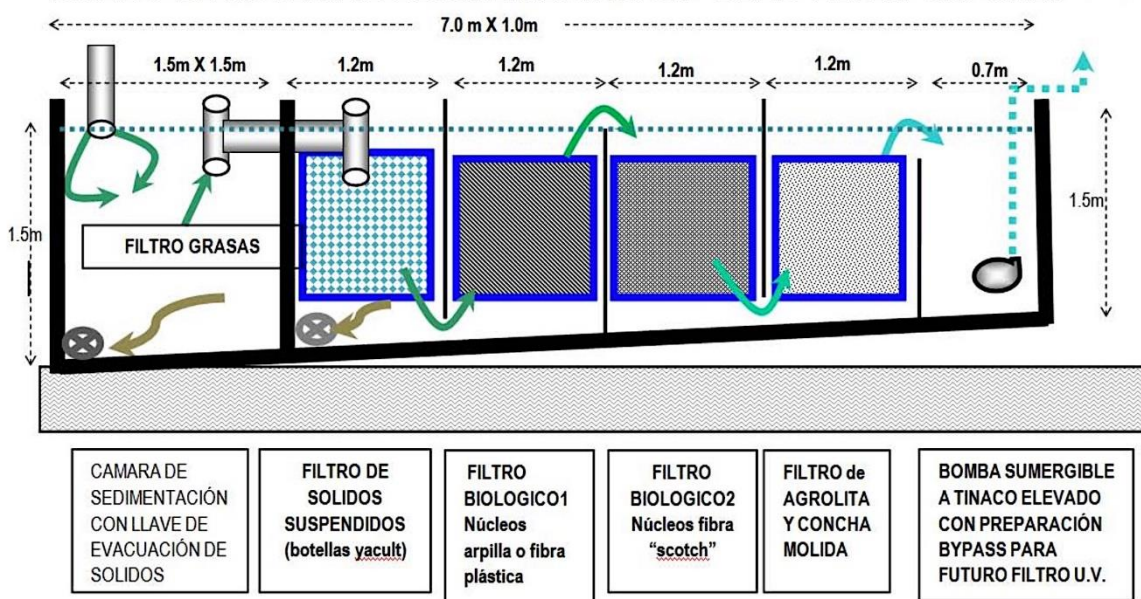


Figura 37. Diseño de sistema de bioremediación "Bed Filter" japonés. Tomado de Rocha Coghlan (2015).

MODULO FINAL DE SEDIMENTACIÓN Y DISPOSICIÓN DE EFLUENTE

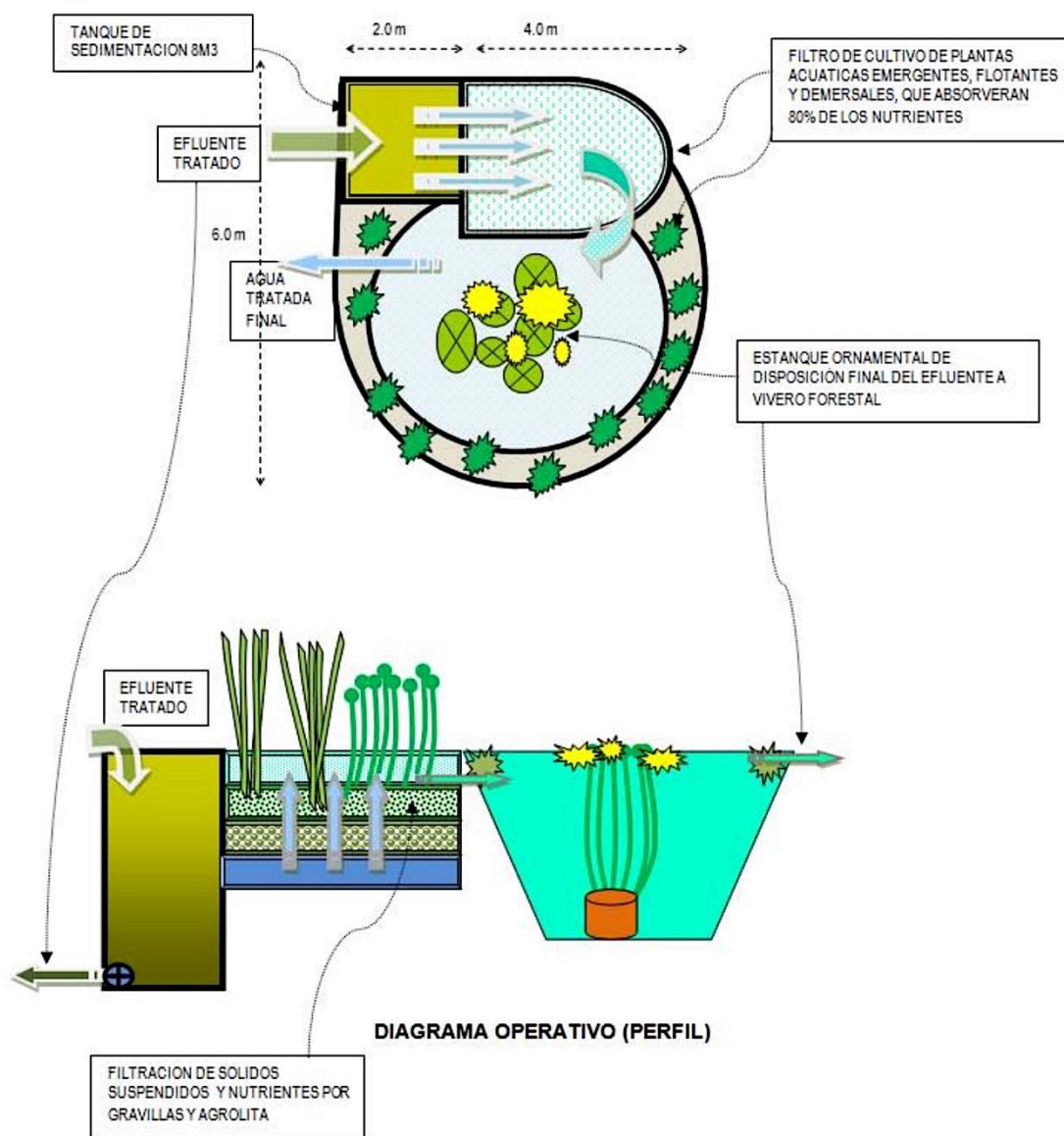


Figura 38. Módulo final de sedimentación y disposición de efluente. Tomado de Rocha Coghlan (2015).

6.10 Utilización de sedimentos

El sedimento hace parte integral de la actividad piscícola y se define como la capa superficial del fondo del estanque o de la laguna de oxidación que se forma por la sedimentación de sólidos en suspensión, nutrientes y partículas del suelo que están en contacto con el agua.

A este respecto, toda operación de acuícola debe disponer de un área para la recolección de los sedimentos que genera, en donde se almacenen por intervalos de tiempo variables,

de manera que permita y facilite los procesos normales de degradación orgánica. Lamentablemente, toda laguna de oxidación sufre procesos de colmatación y, debido a que la producción de sedimentos es un evento constante, su vida útil es limitada y se requiere de rutinas de manejo para mantener su funcionamiento. De esta manera, cuando ha ocurrido la colmatación es necesario el retiro, disposición y uso adecuado del sedimento. Esto implica limpiezas temporales de grandes volúmenes para no afectar la calidad del agua que se descargará.

El tipo y calidad de materia orgánica en estanques dependerá de la calidad y cantidad de alimento suministrado y las condiciones climáticas. En climas tropicales la temperatura favorece el crecimiento de las bacterias que mineralizan la materia orgánica presente en la columna de agua y en la interface agua-sedimento; es normal además que, conforme avanza el tiempo, se disminuya la profundidad de los estanques o de las lagunas de oxidación en la medida en que el material mineralizado pasa a formar parte del suelo. Por esta razón los lodos provenientes de piscicultura que poseen un alto contenido de materia orgánica y nitrógeno pueden mejorar las condiciones del suelo en relación con la fertilización y la promoción de actividad microbiana y si no sobrepasan los límites permitidos de metales pesados, pueden ser utilizados para mejorar las condiciones de suelos degradados, evitando su ulterior deterioro. En una extensa revisión sobre los beneficios de la utilización de sedimentos provenientes de estanques piscícolas González-Acosta (2012) destaca los beneficios de la integración acuicultura-agricultura haciendo hincapié en que el efecto positivo de irrigar cultivos con aguas de efluentes es el aumento de la producción de los cultivos, especialmente, cuando el agua contiene material de suelo con altos niveles de NO_3 y nitrógeno total.

Sin embargo, cuando no hay un manejo adecuado del sistema en las partes más profundas, la capa de materia orgánica aumenta, las bacterias actúan en ausencia de oxígeno y no la mineralizan; se acumula entonces y forma una capa gruesa y fangosa de color negruzco, que además genera gases como sulfuro y metano, perjudiciales para la producción y para el medio ambiente.

6.10.1 Generación del Metano

Las necesidades de suministros alternativos de energía son cada vez más evidentes, ya que nuestras reservas de combustibles fósiles se están agotando, además de que estas reservas están desigualmente distribuidas y se están volviendo demasiado costosas para muchos países que deben comprarlas. Adicionalmente, como han demostrado los acontecimientos recientes, el costo y la disponibilidad de estos combustibles están menos determinados por las fuerzas del mercado que por las decisiones de las naciones productoras (National Academy of Sciences, 1977). Sin embargo, una solución a esta necesidad energética proviene de la generación de biocombustibles, una actividad que ha tomado gran interés para proteger el medio ambiente en los últimos años. En efecto, la producción del metano reduce el problema de olores generados por las excretas y contribuye a proteger al medio ambiente de agentes contaminantes (Fernández *et al.*, 2012).

El biogás es una mezcla de gases, compuesta básicamente por el metano (CH_4) este es un hidrocarburo que tiene un importante efecto invernadero ya que es 20 veces mayor que el dióxido de carbono (CO_2), este último gas está también presente en el biogás junto con otros tipos de gases en volúmenes de trazas, que son resultado de un procedimiento denominado digestión anaerobia (National Academy of Sciences, 1977). Este biogás puede ser capturado y usado como combustible o para generar electricidad. De manera que la digestión anaeróbica como método de tratamiento de residuos permite disminuir la cantidad de materia orgánica contaminante, estabilizándola y al mismo tiempo, se logra producir energía (Varnero, 2011). Este puede ser el caso de los lodos o sedimentos derivados de la acuicultura. Así, la actividad agropecuaria y la acuícola pueden contribuir significativamente a la producción y conversión de residuos animales y vegetales (biomasa) en distintas formas de energía (Varnero, 2011).

Una consideración importante en la generación de metano a partir de desechos agrícolas y acuícolas es la recolección, preparación y almacenamiento de las materias primas que se utilizarán en el proceso de digestión anaerobia (National Academy of Sciences, 1977).

En las economías de uso intensivo de mano de obra, se deben considerar métodos que utilicen los recursos humanos y animales disponibles para el manejo y procesamiento de

los desechos. Dado que la intención de la digestión anaerobia es producir una fuente de energía (National Academy of Sciences, 1977).

La producción y utilización del metano incluye la recolección, el transporte, procesamiento, almacenamiento y procesos de utilización como se ilustra en el siguiente diagrama de flujo.

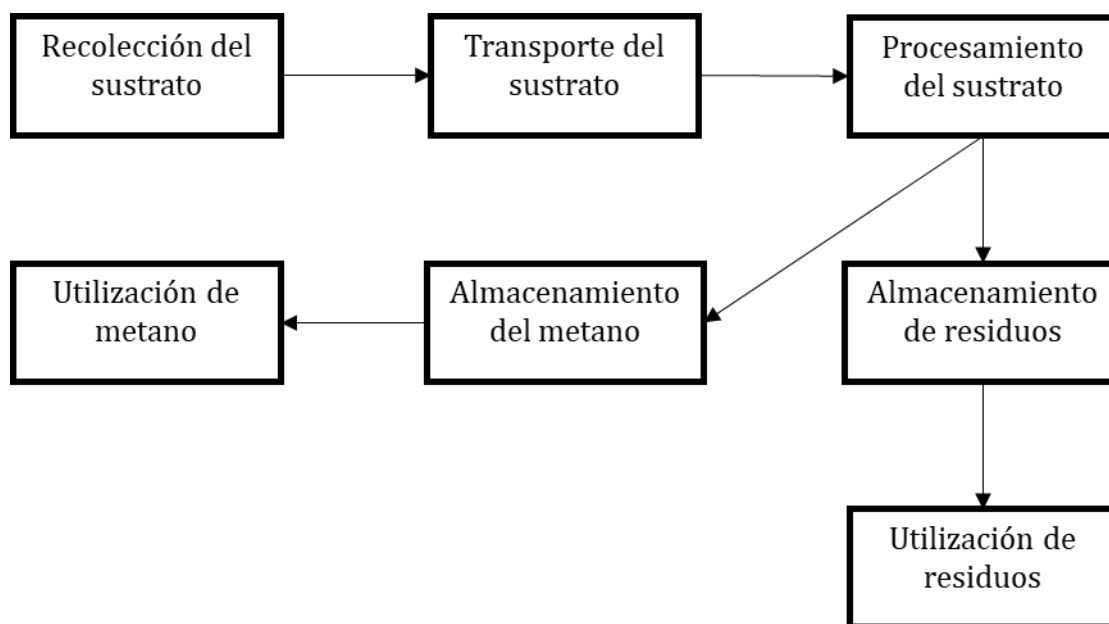


Figura 39. Diagrama de flujo para la producción y utilización del metano (National Academy of Sciences, 1977).

Existen diversas opciones para la utilización del biogás. Dentro de éstas destacan la producción de calor o vapor, generación de electricidad y combustible de vehículos. En aquellos lugares donde los combustibles son escasos, los sistemas pequeños de biogás pueden proporcionar la energía calórica para actividades básicas como cocinar y calentar agua (Varnero, 2011).

El uso vehicular del biogás es posible y en la realidad se ha empleado desde hace bastante tiempo. Para esto, el biogás debe tener una calidad similar a la del gas natural, para usarse en vehículos que se han acondicionado para el funcionamiento con gas natural (Varnero, 2011).

El uso del biogás como fuente de energía renovable, es una buena opción con garantía de rentabilidad, pues no sólo resuelve un problema ambiental al momento de reutilizar

materia orgánica, sino que permite a las instalaciones un ahorro económico siendo una de las tecnologías de más fácil implementación, sobre todo en sectores rurales.

Su potencial desarrollo ayuda a la obtención de biofertilizante y tratamiento de problemas sanitarios en algunos casos, hacen que replicabilidad y difusión en los sectores con abundancia materia orgánica de desecho sea atractivo (Varnero, 2011).

6.11 Sistemas de Recirculación Acuícola (RAS, por sus siglas en inglés)

Debido a la manifestación de los problemas sanitarios ocurridos en relación al cultivo de peces de ornato, a consecuencia de la diseminación de agentes patógenos virales (e.g. KHV), se han desarrollado métodos alternos de producción con el interés de reducir el ingreso de agua y las descargas de efluentes al medio ambiente. Dentro de estos métodos destacan los sistemas de recirculación acuícola (RAS), ya que han demostrado ser una de las mejores opciones para la prevención de la transmisión de agentes patógenos, así como para reducir el empleo de grandes volúmenes de agua para recambio y, en consecuencia, reducir la descarga de aguas contaminadas con materia orgánica y productos químicos generalmente liberados en el medio ambiente comparadas con los sistemas abiertos o convencionales, lo que representa una alternativa viable, misma que ha sido empleada en forma comercial y experimental.

La tecnología RAS se ha introducido en el sector de la acuicultura para mejorar el control ambiental de las operaciones acuícolas, aumentar la seguridad de los cultivos de agua dulce y, más recientemente, para la cría de diversas especies hasta la talla comercial. La aplicación de la tecnología en este último sector se encuentra todavía en un estado de rápida evolución para una gama de especies de vertebrados e invertebrados - de agua dulce y marina. La tecnología RAS para las granjas de engorda tiene varias ventajas y retos importantes:

6.11.1 Ventajas de los sistemas RAS

- Mayor vida media de los tanques y equipos permitiendo períodos de amortización más largos.

- La reducción de la dependencia de los antibióticos y de los agentes terapéuticos genera ventajas en la comercialización de organismos acuáticos de alta calidad "seguros".
- Reducción de los costos operacionales directos asociados con el alimento, control de depredadores y parásitos.
- Elimina potencialmente la liberación de patógenos y parásitos a las aguas receptoras.
- Reducción del riesgo debido a factores climáticos, patógenos y parásitos, siempre y cuando el diseño del RAS esté adaptado al clima local, las condiciones de temperatura del aire y del agua, el tratamiento de agua entrante y la bioseguridad.
- La producción en sistemas RAS puede promover la versatilidad en términos de ubicación para el cultivo, proximidad al mercado y construcción en el campo. Sin embargo, requieren estar relativamente cerca del suministro de agua de origen y se debe considerar la calidad del agua local.
- Permiten la producción de una amplia gama de especies independientemente de los requisitos de temperatura, siempre que los costos del control de la temperatura, más allá del ambiente, sean eficientes energéticamente.
- Permiten la producción segura de especies no nativas.
- La eficiencia del manejo del alimento es potencialmente mucho mejor en sistemas RAS cuando la alimentación puede ser monitoreada de cerca durante períodos de 24 horas. El ambiente estable promueve tasas de crecimiento consistentes a lo largo del ciclo de producción hasta el tamaño del mercado, siempre que el diseño del operador y el sistema RAS haya tenido en cuenta diversidad aspectos relacionados con la gestión de la calidad del agua. Las condiciones ambientales óptimas promueven excelentes tasas de conversión alimenticia con algunas especies de alto valor que logran alcanzar el tamaño comercial en el 50% del tiempo que en cultivos abiertos.

- Las ventajas de los sistemas RAS en términos de manejo de alimento asumen que el operador tiene la capacidad de controlar y registrar con precisión la biomasa de peces, las tasas de mortalidad y los movimientos a través de la granja. La eficiencia en estas tareas es más importante entre mayor sea el tamaño de la granja.
- Debido al incremento en las tasas de crecimiento y las mejores tasas de conversión alimenticia que pueden ser aseguradas en los sistemas RAS, los ahorros de energía relacionados con el alimento pueden compensar parcialmente los costos de energía asociados con el bombeo y la purificación del agua en estos sistemas.
- La exposición de los peces al estrés en los sistemas RAS se puede reducir en el caso de algunos factores tales como las condiciones climáticas adversas, condiciones de temperatura desfavorables, incidentes de contaminación y depredación. Sin embargo, también se puede reducir el bienestar de los peces al aumentar la exposición a situaciones de estrés en relación con la densidad poblacional, la exposición crónica a la mala calidad del agua y los subproductos metabólicos asociados en el caso de no contar con una adecuada tecnología para el tratamiento de agua o al manejo inexperto de estos sistemas.
- De manera general la tecnología tiende a favorecer a las especies de mayor valor en comparación con las especies comunes. Esto es un reflejo de los costos laborales y en particular de los energéticos que pueden resultar relativamente altos dependiendo de la zona.
- Un aspecto sumamente importante es que la operación de sistemas RAS permite un control total sobre los residuos de efluentes y el reciclaje de nutrientes en productos de valor agregado con una producción de energía limitada. En efecto, los sistemas RAS requieren menos del 10% de agua y espacio que un sistema de cultivo tradicional para producir la misma cantidad de peces y los sistemas RAS llegan a reducir los volúmenes de los efluentes en un factor de 10.

- Sin embargo, desde el punto de vista de sustentabilidad, la huella de carbono generada por una instalación cerrada de contención que utiliza electricidad, bombeo en agua, filtración de residuos, entre otras acciones, puede resultar significativa. La fuente de la electricidad, por ejemplo, la hidroeléctrica o la generada con carbón, jugaría un factor importante en la sustentabilidad percibida del RAS. Dicho esto, se necesita un análisis comparativo completo tanto de la producción acuícola en estanques abierto como de los sistemas RAS.

6.11.2 Problemas de bioseguridad y enfermedades en sistemas RAS

6.11.2.1 Aspectos generales y enfoque de bioseguridad

La demanda pública para reducir el impacto en el medio ambiente en una industria que continúa expandiéndose como la acuicultura, está empujando al sector acuícola a desarrollar mejores tecnologías intensivas y nuevos enfoques sostenibles para la producción de peces. Se espera que el RAS reduzca la incidencia de brotes de enfermedades, y que por lo tanto con su adopción exista una menor dependencia de la medicación y que además promueva una producción más estable.

La bioseguridad incluye las políticas y procedimientos utilizados en una granja para reducir el riesgo de introducción de patógenos o para evitar su propagación a través de la instalación si es que llegan a ser introducidos. Esto sin duda concuerda con una de las principales ventajas de la tecnología RAS que consiste en proporcionar al acuicultor la oportunidad de reducir los brotes de enfermedades y eliminar realmente algunas enfermedades por completo. Sin embargo, si bien el RAS puede crear condiciones óptimas para el cultivo de peces, los malos diseños, al contrario, pueden proporcionar inadvertidamente condiciones favorables para los brotes de enfermedades o la reproducción de patógenos oportunistas (Timmons *et al.*, 2002). Cuando los patógenos ya han obtenido acceso al RAS su impacto potencial en los peces puede verse influido por la calidad del diseño del sistema, pero resulta igualmente importante el conocimiento y la experiencia del personal para manejar el sistema RAS. En las granjas con sistema RAS en las que se tiene un control incompleto sobre las condiciones ambientales, con bioseguridad débil o en instalaciones no aisladas, el sistema RAS estará expuesto a

condiciones ambientales variables (temperatura, tasas de eliminación de amoníaco), lo que conlleva a la inestabilidad del sistema, favoreciendo el brote de enfermedades.

En efecto, el mantenimiento de condiciones ambientales estables para los peces para minimizar las condiciones de estrés y la susceptibilidad relacionada con cualquier organismo patógeno es primordial. En este sentido Jørgensen *et al.* (2009) monitorearon las infecciones parasitarias en varias granjas de trucha en sistemas RAS y las relacionaron con una serie de parámetros ambientales como la temperatura, el pH, las concentraciones de nitritos y amoníaco, el uso de formalina, la mortalidad y la tasa de conversión alimenticia, llegando a la conclusión que la incidencia y el impacto de los brotes de enfermedades variaban según la estabilidad del sistema.

Una vez establecidos en un sistema RAS, los organismos patógenos pueden reciclar en el agua de cultivo y, debido a los bajos niveles de dilución, las tasas de infección de patógenos pueden aumentar. Por otra parte, puede resultar extremadamente difícil la erradicación de patógenos y parásitos de un sistema RAS a diferencia de los sistemas de flujo continuo, ya que los tratamientos tradicionales para las enfermedades comunes de peces pueden simplemente no ser prácticos en los sistemas RAS debido a la sensibilidad de las importantes colonias de bacterias nitrificantes en los biofiltros (Schwartz *et al.*, 2000). Así, los patógenos oportunistas de los peces pueden acumularse en la columna de agua y en los peces, particularmente por los prolongados tiempos de retención de agua, el aumento de las concentraciones de sustrato, las altas densidades de peces y las técnicas de producción continua. A medida que la concentración de patógenos se amplifica en el RAS, el riesgo de enfermedad y las mortalidades aumentan. Obviamente, se deben implementar prácticas estrictas de bioseguridad para prevenir la introducción de patógenos de peces a partir de alimentos contaminados, suministro de agua, peces y huevos de proveedores, y microbios llevados a la instalación de cultivo de peces por personal y visitantes (Bebak-Williams *et al.*, 2002). Las prácticas de cultivo que incluyen la limpieza regular del tanque y el lavado de los sumideros y tuberías pueden reducir la acumulación de patógenos y así disminuir posibles brotes epizoóticos. Los RAS bien diseñados tienen una estructura microbiana más estable, con mayor diversidad de

especies y una fracción más baja de bacterias oportunistas (Attramadal *et al.*, 2012). El logro de esta situación estable depende en gran medida de la eliminación eficiente de sólidos suspendidos y disueltos. Cualquier acumulación de nutrientes y sustancias orgánicas disueltas procedentes de alimentos no consumidos y heces de peces puede crear un ambiente favorable a una diversidad de bacterias, protozoos, micrometazoos, dinoflagelados y hongos que pueden tener un impacto importante en la calidad del agua (Blancheton, 2000; Leonard *et al.*, 2002; Sugita *et al.*, 2005; Michaud *et al.*, 2006; Moestrup *et al.*, 2014) y posteriormente en los peces.

En el caso específico de Morelos, ya existe una interesante propuesta realizada por Sandoval-Yoval y Barrera-Morteo (2012), quienes plantearon el desarrollo de un sistema piloto de aprovechamiento de agua residual tratada para cría de peces de ornato, con descarga cero. La originalidad del sistema de recirculación radica en su eficacia, sencillez y bajo costo, ya que utiliza una tecnología de filtración en múltiples capas de tezontle de distinta granulometría que opera con un flujo ascendente. El sistema tiene un costo aproximado de USD \$2,850, e incluye filtro, sistema hidráulico, bomba y cinco tanques.

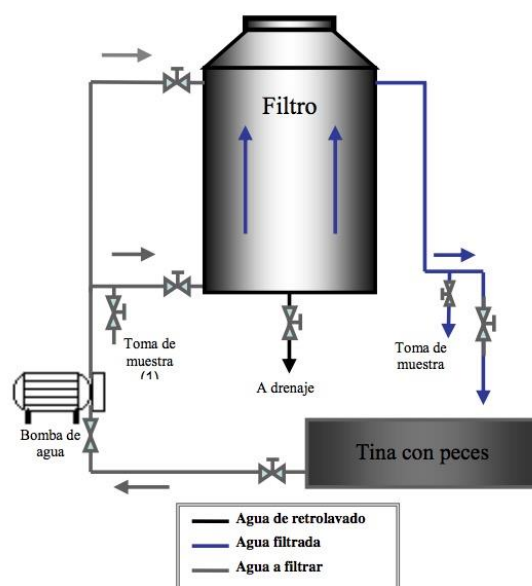
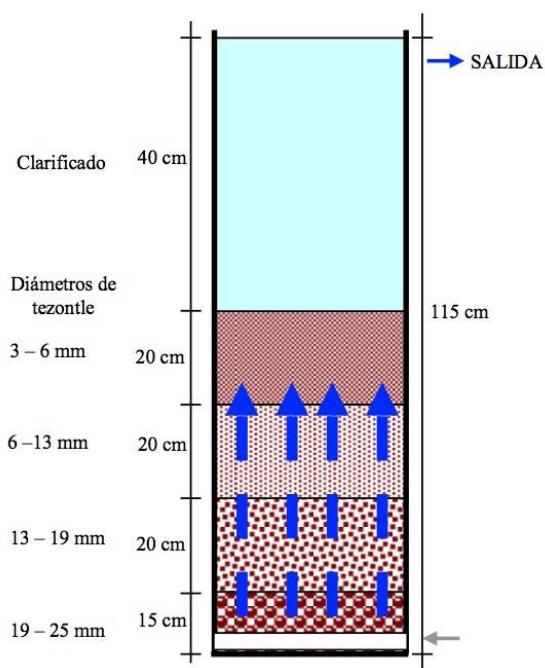


Figura 1. Sistema de filtración



Algo importante es que el sistema ha sido probado específicamente para el cultivo de peces de ornato y ofreció muy buenos resultados ya que se logró mantener una calidad de agua excelente de acuerdo a los criterios establecidos para este tipo de cultivo. Lo más interesante en términos de la presente propuesta es que el sistema evita la descarga constante de un agua rica en nutrientes y materia orgánica, y por supuesto de las especies

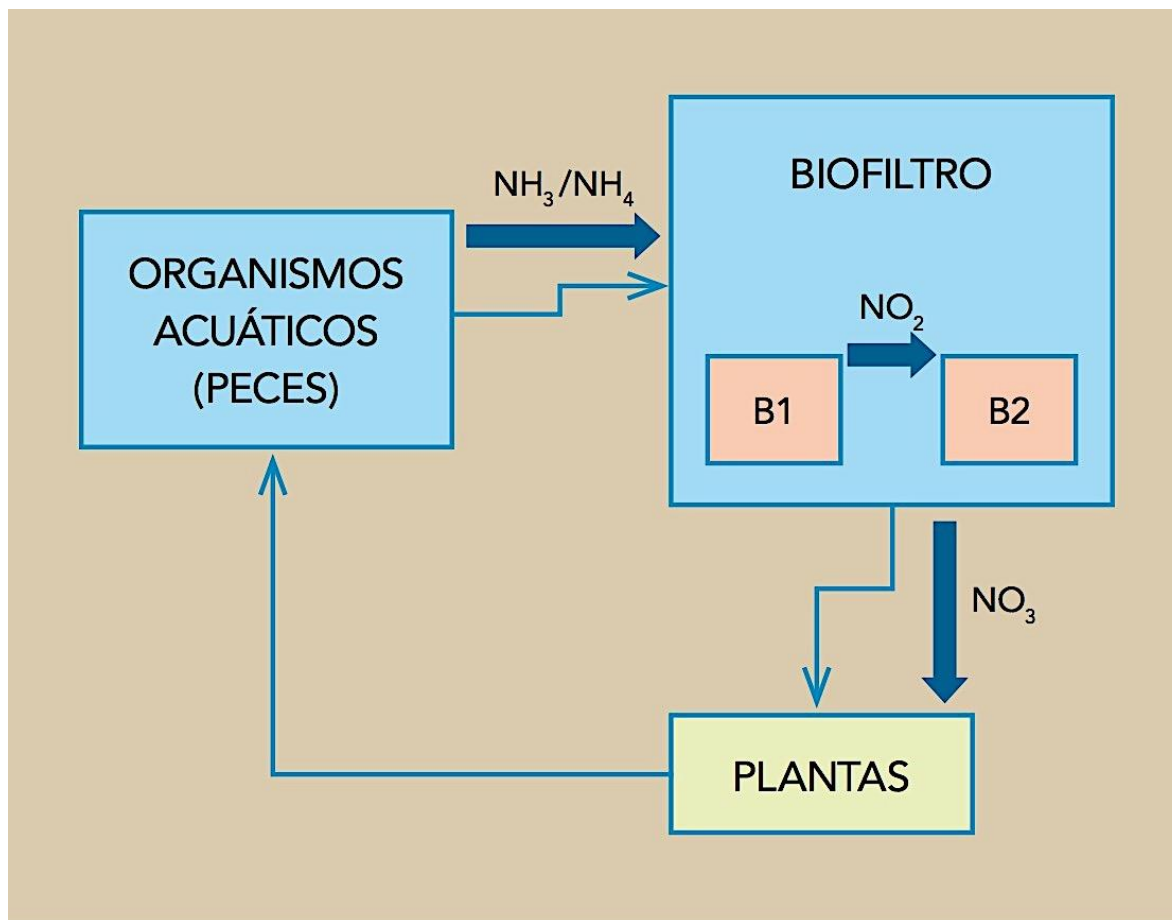
que se encuentren bajo cultivo, a los cuerpos superficiales, al tratarse de un sistema de descarga cero.

6.12 ACUAPONIA

La acuaponía, es un término acuñado para designar un sistema híbrido entre la hidroponía y los sistemas de recirculación acuícolas. Se trata de un sistema bio-integrado y altamente productivo en el cual se obtienen peces y hortalizas en un mismo sistema de producción. Una de las grandes ventajas de la acuaponía es que las plantas reciben la mayoría de los nutrientes necesarios para su crecimiento directamente del agua de cultivo de los peces. Esto debido a que las excretas de los peces son ricas en nutrientes para las plantas, aunque pueden resultar perjudiciales para los peces mismos. Las plantas actúan como un filtro al absorber los desechos metabólicos de los peces previamente tratados por algunas bacterias benéficas. El papel de las bacterias es convertir las excretas de los peces en compuestos más aprovechables para las plantas y menos tóxicos para los peces (Colagrosso, 2014). En efecto, el motor bioquímico que impulsa el sistema acuapónico, es el ciclo del nitrógeno, que se produce cuando el agua fluye de los tanques de peces a los filtros biológicos que contienen bacterias y de estos a las plantas. El aporte principal en el ciclo del nitrógeno es el alimento que se suministra a los peces en los tanques. Los desechos nitrogenados se crean a medida que los peces metabolizan el alimento. Estos desechos provienen de la descomposición de las proteínas y de la reutilización de los aminoácidos resultantes. Estos desechos nitrogenados al ser tóxicos para el cuerpo del pez necesitan ser excretados. Los peces liberan estos desechos de tres maneras. En primer lugar, el amoníaco se difunde en el agua por medio de las branquias. Si los niveles de amoníaco son altos en el agua circundante, el amoníaco no se difunde tan fácilmente, lo que puede conducir a la acumulación de amoníaco en la sangre y generar daño a los órganos internos. En segundo lugar, los peces producen grandes cantidades de orina muy diluida que es expulsada continuamente. Los peces utilizan los riñones para filtrar su sangre y concentrar los desechos para su eliminación. La excreción de orina es un proceso de regulación osmótica, que ayuda a los peces a mantener su contenido de sal. Los peces

de agua dulce no necesitan beber, y de hecho necesitan expulsar activamente el agua para mantener el equilibrio fisiológico. Finalmente, el nitrógeno (proteínas, aminoácidos, amoníaco) también está presente en los desechos sólidos.

Después de la ingestión del alimento, las excretas y el alimento no consumido se descomponen en amoníaco (NH_3/NH_4). Típicamente, el agua con estos desechos fluye a continuación hacia un filtro biológico donde la bacteria *Nitrosomonas* convierte el NH_3 en nitritos y luego un segundo tipo de bacterias, las bacterias *Nitrobacter*, convierten los nitritos en nitratos (NO_3). Los nitratos posteriormente fluyen a través de tuberías hacia la parte hidropónica del sistema donde sirven como fertilizante para las plantas. En este componente hidropónico, las plantas funcionan como filtros a medida que absorben los nitratos, lo que les ayuda a crecer. Este proceso purifica el agua, que circula de nuevo a los tanques de los peces y proporciona agua limpia y fresca en la que los peces crezcan a su vez (Goodman, 2011).



Esquema de un sistema acuapónico básico. La flecha delgada indica la dirección del flujo del agua a través del sistema y la flecha gruesa, indica el flujo de los compuestos nitrogenados a través de los componentes del sistema. B1. Bacterias nitrificantes pertenecientes al género *Nitrosomonas*, B2. Bacterias nitrificantes pertenecientes al género *Nitrobacter* (tomado de Ramírez *et al.*, 2009).

Esta integración de peces y plantas no solo resulta en un policultivo que incrementa la diversidad y la generación de múltiples productos, sino que evita tratar el agua de deshecho, un proceso que demanda de una gran cantidad de energía y es costoso, reduciendo así las descargas al medio ambiente y dándole un uso más sustentable al agua. Adicionalmente, la adopción de este tipo de sistemas productivos resulta sustentable y muy atractiva económicamente. A este respecto Mateus (2009) señala que por cada tonelada de pescado producida en sistemas acuapónico se obtienen hasta 7 toneladas de vegetales y si se considera que del alimento suministrado en los cultivos acuícolas sólo del 35 al 40% es consumido por los peces, mientras que el resto (del 60 al 65%) es excretado en la columna de agua, la optimización de los nutrientes resulta considerable y se evita el uso de fertilizantes para acelerar el crecimiento de las plantas, reduciendo de esta manera los impactos potenciales en suelos y agua, así como los costos de operación (Savidov, 2004).

La acuaponia en el caso del cultivo de peces ornamentales ha sido probada con éxito con diversas variedades de peces de ornato como ángeles, guppies, goldfish, tetras, cebras, etc.

6.13 Certificación en la producción de peces de ornato

Los sistemas de certificación pueden favorecer la sustentabilidad de los recursos acuáticos destinados a la acuicultura, de hecho, existen diferentes certificaciones para productos de consumo alimenticio producidos mediante esta actividad. Sin embargo, no existen certificaciones específicas para la industria de los peces de ornato dulceacuícolas, aunque un programa de certificación resultaría efectivo para acercar la sustentabilidad a esta industria. Esto contribuiría a evitar ciertos de los problemas que ha originado la industria

del acuarismo, tales como la dispersión de especies exóticas en el medio circundante en donde se cultivan. Actualmente algunos países con producciones importantes de peces de ornato como la India y Brasil están estableciendo estrategias para que sus operaciones comerciales sean más amigables con el ambiente. Esta iniciativa nace a partir de un congreso en 2008 sobre certificación verde de la producción de peces de ornato organizado por la Universidad de Agricultura de Kerala, Autoridad para el Desarrollo de las Exportaciones de Productos Marinos (*Marine Products Export Development Authority* MPEDA) de la India, la Conferencia sobre Desarrollo y Comercio de las Naciones Unidas (*United Nations Conference on Trade and Development* UNCTAD) y el proyecto Piaba de la cuenca del Río Negro del Amazonas, Brasil.

Este proyecto se refiere a la certificación otorgada a un producto para asegurar su sustentabilidad ambiental y socioeconómica. Es un procedimiento mediante el cual un tercero otorga una garantía escrita o equivalente de que la operación se apega a estándares pertinentes en relación con los aspectos sociales y ambientales a favor de la biodiversidad. Adicionalmente se garantiza la calidad del producto, la seguridad y la trazabilidad. También tiene como objetivo mejorar el valor razonable de un producto a lo largo de la cadena de custodia (Silas *et al.*, 2011).

La certificación también asegura un mayor rendimiento económico, la reducción de los riesgos, incluyendo la mortalidad, y la reducción en el costo de producción. De aquí que la certificación este considerada como un facilitador de la excelencia en calidad, estándares y ética. La certificación verde podrá ser introducida de forma voluntaria y de forma progresiva una vez que se identifiquen los organismos de ejecución y se organicen programas de capacitación para las partes interesadas y los empresarios para la adopción del sistema. Sin embargo, para los peces ornamentales nativos capturados en el medio silvestre, la certificación verde pudiera hacerse obligatoria con un período de transición de tres años a partir de la fecha de implementación de las directrices.

A pesar de estos beneficios, existen productores que se encuentran en contra de una certificación por las siguientes razones:

- El costo/beneficio

- Falta de apoyo para la industria
- Una demanda baja de peces certificados.

Lo anterior puede ser ocasionado no sólo por la falta de interés de los productores en el tema de certificaciones, sino por el hecho de que algunos no consideran primordial la calidad del producto.

Un elemento crítico en un programa de certificación eficaz es la relación entre los importadores, los productores, los mayoristas y minoristas, ya que son los eslabones antes de llegar al consumidor. Una certificación a lo largo de toda la cadena de valor dará un mayor peso a los incentivos económicos y si se mantienen los criterios establecidos para acreditar una certificación el producto contará con una mejor calidad, por lo que la certificación podría reducir la mortalidad asociada con la producción y el transporte antes de llegar al consumidor final. Adicionalmente, un programa de certificación podría beneficiar a los trabajadores de las unidades acuícolas para que fueran capacitados en el área y recibieran incentivos por esta acción, resultando en una ganancia socioeconómica para la población.

Finalmente, se debe considerar que la certificación también puede contribuir a mejorar la percepción pública acerca de los impactos ambientales ocasionados por el cultivo de peces acuícolas ornamentales y abrir posibilidades para la exportación de los productos locales.

Estos aspectos son suficientes para considerar que el cultivo de los peces ornamentales necesita ser certificado, ya que al aplicar un programa de certificación no solo es un beneficio para el medio ambiente y la diversidad, si no que genera beneficios para las comunidades que se dedican a la acuicultura de peces ornamentales ya que se obtienen mejores ganancias económicas y finalmente garantiza la calidad de los peces cultivados, lo que se traduce en una mayor demanda y por ende en mayores ingresos a la región.

6.13.1 Cultivo de peces de ornato basado en Mejores Prácticas de Manejo

La acuicultura en Florida está regida por principios de Mejores Prácticas de Manejo (BMPs), los cuales regulan diversos aspectos del cultivo que van desde la disposición de efluentes (sedimentos y desperdicios sólidos), protección de humedales, manejo sanitario

de peces, y liberación de especies exóticas; por lo que las operaciones acuícolas con producción comercial están sujetas a una inspección obligatoria y a un proceso de certificación administrado por la División de Acuicultura del Servicio del Consumidor del Departamento de Agricultura de Florida (*Florida Department of Agriculture and Consumer Services' Division of Aquaculture* - FDACS). Este organismo es el que otorga el certificado, el cual es mantenido a través de la aplicación, pago, e inspecciones exitosas de BMP. En cuanto a especies exóticas, de acuerdo a las BMP “los acuicultores que posean especies exóticas son responsables de evitar su liberación al ambiente” (FDACS, 2007), donde se puede utilizar cualquier método viable para evitar su liberación al ambiente, ya que el énfasis de las BMP acentúa evitar la liberación y no la prevención. Una excepción son las especies condicionadas que requieren infraestructura para contención y prácticas específicas. El no cumplir con las BMP resulta en la revocación del certificado de acuicultura, y la subsecuente inhabilidad para vender productos derivados del cultivo, y multas de USD \$1000 por día (Rule 5 L-3.007).

Algo interesante es que las BMP no son estáticas, sino que estas se van modificando a medida que se genera nuevo conocimiento, por lo que durante los primeros siete años se han producido siete ediciones (Quenton *et al.*, 2016).

6.14 Producción de organismos estériles, poblaciones monosexuales y especies nativas de peces

La manera más común de obtener organismos estériles es por medio de triploidía o por ginogénesis.

6.14.1 Triploidía

Con la inducción a la triploidía se generan animales viables con tres juegos de cromosomas en lugar de dos. Esto se consigue comúnmente impidiendo la expulsión del segundo corpúsculo polar tras la fertilización. Esto es posible porque en los peces, al igual que ocurre en el resto de los vertebrados, los huevos antes de ser fertilizados se encuentran frenados en la metafase II de la meiosis (Alberts *et al.*, 1989). Con la entrada del espermatozoides durante la fertilización se activan los mecanismos celulares que retoman la meiosis. La fertilización implica la continuación con la segunda división meiótica. Esto da

como resultado, por un lado, el huevo fertilizado (cigoto), con un juego entero de cromosomas llamado pronúcleo femenino que se funciona con el juego de cromosomas aportado por el espermatozoide, el cual una vez dentro del huevo recibe el nombre de pronúcleo masculino. Por otro lado, la segunda división meiótica da como resultado un juego entero de cromosomas que recibe el nombre de segundo corpúsculo polar, que se expulsa pasados unos minutos. Así, tras la penetración del espermatozoide y antes de la expulsión de dicho corpúsculo, el huevo es, estrictamente hablando, triploide por unos momentos. La expulsión del segundo corpúsculo polar finaliza la segunda división meiótica y se restablece la diploidía del cigoto. Por lo tanto, si tras la fertilización se impide la expulsión del citado segundo corpúsculo polar mediante, por ejemplo, un cambio brusco en la tasa de desarrollo del incipiente cigoto - lo que se consigue con una variación abrupta de la temperatura en forma de choque térmico o por un aumento importante de la presión hidrostática a la que está expuesto el huevo - entonces se genera un cigoto con tres juegos de cromosomas ($3n$), dos de origen materno y uno de origen paterno. La triploidía puede también obtenerse mediante la fertilización de un huevo normal con el espermatozoide de un tetraploide.

Puesto que en los peces y otros vertebrados la meiosis ocurre muy al principio del desarrollo en las hembras, las hembras triploides sólo desarrollan gónadas muy rudimentarias, sin signos de maduración y esencialmente desprovistas de huevos, aunque en algunas especies pueden observarse algunos oocitos poco desarrollados. En cualquier caso, las hembras triploides son en la práctica totalmente estériles, y no experimentan la maduración sexual. Esto es debido a que en las hembras la meiosis empieza justo después de la diferenciación sexual, cuando los animales son todavía muy jóvenes. Con la inducción de la triploidía el desarrollo folicular y, por tanto, de las células esteroidogénicas, no tiene lugar al estar su desarrollo sincronizado con el del oocito, que no progresa (Carrasco *et al.*, 1998). Por otra parte, hay quienes argumentan que la triploidía no asegura 100% la esterilidad (Allen y Stanley, 1979). Adicionalmente, se ha reportado que los triploides presentan mayores mortalidades que los diploides, tienen

menor tolerancia los estresores ambientales, presentan deformidades y anormalidades en el crecimiento (Migaud, 2010).

La triploidía se ha utilizado en algunas especies de peces ornamentales como goldfish y barbos.

6.14.2 Ginogénesis

La inducción a la ginogénesis permite obtener animales con herencia exclusivamente materna. Ello se consigue fertilizando huevos con esperma al que previamente se le ha desnaturalizado o fragmentado su DNA mediante la aplicación de radiación ultravioleta (UV) o gamma, respectivamente (Pandian y Koteeswaran, 1998). Los espermias irradiados activan al huevo, pero en este caso no procede hablar de fertilización, pues la penetración del espermia irradiado únicamente reactiva la segunda división meiótica del huevo sin contribuir genéticamente a la dotación del cigoto. La activación de huevo con este procedimiento da lugar a cigotos haploides ($1n$), que no consiguen desarrollarse más allá de las primeras fases de la embriogénesis, a lo sumo, hasta el momento de la eclosión, en el cual todos individuos haploides mueren. Aunque los animales ginogenéticos tienen baja supervivencia en aquellas especies en la que el sexo homogamético corresponde al de las hembras (hembras XX y machos XY), tal y como ocurre, por ejemplo, en la mayoría de los salmónidos, la obtención de peces homogaméticos es sinónimo de obtención de lotes formados exclusivamente por hembras, al poder heredar sólo cromosomas X de la madre. Esto se ha demostrado en salmónidos y otras especies (Felip *et al.*, 2001).

6.14.3 Poblaciones monosexuales

Además de la recaptura de especies exóticas que se han escapado de las instalaciones acuícolas, históricamente el control y erradicación de peces exóticos ha involucrado el uso de diversos químicos como los inhibidores de cadena respiratoria (e.g. rotenona) (Baldry, 2000), anestésicos como el AQUIS-S (Clearwater *et al.*, 2008), control biológico (Hoddle, 2004) y estrategias basadas en la modificación genética (Snow *et al.*, 2005; Bergstedt y Twohey, 2007). Sin embargo, muchas de estas estrategias son inespecíficas,

controversiales o de difícil implementación (Myers *et al.*, 2000; Gutierrez y Teem, 2006). No obstante, una metodología viable que aún no se han explotado como medida de control, aunque si como medida preventiva, es la masculinización y feminización de poblaciones de peces (Hunter y Donaldson, 1983).

En los peces, los procesos que conducen a la diferenciación sexual muestran un alto grado de plasticidad, por lo que es común que el sexo se vea influenciado por factores externos (Piferrer y Guiguen, 2008), por lo cual en etapas tempranas del desarrollo existe un período crítico durante el cual el sexo puede ser revertido experimentalmente mediante distintos métodos, como exposición a tratamientos hormonales o altas temperaturas (Fuentes-Silva *et al.*, 2013). Gracias a lo anterior en la acuicultura se han implementado diversas estrategias para la obtención de poblaciones monosexuales en especies en las cuales el cultivo de un sexo presenta ventajas comerciales. Así, por ejemplo, por androgénesis o ginogénesis es posible producir progenie monosexual en una sola generación (Bhise y Khan, 2002; Ezaz *et al.*, 2004).

Adicionalmente, existe la opción de producir cultivos monosexuales de machos YY e inclusive de hembras YY, los cuales, como su nombre lo indica, se caracterizan por poseer dos cromosomas sexuales Y. Debido a esta característica, estos organismos son incapaces de producir hembras, por lo que los machos YY tienen una descendencia exclusiva de machos normales XY, mientras que las hembras YY producen una descendencia que consiste en 50% machos XY y 50% machos YY (Figura 39; Beardmore *et al.*, 2001; Piferrer, 2001). Como consecuencia, al tener cultivos monosexuales de especies exóticas, en caso de escapes accidentales, estos organismos serían incapaces de procrear debido a que no habría posibilidad de reproducción a falta de uno de los sexos. De hecho, debido a sus características, se ha sugerido el uso de machos YY como estrategia de control de especies exóticas invasoras (Gutierrez y Teem, 2006; Cotton y Wedekind, 2007; Senior *et al.*, 2013).

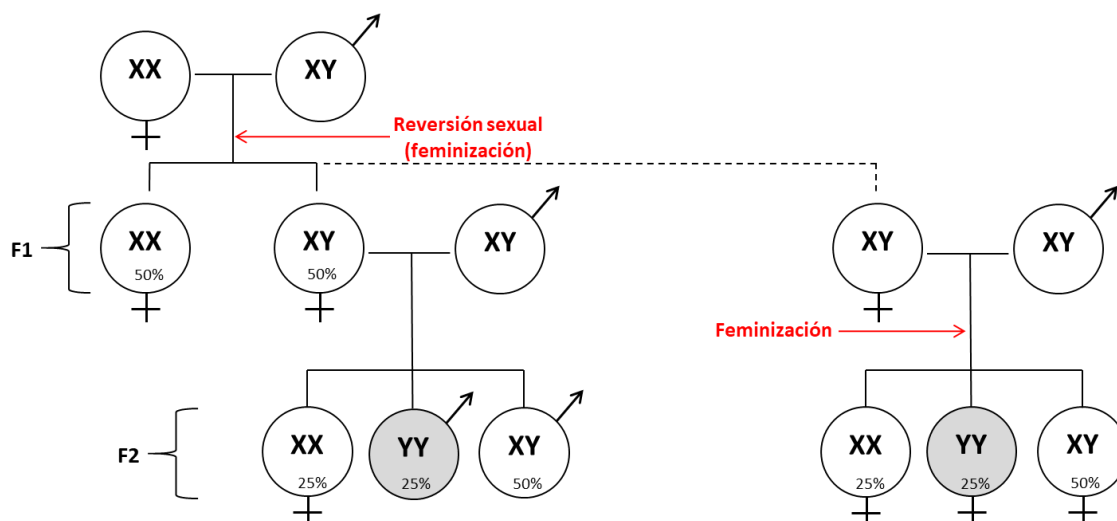


Figura 39. Esquema de los eventos de reproducción y reversión sexual para la producción de machos y hembras YY (adaptado de Gutierrez y Teem, 2006). Se muestra el fenotipo sexual muestra con los símbolos ♂ (macho) y ♀ (hembra), y el genotipo sexual con los cromosomas X y Y. Los porcentajes indican la proporción de los individuos en la descendencia correspondiente.

6.14.4 Especies nativas

La necesidad de desarrollar tecnologías de cultivo específicas para las especies nativas está motivada primeramente por la conservación de nuestros recursos, pero también por la expectativa de diversificación de las opciones acuiculturales en nuestro país, de crear una industria propia que responda a las preferencias regionales de mercados existentes y que se oriente hacia la rentabilidad de los cultivos y de los recursos silvestres ante el riesgo de la disminución de la diversidad por la introducción de especies exóticas. Por este motivo, el desarrollo de la acuicultura con especies nativas requiere de encaminar los esfuerzos hacia una serie de acciones planeadas que comprendan tanto la conformación de un inventario de la riqueza en organismos acuáticos de nuestro país, como la realización de investigaciones orientadas a la selección de especies aptas para el cultivo. Finalmente, resulta imperativo plantar programas de investigación cuyo objetivo primordial sea el desarrollo de la tecnología de cultivo de las especies seleccionadas, haciendo énfasis en la definición de la factibilidad técnica y económica del cultivo. Las predicciones sobre el desarrollo de estas tecnologías son altamente positivas considerando los resultados obtenidos por diversos investigadores en el país, así como por

el medio privilegiado el que se desarrolla la mayor parte de las especies (Rojas y Mendoza, 2000).

A nivel nacional, las unidades de producción deberían orientar su esfuerzo económico y humano a la producción y transferencia de tecnología para la reproducción y manejo de especies nativas con la variabilidad genética requerida, para poder ser utilizadas en programas de repoblación.

6.15 Marco Legal

Aunque gran parte de la normatividad relativa a la propuesta de bioseguridad está contenida en la LGPAS, LGEEPA, LGVS y por la LFSA es importante establecer procedimientos regulados que permitan el control eficaz de la producción, venta y transporte de huevos, larvas, crías y reproductores utilizados en la acuicultura de peces de ornato, ya que esto minimizaría la dispersión de las especies.

Otro aspecto crucial es el tratar de manera separada a los híbridos. Hasta no verificar los impactos que están ocurriendo sobre las poblaciones naturales por la utilización de híbridos, su utilización para el desarrollo de nuevos proyectos en el ámbito nacional debería suspenderse o supeditarse a estrictos controles, que garanticen la eliminación del riesgo. Esto en particular por la existencia en el comercio de los peces de ornato de híbridos con alto grado de invasividad.

Por otra parte, en ninguna parte de la legislación se mencionan los riesgos de hibridación ni el componente genético, por lo que es imperativo incluir en la ley el rechazo a las siembras de especies en áreas que contengan especies de los mismos géneros, para evitar el riesgo de hibridación.

6.16 Educación

Uno de los objetivos primordiales de la presente propuesta es educar e incentivar a los importadores, criadores y comerciantes de peces exóticos, para que eviten las introducciones accidentales e intencionales en ecosistemas naturales.

Igualmente, es sumamente necesaria la creación de capacidades en el desarrollo de planes de bioseguridad basados en evaluaciones de riesgo y planes HACCP. Así como la capacitación en tecnologías de sistemas de recirculación, medidas cuarentenarias y el desarrollo de planes de contingencia e higiene.

6.17 Unidades de Manejo Acuícola

Como lo sugiere la Carta Nacional Acuícola sería conveniente impulsar la creación de Unidades de Manejo Acuícola (UMAC) con sus respectivos planes de manejo, lo anterior para lograr el desarrollo, ordenado y sustentable de la acuicultura.

Las Unidades de Manejo Acuícola se forman por un conjunto de granjas o establecimientos acuícolas localizados en una misma zona geográfica, con el objeto de implementar y ejecutar esquemas integrales para el aprovechamiento de infraestructura y recursos susceptibles de uso común para el funcionamiento de los mismos, en equilibrio con el medio ambiente y cuidando preservar la sanidad, viabilidad y sustentabilidad de la actividad.

Esto podría dar lugar a equipar los centros de acopio con unidades de cuarentena adecuadas incluyendo un laboratorio para observación y biopsias y la utilización de infraestructura común para tratamiento de efluentes.

6.18 Estimación de costos para una UPA con medidas indispensables de bioseguridad

Aunque el sistema de recirculación para peces de ornato con cero descargas propuesto por Sandoval Yoal *et al.* (2012) resulta atractivo por su funcionalidad y costo (USD \$2,850, aproximadamente \$52,326 M.N. al tipo de cambio del 14/06/2017, incluyendo filtro, sistema hidráulico, bomba y cinco tanques), a continuación, se presenta una propuesta basada en un sistema de acuaponia, que, aunque más elevada, se considera más apropiada por su rentabilidad a corto plazo. Por otra parte, al tratarse también de un sistema de recirculación cerrado con cero descargas, se evita el costo de contar con una laguna de oxidación y tratar el agua de descarga cotidianamente. Además, proporciona la posibilidad de la relocalización de las unidades de producción a lugares que no estén

próximos a los cuerpos de agua naturales y más próximos a los mercados en donde se ofrecerán los productos. Y la adopción de este sistema podría resultar fácil para aquellas UPA que ya tienen el hábito de utilizar el agua de descarga para el riego de hortalizas y otros vegetales.

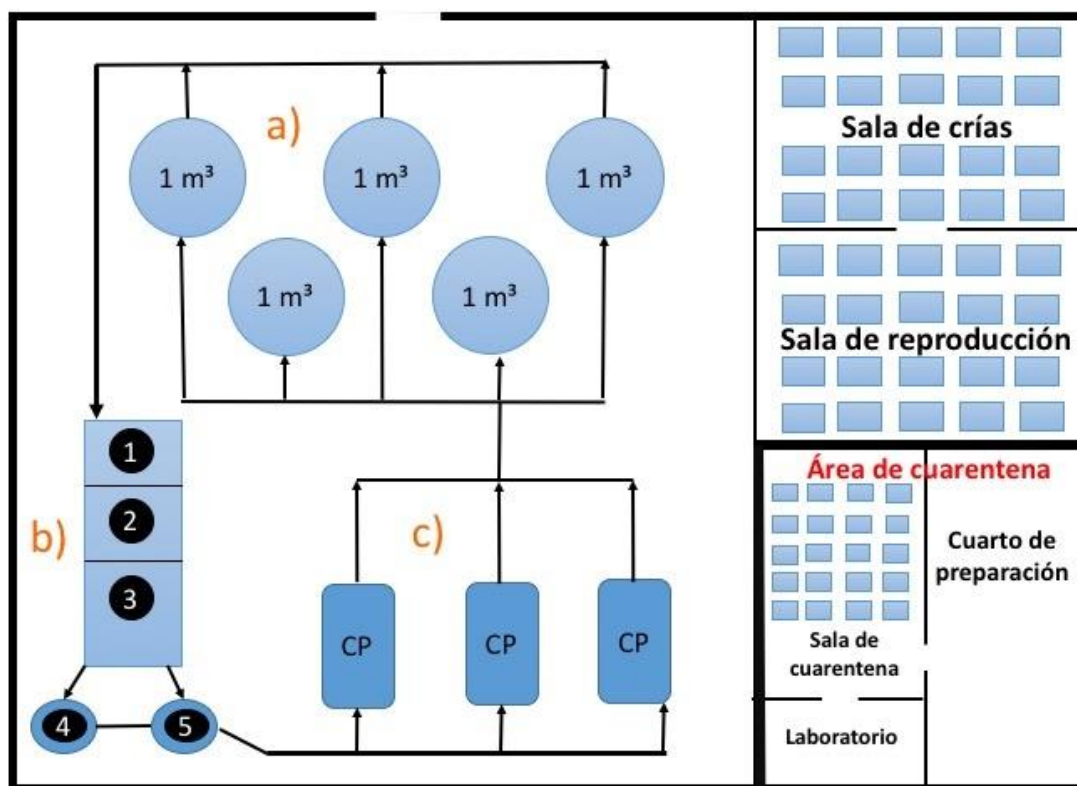
La presente propuesta para producción de peces de ornato consta de los siguientes elementos:

- cinco tanques para la producción de peces de 1 m³ de capacidad,
- una cámara de sedimentación primaria,
- una cámara de sedimentación secundaria,
- un filtro biológico de lecho de grava volcánica (tezontle), el cual es inundado intermitentemente de manera automática mediante un sifón, esta cámara, a su vez, hace la función de sedimentador terciario,
- dos acumuladores hidráulicos los cuales además operan como sedimentador cuatro y cinco, tres cámaras de agua profunda para desarrollo de plantas de 400 litros de capacidad que se emplearan en la producción de diversas hortalizas y finas hierbas.

Los cinco tanques de producción de peces son abastecidos mediante veinte maternidades de 30 litros cada una, veinte tanques de 30 litros para mantener los reproductores de manera independiente, 20 tanques más de plástico de 30 litros empleados en la unidad de cuarentena.

Las unidades de cuarentena, cría, reproductores y desarrollo de peces están separadas físicamente en cuartos, además de contar con una red hidráulica y aire independiente.

Modelo para la producción de peces y hortalizas con descarga cero



- a) Área de estanques
- b) ① Cámara de sedimentación primaria
② Cámara de sedimentación secundaria
③ Biofiltro
④ ⑤ Acumuladores hidráulicos
- c) Cámaras de agua profunda para desarrollo de plantas

Figura 40. Sistema Cerrado de Recirculación (RAS) en acuaponía para el cultivo de peces ornamentales y hortalizas.

El agua del sistema será recirculada mediante una bomba de 46 Watts de potencia y los niveles de oxígeno disuelto se mantendrán en su nivel óptimo mediante el empleo de un soplador de aire de 1 HP (1754 Watts). En época de frío en caso de que la temperatura llegará a descender, ésta se podrá mantener en su nivel óptimo para la especie entre 25°C y 30°C, con un intercambiador de calor el cual emplea una bomba de agua de ½ HP

(372.85 Watts) para recircular el agua y una caldera de paso de 13 KW de potencia operada con gas natural.

Mediante el empleo de la plataforma del microcontrolador ARDUINO se logra el registro continuo y el control de la variable temperatura, con lo cual es posible mantener la temperatura óptima para el desarrollo de los peces.

A este diseño se le incorporó un reloj en tiempo real, mediante el cual es posible registrar los datos y relacionarlos a la fecha y hora en la cual se hace la numeración de las variables medidas.

A continuación, se muestra una corrida financiera empleando al guppy *Poecilia reticulata* y la lechuga *Lactuca sativa* como modelo.

6.18.1 Conceptos de inversión:

| INVERSIÓN COSTOS FIJOS: | | | | PRECIO UNITARIO | IMPORTE |
|-------------------------|--|----------------|---------------|-----------------|---------------|
| CONCEPTO | DECRIPCIÓN DEL CONCEPTO | UNIDAD | # DE UNIDADES | (\$) | (\$) |
| Tanque peces | Tanque para peces 1 m ³ (liner) | Unidad | 5 | 1067 | 5335 |
| Acuarios para peces | Tanques de 30 litros de capacidad | Undad | 60 | 150 | 9000 |
| Malla | Malla electrosoldada (soporte) | Unidad | 5 | 130 | 650 |
| Tanque filtro | Tanque sedimentador y filtro biológico | Unidad | 1 | 2500 | 2500 |
| Tanque para plantas | Tanquede liner 0.4 m ³ | Unidad | 6 | 500 | 3000 |
| Charola | Charola estireno para plantas | Unidad | 2 | 600 | 1200 |
| bomba sumergible | Bomba para recircular agua 46 W | Unidad | 1 | 1250 | 1250 |
| Blower | Blower de 1 hp de potencia | Unidad | 1 | 11600 | 11600 |
| Calentador de paso | Calentador de agua de 13 KW gas | Unidad | 1 | 4750 | 4750 |
| Bomba de agua | Bomba de 0.5 hp intercambiador de calor | Unidad | 2 | 1500 | 3000 |
| Generador de enería | Generdor de energía 10 KW | Unidad | 1 | 4500 | 4500 |
| Nave industrial | Naveaislada para producción de peces | m ² | 15 | 5250 | 78750 |
| Invernadero | Invernadero para plantas | m ³ | 20 | 150 | 3000 |
| Sistema arduino | Sistema para automatizacion y control | Unidad | 1 | 1500 | 1500 |
| TOTAL | | | | | 130035 |

| COSTOS VARIABLES: | | | | PRECIO UNITARIO | IMPORTE |
|---------------------------------|---|---------|---------------|-----------------|----------------|
| CONCEPTO | DECRIPCIÓN DEL CONCEPTO | UNIDAD | # DE UNIDADES | (\$) | (\$) |
| Mano de obra directa | Salario semanal por persona | salario | 52 | 1,000 | 52,000 |
| Alimento | Alimento 32% de proteína | Kg | 176 | 20 | 3,510 |
| Energía | Consumo anual equipo bombeo y aireación | kWh | 8,760 | | 10,325 |
| Combustibles y lubricantes | Transporte, generador de energía | semana | 52 | 500 | 26,000 |
| Reproductores | Lote inicial de reproductores | pez | 600 | 30 | 18,000 |
| Costos indirectos de producción | 2.5% del costo variables | Partida | 1 | 2,746 | 2,746 |
| Mantenimiento | 2% del costo variable | Partida | 1 | 2,252 | 2,252 |
| TOTAL | | | | | 114,832 |

| AÑO | FNE | FNED | PRII |
|------------|------------|----------|----------|
| 0 | -244867 | -244867 | -244867 |
| 1 | 103088 | 98179.05 | -146688 |
| 2 | 103088 | 93503.85 | -53184.1 |
| 3 | 103088 | 89051.29 | 35867.19 |
| 4 | 103088 | 84810.75 | 120677.9 |
| 5 | 103088 | 80772.15 | 201450.1 |
| TIR | 25% | | |

En donde:

TIR = Tasa Interna de Retorno

FNE = Flujo Neto de Efectivo en el año

FNED = Flujo Neto de Efectivos Descontado

PRII = Periodo de Recuperación de la Inversión Inicial

La presente propuesta indica que la inversión inicial total asciende a \$244,867, representado como un flujo negativo en el año cero. A partir de entonces, en base a los flujos netos de efectivo descontados, considerando la inflación proyectada por BANXICO para el cierre del año 2017 de un 5%, y considerando ésta como la esperada en los próximos 5 años (horizonte de evaluación del proyecto), se esperaría recuperar la inversión en el tercer año y acabar con un flujo neto de efectivo acumulado (FNEA) en horizonte de evaluación de \$201,450.

Cabe señalar, que en esta corrida financiera no se contemplan los beneficios sociales del proyecto, (externalidades positivas), sin embargo, el hecho de que se reduzca el consumo de agua ya que esta se recircula y se tengan cero descargas contribuye al fortalecimiento de la industria de peces ornamentales en el estado y garantiza la estabilidad y sustentabilidad de la actividad y con ello el de las familias que dependen de la misma directa o indirectamente.

Cabe resaltar que esta propuesta económica es flexible y que se puede adaptar a otras variedades de peces, por ejemplo, goldfish que se cultiva ampliamente en el Estado y que es recomendado para este tipo de sistema y se pueden cultivar diferentes vegetales que pueden ser flores de ornato, hierbas aromáticas etc.

Proyecto GEF-EEI_ Servicios de consultoría para desarrollar una propuesta técnica entre los productores para minimizar el riesgo de dispersión de Especies Exóticas Invasoras (EEI) en el sector acuícola del estado de Morelos.

Finalmente, siempre está la posibilidad de solo adoptar un simple sistema de recirculación o descargar el agua en lagunas de oxidación y observar el resto de las medidas de bioseguridad.

VII. REFERENCIAS

- Ad Hoc Working Group on Invasive Species and Climate Change.** 2014. Bioinvasions in a Changing World: A Resource on Invasive Species-Climate Change Interactions for Conservation and Natural Resource Management. Prepared for The Aquatic Nuisance Species Task Force (ANSTF) and The National Invasive Species Council (NISC). 52 pp.
- Adams, R., Remington, J., Steinberg, J. & Seibert, J.** 1970. Tropical fish aquariums: a source of *Mycobacterium marinum* infections resembling sporotrichosis. *Journal of the American Medical Association* 211: 457–461.
- Aguilar, B. S.** 1990. Dimensiones ecológicas del estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos. CRIM-UNAM.
- Ahlroth, P., Alatalo, R., Holopainen, A., Kumpulainen, T. & Suhonen, J.** 2003. Founder population size and number of source populations enhance colonization success in waterstriders. *Oecologia*. 137 (4): 617-620.
- Alberts, B., Bray, J., Lewis, M., Roberts, K. & Watson, J. D.** 1989. Molecular Biology of the Cell, 2nd Ed., Garland Publishing, New York.
- Allen, Jr., S. K. & Stanley, J. G.** 1979. Polyploid mosaics induced by cytochalasin B in landlocked Atlantic salmon *Salmo salar*. *Transactions of the American Fisheries Society*. 108 (5): 462-466.
- Almeida, D., Ribeiro, F., Leunda, P., Vilizzi, L. & Copp, G.** 2013. Effectiveness of FISK, an Invasiveness Screening Tool for Non-Native Freshwater Fishes, to Perform Risk Identification Assessments in the Iberian Peninsula. *Risk Analysis*. 33 (8): 1404-1413.
- Amador-del Ángel, L. E. & Wakida-Kusunoki, A. T.** 2014. Peces invasores en el sureste 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. 425-433.
- Anonymous.** 2008. Department of Agriculture, Fisheries and Forestry - Operational Procedures Manual — Decontamination (Version 1.0). In: Australian Aquatic Veterinary Emergency Plan (AQUAVETPLAN), Australian Government Department of Agriculture, Fisheries and Forestry, Canberra, ACT. <http://www.daff.gov.au/aquavetplan>.
- Arredondo, J. L. & Lozano, S.** 1996. *Fundamentos en Acuicultura*. México. pp. 123.
- Arthur, J. R., Bondad-Reantaso, M. G. & Subasinghe, R. P.** 2008. *Procedures for the quarantine of live aquatic animals: a manual*. FAO Fisheries Technical Paper. No. 502. Rome, FAO. 74 pp.

- Attramadal, K. J., Salvesen, I., Xue, R., Øie, G., Størseth, T., Vadstein, O. & Olsen, Y. 2012.** Recirculation as a possible microbial control strategy in the production of marine larvae. *Aquacultural engineering*. 46: 27-39.
- Azevedo-Santos, V., Pelicice, F., Lima-Junior, D., Magalhães, A., Orsi, M., Vitule, J. & Agostinho, A. 2015.** How to avoid fish introductions in Brazil: education and information as alternatives. *Natureza & Conservação*. 13 (2): 123-132.
- Baldry, I. 2000.** Effect of Common Carp (*Cyprinus carpio*) on Aquatic Restorations (On-line). Accessed 2 April 2002 at <http://www.hort.agri.umn.edu/h5015/00papers/baldry.htm>.
- Barbier, E. & Burgess, J. 2001.** The economics of tropical deforestation. *Journal of Economic Surveys*. 15 (3): 413-433.
- Beardmore, J. A., Mair, G. C. & Lewis, R. I. 2001.** Monosex male production in finfish as exemplified by tilapia: applications, problems, and prospects. *Aquaculture*. 197 (1-4): 283-301.
- Bebak-Williams, J., Noble, A., Bowser, P. R. & Wooster, G. A. 2002.** Fish health management. In: Timmons, M. B., Ebeling, J. M., Wheaton, F. W., Summerfelt, S. T. & Vinci, B. J. (eds.), *Recirculating Aquaculture Systems*, 2nd Edition, NRAC Publication No. 01-002. Cayuga Aqua Ventures, NY, pp. 427-466.
- Beliaeff, B. & Burgeot, T. 2002.** Integrated biomarker response: a useful tool for ecological risk assessment. *Environmental toxicology and chemistry*. 21 (6): 1316-1322.
- Belton, B., Haque, M. & Little, D. 2011.** Certifying catfish in Vietnam and Bangladesh: who will make the grade and will it matter?. *Food Policy*. 36 (2): 289-299.
- Bergstedt, R. & Twohey, M. 2007.** Research to support sterile-male-release and genetic alteration techniques for sea lamprey control. *Journal of Great Lakes Research*. 33: 48-69.
- Bhise, M. P. & Khan, T. A. 2002.** Androgenesis: the best tool for manipulation of fish genomes. *Turkish Journal of Zoology*. 26: 317-325.
- Blancheton, J. P. 2000.** Developments in recirculation systems for Mediterranean fish species. *Aquacultural engineering*. 22 (1): 17-31.
- Bomford, M., Barry, S. & Lawrence, E. 2010.** Predicting establishment success for introduced freshwater fishes: a role for climate matching. *Biological Invasions*. 12 (8): 2559-2571.
- Boyd, C. E. 2003.** The status of codes of practice in aquaculture. *WORLD AQUACULTURE-BATON ROUGE*. 34 (2): 63-66.

- Bridger, C. J., Fredriksson, D. W. & Jensen, Ø.** 2015. Physical containment approaches to mitigate potential escape of European-origin Atlantic salmon in south coast Newfoundland aquaculture operations. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2015/072. vi + 54 pp.
- Burgiel, S., Foote, G., Orellana, M. & Perrault, A.** 2006. *Invasive alien species and trade: integrating prevention measures and international trade rules*. Center for International Environmental Law and Defenders of Wildlife. Center for International Environmental Law (CIEL) and Defenders of Wildlife. 54 pp.
- Burroughs, T., Knobler, S. & Lederberg, J. (eds.).** 2002. *The emergence of zoonotic diseases: understanding the impact on animal and human health*. National Academy Press, Washington, DC.
- Carlton, J. T.** 1996. Patterns, process and prediction in marine invasion ecology. *Biol. Conserv.* 78: 97-106.
- Carrasco, L., Doroshov, S., Penman, D. & Bromage, N.** 1998. Long-term, quantitative analysis of gametogenesis in autotriploid rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of reproduction and fertility*. 113 (2): 197-210.
- Carta Nacional Acuícola.** 2010. Instituto Nacional de Pesca. Acuicultura Comercial. 2.7. Peces de ornato de agua dulce.
- Chávez-Sánchez, M. C. & Montoya-Rodríguez, L.** 2004. Medidas de Bioseguridad para evitar la Introducción y Dispersión de Enfermedades Virales en Granjas Camaronícolas. En: Cruz Suárez, L. E., Ricque Marie, D., Nieto López, M. G., Villarreal, D., Scholz, U. & González, M. Avances en Nutrición Acuícola VII. Memorias del VII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 16-19 Noviembre, 2004. Hermosillo, Sonora, México.
- Clavero, M. & García-Berthou, E.** 2005. Invasive species are leading cause of animal extinctions. *Trends in Ecology and Evolution*. 20 (3): 110.
- Clearwater, S. J., Hickey, C. W. & Martin, M. L.** 2008. Overview of potential piscicides and molluscicides for controlling aquatic pest species in New Zealand. *Science for Conservation* 283. Science & Technical Publishing Department of Conservation, Wellington.
- Colagrosso, A.** 2014. *Instalación y manejo de sistemas de cultivo acuapónicos a pequeña escala*. Manual. 73 pp.
- Comisión de Pesca.** 10 de Julio, 2015. La acuicultura, actividad fundamental para garantizar la sustentabilidad alimentaria de México, reitera el Diputado Alfonso Inzunza. [Comunicado de prensa].

- 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. 114 pp.
- CONABIO.** 2014. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad Quinto Informe Nacional de México ante el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB). CONABIO. México.
- CONAPESCA.** 2013. Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca 2013.
- Contreras-Balderas, S., Almada-Villela, P., Lozano-Vilano, L. & García-Ramírez, M.** 2003. Freshwater fish at risk or extinct in México. *Rev. Fish. Biol. Fish.* 12: 241–251.
- Contreras-Balderas, S., Ruiz-Campos, G., Schmitter-Soto, J., Díaz-Pardo, E., Contreras-McBeath, T., Medina-Soto, M., Zambrano-González, L., Varela-Romero, A., Mendoza-Alfaro, R., Ramírez-Martínez, C., Leija-Tristán, A., Almada-Villela, P., Hendrickson, D. & Lyons.** 2008. Freshwater fishes and water status in Mexico: a country-wide appraisal. *Aquat. Ecosyst. Health Manage.* 11 (3): 246-256.
- Contreras-MacBeath, T.** 1996. Peces nativos versus peces introducidos. En: *Tópicos Selectos de Biología* Monroy, R., Santillán, S. y Colín, H. (eds.). SEP-FOMES: pp. 134-145.
- Copp, G, Templeton, M. & Gozlan, R. E.** 2007. Propagule pressure and the invasion risks of non-native freshwater fishes: a case study in England. *Journal of Fish Biology.* 71 (sd): 148-159.
- Copp, G. H.** 2013. The Fish Invasiveness Screening Kit (FISK) for non-native freshwater fishes—a summary of current applications. *Risk Analysis.* 33 (8): 1394-6.
- Copp, G., Vilizzi, L., Mumford, J., Fenwick, G., Godard, M. & Gozlan, R. E.** 2009. Calibration of FISK, an invasiveness screening tool for nonnative freshwater fishes. *Risk Analysis.* 29 (3): 457-467.
- Copp, G., Wesley & Vilizzi, L.** 2005a. Pathways of ornamental and aquarium fish introductions into urban ponds of Epping Forest (London, England): the human vector. *Journal of Applied Ichthyology.* 21 (4): 263-274.
- Copp, G. H., Garthwaite, R. & Gozlan, R. E.** 2005b. Risk identification and assessment of non-native freshwater fishes: a summary of concepts and perspectives on protocols for the UK. *Journal of Applied Ichthyology.* 21 (4): 371.
- Cotton, S., & Wedekind, C.** 2007. Control of introduced species using Trojan sex chromosomes. *Trends in Ecology and Evolution.* 22 (9): 441-443.

- Covarrubias, J. & Ruiz, J.** 2011. Calidad de agua para el cultivo de Tilapia en tanques de geomembrana. *Revista Fuente*. 3 (8).
- Cox, G. W.** 2004. *Alien Species and Evolution: The Evolutionary Ecology of Exotic Plants, Animals, Microbes and Interacting Native Species*. Island Press.
- Dejean, T., Valentini, A., Miquel, C., Taberlet, P., Bellemain, E. & Miaud, C.** 2012. Improved detection of an alien invasive species through environmental DNA barcoding: the example of the American bullfrog *Lithobates catesbeianus*. *Journal of applied ecology*. 49 (4): 953-959.
- Department of Primary Industries and Fisheries.** 2004. Management arrangements for potentially high-risk activities in the context of ecologically sustainable development (ESD) for approved aquaculture operations. Aquaculture Policy FAMOP001.
- Domínguez, N.** 2012. Cada año, Morelos produce 80 mil peces de ornato por granja. Fecha de actualización: 18 de Junio de 2012.
- Donahue, M. J.** 2012. Binational AIS Rapid Response Plan for the Great Lakes-St. Lawrence River Basin. A Pilot Plan for the Lake Huron/ Lake Erie Corridor. Prepared for: Work Group on Aquatic Invasive Species Rapid Response International Joint Commission. Final Report. 89 pp.
- Duncan, R., Bomford, M., Forsyth, D. & Conibear, L.** 2001. High predictability in introduction outcomes and the geographical range size of introduced Australian birds: a role for climate. *Journal of Animal Ecology*. 70 (4): 621-632.
- EEA.** 2010. Towards an early warning and information system for invasive alien species (IAS) threatening biodiversity in Europe. European Environment Agency, Copenhagen, 47.
- Elliott, M.** 2003. Biological pollutants and biological pollution—an increasing cause for concern. *Marine Pollution Bulletin*. 46 (3): 275-280.
- Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., & Yates, C. J.** 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and distributions*. 17 (1): 43-57.
- El-Matbouli, M. & Soliman, H.** 2011. Transmission of Cyprinid herpesvirus-3 (CyHV-3) from goldfish to naive common carp by cohabitation. *Research in Veterinary Science*. 90 (3): 536-539.
- Espinoza, N., Blacio-Game, J. & Escala, E.** 2009. Estudio de la factibilidad técnica y económica del cultivo de huayaípe (*Seriola rivoliana*) en piscinas con y sin geomembranas.

- Espinoza, N., Escala, E., Blacio, E. & Pedro, S.** 2014. Estudio de la factibilidad técnica y económica del cultivo de huayaípe (*Seriola rivoliana*) en piscinas con y sin geomembranas Resumen. Fisheries (Bethesda) (August).
- Estrategia de Integración para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad Sector Pesquero y Acuícola** (2016 - 2022). www.gob.mx/sagarpa
- Ezaz, M. T., Myers, J. M., Powell, S. F., McAndrew, B. J. & Penman, D. J.** 2004. Sex ratios in the progeny of androgenetic and gynogenetic YY male Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. *Aquaculture*. 232 (1-4): 205-214.
- FAO/NACA.** 2001. Manual of Procedures for the Implementation of the Asia Regional Technical Guidelines on Health Management for the Responsible Movement of Live Aquatic Animals. FAO Fisheries Technical Paper. No. 402, Suppl. 1. Rome, FAO. 2001. 106p.
- Fausch, K., Taniguchi, Y., Nakano, S., Grossman, G. & Townsend, C.** 2001. Flood disturbances regimes influence rainbow trout invasion success among five holartic regions. *Ecol. Appl.* 11 (5): 1438-1455.
- FDACS** (Florida Department of Agriculture and Consumer Services). 2007. Aquaculture Best Management Practices Rule. Division of Aquaculture, Florida Department of Agriculture and Consumer Services, Tallahassee, Florida. Available at: http://www.floridaaquaculture.com/publications/P-01499-booklet-07_BMP_RULE.pdf
- Felip, A., Zauny, S., Carrillo, M. & Piferrer, F.** 2001. Induction of triploidy and gynogenesis in teleost fish with emphasis on marine species. *Genetica*. 111: 175-195.
- Ferincz, Á., Staszny, Á., Weiperth, A., Takács, P., Urbányi, B., Vilizzi, L. & Copp, G. H.** 2016. Risk assessment of non-native fishes in the catchment of the largest Central-European shallow lake (Lake Balaton, Hungary). *Hydrobiologia*. 780 (1): 85-97.
- Fernández, L., Montiel, J., Millán, A. & Badillo, J.** 2012. Producción de biocombustibles a partir de microalgas. *Ra Ximhai*. 101-103.
- Ficetola, G. F., Miaud, C., Pompanon, F. & Taberlet, P.** 2008. Species detection using environmental DNA from water samples. *Biol Lett* 4: 423–425.
- Foote, A., Thomsen P., Sveegaard S., Wahlberg M., Kielgast J., Kyhn, A., Salling, A. B., Galatius, A., Orlando, L., Gilbert, M. T.** 2012. Investigating the potential use of environmental DNA (eDNA) for genetic monitoring of marine mammals. *PLOS ONE*. 7: e4178.

- Forsyth, D. M. & Duncan, R. P.** 2001. Propagule size and the relative success of exotic ungulate and bird introductions to New Zealand. *American Naturalist*. 157: 583–595.
- Fuentes-Silva, C., Soto-Zarazúa, G. M., Torres-Pacheco, I. & Flores-Rangel, A.** 2013. Male tilapia production techniques: a mini-review. *African Journal of Biotechnology*. 12 (36): 5496-5502.
- Fuller, P., Nico, L. & Williams, D.** 1999. Non-indigenous fishes introduced into inland waters of the United States. American Fisheries Society, Bethesda, MA.
- Gil, D. L., Lasso-Baptiste, C. A., Castaño, N. & Cárdenas, D. F. P.** 2010. Análisis de riesgo y propuesta de categorización de especies introducidas para Colombia. 200 pp.
- Golburg, R. & Triplett, T.** 1997. Murky waters: environmental effects on aquaculture in the U.S.A. In: The Environment Defense Fund. EDF Publications, Wash. DC. pp. 196.
- Goldberg, C.S., Pilliod, D., Arkle, R. & Waits, L.** 2011. Molecular detection of vertebrates in stream water: a demonstration using rocky mountain tailed frogs and Idaho giant salamanders. *PLOS ONE*. 6: e22746
- Golubov, J., Mandujano, M. C., Guerrero-Eloisa, S., Mendoza, R., Koleff, P., González, A. I., Barrios, Y. & Born-Schmidt, G.** 2014. Análisis multicriterio para ponderar el riesgo de las especies invasoras, en Mendoza, R. & Koleff, P. (coords.). *Especies acuáticas invasoras en México*. Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
- González Acosta, J. A.** 2012. Uso y manejo de sedimentos provenientes de piscicultura como base para el manejo sostenible: revisión del tema. *Rev. Cienc. Anim.* 5: 121-143
- González del Tánago, M.** 2007. Estrategia nacional de restauración de ríos. Ministerio de Medio Ambiente. Subdirección General de Gestión Integrada del Dominio Público Hidráulico. Universidad Politécnica de Madrid. Mesas de Trabajo. La Invasión de Especies Exóticas en los Ríos.
- 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.
- Goodman E. R.** 2011. Aquaponics: Community and Economic Development. Master in City Planning at The Massachusetts Institute of Technology. Dissertation. 100 pp.
- Grenfell, B. T. & Dobson, A.** 1995. *Ecology of infectious diseases in natural populations*. Cambridge University Press, UK.
- Gunderson, J. & Kinnunen, R. E.** 2002. AIS-HAACP aquatic invasive species – hazard analysis and critical control point training curriculum. Minnesota, Sea Grant Publications Number: MN SG–F11.

- Gutiérrez, J. B. & Teem, J. L.** 2006. A model describing the effect of sex-reversed YY fish in an established wild population: the use of a Trojan Y chromosome to cause extinction of an introduced exotic species. *J Theor Biol.* 241: 333–341.
- Gutiérrez, F. de P., Lasso, C. A., Baptiste, M. P., Sánchez-Duarte, P. & Díaz, A. M.** (eds). 2012. VI. *Catálogo de la biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves.* Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D. C., Colombia. 335 pp.
- Harrison, I. J. & Stiasny, M. L. J.** 2004. CREO List of Fish Extinctions since AD 1500, American Museum of Natural History, Committee on Recently Extinct Organisms <http://creo.amnh.org/pdi.html>
- Hebert, P. D. N., Cywinska, A., Ball, S. L. & DeWaard, J. R.** 2003. Biological identifications through DNA barcodes, *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences.* 270: 313–321.
- Heimowitz, P.** 2001. Review of impacts of aquatic exotic species: What's a risk? Marketing and Shipping live aquatic products. <http://nsgd.gso.uri.edu/aku/akuw99003.pdf#page=266>
- Hendrick, R. P., Gilad, O., Yun, S., Spangenberg, J. V., Marty, G. D., Nordhausen, R. W., Kebus, M. J., Bercovier, H. & Eldar, A.** 2000. A herpes virus associated with mass mortality of juvenile and adult koi, a strain of common carp. *Journal of Aquatic Animal Health.* 12: 44–57.
- Hernandez, P. A., Graham, C. H., Master, L. L. & Albert, D. L.** 2006. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography.* 29 (5): 773–785.
- Hewitt, C. L., Martin, R. B., Sliwa, C., McEnnulty, F. R., Murphy, N. E., Jones, T. & Cooper, S.** 2002. "National Introduced Marine Pest Information System." <http://crimp.marine.csiro.au/nimpis>
- Hill, J. E. & Ohs, C. L.** 2009. Stormwater Detention and Discharge from Aquaculture Ponds in Florida. BUL334. Fisheries and Aquatic Sciences Department, UF/IFAS Extension. 8 pp.
- Hine, M., Adams, S., Arthur, J. R., Bartley, D., Bondad-Reantaso, M. G., Chávez, C., Clausen, J. H., Dalsgaard, A., Flegel, T., Gudding, R., Hallerman, E., Hewitt, C., Karunasagar, I., Madsen, H., Mohan, C. V., Murrell, D., Perera, R., Smith, P., Subasinghe, R., Phan, P. T. & Wardle, R.** 2012. Improving biosecurity: a necessity for aquaculture sustainability, En: Subasinghe, R. P., Arthur, J. R., Bartley, D. M., De Silva, S. S., Halwart, M., Hishamunda, N., Mohan, C. V. & Sorgeloos, P. (eds.). *Farming the Waters for People and Food.* Proceedings of the Global Conference on Aquaculture 2010, Phuket, Thailand. 22–25 September 2010. 437–494 pp. FAO, Rome and NACA, Bangkok.

- Ho, C-F.** 2013. Ecological risk assessment and management of invasive freshwater fish species from aquarium and ornamental trades in Hong Kong. University of Hong Kong, China.
- Hoddle, M. S.** 2004. Restoring balance: using exotic species to control invasive exotic species. *Conservation Biology*. 18 (1): 38-49.
- 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.
- Huanqui-Canto, G.** 2002. El comercio mundial de peces ornamentales. Prompex, Perú.
- Hunter, G. A. & Donaldson, E. M.** 1983. Hormonal sex control and its application to fish culture. En: Hoar, W. S., Randall, D. J. & Donaldson, E. M. (eds). *Fish Physiology, Reproduction, Behaviour, and Fertility Control, Vol. IX-B*. Academic Press, New York. 223- 303 pp.
- INEGI.** 2017. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Datos de relieve: Continuo de elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0). <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/descarga.aspx>
- International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM).** 2012. Norms for organic production and processing. http://ifoam.org/sites/default/files/pages/files/ifoam_norms_version_august_2012_with_cover.pdf
- Inventario de especies acuícolas producidas en** 2016. Consultoría “Servicios de actualización del Padrón de Unidades de Producción Acuícola de Ornato en el Estado de Morelos”. Pp: 1-74.
- Ishikawa, T. & Tachihara, K.** 2014. Introduction history of non-native freshwater fish in Okinawa-jima Island: ornamental aquarium fish pose the greatest risk for future invasions. *Ichthyol Res.* 61: 17–26.
- Jerde, C. L., Mahon, A. R., Chadderton, W. L., & Lodge, D. M.** 2011. “Sight-unseen” detection of rare aquatic species using environmental DNA. *Conservation Letters*. 4: 150–157.
- Jiménez-Bahena, O., Peña, M., Ramírez, C., Tapia, M., Guzmán, L., Montes, R., Castrejón, A. & Benítez, A.** 2010. Guía para la identificación de parásitos y enfermedades de peces de ornato. CESAEM-INAPESCA-UANL. 70 pp.
- Jiménez-García, M. I., Vidal-Martínez, V. M. & López-Jiménez, S.** 2001. Monogeneans in introduced and native Cichlids in Mexico: evidence for transfer. Research notes. *J. Parasitol.* 87 (4): 907-909.
- Jørgensen, T. R., Larsen, T. B. & Buchmann, K.** 2009. Parasite infections in recirculated rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farms. *Aquaculture*. 289: 91–94.

- JSA.** 1997. (Joint Subcommittee on Aquaculture Shrimp Virus Work Group). An evaluation of potential shrimp virus impacts on cultured shrimp and wild populations in the Gulf of Mexico and Southeastern U.S. Atlantic coastal waters. Report to the Joint Subcommittee on Aquaculture. www.nmfs.noaa.gov/trade/jsash16.pdf
- Kim, J. H., Hayward, C. J., Joh, S. J. & Heo, G. J.** 2002. Parasitic infections in live freshwater tropical fishes imported to Korea. *Diseases of Aquatic Organisms*. 52: 169–173.
- Kolar, C. S. & Lodge, D. M.** 2001. Progress in invasion biology: predicting invaders. *Trends Ecol. Evol.* 16: 199–204.
- Kulhanek, S. A., Leung, B. & Ricciardi, A.** 2011. Using ecological niche models to predict the abundance and impact of invasive species: application to the common carp. *Ecological Applications*. 21 (1): 203-213.
- Lawson, L. L., Hill, J. E. & Vilizzi, L.** 2013. Revisions of the fish invasiveness screening kit (FISK) for its application in warmer climatic zones, with particular reference to peninsular Florida. *Risk Anal.* 33: 1414–1431.
- Leonard, N., Guiraud, J. P., Gasset, E., Cailleres, J. P. & Blancheton, J. P.** 2002. Bacteria and nutrients – nitrogen and carbon – in a recirculating system for sea bass production. *Aquacult. Eng.* 26: 111–127.
- Levine, J. M. & D’Antonio, C. M.** 1999. Elton revisited: a review of evidence linking diversity and invasibility. *Oikos*. 87: 15–26.
- Lightner, D. V.** 1996. *A Handbook of Pathology and Diagnostic Procedures for Diseases of Penaeid Shrimp*, World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA 256 pp.
- Lightner, D. V., Durand, S. V., Redman, R. M., Mohney, L. L. & Tang-Nelson, K.** 2002. Qualitative and quantitative studies on the relative virus load of tails and heads of shrimp acutely infected with WSSV: implications for risk assessment. <http://www.was.org/main/NewWave.html#Contents>
- Ling, N.** 2002. Rotenone – a review of its toxicity and use for fisheries management. Science for Conservation 211. Science & Technical Publishing Department of Conservation, Wellington
- Lodge, D. M., Turner, C. R., Jerde, C. L., Barnes, M. A., Chadderton, L., Egan, S. P. & Pfrender, M. E.** 2012. Conservation in a cup of water: estimating biodiversity and population abundance from environmental DNA. *Molecular Ecology*. 21 (11): 2555-2558.
- Losordo, T. M., Masser, M. P. & Rakocy, J.** 1998. Recirculating aquaculture tank production systems: an overview of critical considerations. SRAC Publication 453, 2-4 pp. <http://aqua.ucdavis.edu/dbweb/outreach/aqua/451RFS.PDF>

- Lugo-Barenque, S.** 2012. En Morelos, México se produce 80 mil peces de ornato por granja cada año. Observatorio Americano de Acuicultura, <http://www.observatorioacuicola.org/noticias/en-morelos-mexico-se-produce-80-mil-peces-de-ornato-por-granja-cada-ano>
- Marchetti, M.P., Moyle, P.B. & Levine, R.** 2004. Invasive species profiling? Exploring the characteristics of non-native fishes across invasion stages in California. *Freshw Biol.* 49: 646–661
- Martínez, D., Marañón, S. & 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.* 5 (8): 69-75.
- Mastitsky, S. E., Karatayev, A. Y., Burlakova, L. E. & Adamovich, B. V.** 2010. Non-native fishes of Belarus: diversity, distribution, and risk classification using the Fish Invasiveness Screening Kit (FISK). *Aquat. Invasions.* 5: 103–114.
- Mateus J.** 2009. Acuaponía: hidroponía y acuicultura, sistema integrado de producción de alimentos. (en línea) Red Hidroponía, Boletín No 44. 2009. 7-10 p. http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/redhidro/boletin44/44_acuaponia.pdf
- Maya Peña, E., Marañón-Herrera, S. & Sánchez-Caracheo, N. I.** 2006. Análisis de un ciclo de producción en una granja familiar productora de poecílidos en el estado de Morelos. Sociedades rurales, producción y medio ambiente. *Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Xochimilco.* 6 (12): 67-82.
- McDowall, R. M.** 2004. Shoot first, and then ask questions: a look at aquarium fish imports and invasiveness in New Zealand. *New Zeal. J. Mar. Freshw. Res.* 38: 503–510.
- Mejía-Mojica, H., Contreras-MacBeath, T. & Ruiz-Campos, G.** 2015. Relationship between environmental and geographic factors and the distribution of exotic fishes in tributaries of the balsas river basin, Mexico. *Environ Biol Fish.* 98: 611-21
- Mejía-Mojica, H., Rodríguez-Romero, F. & Díaz-Pardo, E.** 2012. Recurrencia histórica de peces invasores en la Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla, México. *Revista de Biología Tropical.* 60 (2): 669-681.

- Mendoza, R.** 2014. Riesgo de introducción y medidas de prevención. En: Mendoza, R. & Koleff, P. (coords.). *Especies acuáticas invasoras en México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 85-93 pp.
- Mendoza, R., Ramírez-Martínez, C., Aguilera, C. & Meave del Castillo, M. E.** 2014. Principales vías de introducción de las especies exóticas. En: Mendoza, R. & Koleff, P. (coords.): *Especies acuáticas invasoras en México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 43-73 pp.
- Mendoza, R., Contreras, S., Koleff, P. & Álvarez, P.** 2010. Aquarium trade as a pathway for the introduction of invasive species into Mexico. En: De Carlo, F. & Bassano, A. (eds.) *Freshwater ecosystems and aquaculture research*. Nova Science Publishers, Inc, New York. 209–224 pp.
- Mendoza, R., Hernández, J., Segovia, V., Jasso, I., Arreaga, N. & Pérez, D.** 2011. *Aquatic invasive species in the Río Bravo/Laguna Madre ecological region*. Commission for Environmental Cooperation. Montreal.
- Mendoza, R., Contreras, S., Ramírez, C., Koleff, P., Álvarez, P. & Aguilar, V.** 2007. Los peces diablo: especies invasoras de alto. *Biodiversitas*. 70: 1-5.
- Mendoza, R., Luna, S. & Aguilera, C.** 2015. Risk assessment of the ornamental fish trade in Mexico: analysis of freshwater species and effectiveness of the FISK (Fish Invasiveness Screening Kit). *Biol Invasions*. 17: 3491-350.
- Michaud, L., Blancheton, J. P., Bruni, V. & Piedrahita, R.** 2006. Effect of particulate organic carbon on heterotrophic bacterial populations and nitrification efficiency in biological filters. *Aquacult. Eng.* 34: 224–233.
- Migaud, H.** 2010. Triploid salmon: current knowledge, new concepts and further developments Institute of Aquaculture, University of Stirling. Introduction - Salmotrip: Feasibility Study of Triploid Atlantic Salmon Production 2008 – 2010.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA).** 2005. *Ecosystems and human well-being: Biodiversity synthesis*. World Resource Institute, Washington, DC.
- Miller, R., Williams, J. D. & Williams, J. E.** 1989. Extinctions of North American fishes during the past century. *Fisheries*. 14 (6): 22-38.
- Moestrup, Ø., Hansen, G., Daugbjerg, N., Lundholm, N., Overton, J., Vestergard, M., Steinfeldt, S. J., Jose-Calado, A. & Juel-Hansen, P.** 2014. The dinoflagellates *Pfiesteria shumwayae* and *Luciella*

masanensis cause fish kills in recirculation fish farms in Denmark. *Harmful Algae*. 32: 33–39.

Myers, J.H., Simberloff, D., Kuris, A.M. & Carey, J.R. 2000. Eradication revisited: dealing with exotic species. *Trends Ecol Evol*. 15: 316–320.

National Academy of Sciences. 1977. Methane generation from human, animal, and agricultural wastes. Report of an Ad Hoc Panel of the Advisory Committee on Technology Innovation Board on Science and Technology for International Development Commission on International Relations National Research Council 131 p.

Negrete-Redondo, P. & Romero-Jarero, J. 1998. Estudio cualitativo de las condiciones sanitarias de producción y manejo de granjas acuícolas en los estados de México y Morelos. *Hidrobiológica* 8 (1): 43-54.

OIE. www.oie.int (consultada en junio de 2017).

OIE. 2011a. Aquatic animal health code. 14th ed. Paris, World Organisation for Animal Health. www.oie.int/en/international-standard-setting/ aquatic-code/access-online/

OIE. 2011b. Manual of diagnostics tests for aquatic animals. Paris, World Organisation for Animal Health. www.oie.int/en/international-standard-setting/ aquatic-manual/access-online/

Onikura, N., Nakajima, J., Inui, R., Mizutani, H., Kobayakawa, M., Fukuda, S. & Mukai, T. 2011. Evaluating the potential for invasion by alien freshwater fishes in northern Kyushu Island, Japan, using the Fish Invasiveness Scoring Kit. *Ichthyol. Res.* 58: 382-387.

Ortega, K. 2017. Morelos, número uno en producción de peces de ornato. Fecha de actualización: 25 de Marzo de 2017. <https://www.elsoldecuernavaca.com.mx/jojutla>

Padilla, D. & Williams, S. 2004. Beyond ballast water: aquarium and ornamental trades as sources of invasive species in aquatic ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2 (3): 131-138.

Paez, J. 2011. *Negocio en peces de ornato*. Fecha de actualización: 10 de agosto de 2011. <http://eleconomista.com.mx/columnas/agronegocios/2011/08/10/negociopecesornato>

Pandian, T. J. & Koteeswaran, R. 1998. Ploidy induction and sex control in fish. *Hydrobiologia*. 384: 167-243.

Pardo, S. Suárez, H. & Soriano, E. 2006. Tratamiento de efluentes: una vía para la acuicultura responsable. *Revista MVZ Córdoba*. 11 (Su1): 20-29.

- Pérez, L.** 2007. *La historia de la acuariofilia en México*. Aquaterra.
- Pheloung, P., Williams, P. & Halloy, S.** 1999. A weed risk assessment model for use as a biosecurity tool evaluating plant introductions. *Journal of environmental management*. 57 (4): 239-251.
- Pickens, J. M.** 2015. *Integrating Effluent from Recirculating Aquaculture Systems with Greenhouse Cucumber and Tomato Production*. PhD dissertation, Auburn University, Alabama, 122 pp.
- Pietrak, M. & Leavitt, D.** 2014. *Biosecurity on the Farm – Guidelines & Resources for Developing a Biosecurity Plan*. The Fish Site. <http://www.thefishsite.com/articles/1851/biosecurity-on-the-farm-guidelines-resources-for-developing-a-biosecurity-plan/>
- Piferrer, F. & Guiguen, Y.** 2008. Fish gonadogenesis. Part II: molecular biology and genomics of sex differentiation. *Rev Fish Sci*. 16: 35–55.
- Piferrer, F.** 2001. Endocrine sex control strategies for the feminization of teleost fish. *Aquaculture*. 197: 229-281.
- Pitman, B.** 2003. *Preventing spread of non-target species*. www.haccp-nrm.org
- Ploeg, A.** 2008. *Current trends: The development of the ornamental fish*. *Ornamental Fish International* (OFI), Technical report.
- PME.** 2009. Informe final del plan maestro estatal de peces de ornato del estado de Morelos. http://cadenasproductivas.conapesca.gob.mx/pdf_documentos/comites/csp/Programa_Maestro_Estatal_Ornato_Morelos.pdf
- Poulos, H. M., Chernoff, B., Fuller, P. L. & Butman, D.** 2012. Ensemble forecasting of potential habitat for three invasive fishes. *Aquatic Invasions*. 7 (1): 59-72.
- Puntila, R., Vilizzi, L., Lehtiniemi, M. & Copp, G.** 2013. First application of FISK, the freshwater fish invasiveness screening kit, in northern Europe: example of southern Finland. *Risk Analysis*. 33 (8): 1397-1403.
- Queensland Government.** 2008. *Health management technical guidelines for aquaculture*. 4 pp.
- Queensland Government.** 2011. *Management arrangements for translocation of live aquatic organisms (transport between bioregions) for aquaculture*. Aquaculture Policy FAMOP015 Version 2 June 2011. 17 pp.
- R Core Team.** 2014. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>
- Ramirez, D., Sabogal, D., Ramírez, E., Caicedo, D. & Giraldo, H.** 2016. Montaje y evaluación preliminar

de un sistema acuapónico Goldfish-Lechuga. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*. 5 (1-2): 154-170.

Ramírez-Martínez, C. & Mendoza-Alfaro, R. 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 pp.

Ramírez-Martínez, C., Mendoza-Alfaro, R. & Aguilera-González, C. 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.

Range, I. L. 2013. *Applicability of Fish Risk Assessment (FISK) to ornamental species*. Dissertação. Mestrado em Biologia da Conservação. Universidad de Lisboa, Portugal. 51 pp.

Rayner, T. & Creese, R. 2006. A review of rotenone use for the control of non-indigenous fish in Australian freshwaters, and an attempted eradication of the noxious fish, *Phallocheros caudimaculatus*. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*. 40 (3): 477-486.

Rejmánek, M. 2000. Invasive plants: approaches and predictions. *Austral ecology*. 25 (5): 497-506.

Reshetnikov, A. N. & Ficetola, G. F. 2011. Potential range of the invasive fish rotan (*Perccottus glenii*) in the Holarctic. *Biological Invasions*. 13 (12): 2967-2980.

Revenga, C., Heibel, T. J. & Roberston, J. 2006. *Freshwater atlas: Data from the Global Freshwater Habitat Assessment*. The Nature Conservancy.

Rocha Coghlan, M. 2015. *Panorama de la acuicultura ornamental en México. Implementación de sistemas de reutilización de aguas*. Granja de peces Zacango. <http://www.cedrssa.gob.mx/includes/asp/download.asp?iddocumento=2183&idurl=3396>

Rodríguez-Merino, A., Fernández-Zamudio, R. & García-Murillo, P. 2015. Determinación de las zonas con mayor riesgo de invasión por macrófitos acuáticos exóticos en la Península Ibérica. Teledetección: Humedales y Espacios Protegidos. XVI Congreso de la Asociación Española de Teledetección. (Eds. J. Bustamante, R. Díaz-Delgado, D. Aragonés, I. Afán y D. García). pp. 338-341. Sevilla 21-23 octubre 2015

Rodríguez, R. 2016. La CDMX, de las primeras en producción de peces de ornato. Periódico El Día. p. 7.

Lunes 11 de abril de 2016.

- Rojas, P. & Mendoza, R.** 2000. El cultivo de especies nativas en México. En Álvarez-Torres, P., Ramírez-Flores, M., Torres-Rodríguez, L. M. & Díaz de León-Corral, A. (eds.). *Estado de salud de la acuicultura*. Instituto Nacional de Pesca, 431-476 pp.
- Rosas, M.** 1982. Biología acuática y piscicultura en México. Secretaría de Educación Pública. Dirección General de Ciencias y técnicas del Mar. México, D. F. 122 p.
- Rouget, M. & Richardson, D.** 2003. Inferring process from pattern in plant invasions: a semimechanistic model incorporating propagule pressure and environmental factors. *The American Naturalist*. 162 (6): 713-724.
- Ruiz, J., Tapia, R., García, J. & González, H.** 2006. Evaluación de un cultivo semi-Intensivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en tanques circulares con aguas termales. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*. 7 (11): 1-12.
- Ruiz, G. M. & Carlton, J. T.** 2003. *Invasive species: vectors and management strategies*. Island Press, Washington, DC.
- Ruzycki, J., Beauchamp, D. & Yule, D.** 2003. Effects of introduced lake trout on native cutthroat trout in Yellowstone Lake. *Ecological Applications*. 13 (1): 23-37.
- SAGARPA.** 2015. Sistema Producto. <http://www.sagarpa.gob.mx/Paginas/SistemaProducto.aspx>
- SAGARPA.** 2013. *Agenda de Innovación Tecnológica del Estado de Morelos*. 63 p.
- SAGARPA-CONAPESCA.** 2012. *Impulsa SAGARPA-CONAPESCA la acuicultura de peces ornamentales como alternativa de negocio en el país*. [Comunicado de prensa]. <http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/2012/Paginas/2015B162.aspx>
- Salgado-Maldonado, G., Cabañas-Carranza, G., Soto-Galera, E., Caspeta-Mandujano, J. M., Moreno-Navarrete, R. G., Sánchez-Nava, P. & Aguilar-Aguilar, R.** 2001a. A checklist of helminth parasites of freshwater fishes from the Lerma-Santiago River Basin, Mexico. *Comp. Parasitol.* 68 (2): 204-218.
- Salgado-Maldonado, G., Cabañas-Carranza, G. J., Caspeta Mandujano, M., Soto-Galera, E., Mayén-Peña, E., Brailovsky, D. & Baéz-Vale, R.** 2001b. Helminth parasites of freshwater Fishes of the Balsas River Drainage Basin of southwestern Mexico. *Comp. Parasitol.* 68 (2): 196-203.

- Salgado-Maldonado, G. & Rubio-Godoy, M.** 2014. *Helminths parasites of fishes of fresh water introduced*. En Mendoza, R. & Koleff, P. (coords.). *Especies acuáticas invasoras en México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 269-285 p.
- Salgado-Maldonado, G., Cabañas-Carranza, G., Soto-Galera, E., Pineda-López, R., Caspeta-Mandujano, J., Aguilar-Castellanos, E. & Mercado-Silva, N.** 2004. Helminth parasites of freshwater fishes of the Pánuco River Basin, East Central Mexico. *Comp Parasitol.* 71: 190–202.
- Samocha, T., Lopez, I., Jones, E., Jackson, S. & Lawrence, A.** 2004. Characterization of intake and effluent waters from intensive and semi-intensive shrimp farms in Texas. *Aquaculture research.* 35 (4): 321-339.
- Sanchez, W., Burgeot, T. & Porcher, J. M.** 2013. A novel “Integrated Biomarker Response” calculation based on reference deviation concept. *Environmental Science and Pollution Research.* 20 (5): 2721-2725.
- Sánchez, C., Caro, C., Martínez, P., Reyes M. & Mendoza, A.** 1993. *Desarrollo de una granja de producción de peces de ornato*. Centro de Investigaciones de Quintana Roo. Chetumal. 29 p.
- Sandoval-Yoval, L.** 2013. *Operación y mantenimiento del sistema acuícola con reúso de agua residual tratada y descarga cero*. IMTA. Coordinación de Tratamiento y Calidad del Agua.
- Savidov, N.** 2004. *Evaluation and Development of Aquaponics Production and Product Market Capabilities in Alberta*. Ids Initiatives Fund Final Report Project #679056201. 67 p.
- Sax, D. & Brown, J.** 2000. The paradox of invasion. *Global Ecology and Biogeography.* 9 (5): 363-371.
- Scholz, T. & Salgado-Maldonado, G.** 2000. The introduction and dispersal of *Centrocestus formosanus* (Nishigori, 1924) (Digenea: Heterophyidae) in Mexico: a review. *The American Midland Naturalist.* 143 (1): 185-200.
- Schwartz, M., Bullock, G., Hankins, J., Summerfelt, S. & Mathias, J.** 2000. Effects of Selected Chemotherapeutants on Nitrification in Fluidized-Sand Biofilters for Coldwater Fish Production. *International Journal of Recirculating Aquaculture.* 1 (1): 61-81.
- Senior, A. M., Krkosek, M. & Nakagawa, S.** 2013. The practicality of Trojan sex chromosomes as a biological control: an agent based model of two highly invasive *Gambusia* species. *Biological Invasions.* 15 (8): 1765-1782.
- Silas, E. G., Gopalakrishnan, A., Ramachandran, A., Anna-Mercy, T. V., Pushpangadan, K. R., AnilKumar, P., RamMohan, M. K. & Anikuttan, K. K.** 2011. *Guidelines for Green Certification of Freshwater Ornamental Fish*. The Marine Products Export Development Authority, Kochi, India. xii + 106 pp.

- Simonovic, P., Tošić, A., Vassilev, M., Apostolou, A., Mrdak, D., Ristovska, M., Kostov, V., Nikolić, V., Vilizzi, L. & Copp, G.** 2013. Risk assessment of non-native fishes in the Balkans Region using FISK, the invasiveness screening tool for non-native freshwater fishes. *Mediterranean Marine Science*. 14 (2): 369-376.
- Smits, J. & Moser, F.** 2009. *Rapid response planning for aquatic invasive species. A Maryland example*. Mid-Atlantic Panel on Aquatic Invasive Species. Publication number UM-SG-TS-2009-01. Disponible en: www.mdsg.umd.edu/images/uploads/siteimages/MarylandPlanFinal.pdf
- Snow, A., Andow, D., Gepts, P., Hallerman, E., Power, A., Tiedje, J. & Wolfenbarger, L.** 2005. Genetically engineered organisms and the environment: status and recommendations. *Ecological Applications*. 15 (2): 377-404.
- Snyder, E., Mandrak, N., Niblock, H. & Cudmore, B.** 2013. *Developing a screening-level risk assessment prioritization protocol for aquatic non-indigenous species in Canada: review of existing protocols*. Canadian Science Advisory Secretariat, Fisheries and Oceans, Canada.
- Stuck, K. & Wang, S.** 1996. Establishment and persistence of *Baculovirus penaei* Infections in Cultured Pacific White Shrimp, *Penaeus vannamei*. *Journal of Invertebrate Pathology*. 68 (1): 59-64.
- Sugita, H., Nakamura, H. & Shimada, T.** 2005. Microbial communities associated with filter materials in recirculating aquaculture systems of freshwater fish. *Aquaculture*. 243 (1): 403-409.
- Taberlet, P., Coissac, E., Hajibabaei, M. & Rieseberg, L.** 2012. Environmental DNA. *Mol Ecol*. 21: 1789-1793.
- Takahara, T., Minamoto, T., Yamanaka, H., Doi, H. & Kawabata, Z. I.** 2012. Estimation of fish biomass using environmental DNA. *PloS one*. 7 (4): e35868.
- Taraschewski, H.** 2006. Hosts and parasites as aliens. *J. Helminthol*. 80: 99-128.
- Tarkan, A., Güler, F., Vilizzi, L. & Copp, G. H.** 2014. Risk screening of non-native freshwater fishes at the frontier between Asia and Europe: first application in Turkey of the fish invasiveness screening kit. *Journal of Applied Ichthyology*. 30 (2): 392-398.
- Thomsen, P., Kielgast, J., Iversen, L., Wiuf, C., Rasmussen, M., Gilbert, M., Orlando, L. & Willerslev, E.** 2012. Monitoring endangered freshwater biodiversity using environmental DNA. *Molecular ecology*. 21 (11): 2565-2573.
- Timmons, M., Ebeling, J., Wheaton, F., Summerfelt, S. & Vinci, B.** 2002. *Recirculating Aquaculture Systems, 2nd Edition*. NRAC Publication No. 01-002. Cayuga Aqua Ventures. 769 pp.
- Tlusty, M.** 2002. The benefits and risks of aquacultural production for the aquarium trade. *Aquaculture*. 205: 203-219.

- Thlusty, M.** 2004. Ornamental aquaculture. Small scale of production does not automatically mean small scale of impact. *OFI Journal*. 46: 6-9.
- Torres-Orozco, R. & Pérez-Hernández, M.** 2009. Riqueza y regionalización de los peces de México. *Ciencia*. 60 (3): 44-53.
- Torres-Orozco, R.** 1991. *Los peces de México*. México, AGT editor, 235 pp.
- Troca, D. & Vieira, J.** 2012. Potencial invasor dos peixes não nativos cultivados na região costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. *Bol. Inst. Pesca, São Paulo*. 38 (2): 109-120.
- Tuckett, Q., Ritch, J., Lawson, K. & Hill, J.** 2016. Implementation and enforcement of best management practices for Florida ornamental aquaculture with an emphasis on nonnative species. *North American Journal of Aquaculture*. 78 (2): 113-124.
- Valentini, A., Pompanon, F. & Taberlet, P.** 2009. DNA barcoding for ecologists. *Trends Ecol. Evol.* 24: 110-11.
- Varnero, M.** 2011. *Manual de biogás*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 58 pp.
- Vilizzi, L. & Copp, G.** 2013. Application of FISK, an Invasiveness Screening Tool for Non-Native Freshwater Fishes, in the Murray-Darling Basin (Southeastern Australia). *Risk Analysis*. 33 (8): 1432-1440.
- West, P., Brown, A. & Hall, K.** 2007. *Review of alien fish monitoring techniques, indicators and protocols: Implications for national monitoring of Australia's inland river systems*. Canberra, Report prepared for the National Land & Water Resources Audit. 76 pp.
- Westbrooks, R. G.** 2004. New approaches for early detection and rapid response to invasive plants in the United States 1. *Weed Technology*. 18 (sp1): 1468-1471.
- Williamson, M.** 1996 *Biological Invasions*. Chapman Hall, London UK. 244 pp.
- Wolter, C. & Röhr, F.** 2010. Distribution history of non-native freshwater fish species in Germany: how invasive are they? *Journal of Applied Ichthyology*. 26 (s2): 19-27.
- Wonham, M., Carlton, J., Ruiz, G. & Smith, L.** 2000. Fish and ships: relating dispersal frequency to success in biological invasions. *Marine Biology*. 136 (6): 1111-1121.
- World Health Organization.** 2003. Application of hazard analysis and critical control point (HACCP) methodology to pharmaceuticals. WHO Technical Report Series, No. 908, 2003. Annex 7.

Xiongfei, W., Zhidong, Z., Deshang, L., Kangmei, C., Zhuanshang, T., Liegang, S., Kaichong, X. & Bailin, G. 2005. Closed recirculating system for shrimp-mollusk polyculture. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*. 23 (4): 461-468.

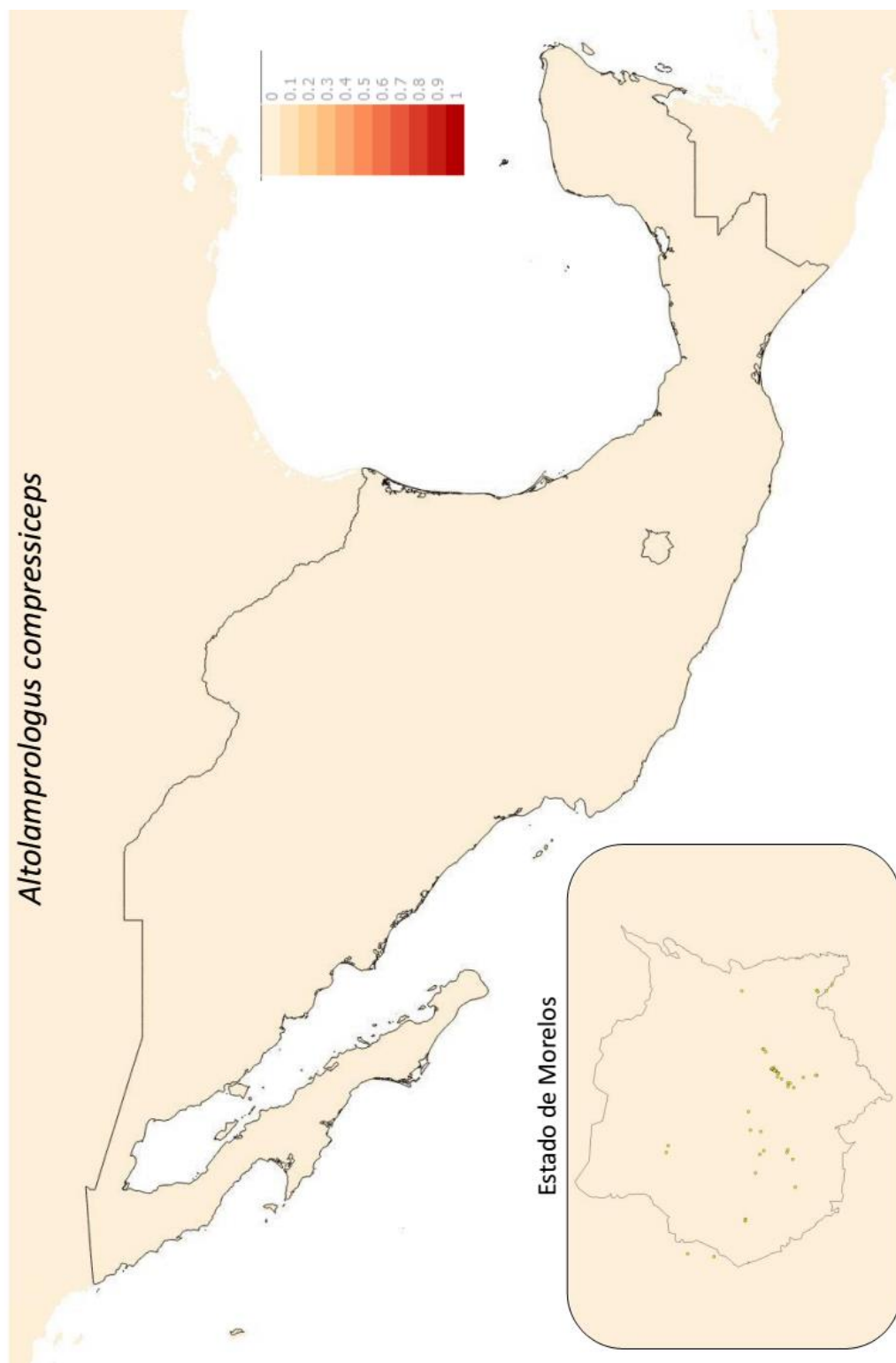
VIII. ANEXOS

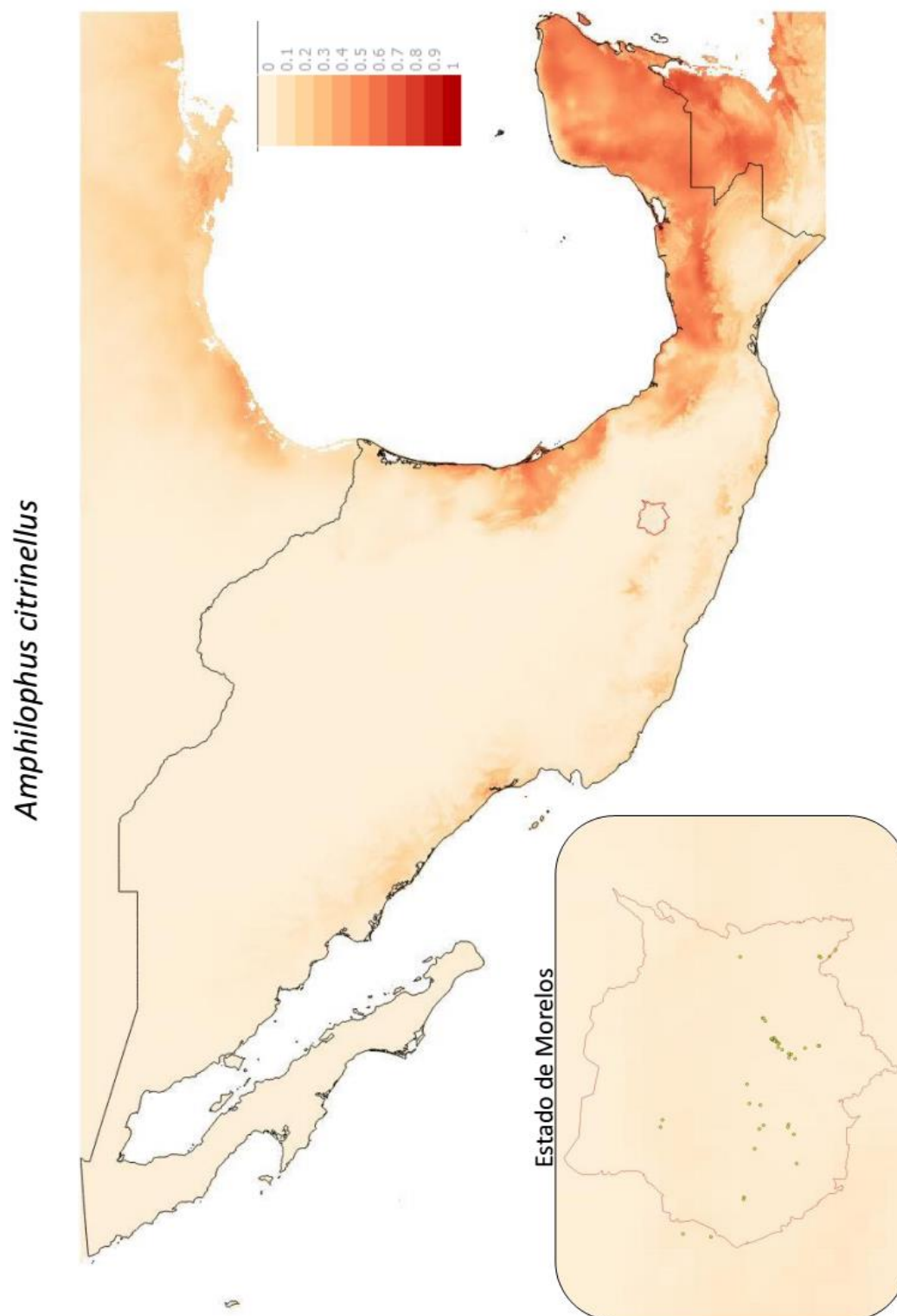
ANEXO A

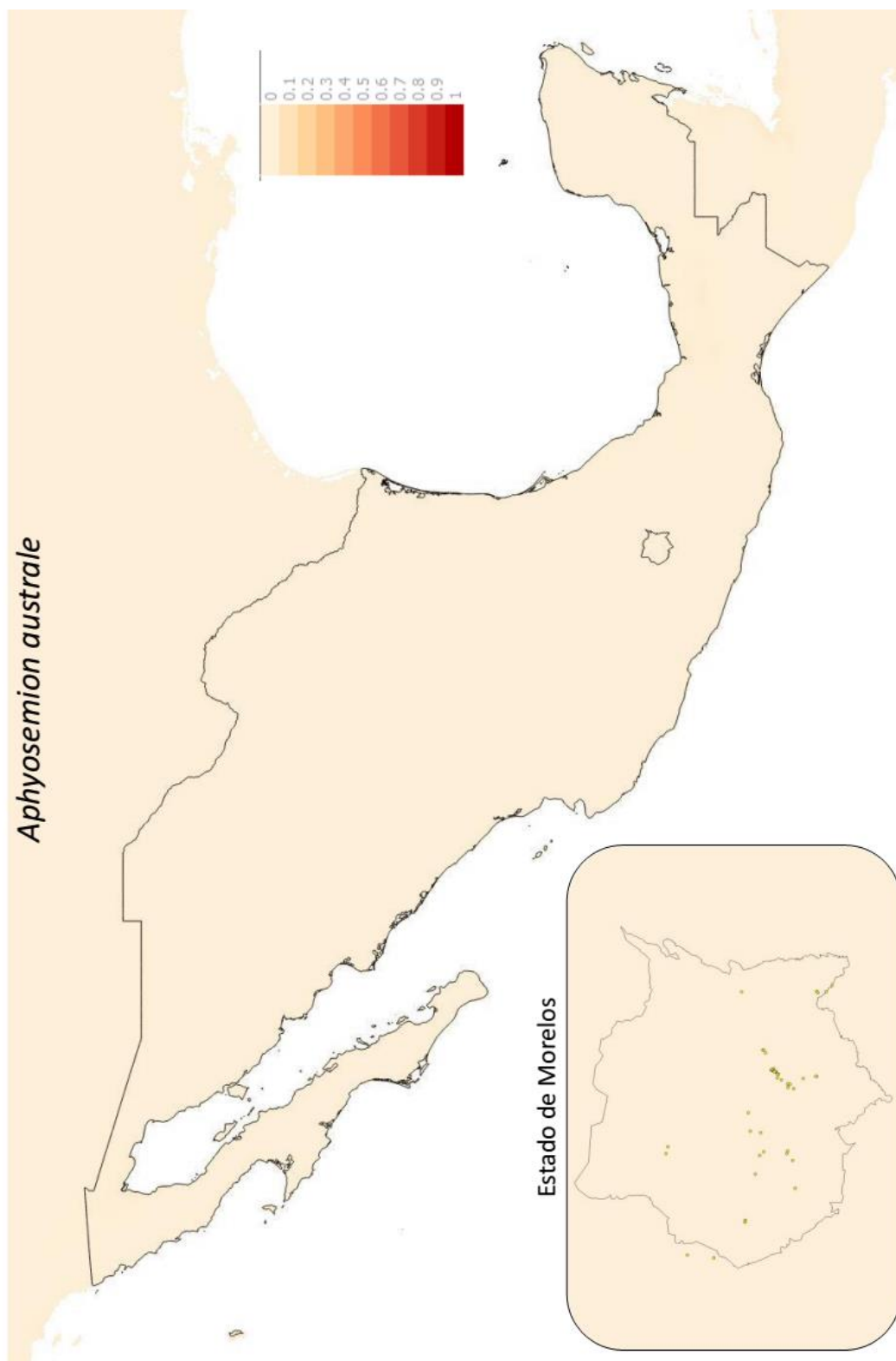
| Puntaje obtenido de MERI para las ponderaciones Proceso de Invasión (PI) y Biología-Taxonomía (BT) y FISK score para las especies de peces ornamentales cultivadas en el Estado de Morelos. | | | | | | |
|---|---------|---------|------|---------------------|----------|-------|
| | Puntaje | | | Categoría de riesgo | | |
| Especies | MERI-PI | MERI-BT | FISK | MERI-PI | MERI-BT | FISK |
| <i>Altolamprologus compressiceps</i> | 0.24 | 0.25 | | Medio | Alto | |
| <i>Amphilophus citrinellus</i> | 0.51 | 0.50 | 21 | Muy alto | Muy alto | Medio |
| <i>Aphyosemion australe</i> | 0.23 | 0.23 | | Medio | Medio | |
| <i>Apistogramma viejita</i> | 0.23 | 0.24 | | Medio | Medio | |
| <i>Astronotus ocellatus</i> | 0.61 | 0.54 | 23 | Muy alto | Muy alto | Medio |
| <i>Aulonocara stuartgranti</i> | 0.21 | 0.23 | | Medio | Medio | |
| <i>Betta splendens</i> | 0.43 | 0.44 | 13 | Alto | Alto | Medio |
| <i>Brachygobius xanthozonus</i> | 0.19 | 0.15 | | Medio | Medio | |
| <i>Carassius auratus</i> | 0.64 | 0.65 | 29 | Muy alto | Muy alto | Alto |
| <i>Copadochromis borleyi</i> | 0.18 | 0.13 | | Medio | Medio | |
| <i>Cyathopharynx furcifer</i> | 0.26 | 0.31 | | Alto | Alto | |
| <i>Cyprinus carpio</i> | 0.78 | 0.84 | 27 | Muy alto | Muy alto | Alto |
| <i>Cyrtocara moorii</i> | 0.20 | 0.18 | | Medio | Medio | |
| <i>Danio rerio</i> | 0.37 | 0.34 | | Alto | Alto | |
| <i>Dermogenys pusilla</i> | 0.25 | 0.28 | | Alto | Alto | |
| <i>Dimidiochromis compressiceps</i> | 0.17 | 0.16 | | Medio | Medio | |
| <i>Gymnocorymbus ternetzi</i> | 0.49 | 0.51 | | Alto | Muy alto | |
| <i>Hemichromis bimaculatus</i> | 0.50 | 0.45 | | Alto | Alto | |
| <i>Herichthys cyanoguttatus</i> | 0.56 | 0.61 | | Muy alto | Muy alto | |
| <i>Heros severus</i> | 0.38 | 0.36 | | Alto | Alto | |
| <i>Heterotilapia buttikoferi</i> | 0.41 | 0.29 | | Alto | Alto | |
| <i>Labidochromis caeruleus</i> | 0.29 | 0.31 | | Alto | Alto | |
| <i>Lepisosteus platostomus</i> | 0.40 | 0.36 | | Alto | Alto | |
| <i>Marosatherina ladigesii</i> | 0.17 | 0.17 | | Medio | Medio | |
| <i>Maylandia estherae</i> | 0.24 | 0.19 | | Medio | Medio | |
| <i>Maylandia lombardoi</i> | 0.22 | 0.26 | | Medio | Alto | |
| <i>Melanochromis auratus</i> | 0.43 | 0.40 | | Alto | Alto | |

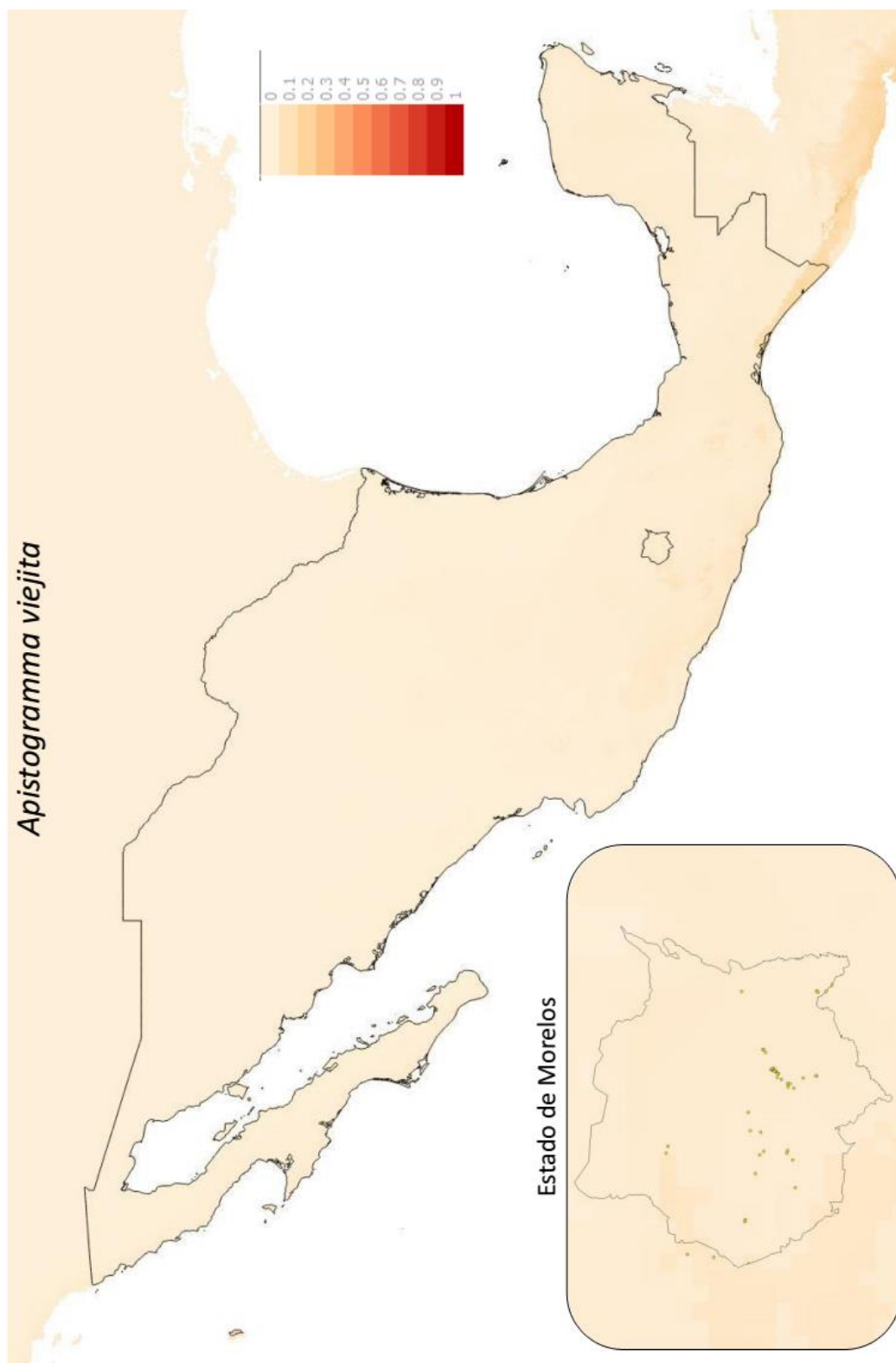
| | | | | | | |
|----------------------------------|------|------|----|----------|----------|------|
| <i>Melanotaenia boesemani</i> | 0.27 | 0.26 | | Alto | Alto | |
| <i>Melanotaenia praecox</i> | 0.33 | 0.36 | | Alto | Alto | |
| <i>Myleus pacu</i> | 0.20 | 0.21 | | Medio | Medio | |
| <i>Nimbochromis livingstonii</i> | 0.21 | 0.20 | | Medio | Medio | |
| <i>Nimbochromis venustus</i> | 0.23 | 0.22 | | Medio | Medio | |
| <i>Oreochromis niloticus</i> | 0.80 | 0.78 | | Muy alto | Muy alto | |
| <i>Pangasius hyphophthalmus</i> | 0.75 | 0.74 | 31 | Muy alto | Muy alto | Alto |
| <i>Parachromis managuensis</i> | 0.66 | 0.67 | 30 | Muy alto | Muy alto | Alto |
| <i>Pethia conchonius</i> | 0.55 | 0.63 | | Muy alto | Muy alto | |
| <i>Poecilia reticulata</i> | 0.58 | 0.63 | 25 | Muy alto | Muy alto | Alto |
| <i>Poecilia sphenops</i> | 0.53 | 0.51 | 26 | Muy alto | Muy alto | Alto |
| <i>Pseudotropheus johannii</i> | 0.40 | 0.35 | | Alto | Alto | |
| <i>Pseudotropheus socolofi</i> | 0.19 | 0.22 | | Medio | Medio | |
| <i>Pterophyllum scalare</i> | 0.30 | 0.30 | | Alto | Alto | |
| <i>Pterygoplichthys sp</i> | 0.67 | 0.60 | 34 | Muy alto | Muy alto | Alto |
| <i>Puntigrus tetrazona</i> | 0.36 | 0.39 | | Alto | Alto | |
| <i>Sciaenochromis fryeri</i> | 0.19 | 0.15 | | Medio | Medio | |
| <i>Trichogaster lalius</i> | 0.29 | 0.43 | | Alto | Alto | |
| <i>Trichogaster leerii</i> | 0.49 | 0.55 | | Alto | Muy alto | |
| <i>Trichogaster microlepis</i> | 0.49 | 0.55 | | Alto | Muy alto | |
| <i>Trichogaster trichopterus</i> | 0.68 | 0.61 | 27 | Muy alto | Muy alto | Alto |
| <i>Xiphophorus helleri</i> | 0.65 | 0.66 | 33 | Muy alto | Muy alto | Alto |
| <i>Xiphophorus maculatus</i> | 0.68 | 0.71 | 26 | Muy alto | Muy alto | Alto |
| <i>Xiphophorus variatus</i> | 0.57 | 0.59 | 32 | Muy alto | Muy alto | Alto |

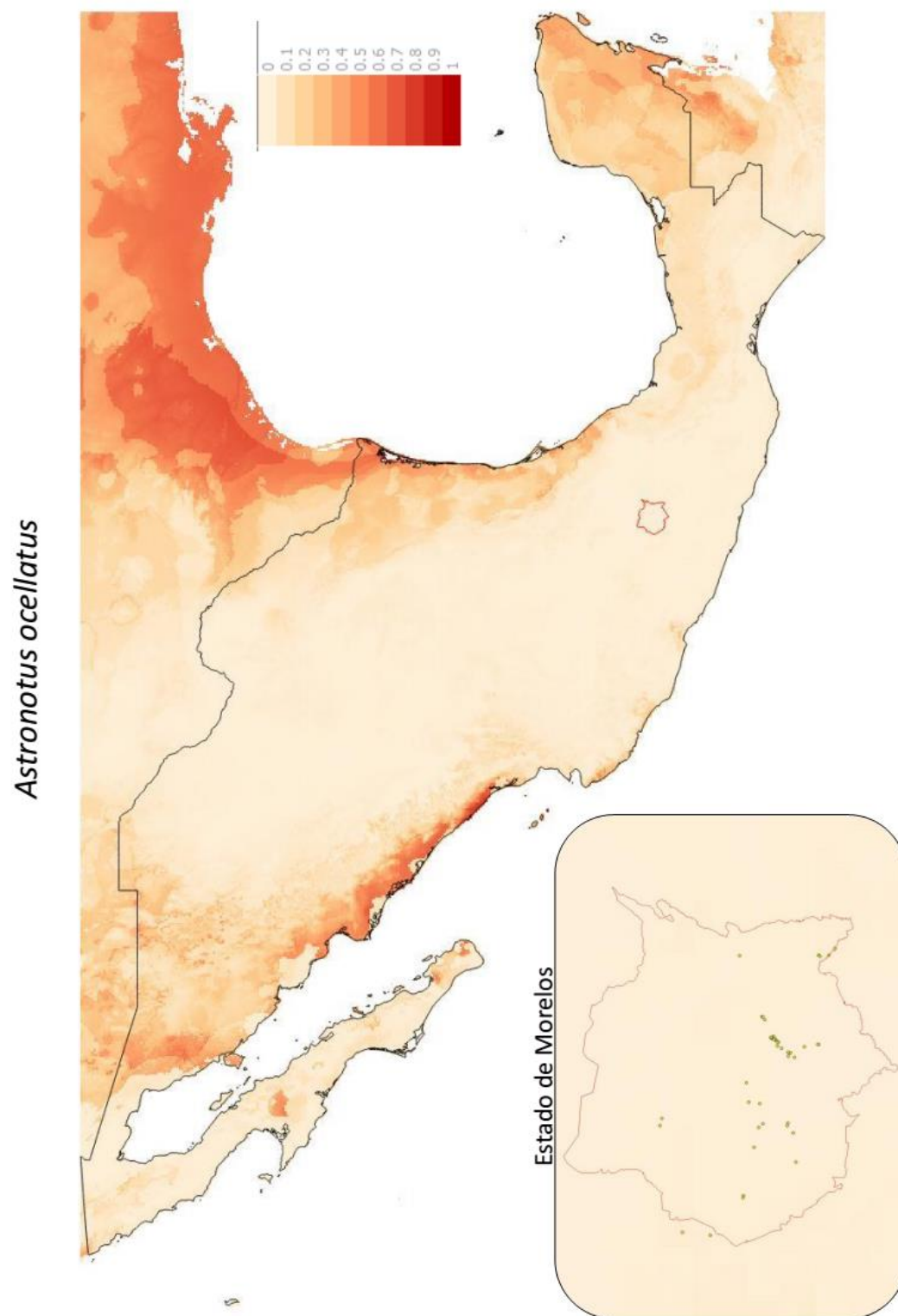
ANEXO B

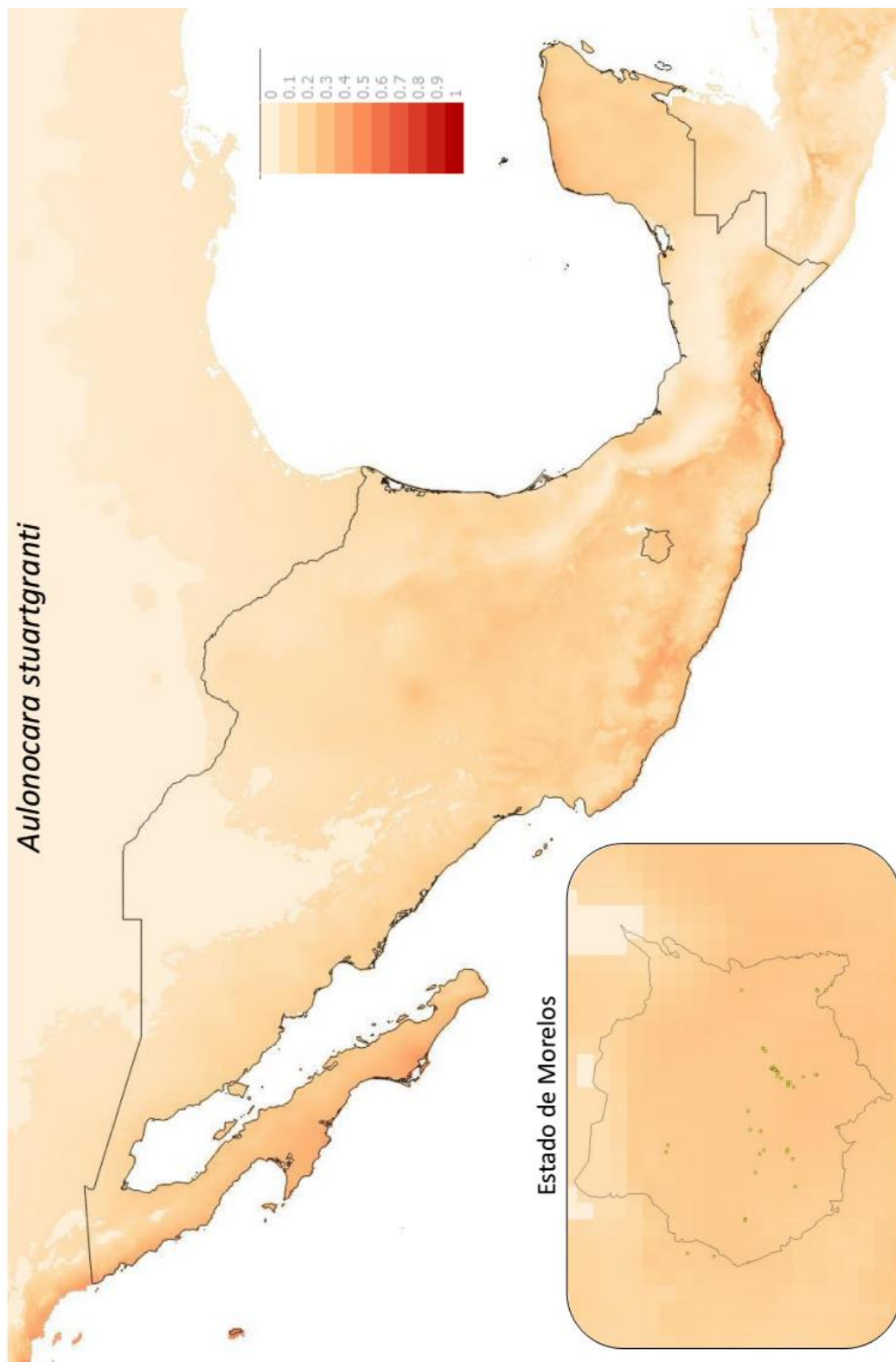


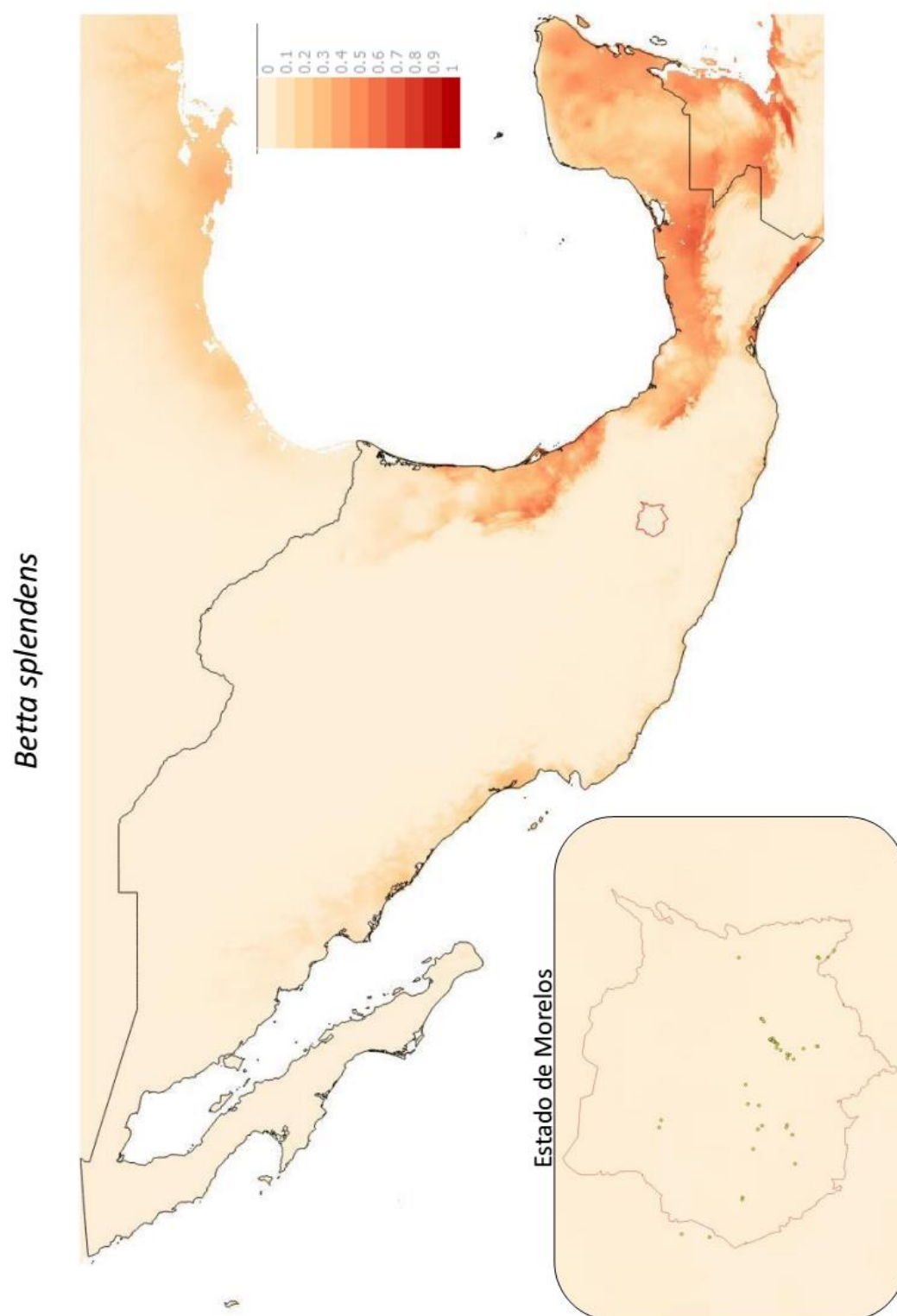


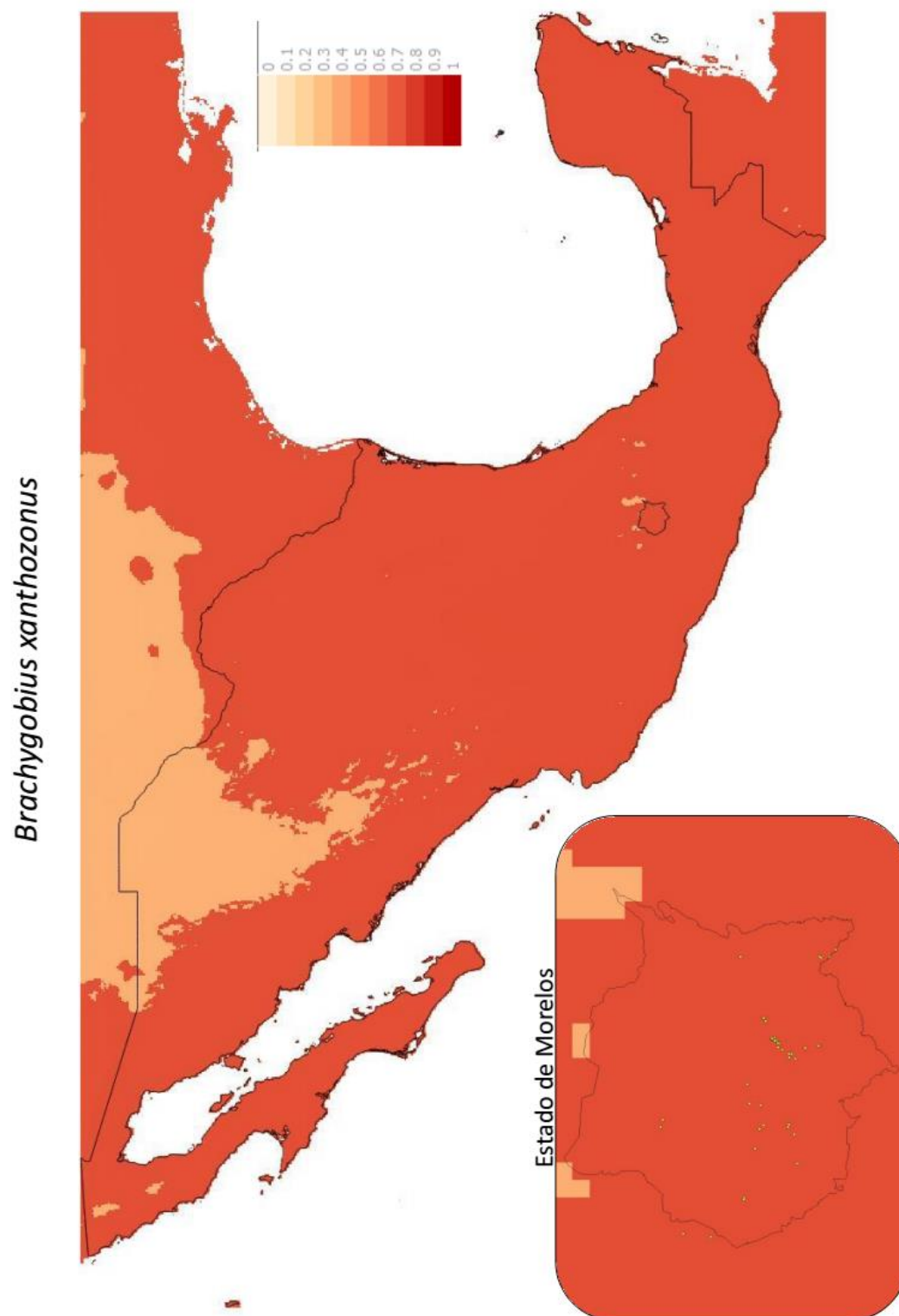


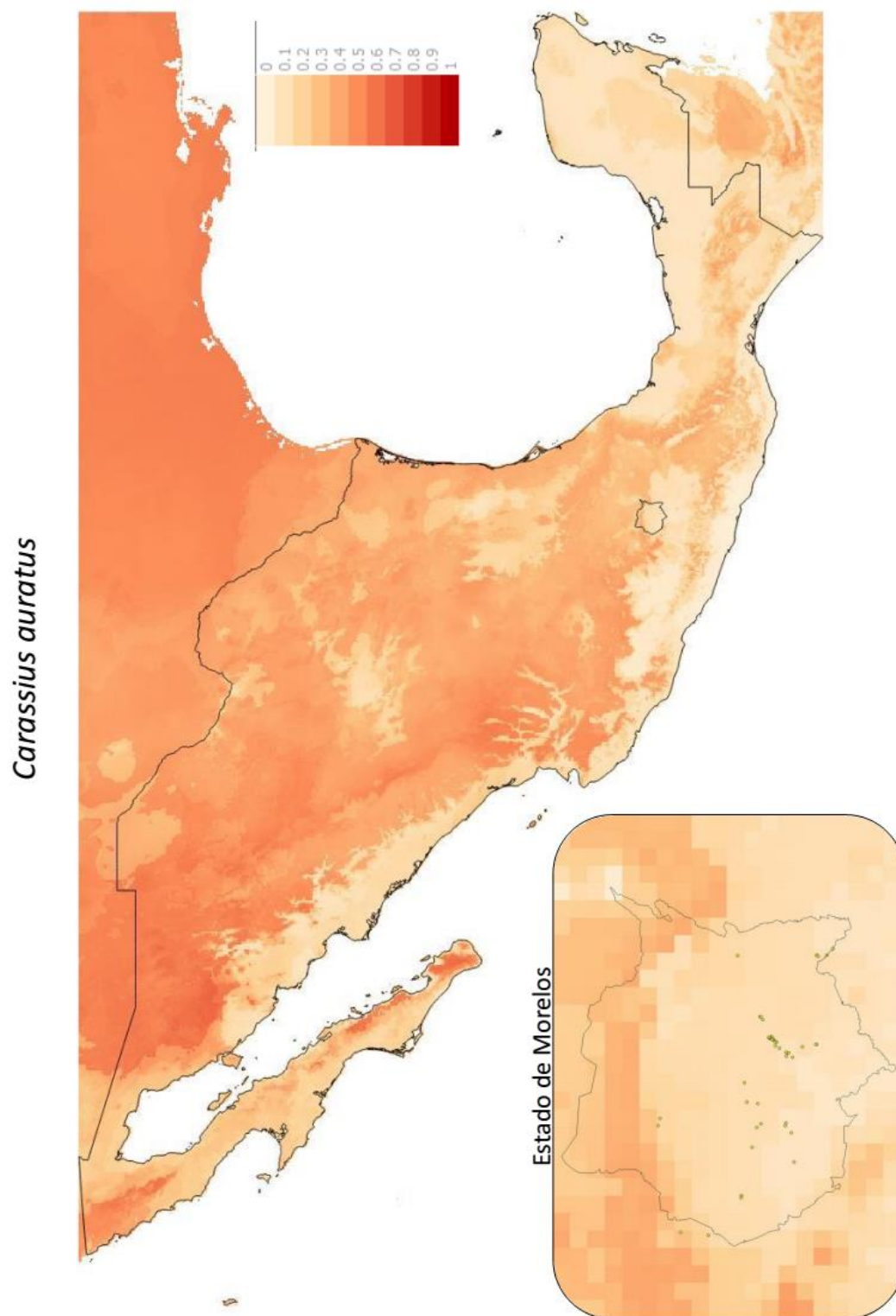


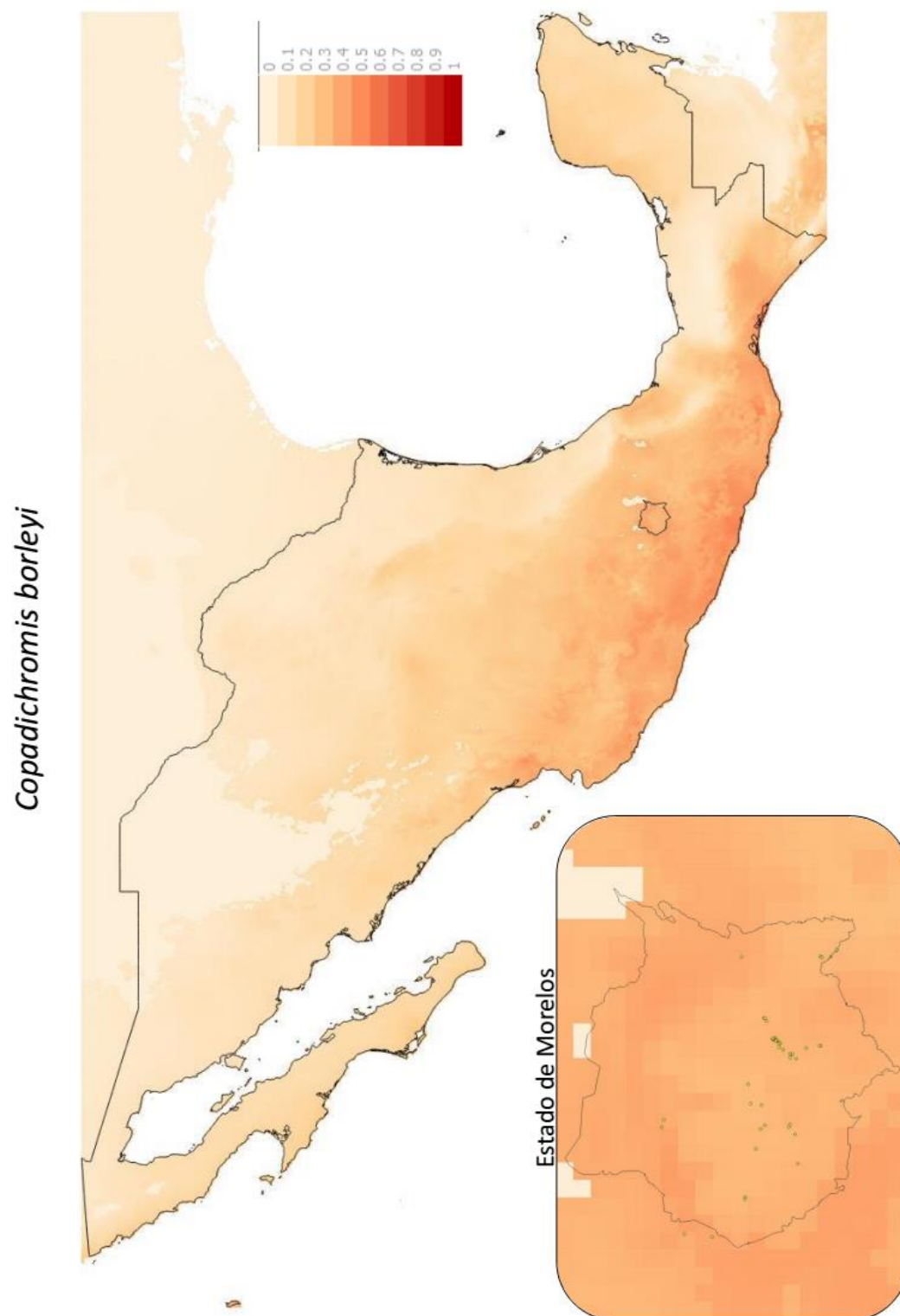


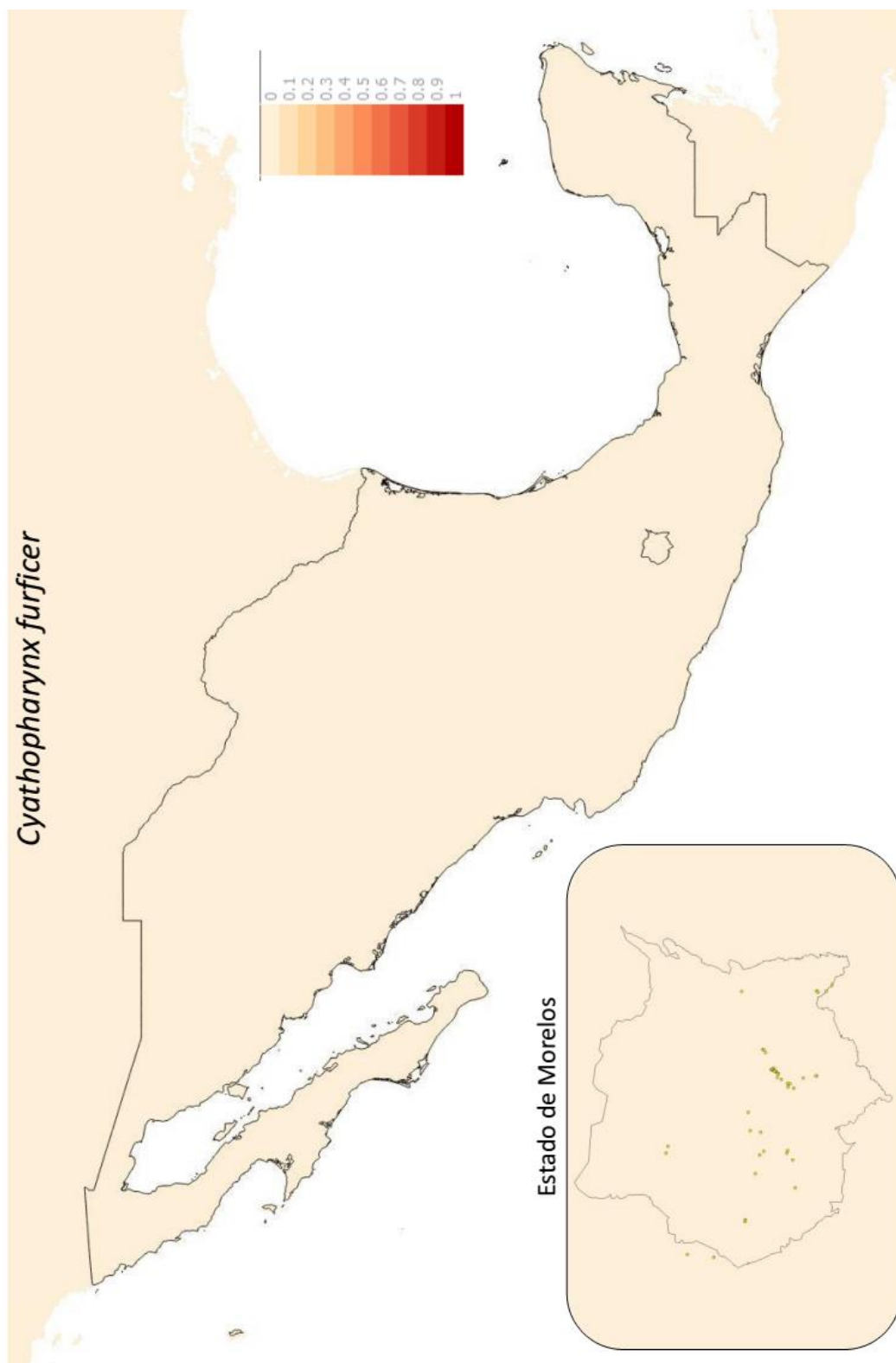


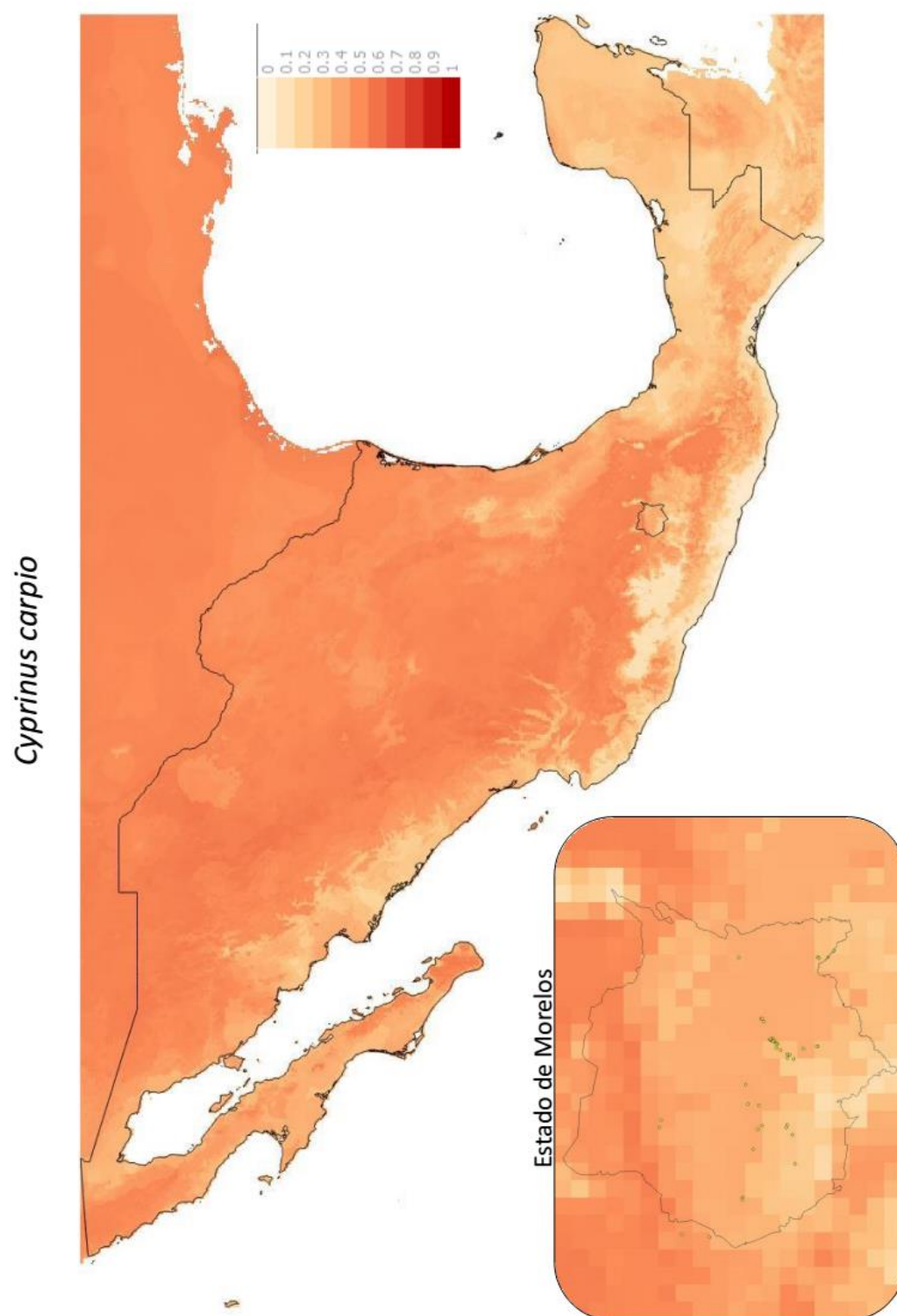


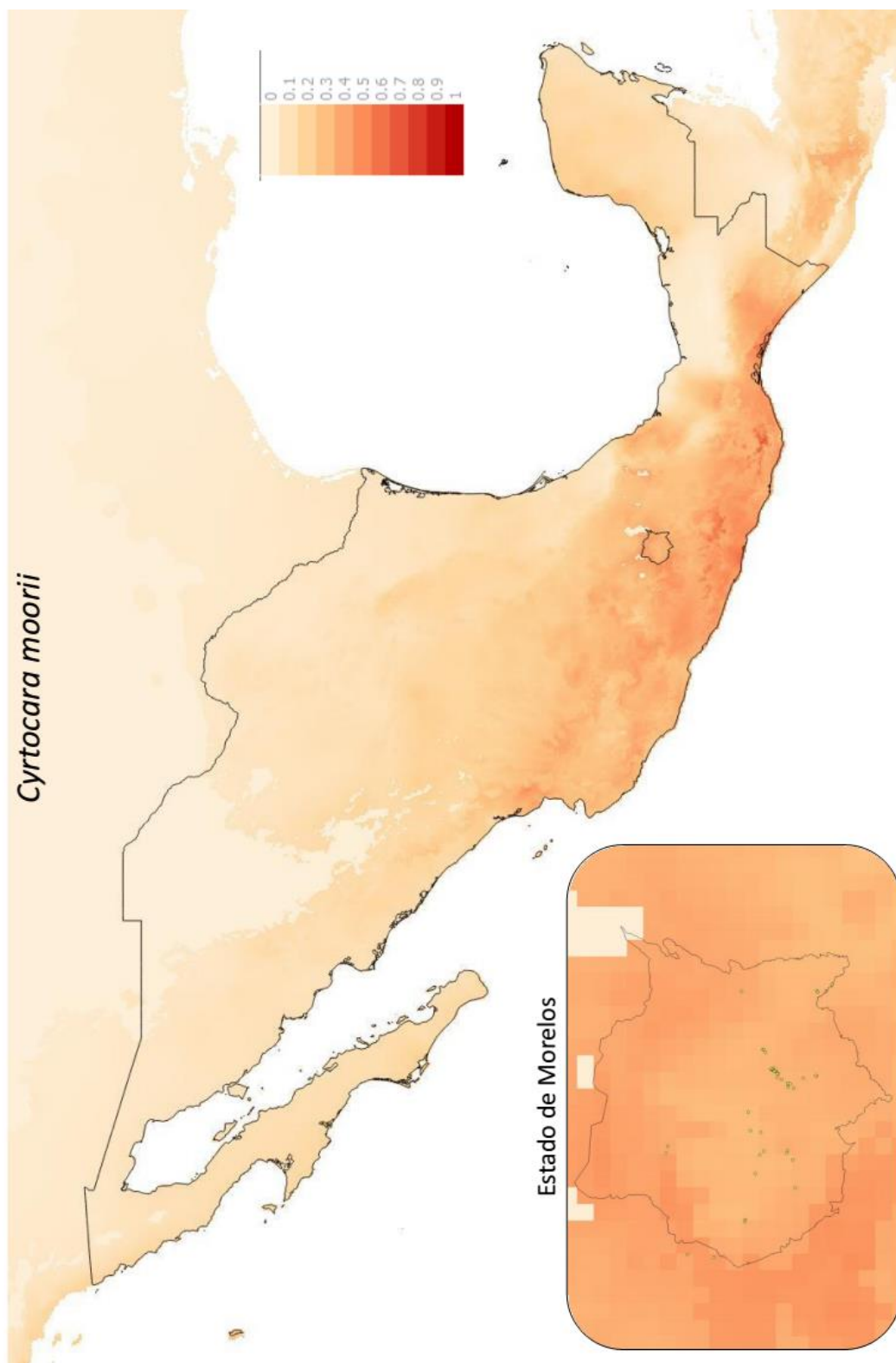


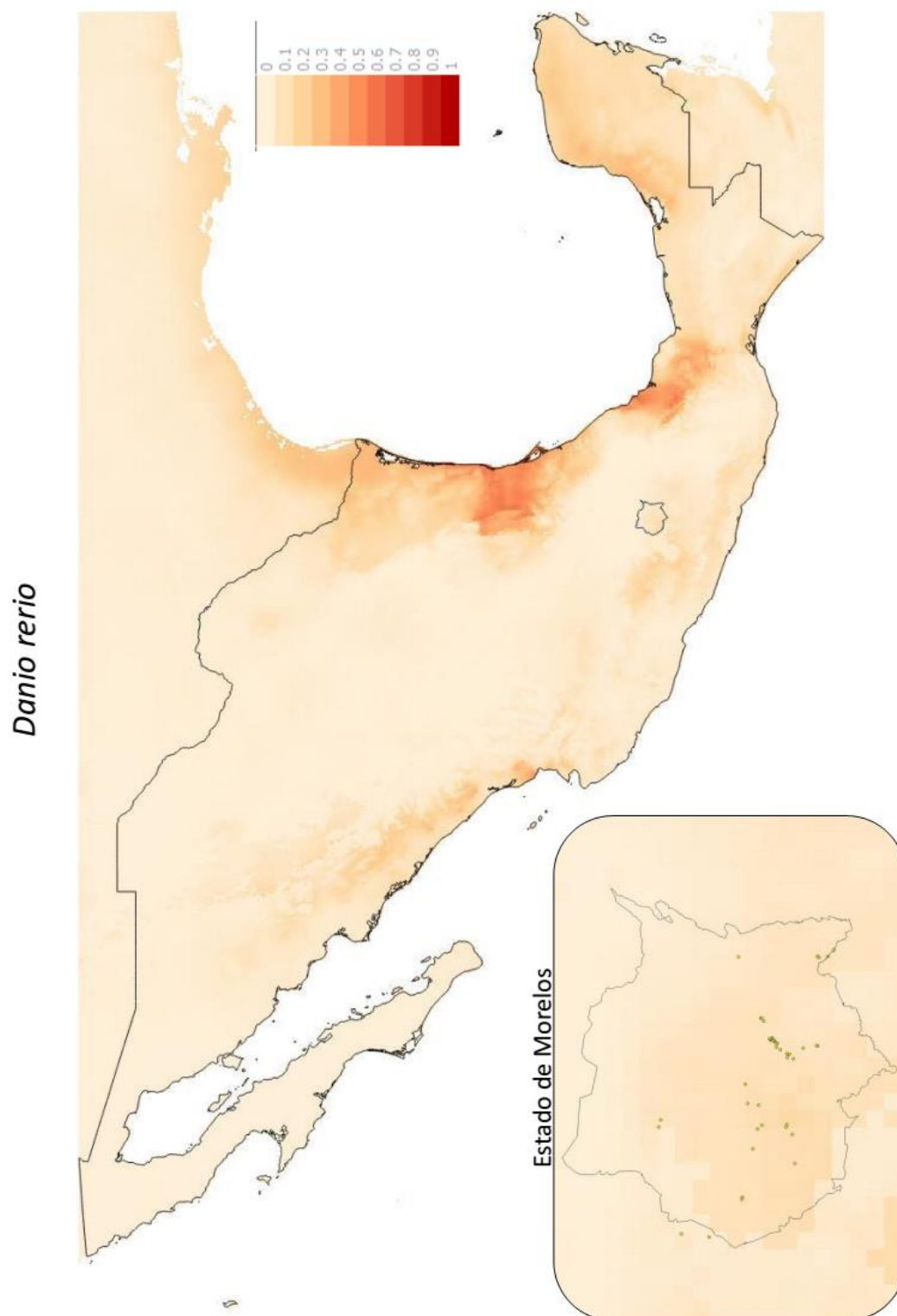


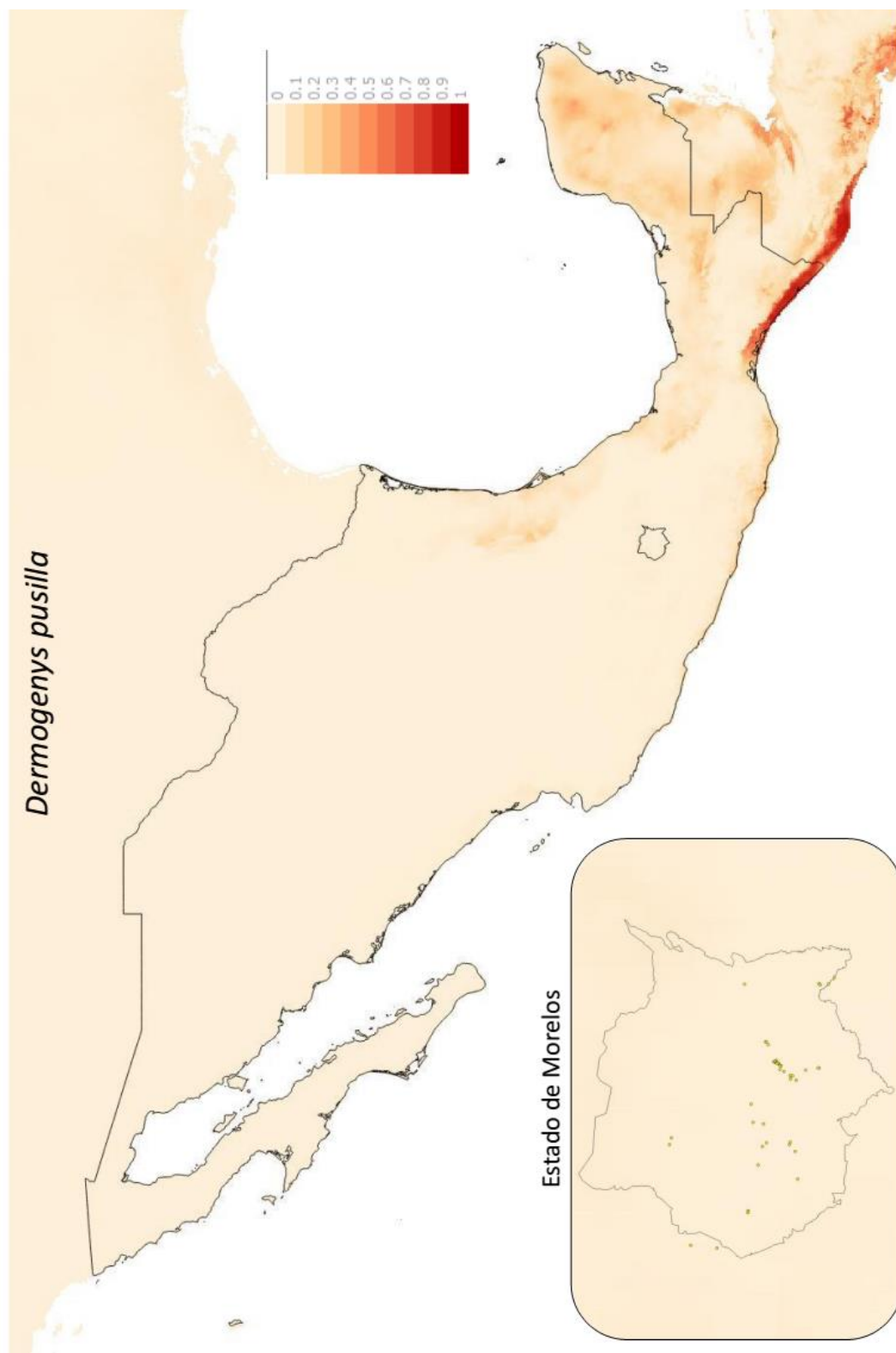


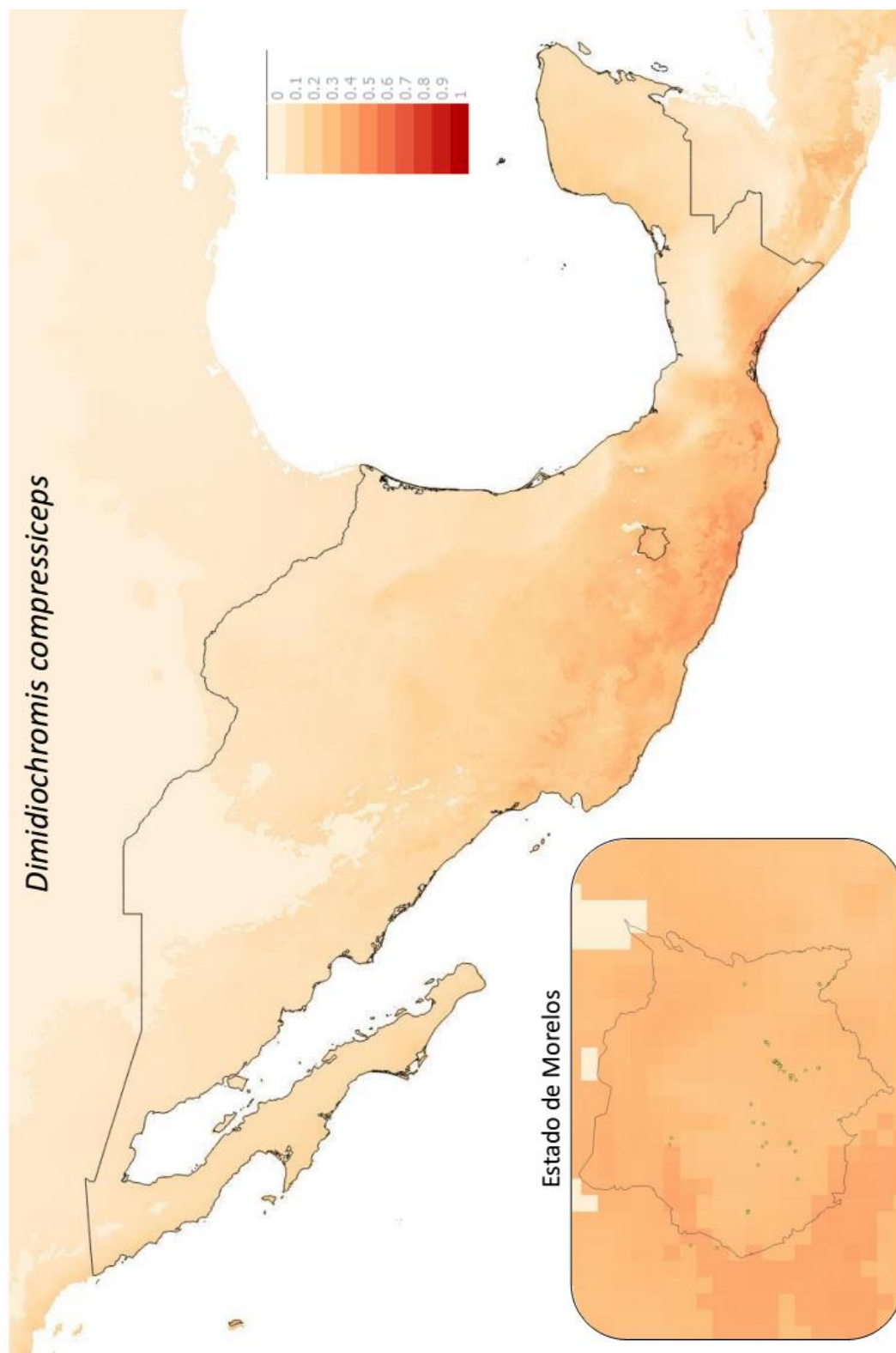


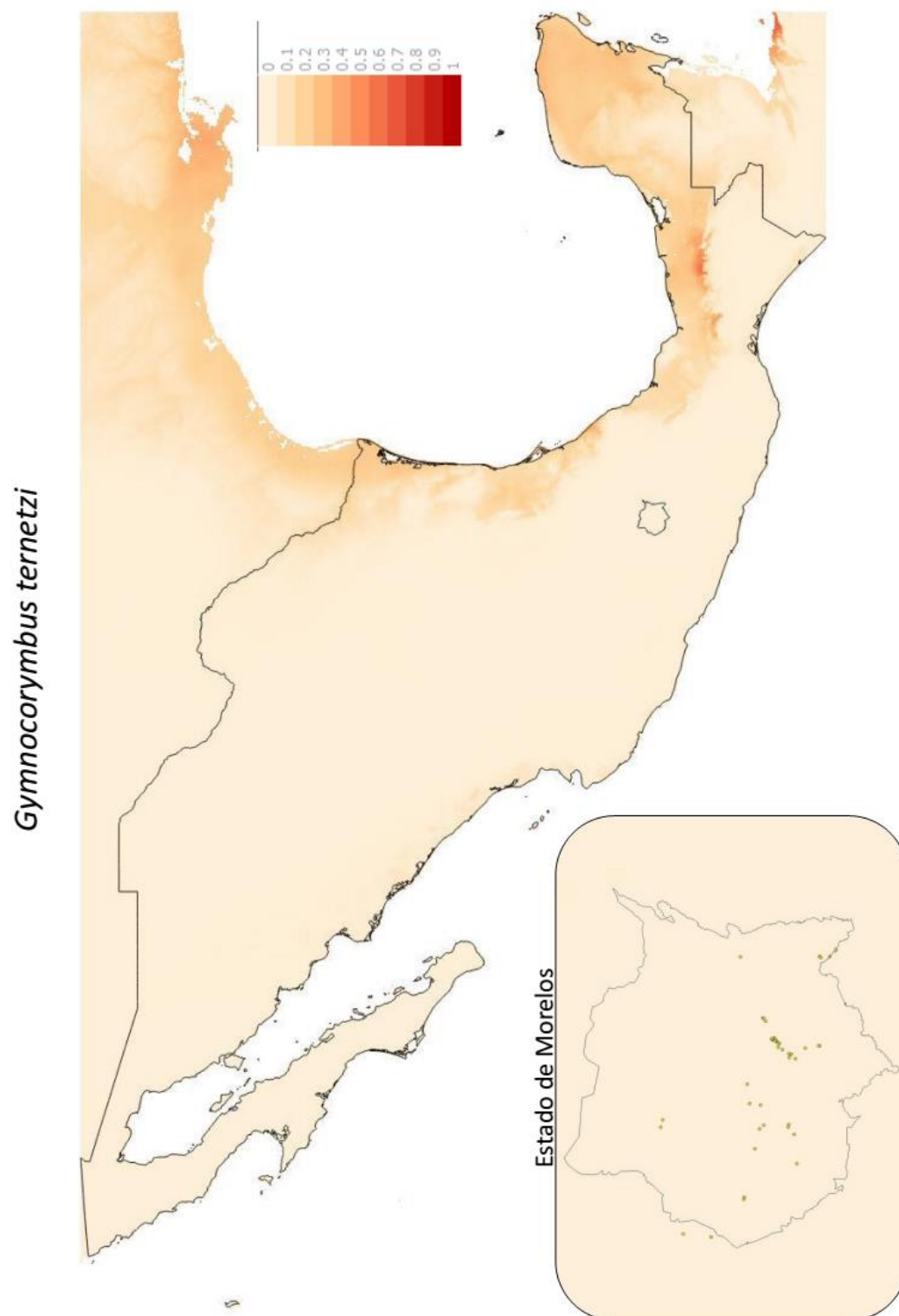


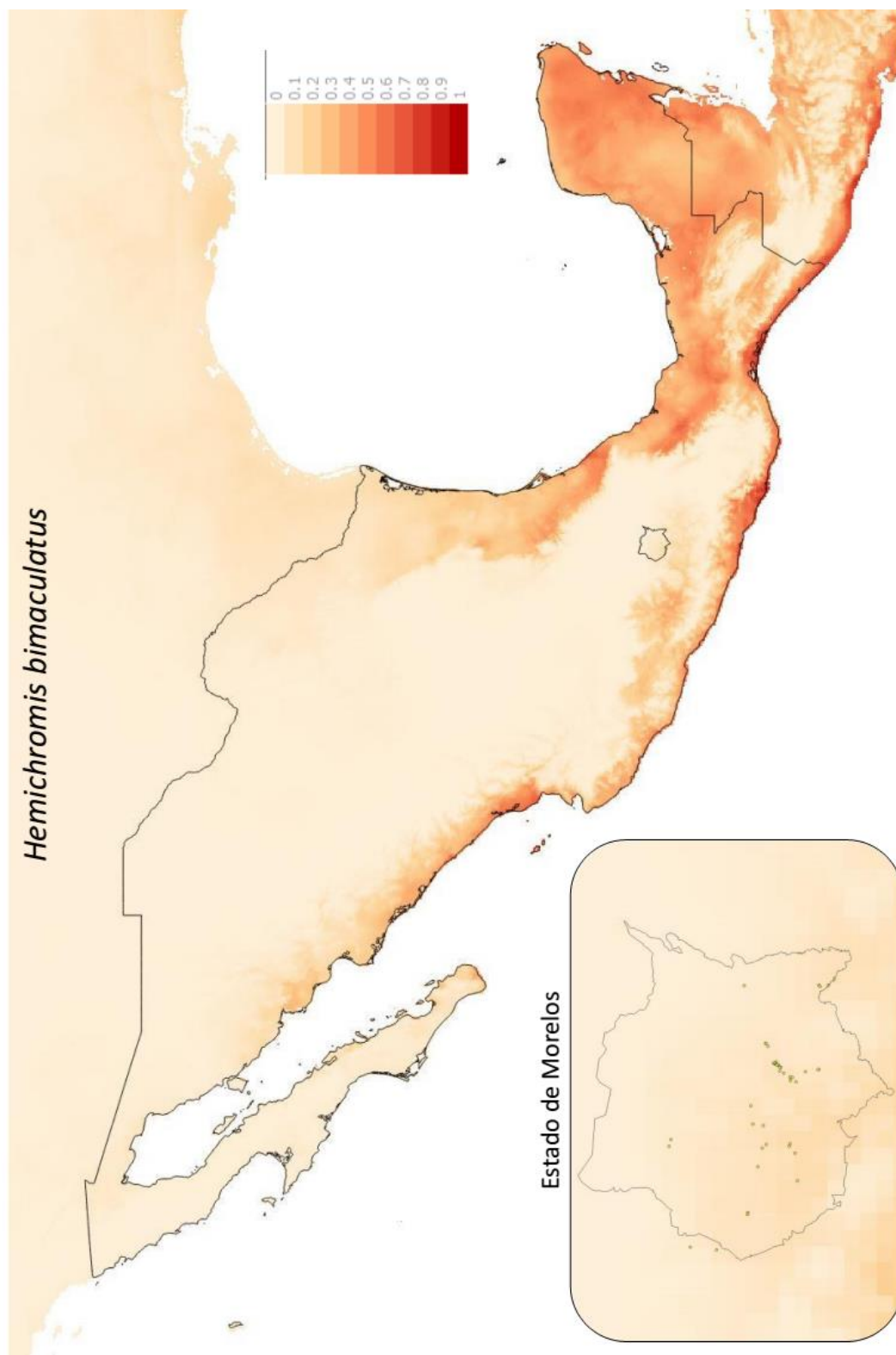


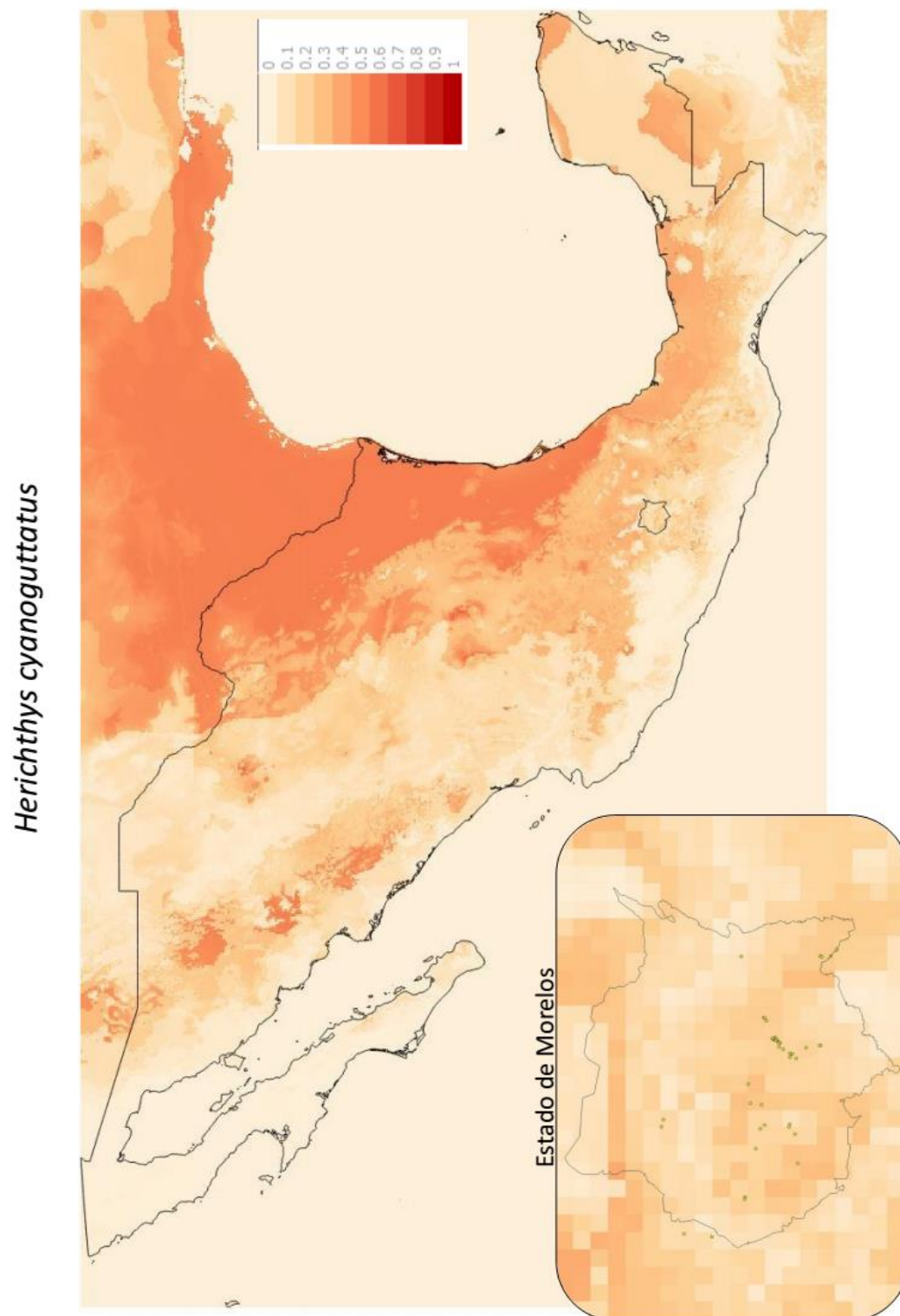


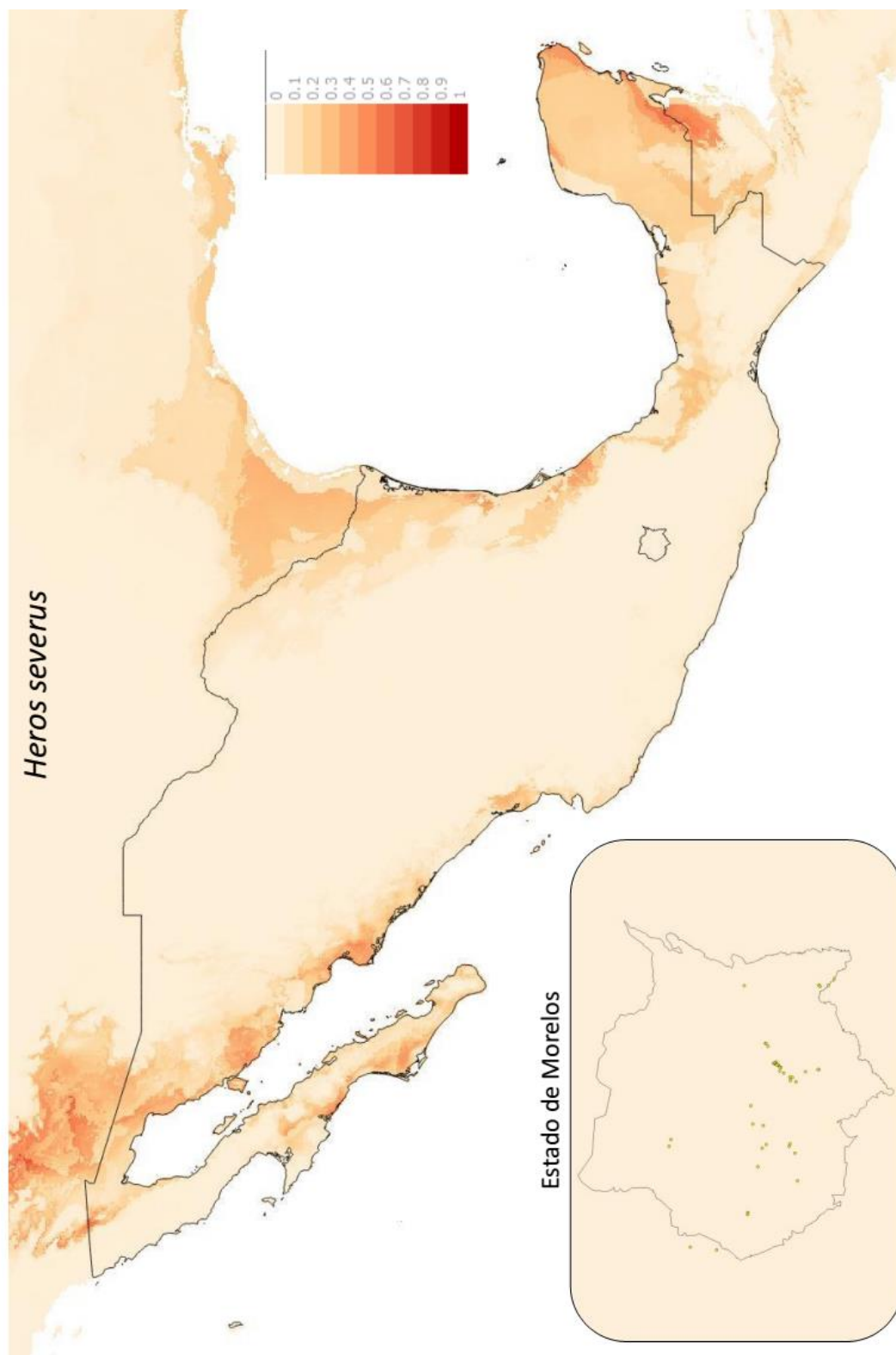


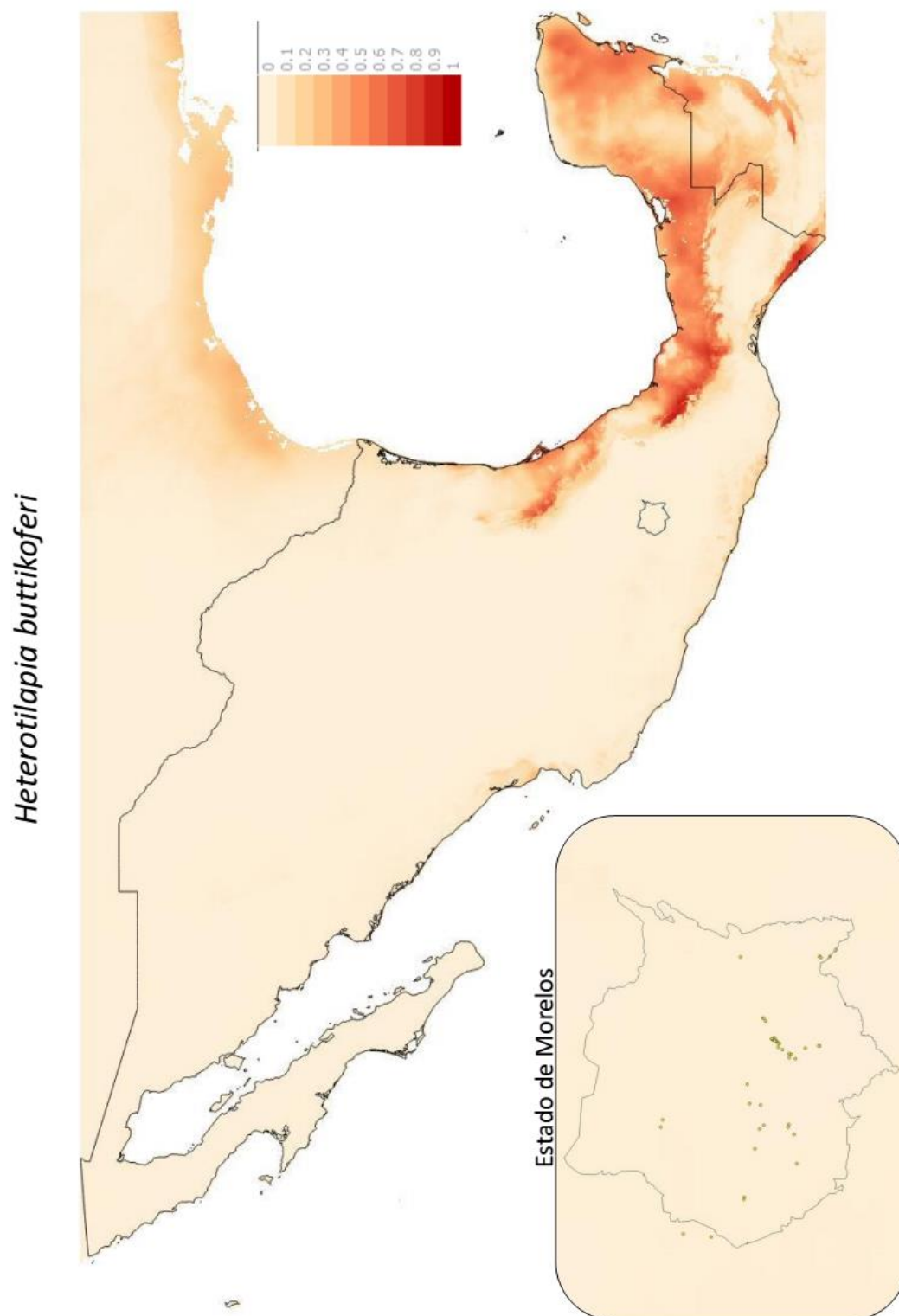


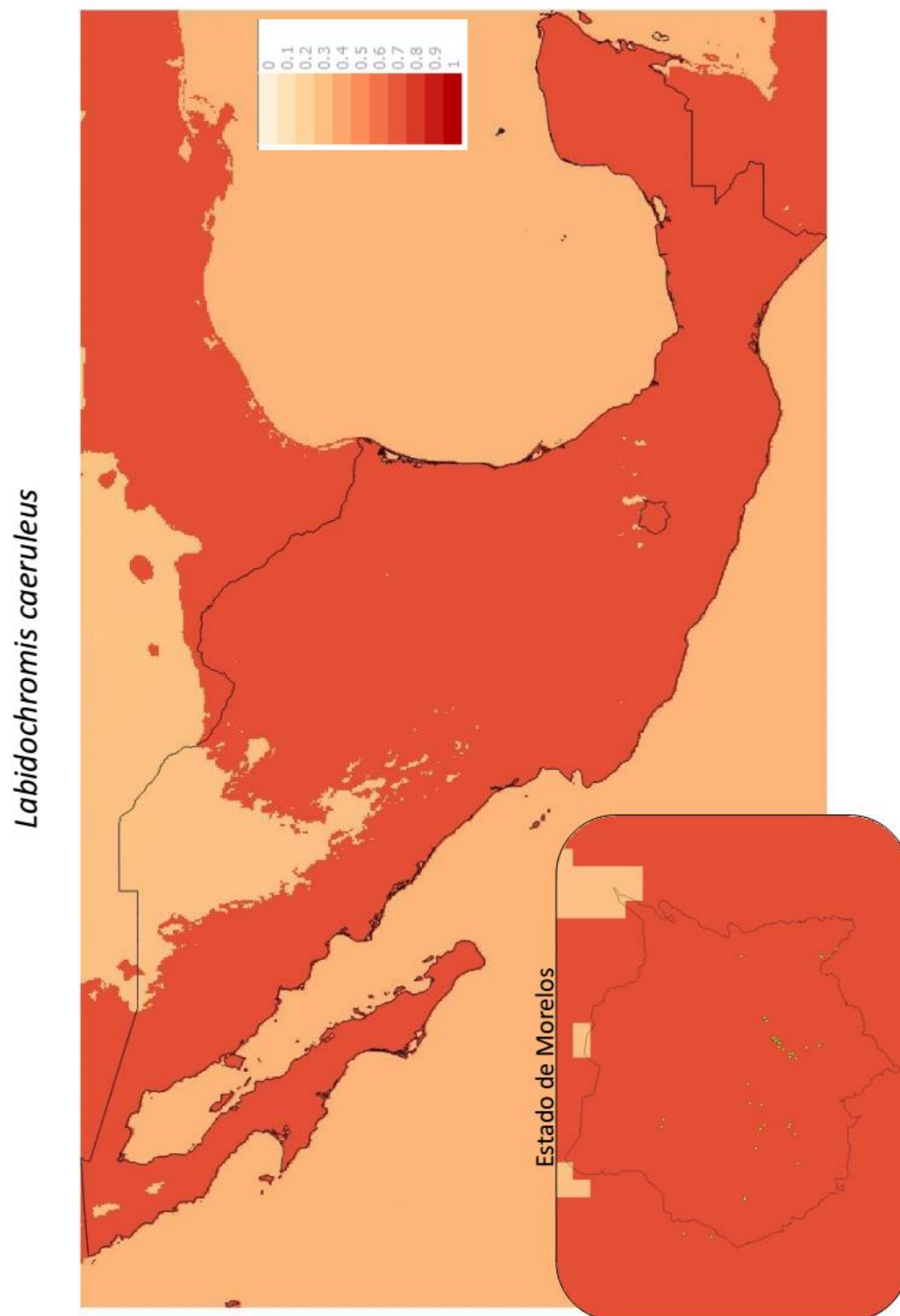


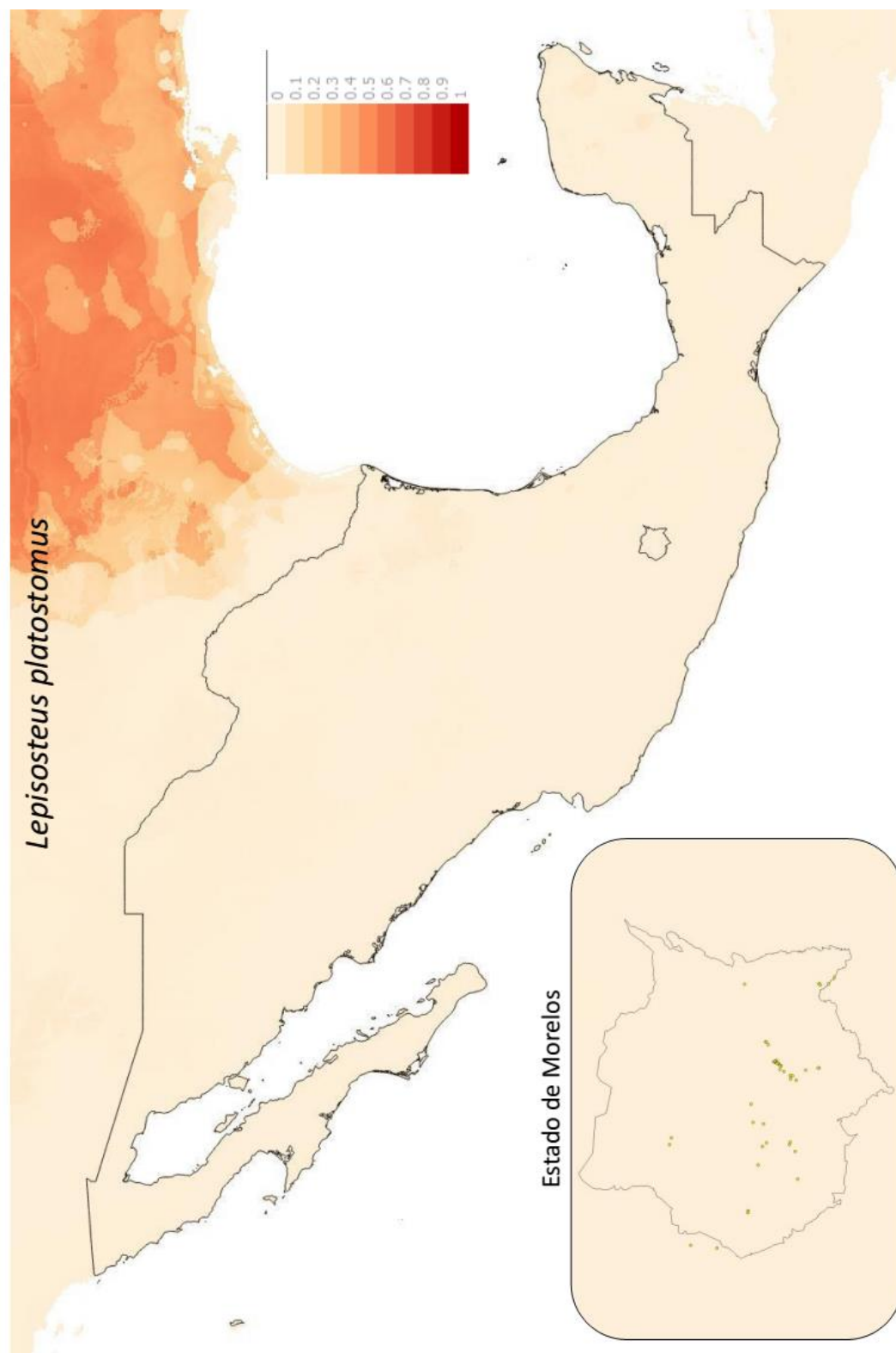


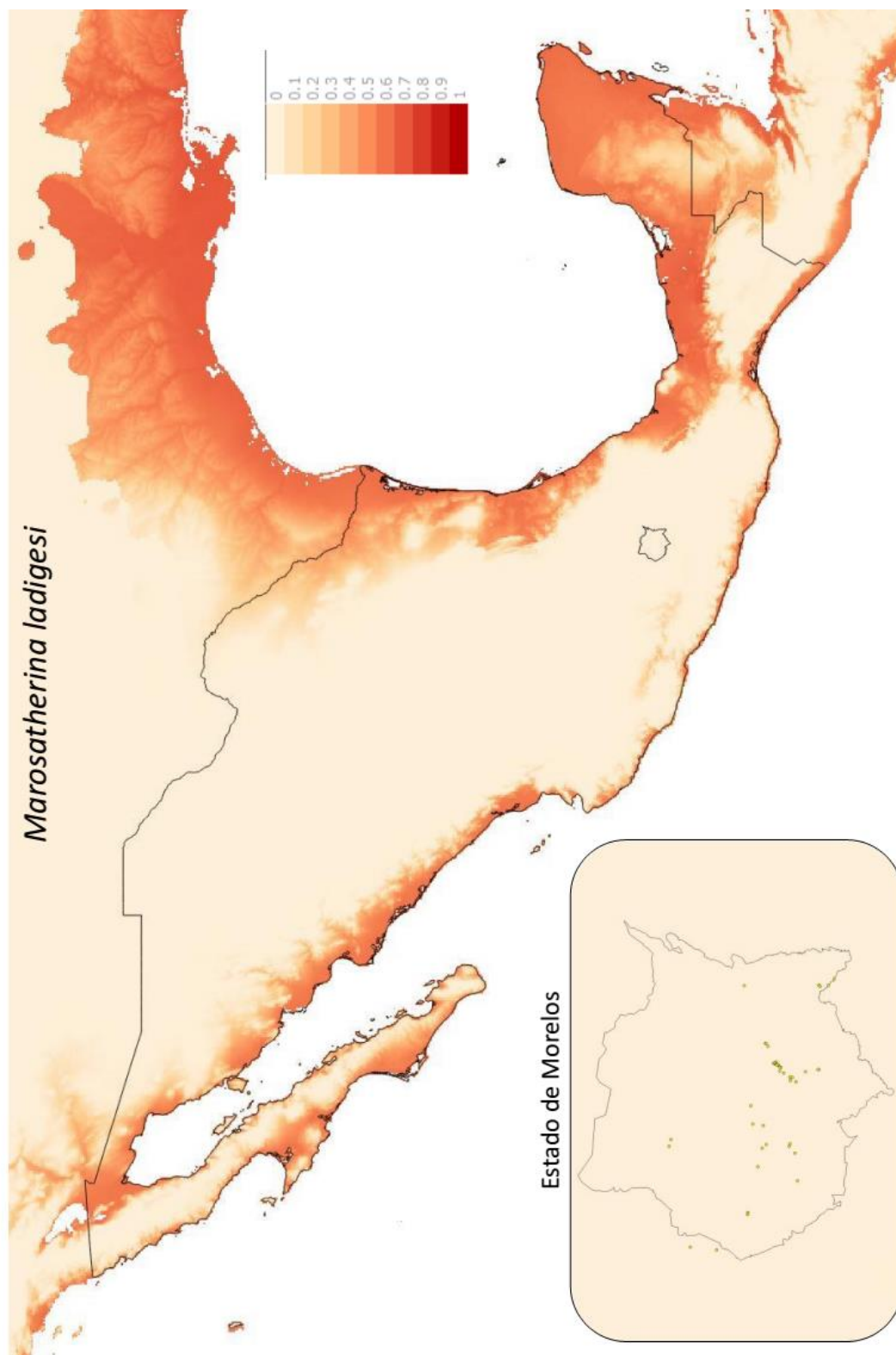


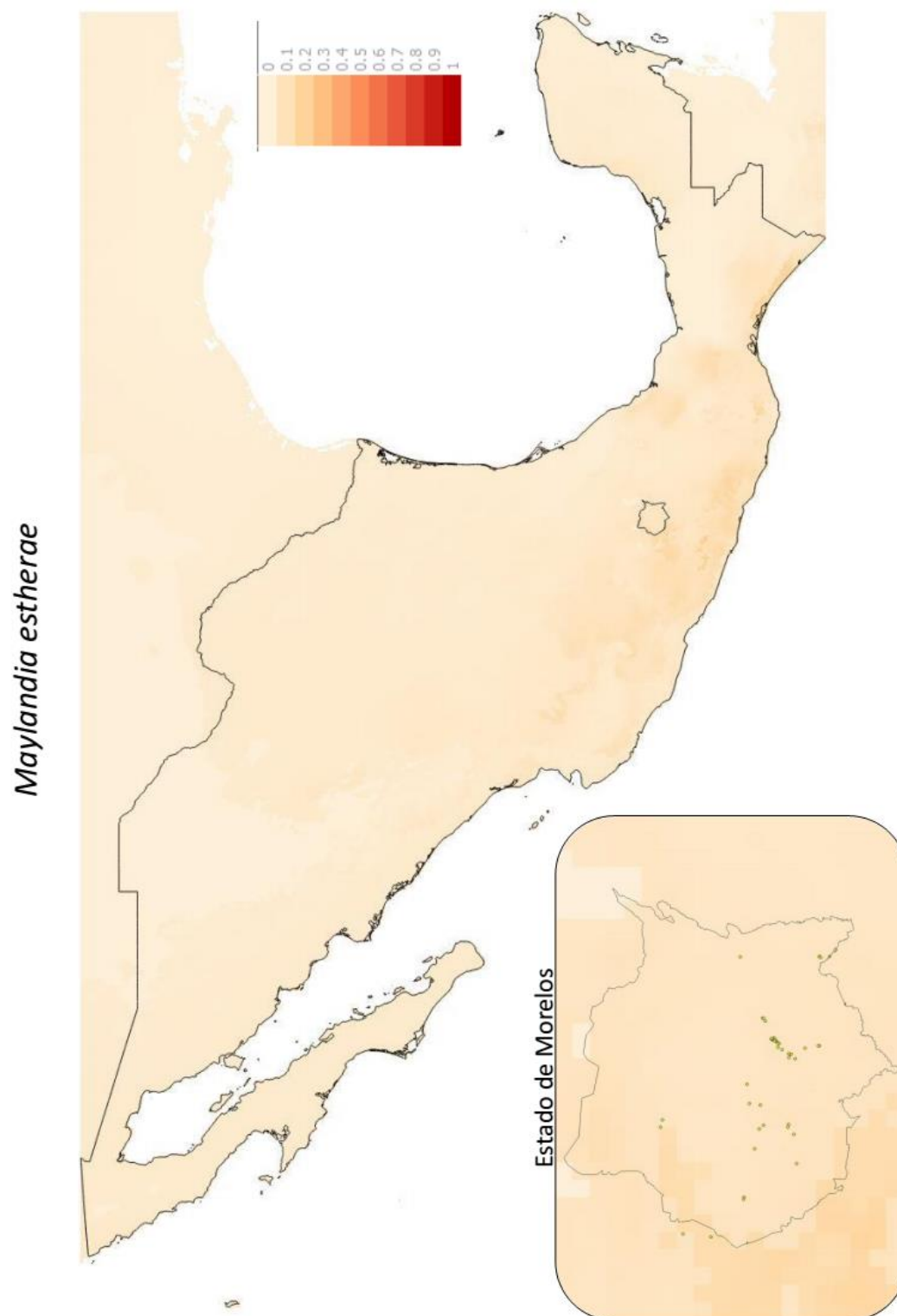


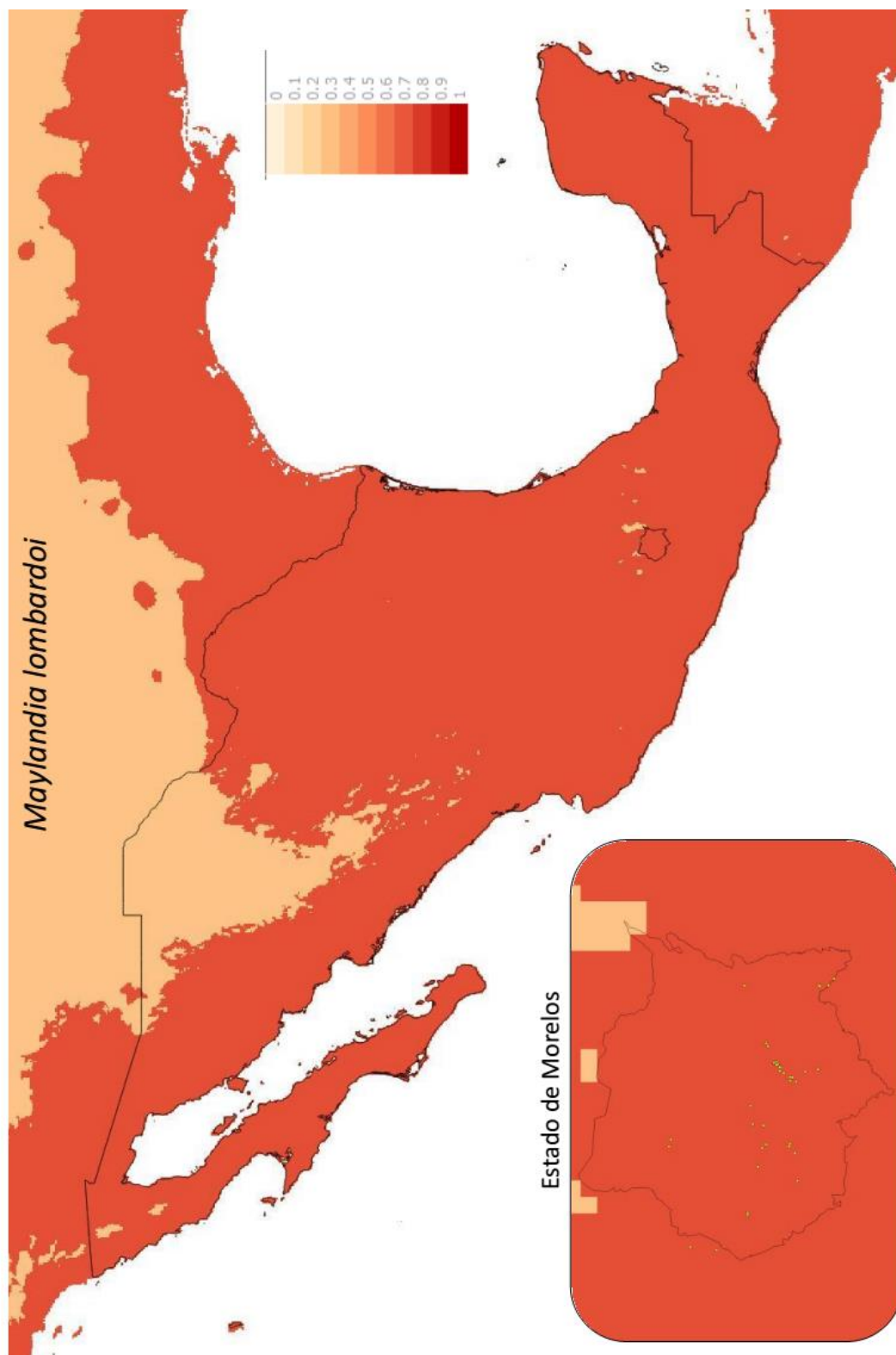


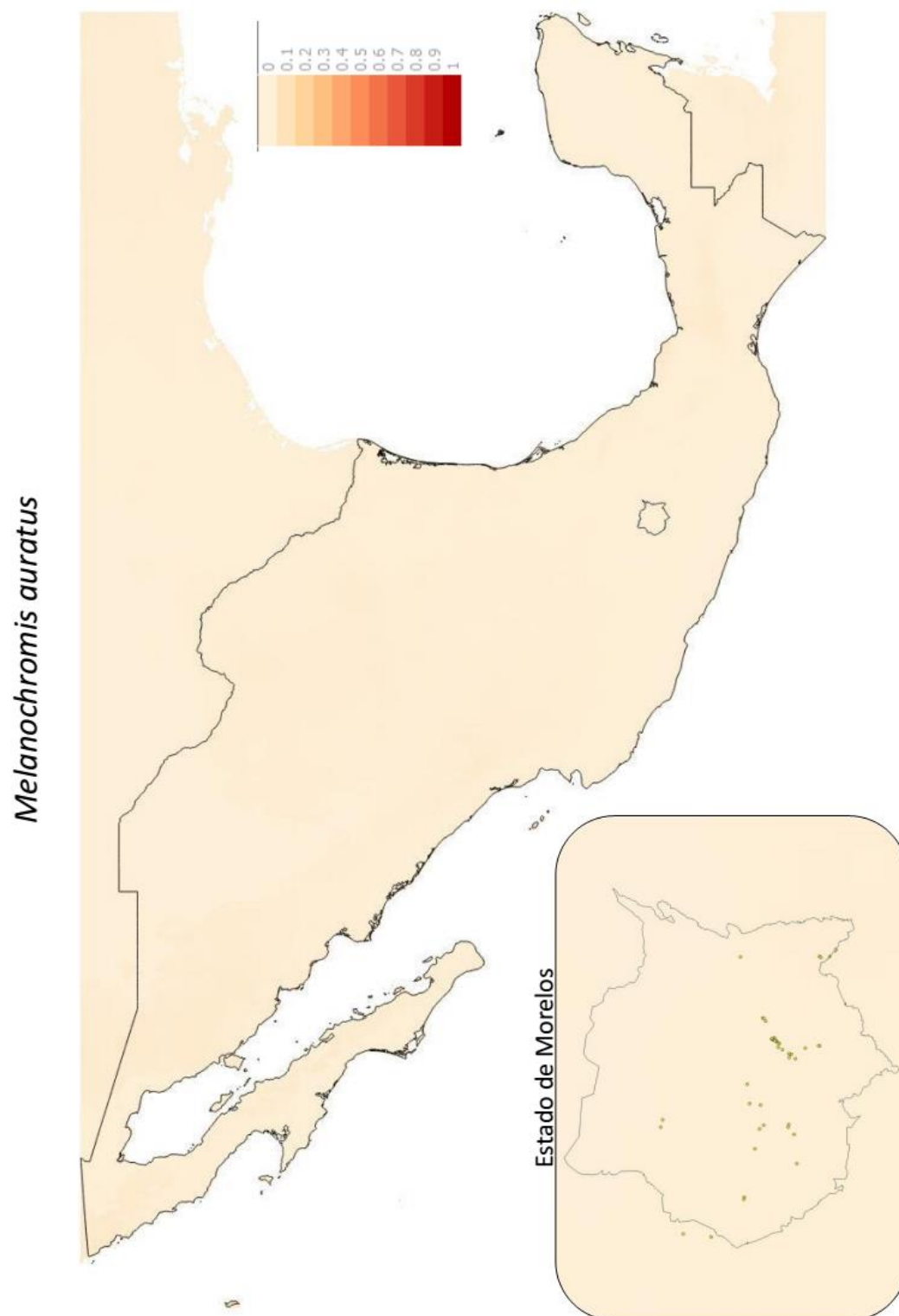


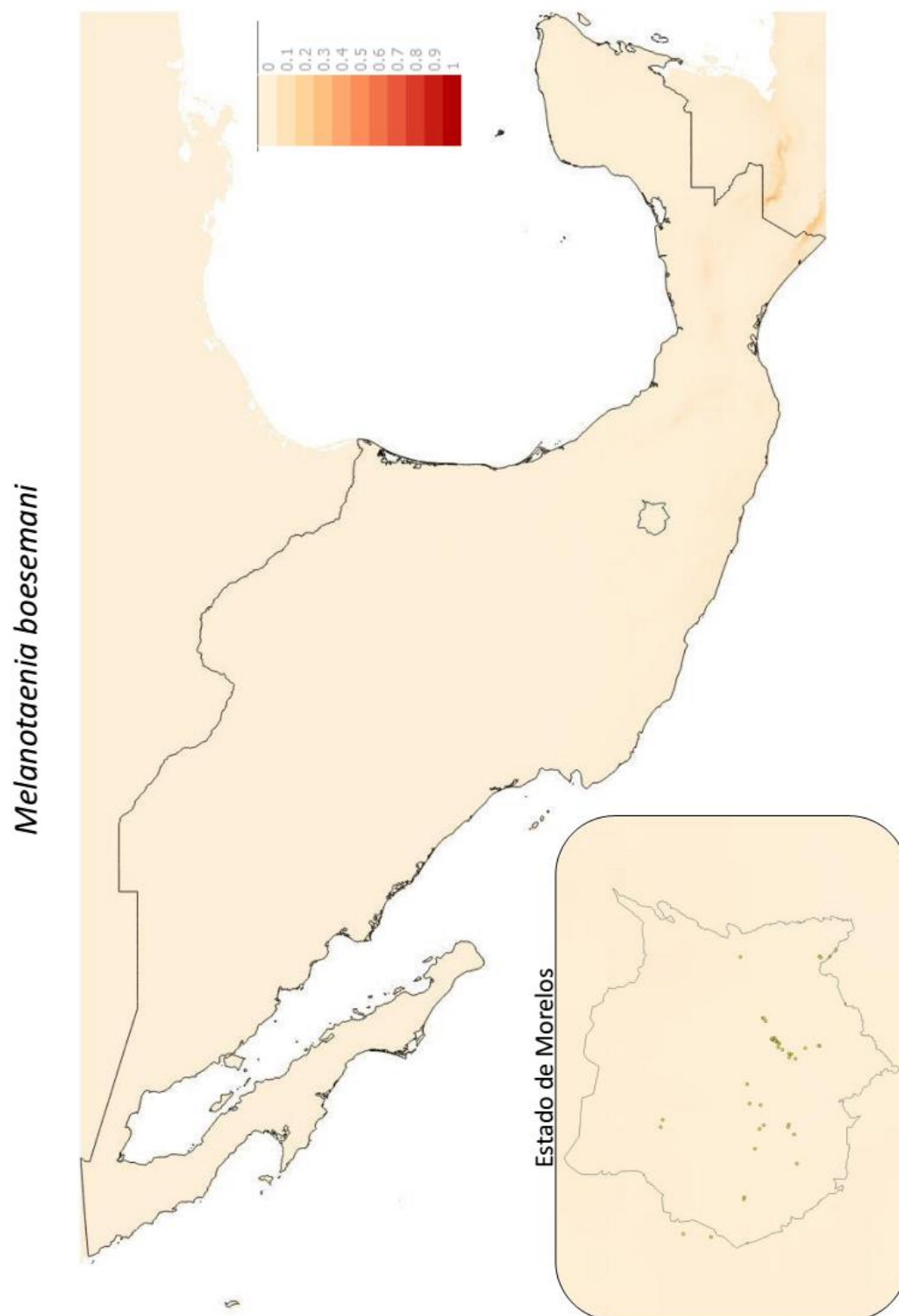


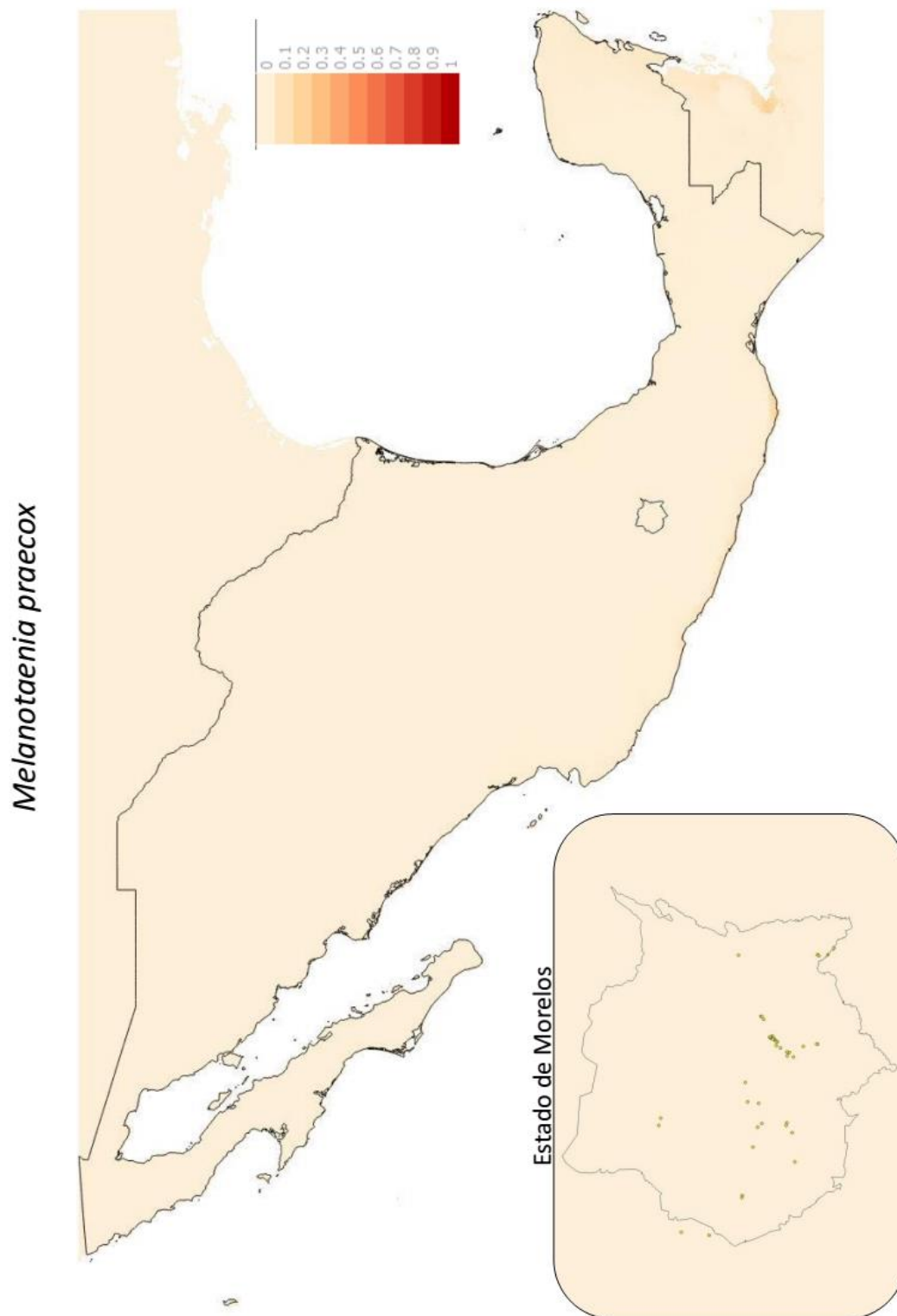


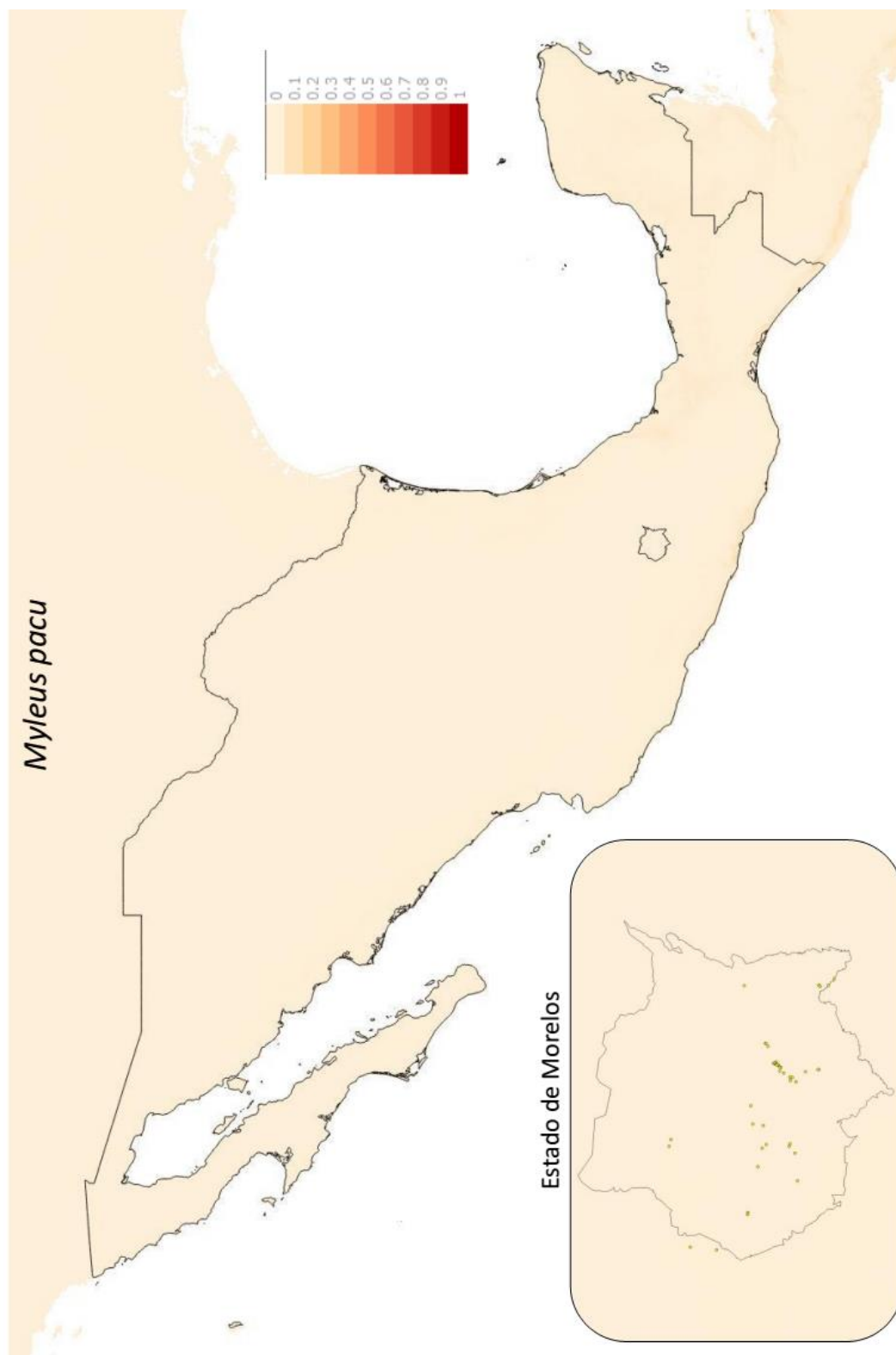


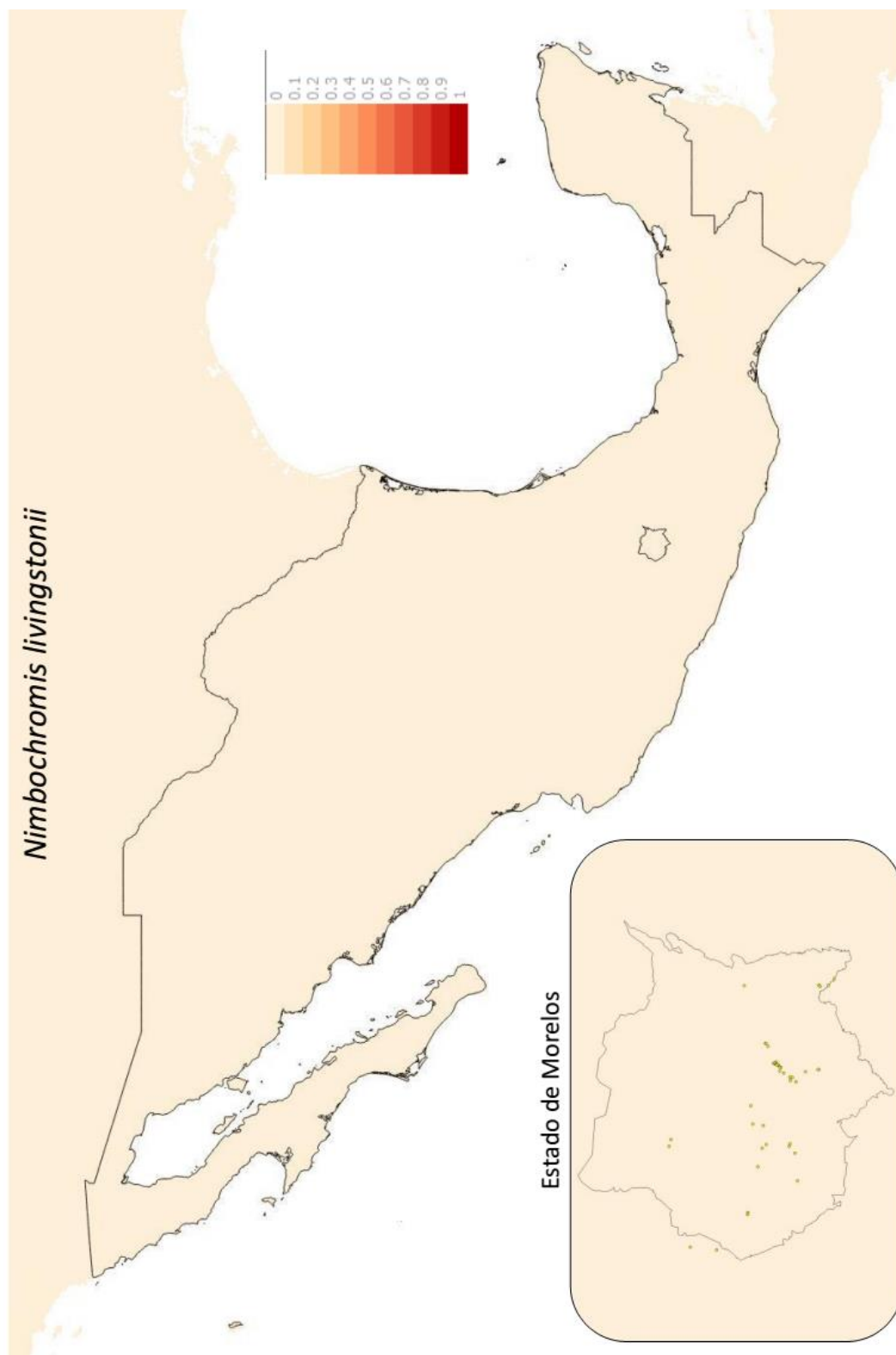


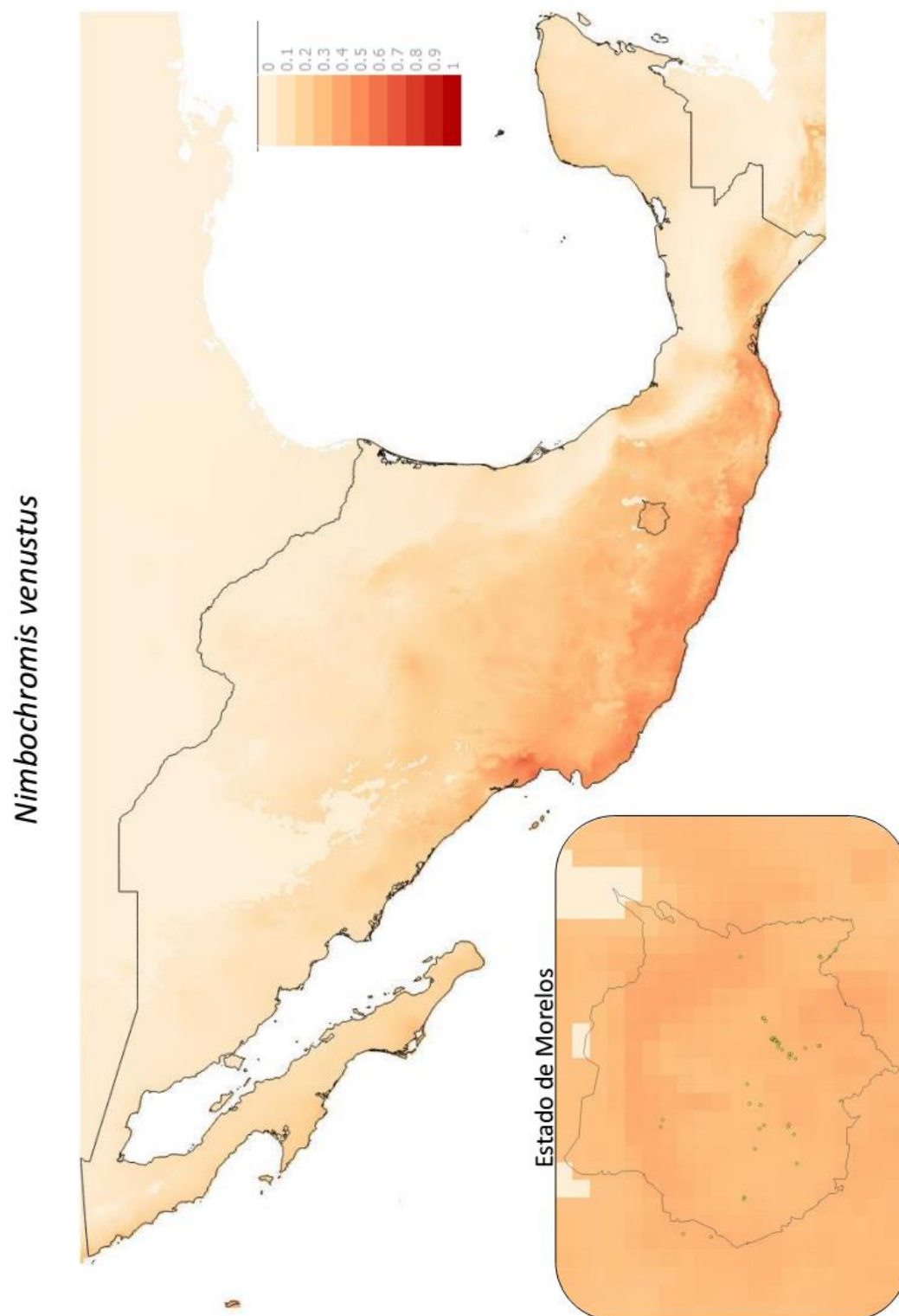


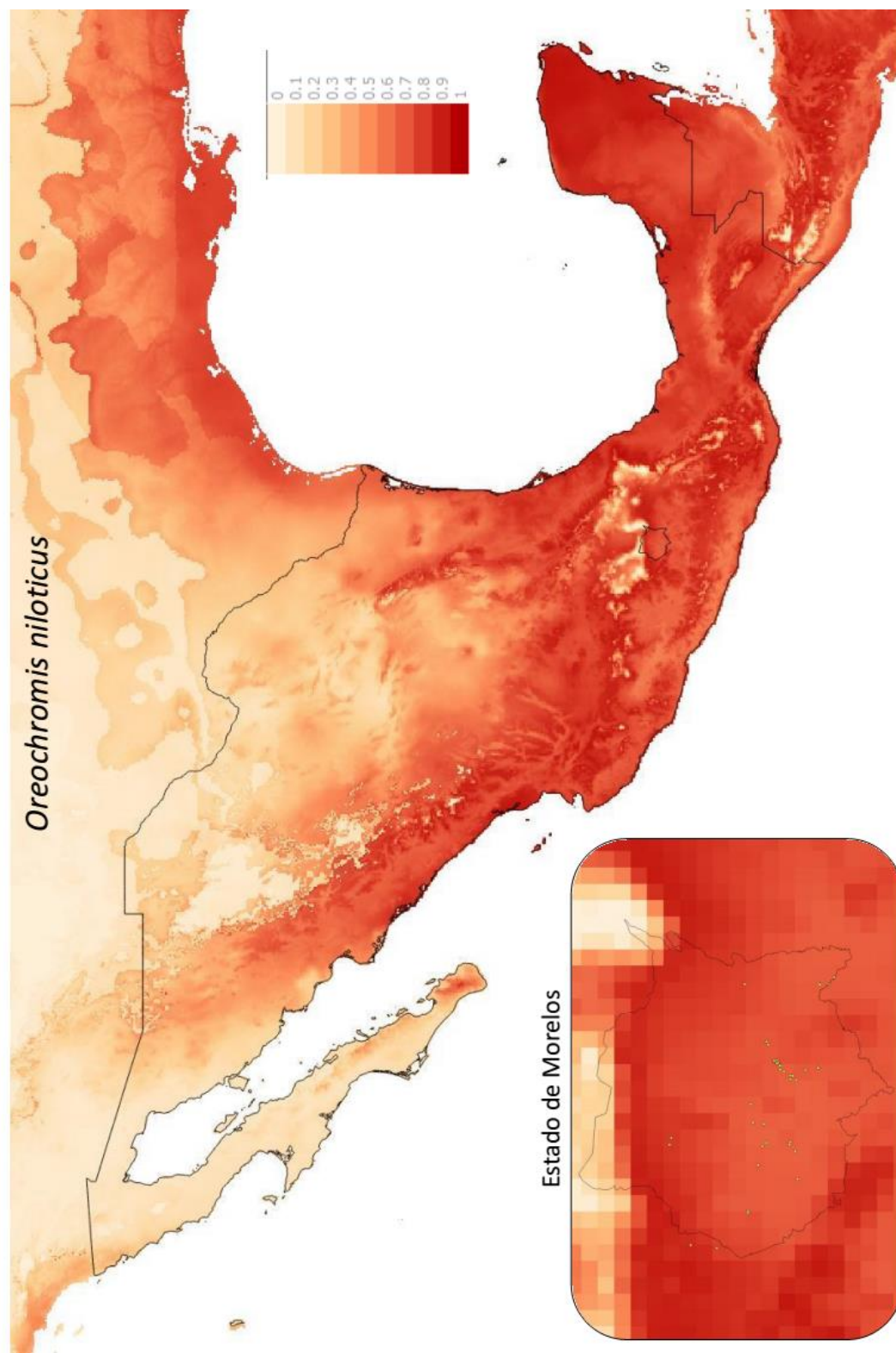


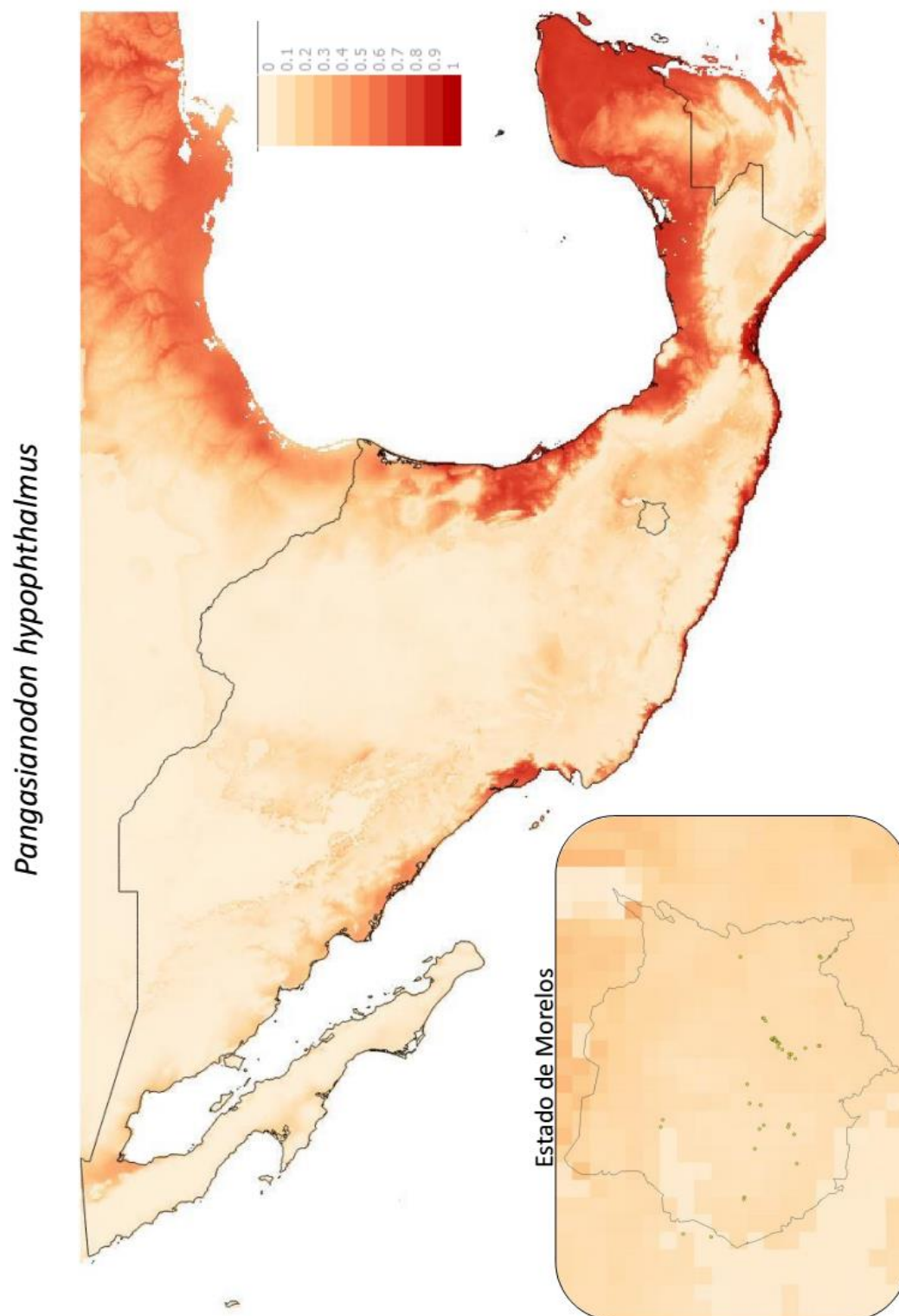


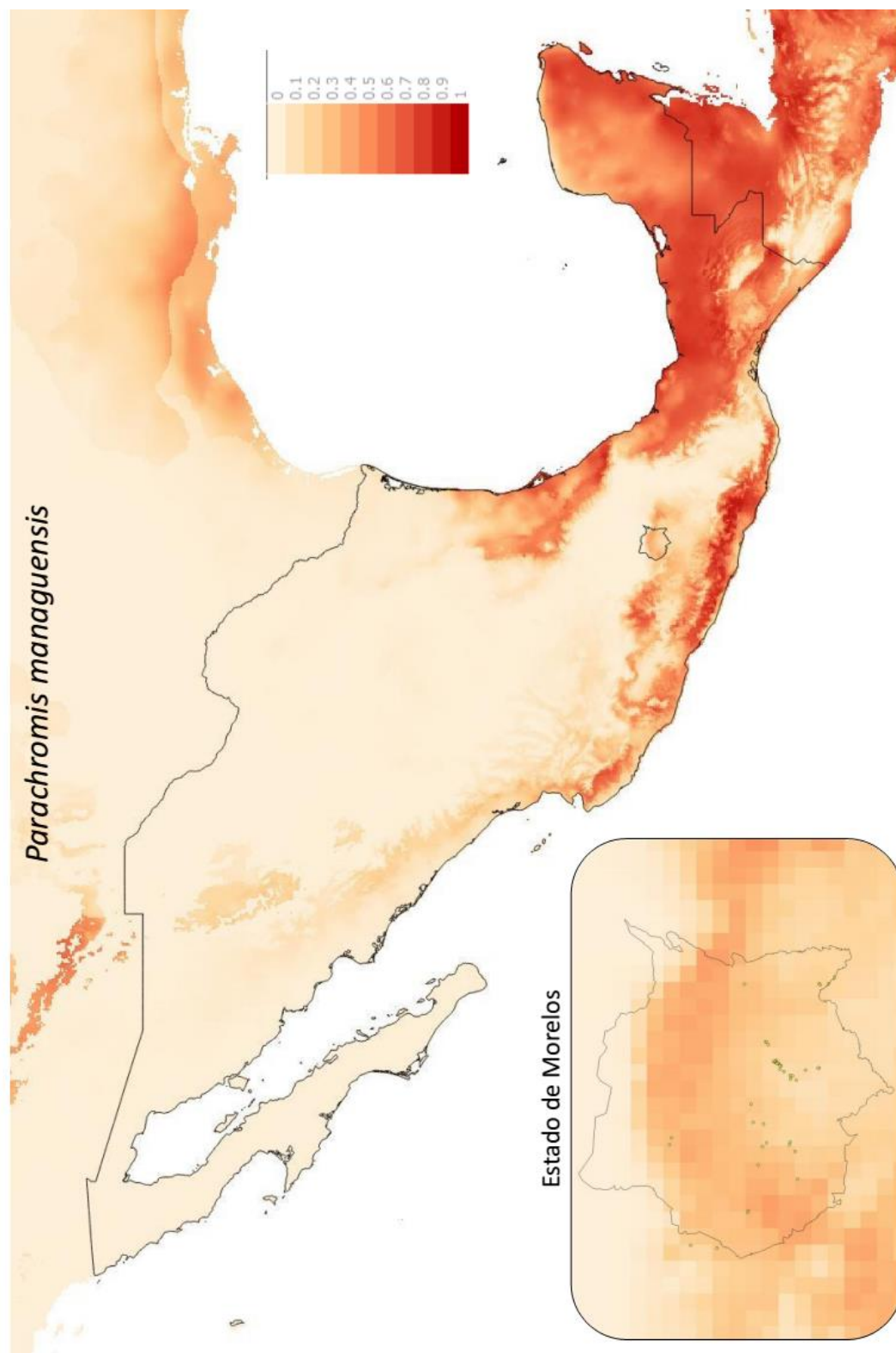


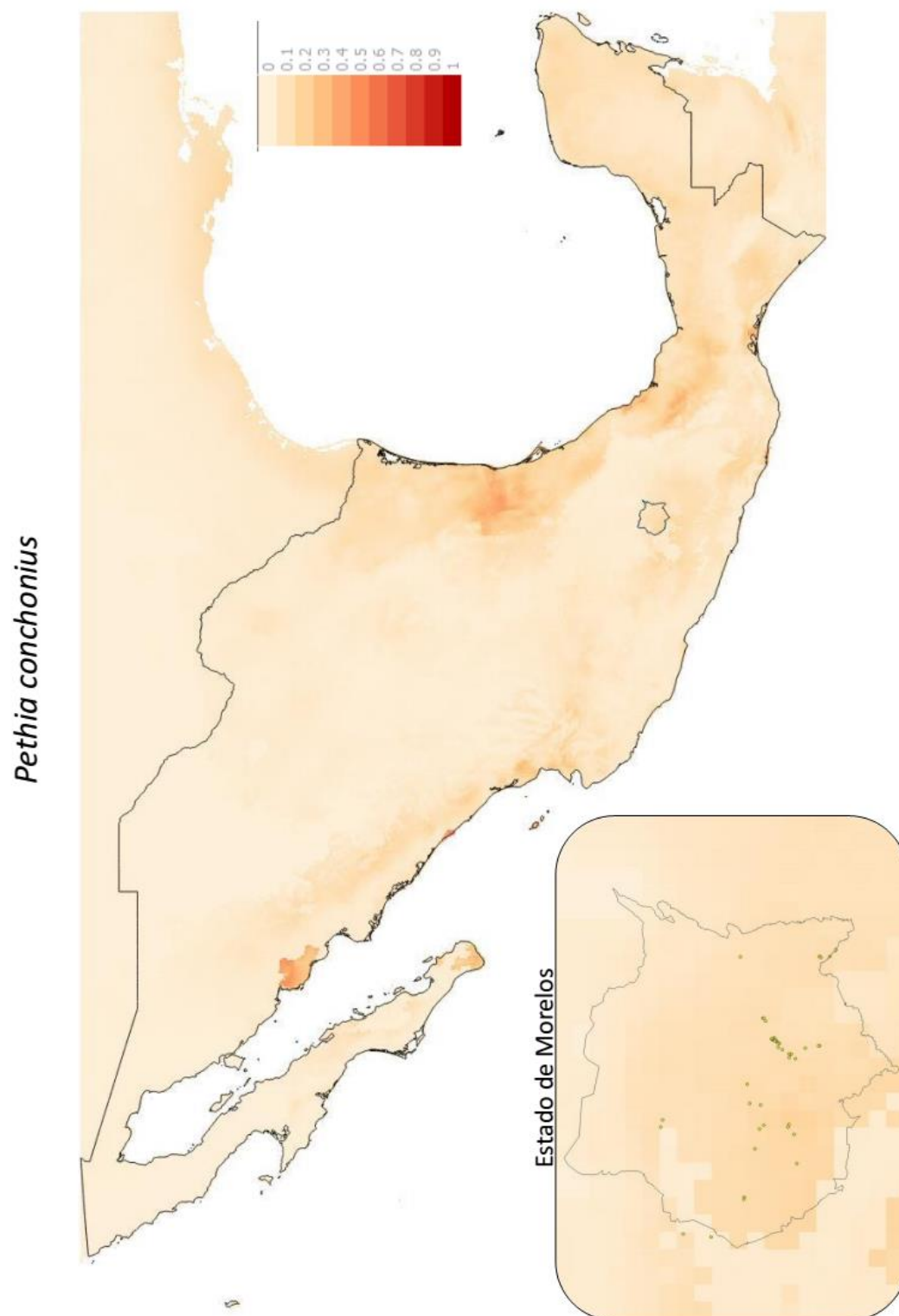


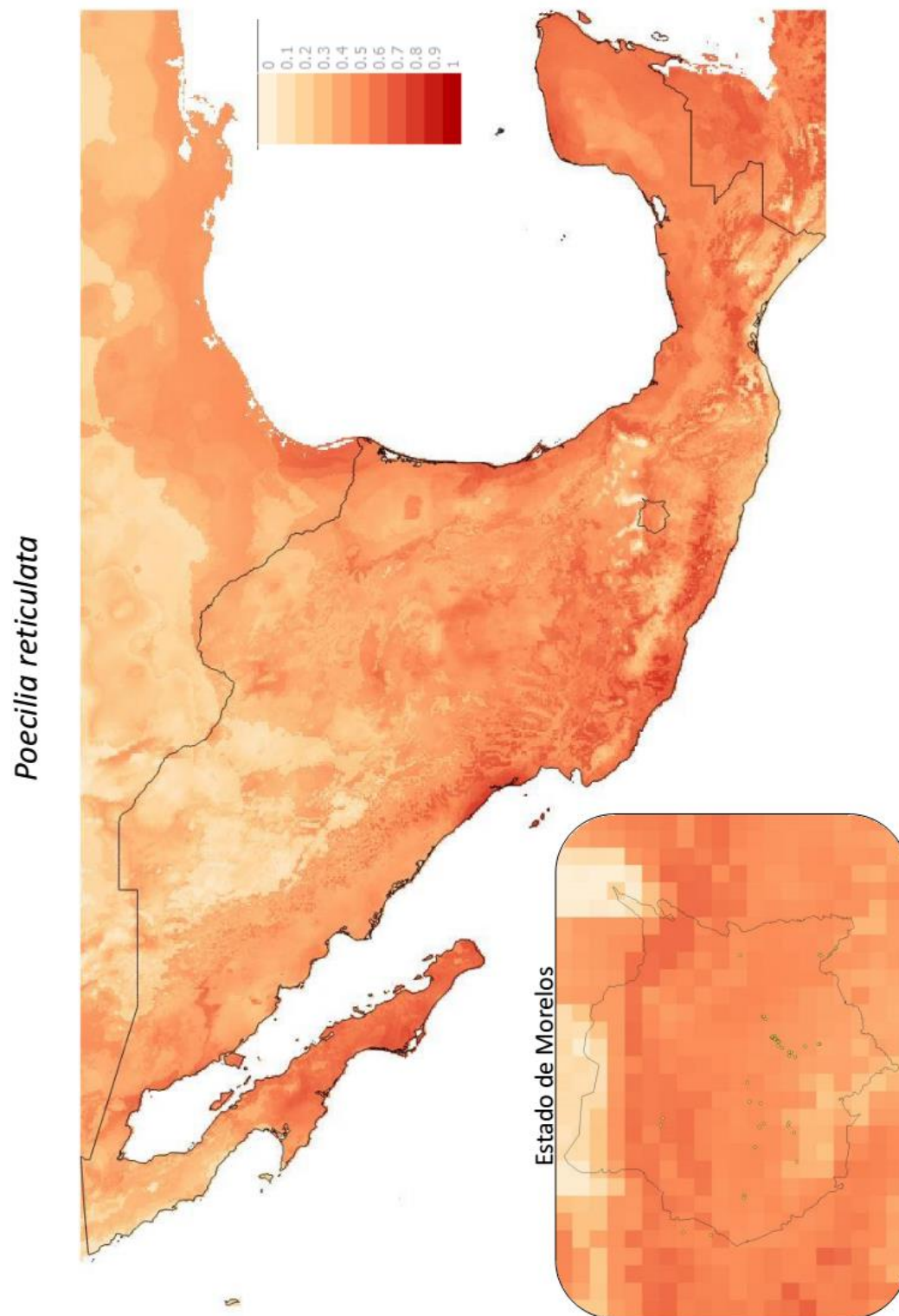


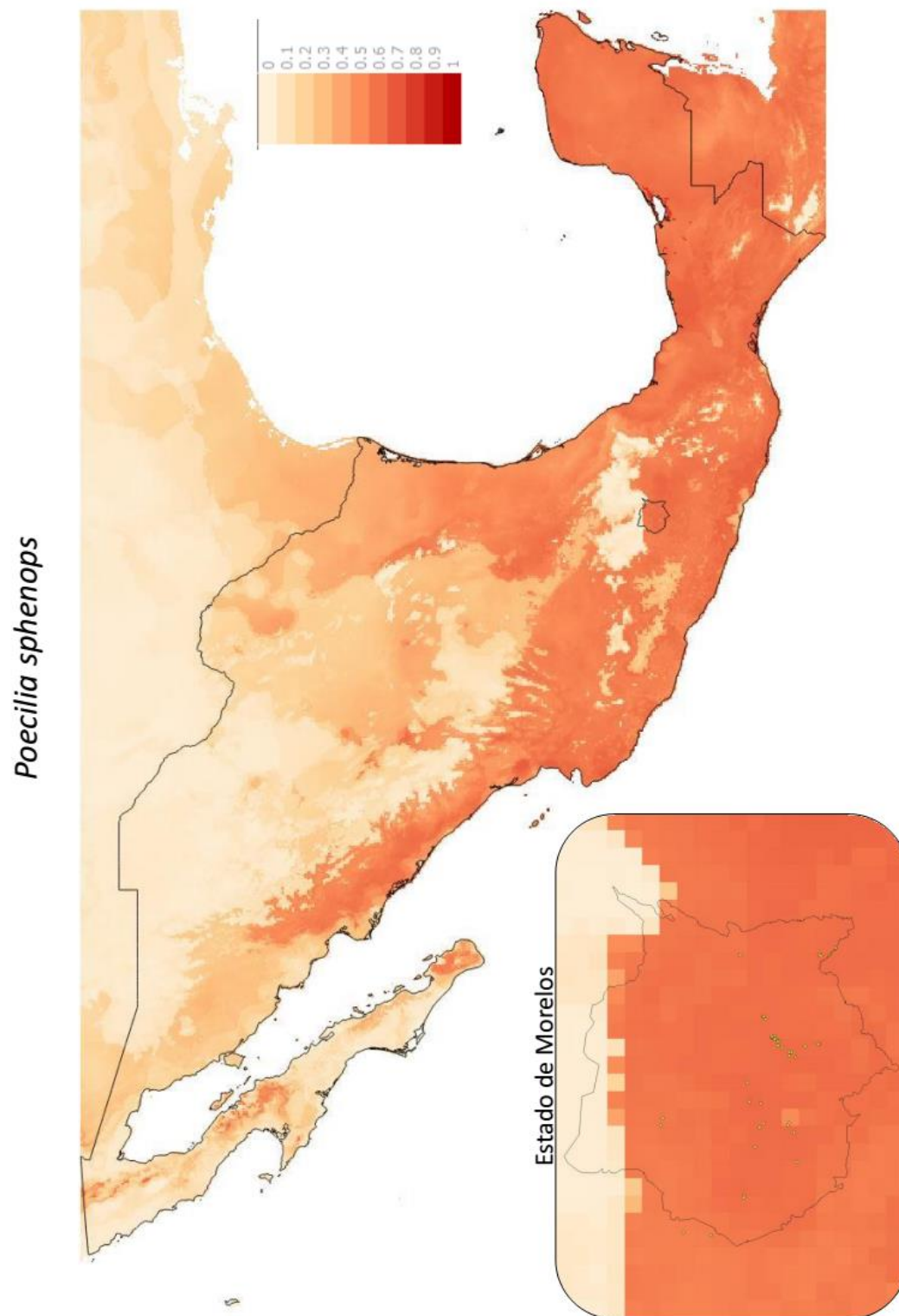


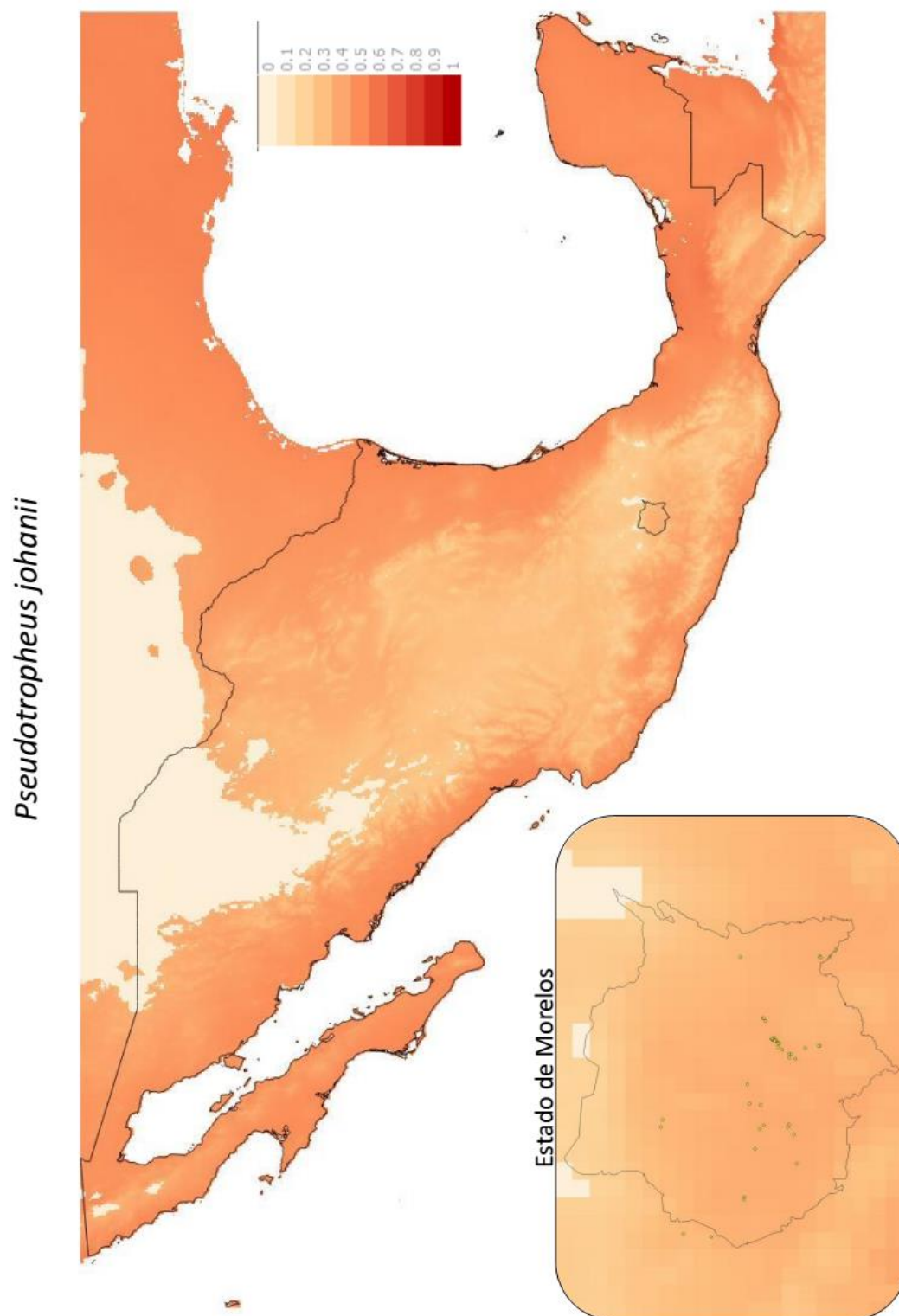


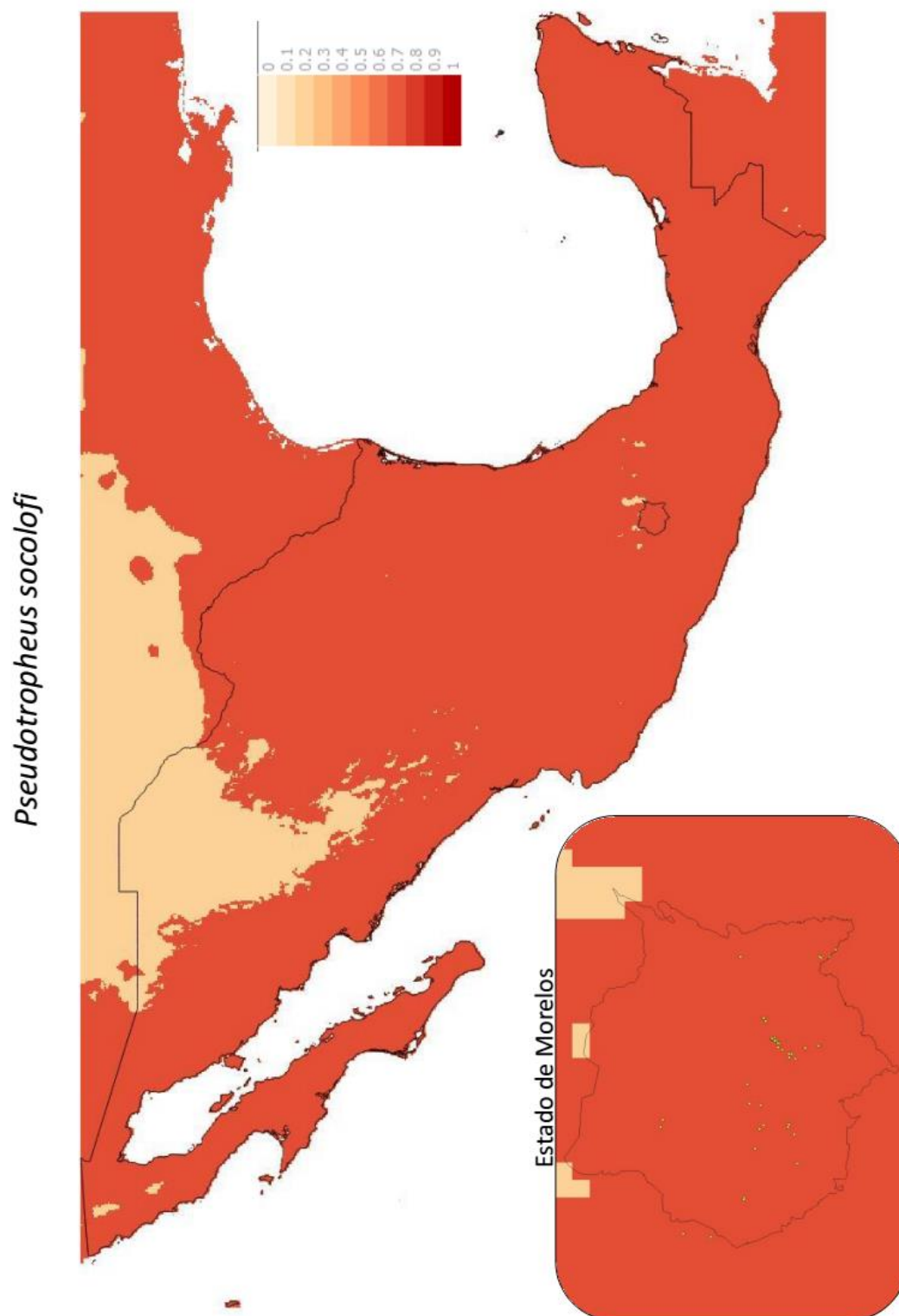


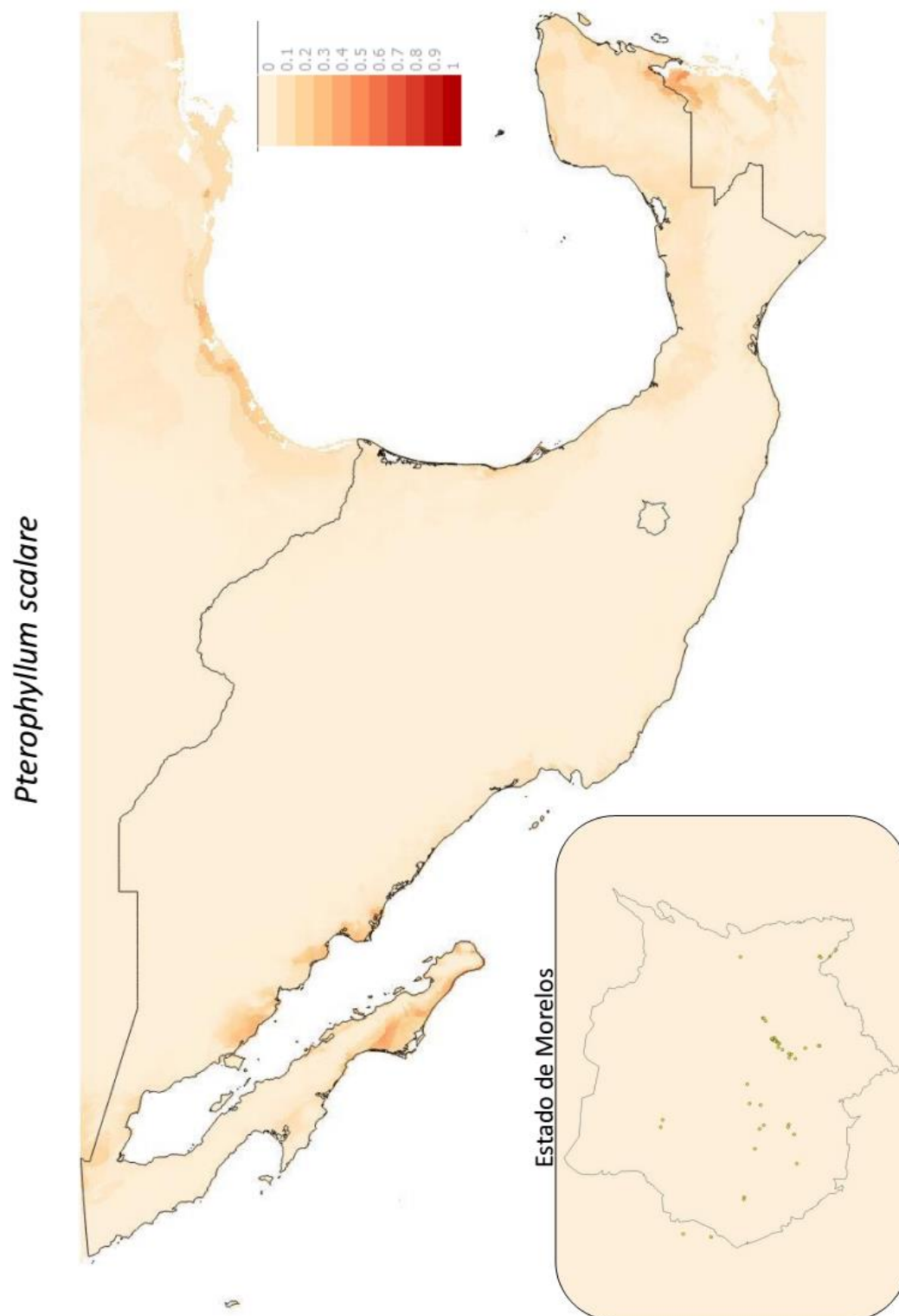


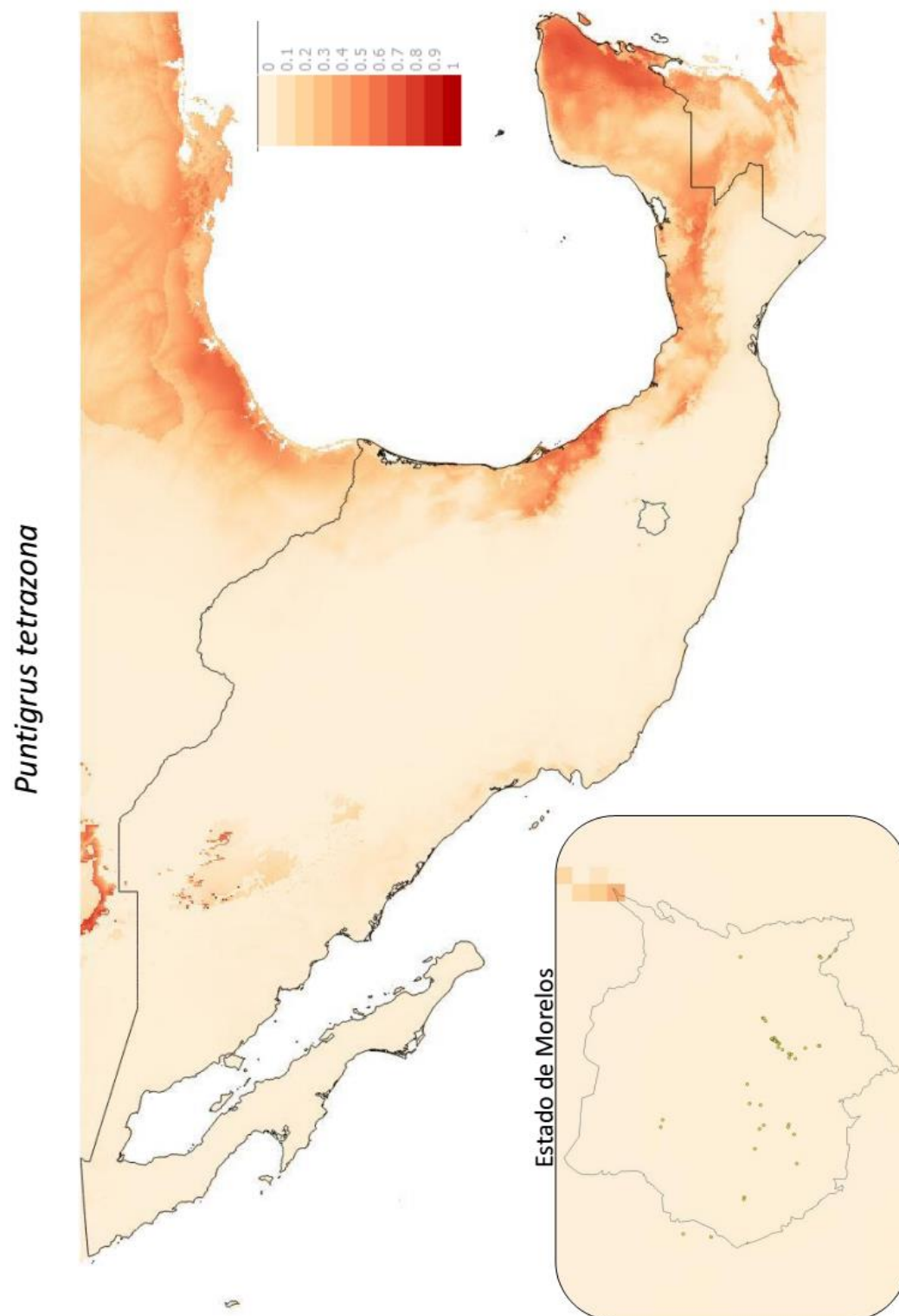


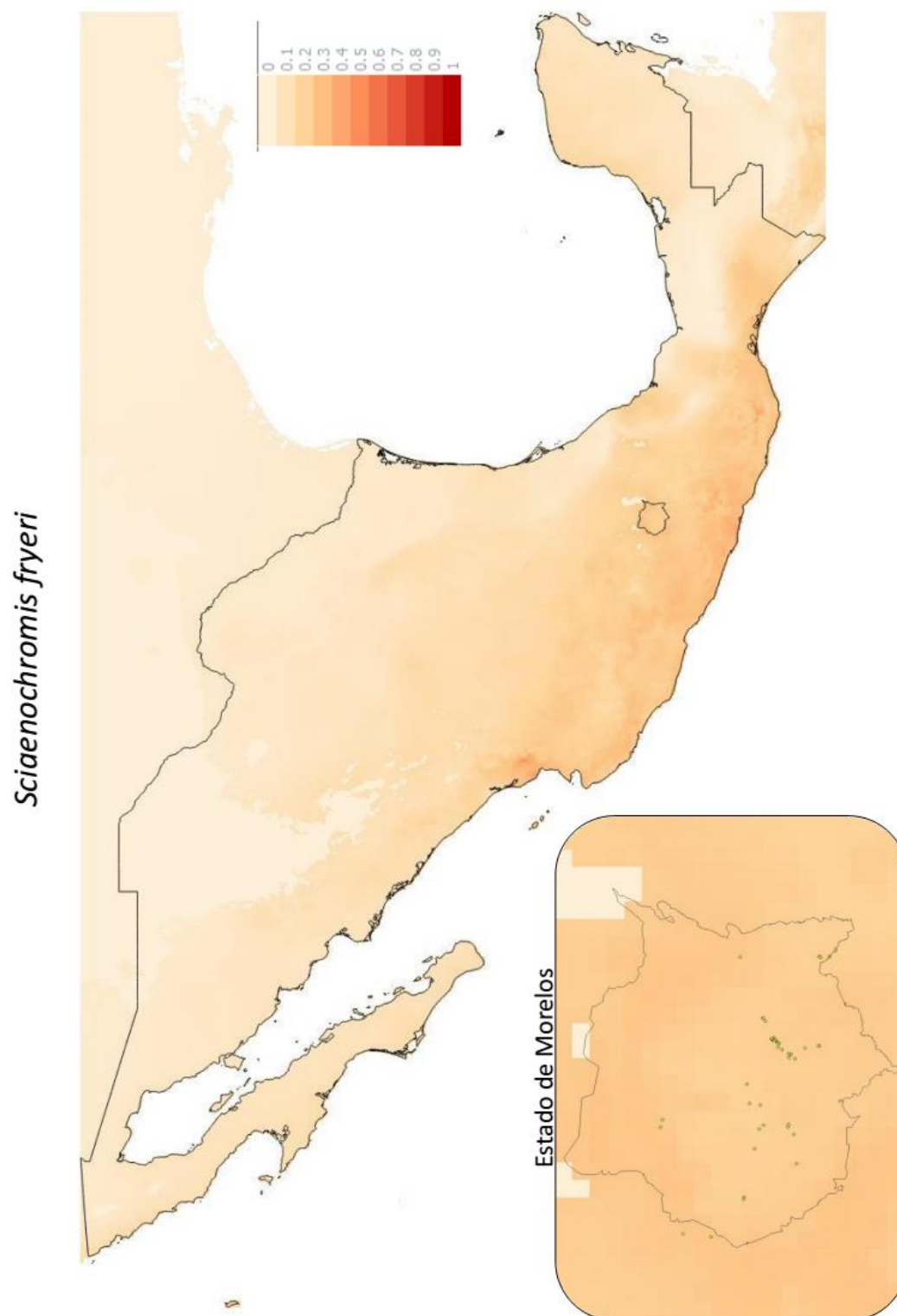


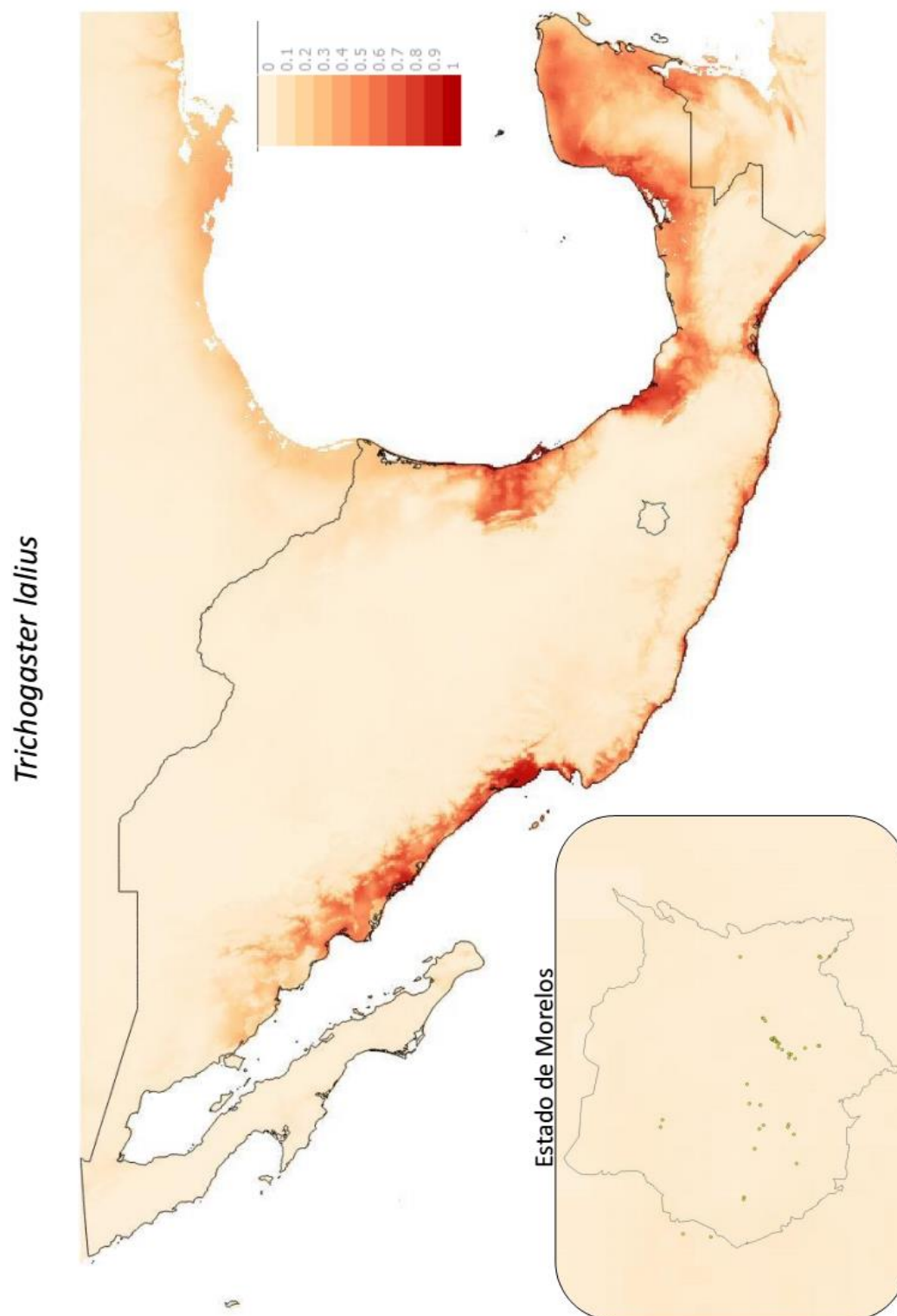


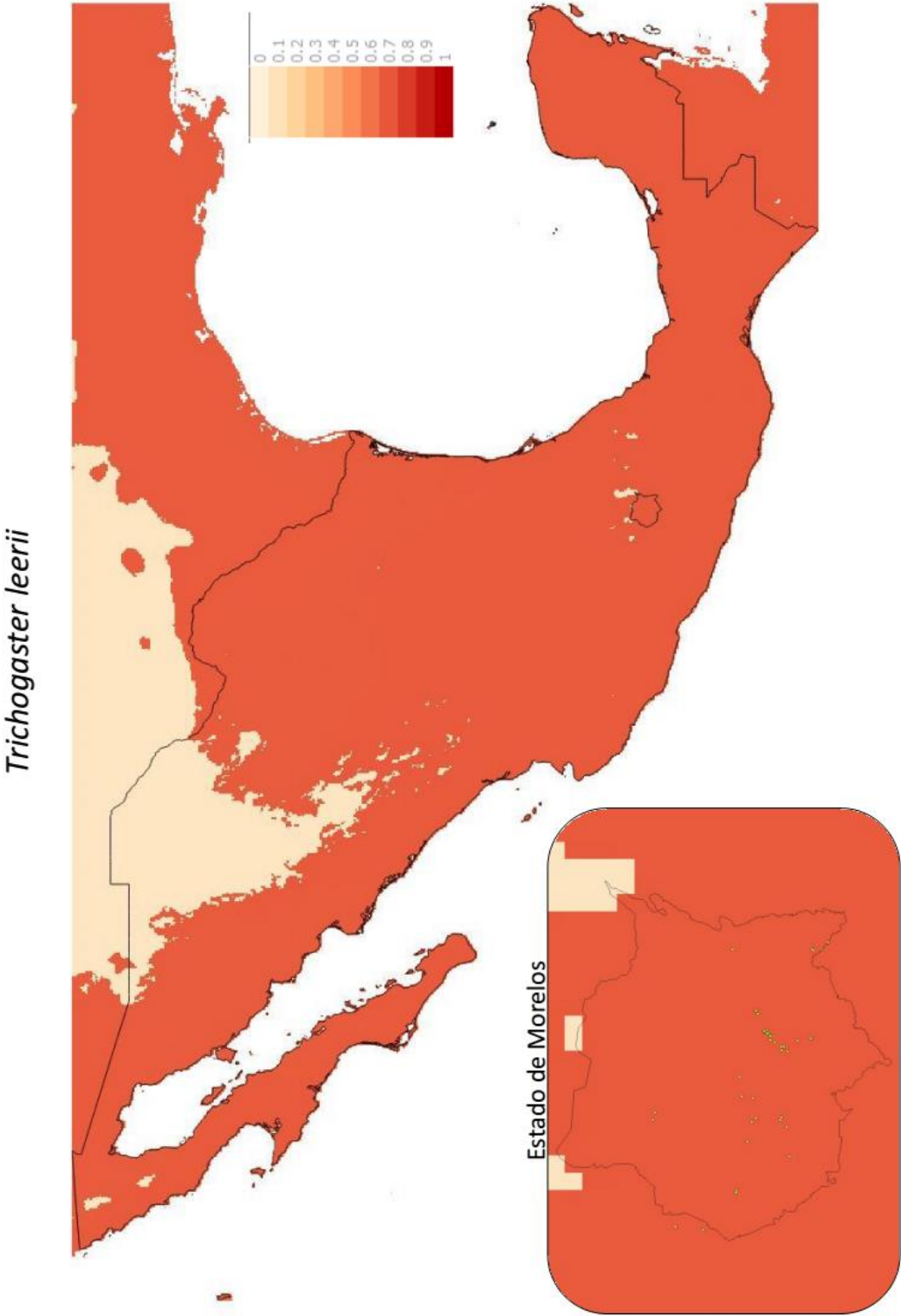


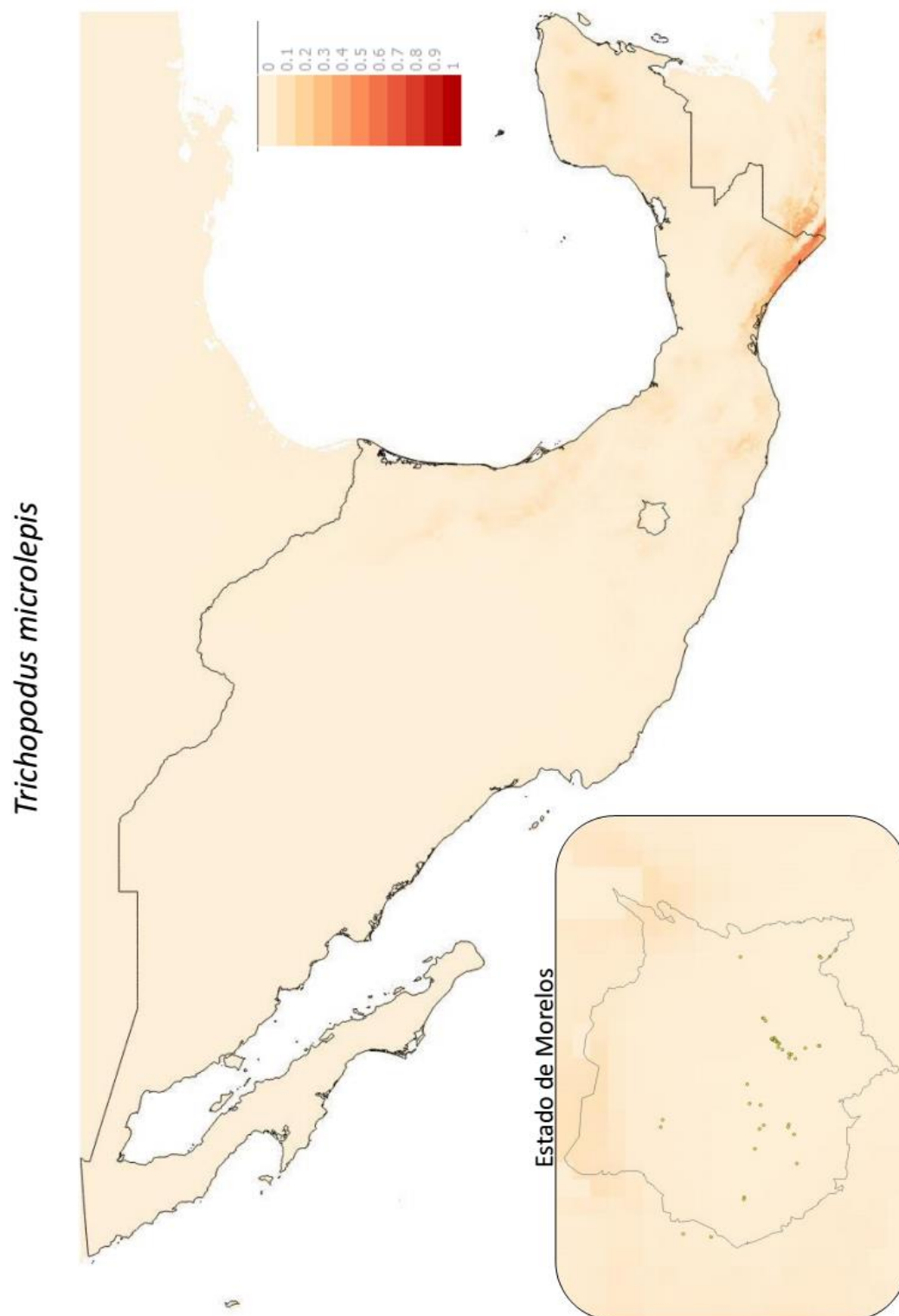


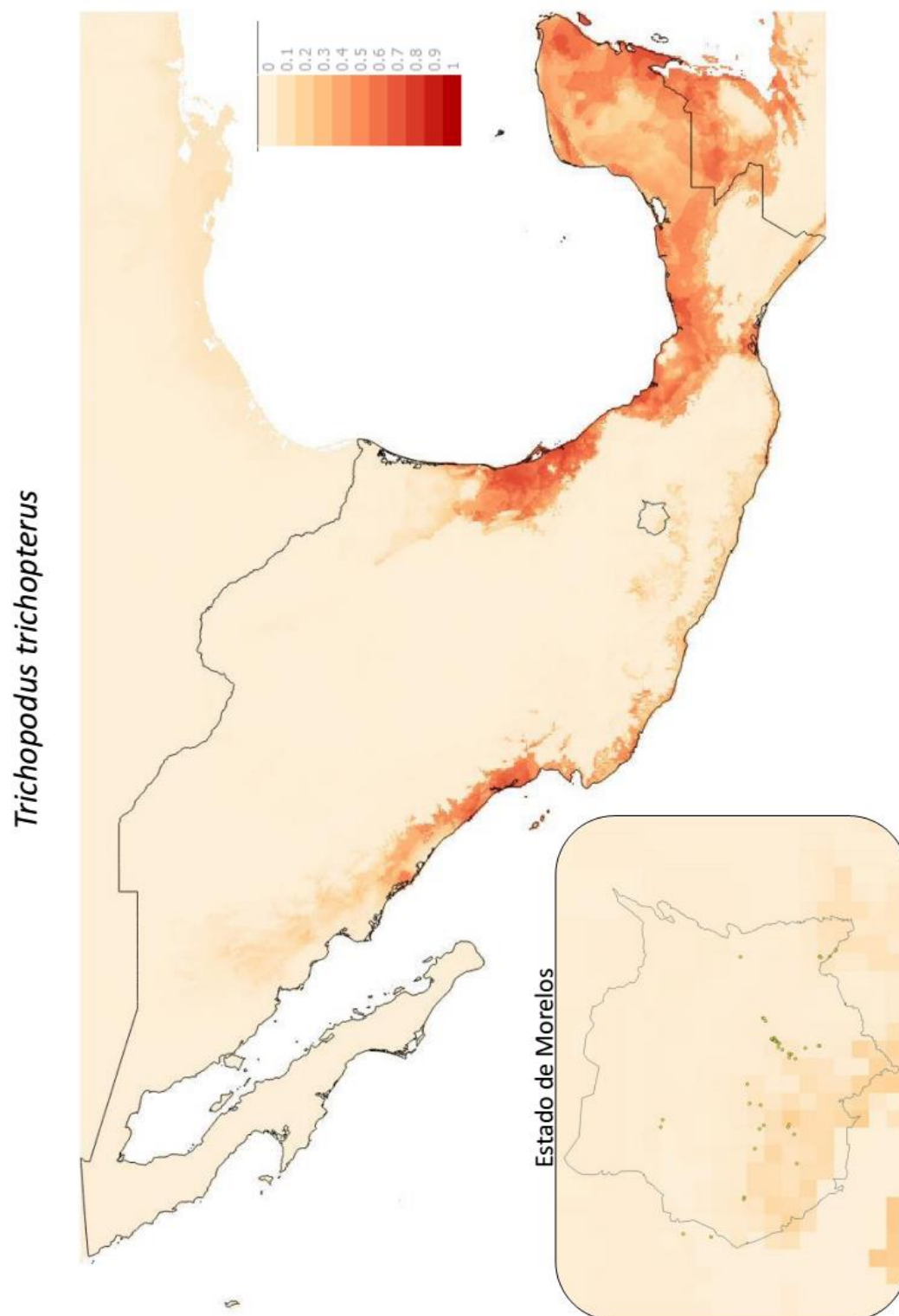


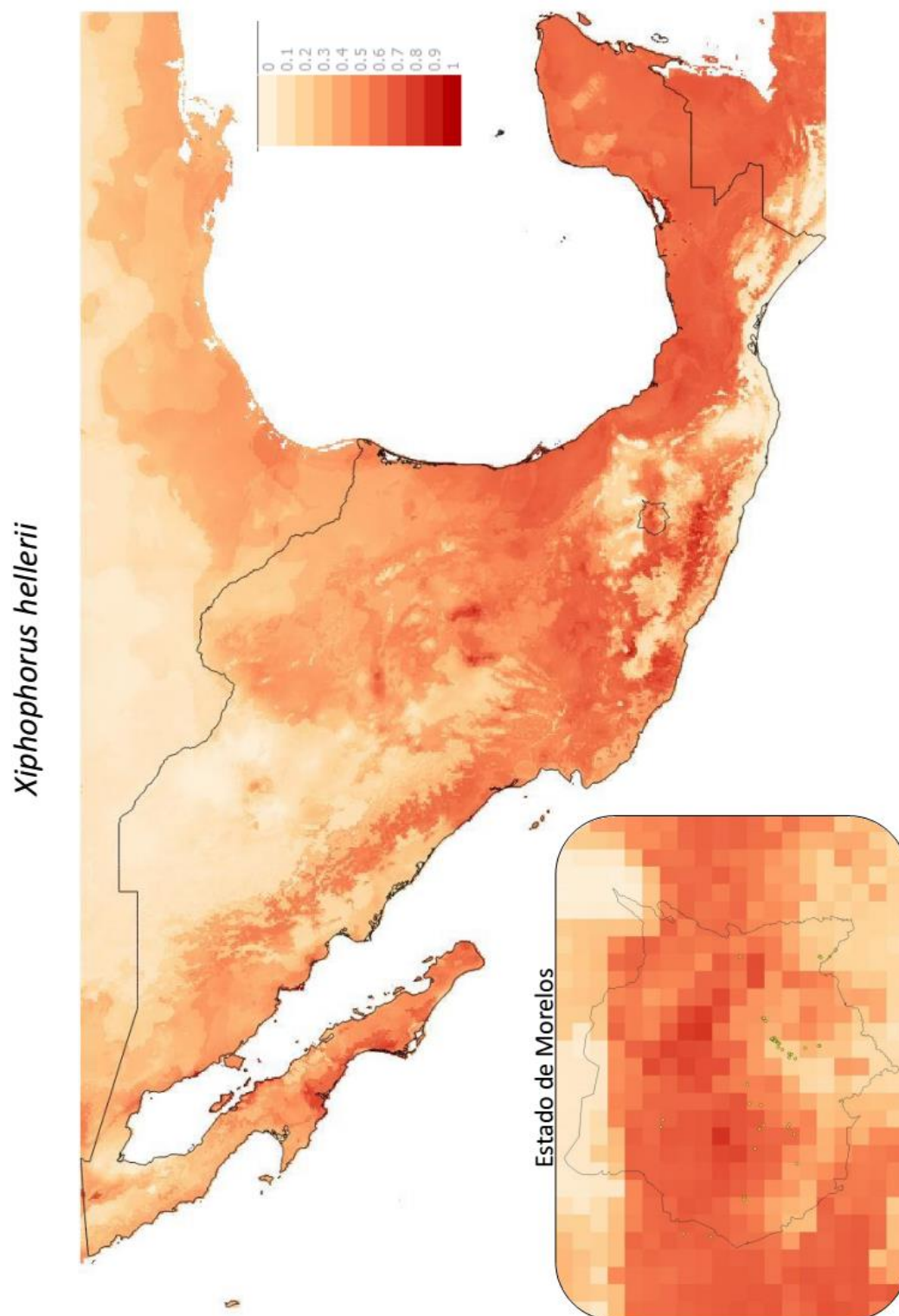


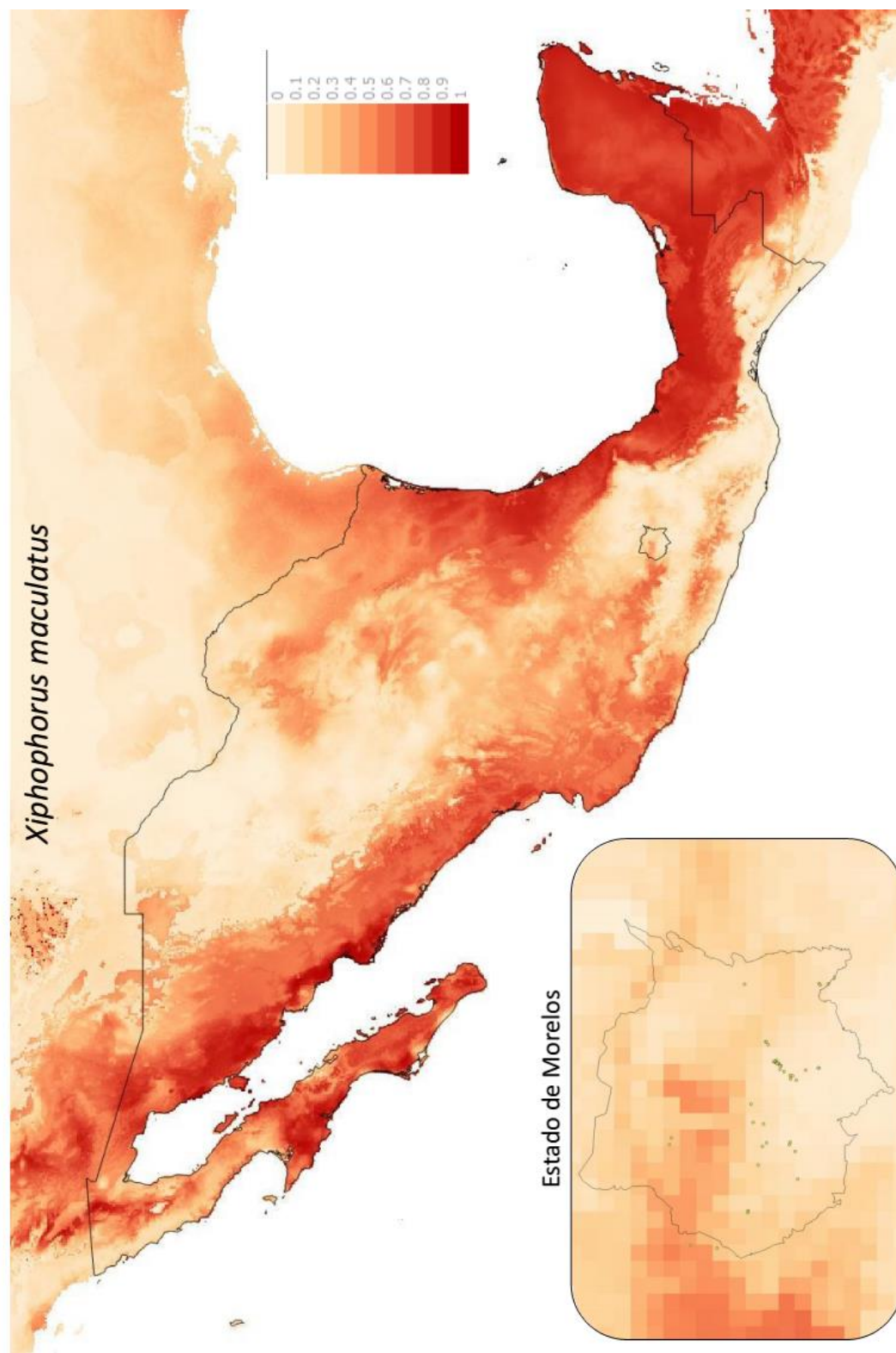


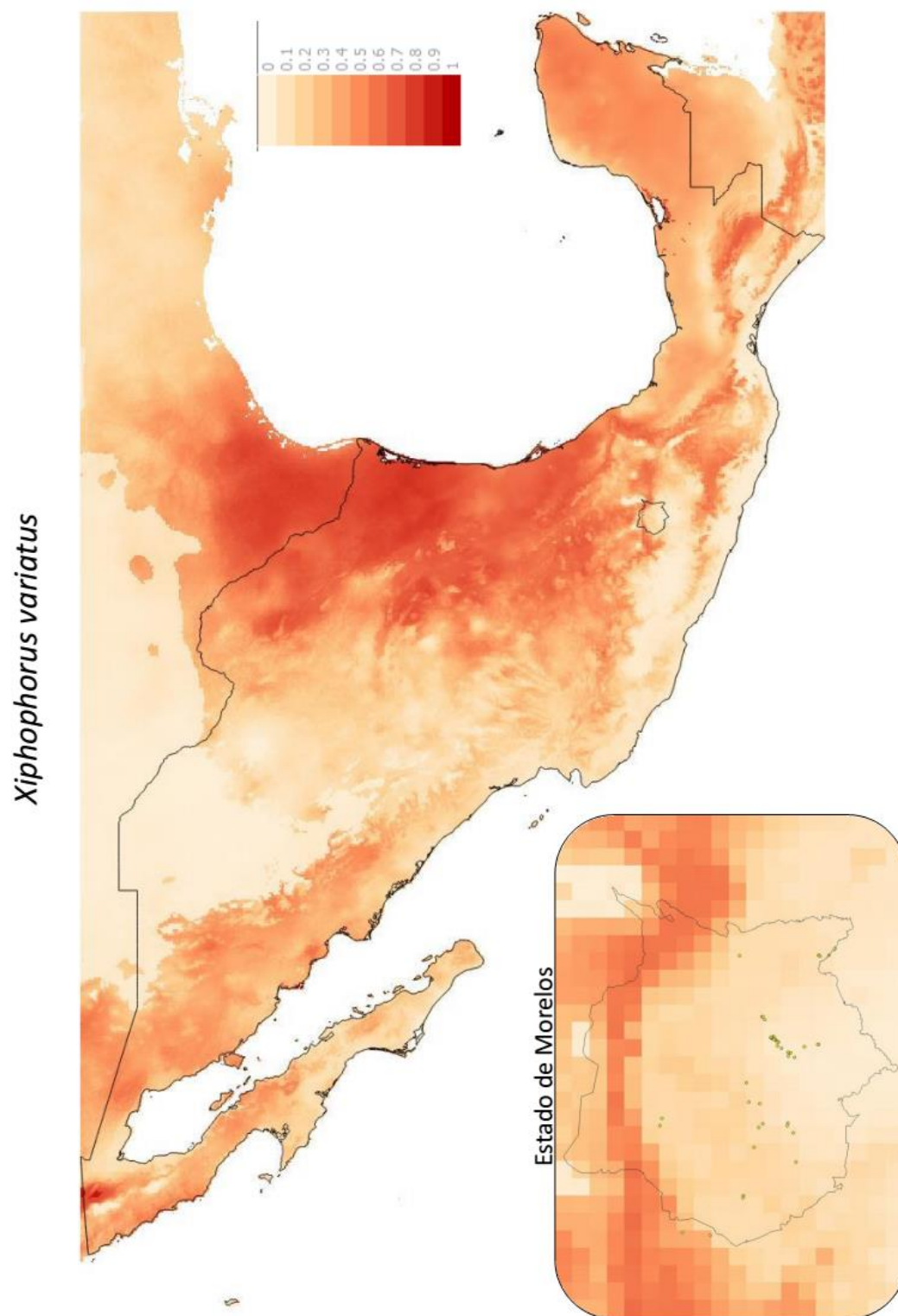




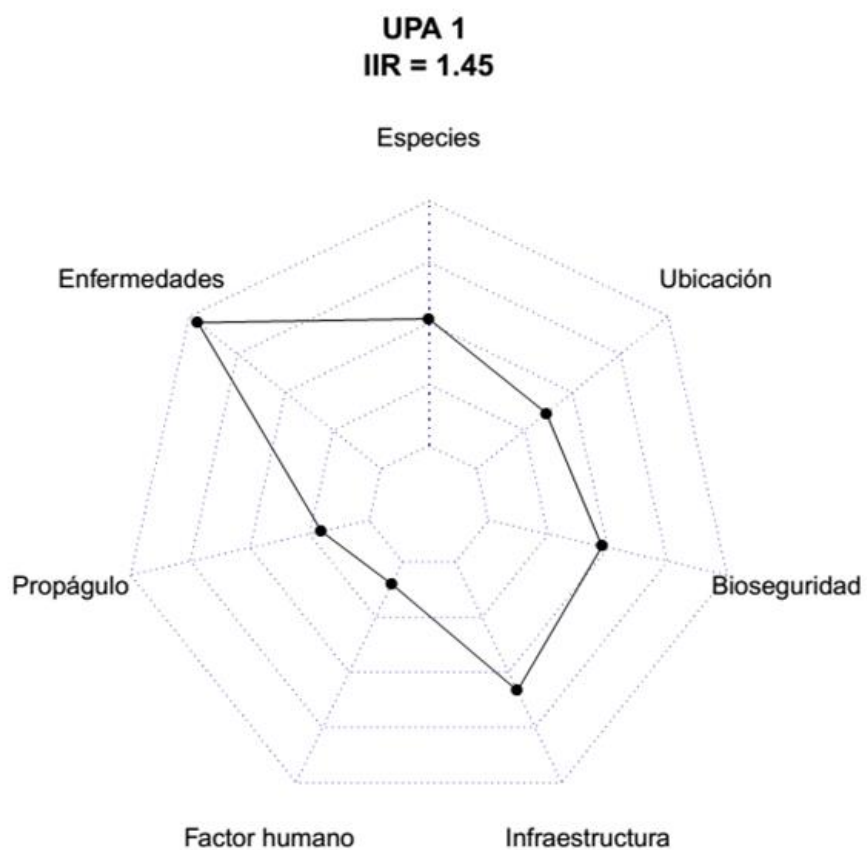


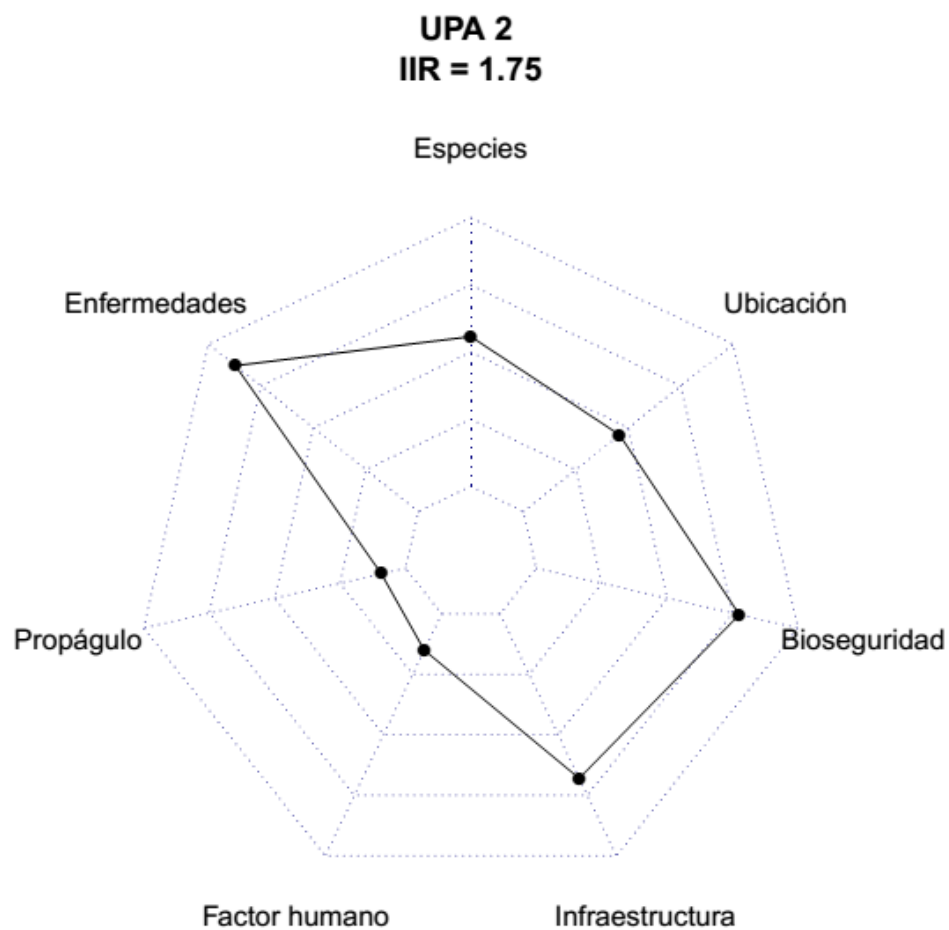


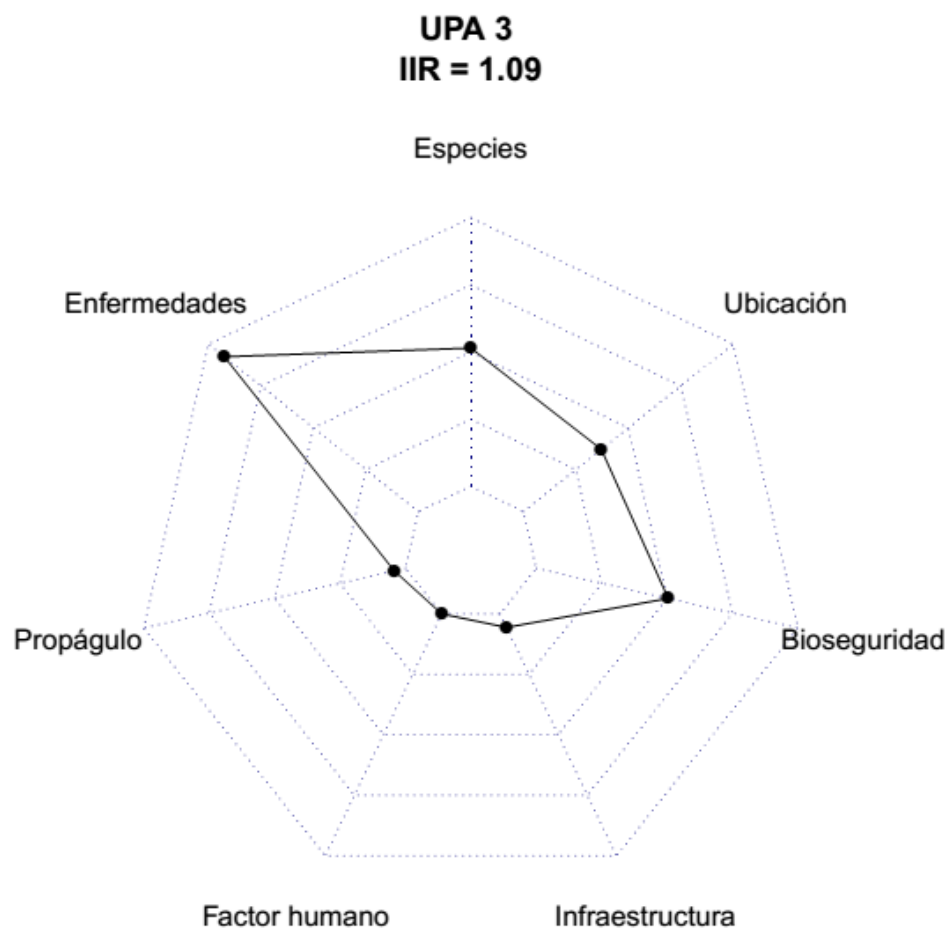


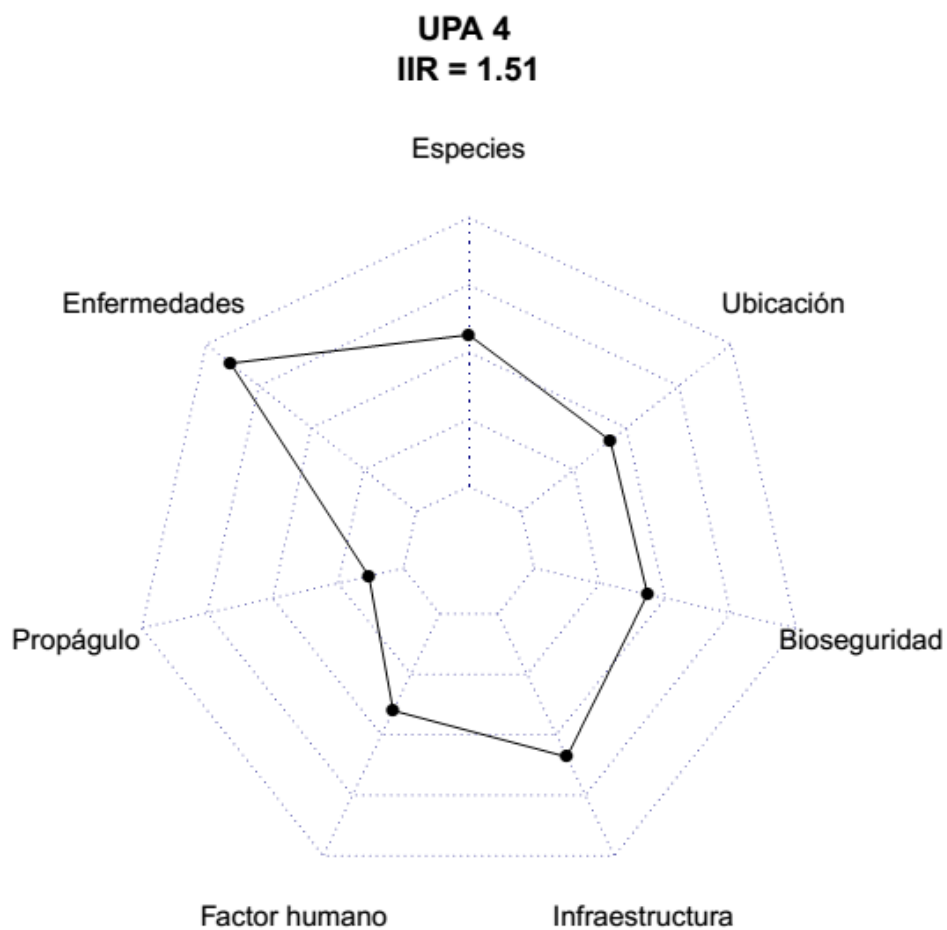


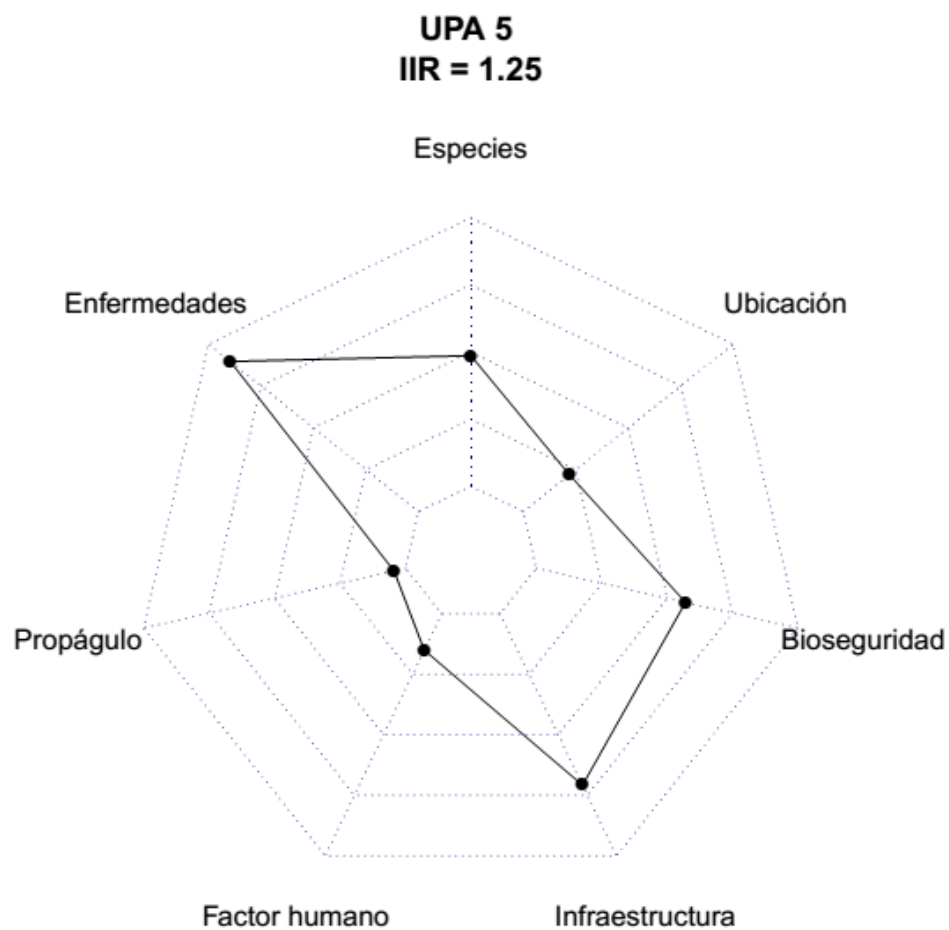
ANEXO C

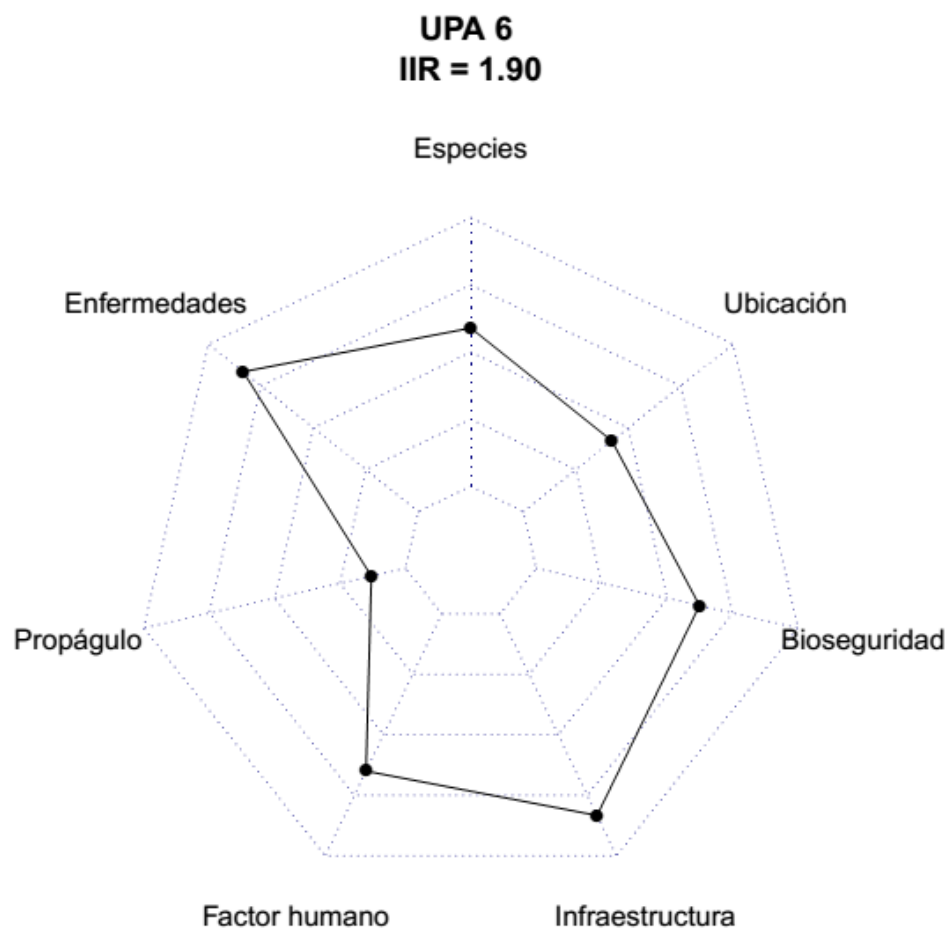


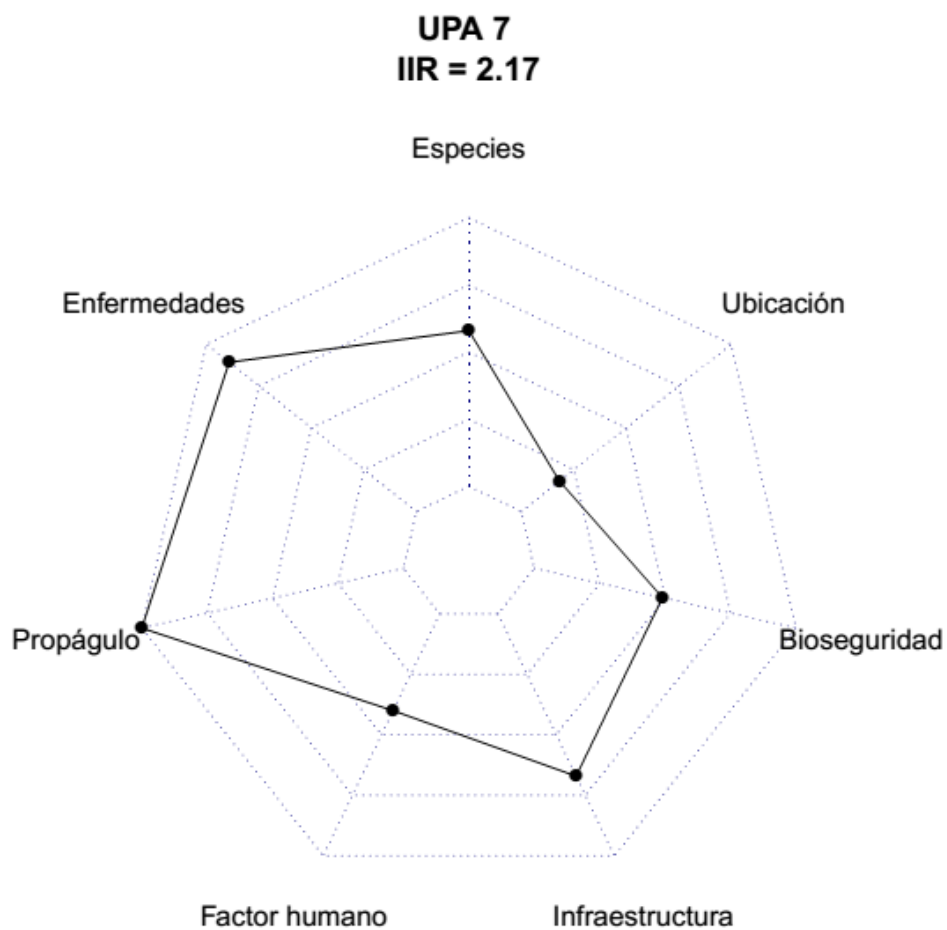


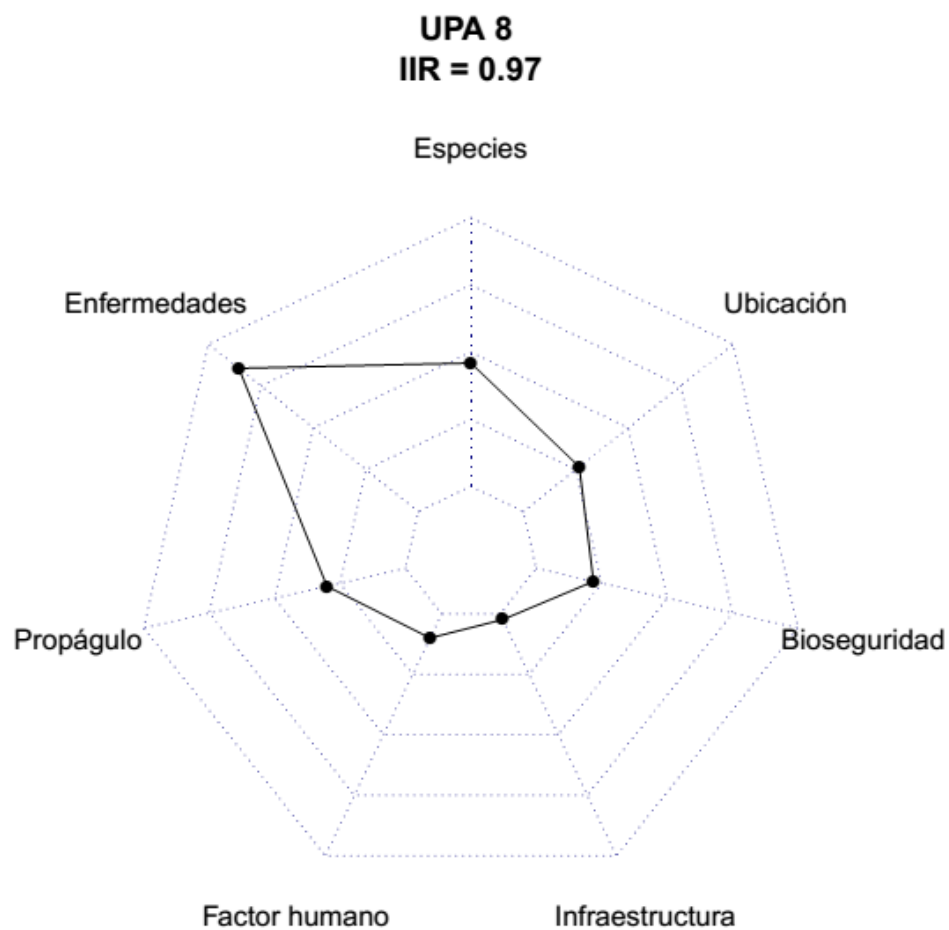


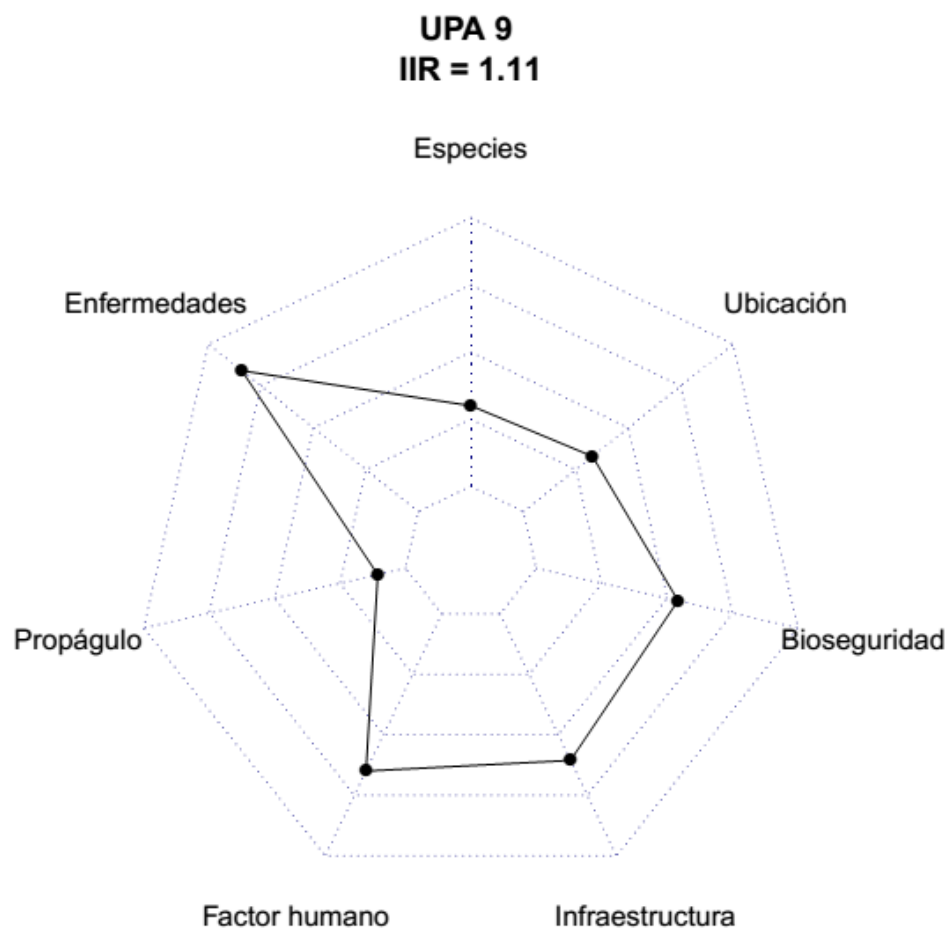


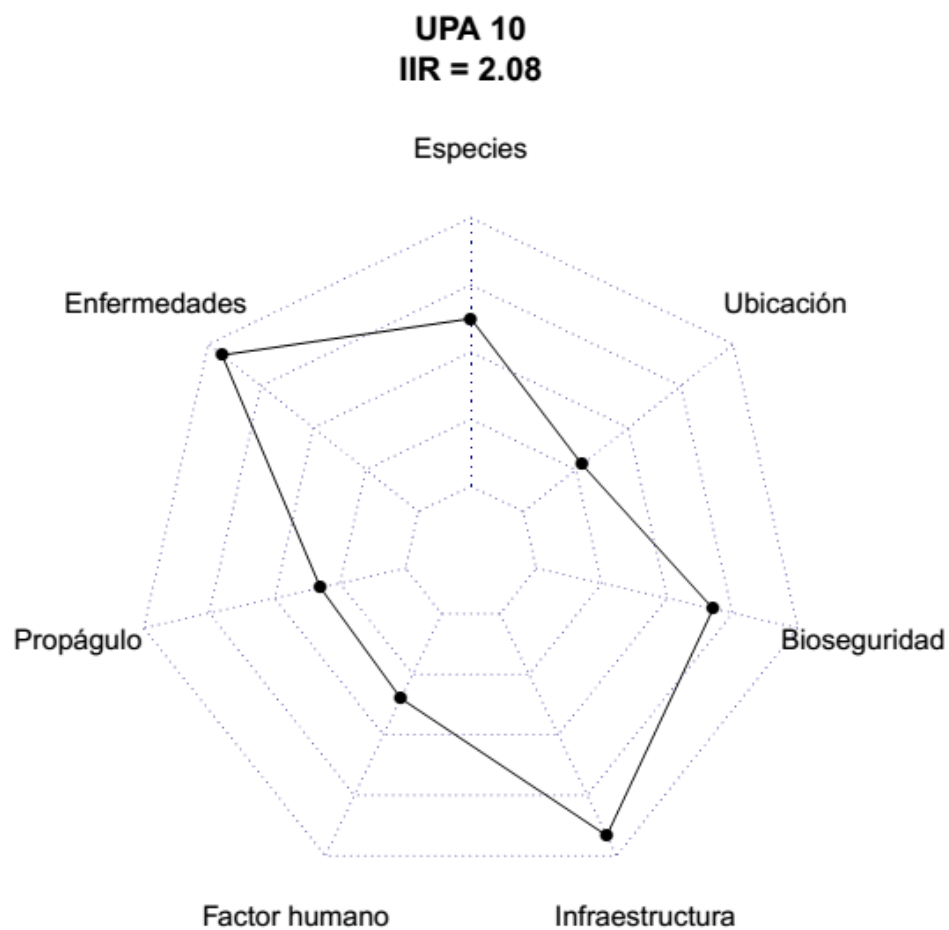


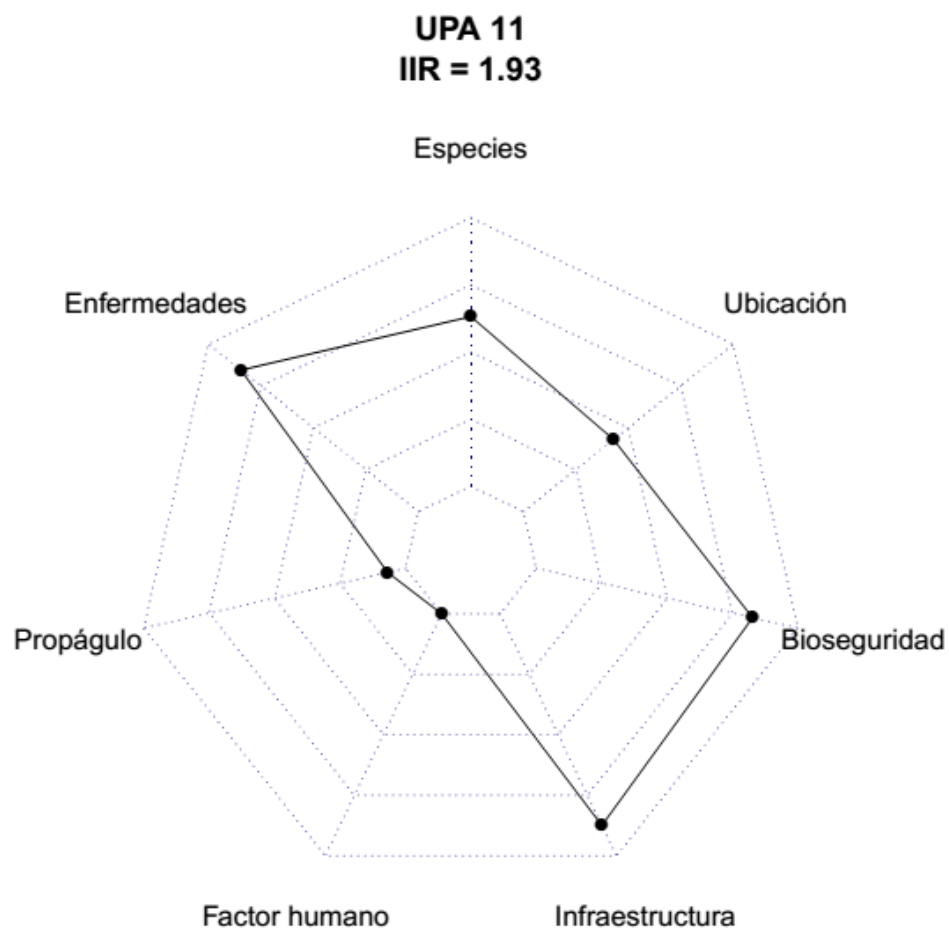


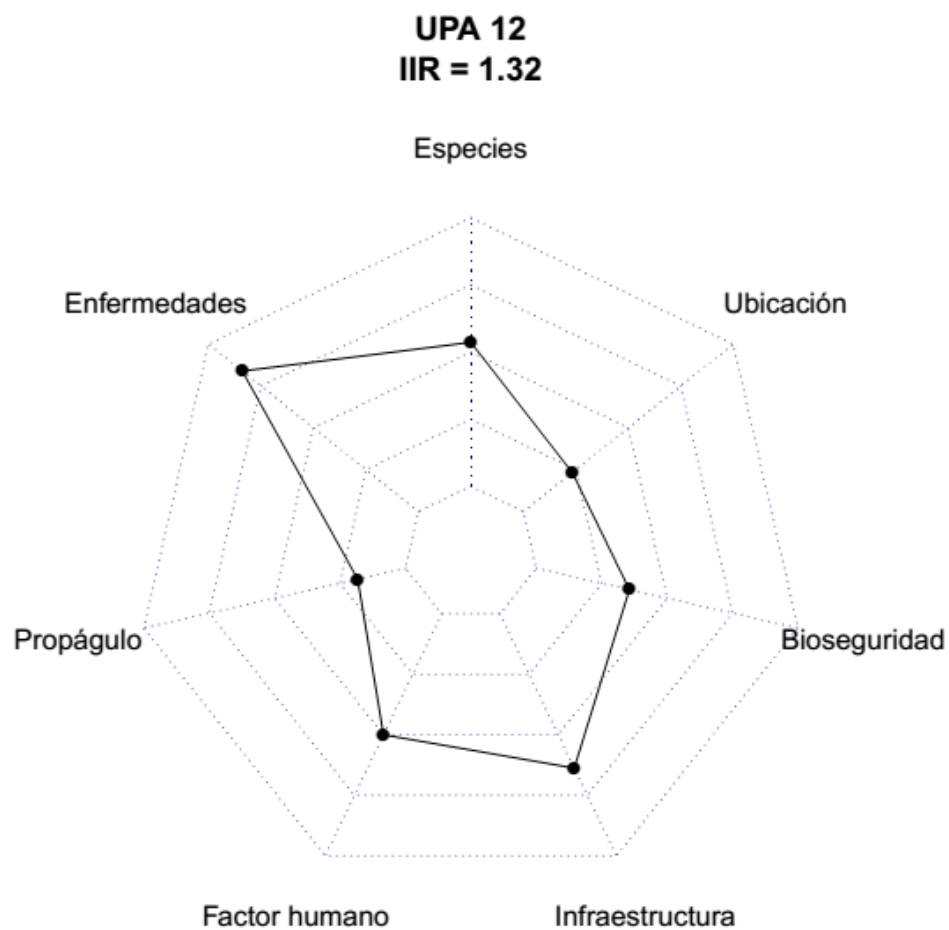


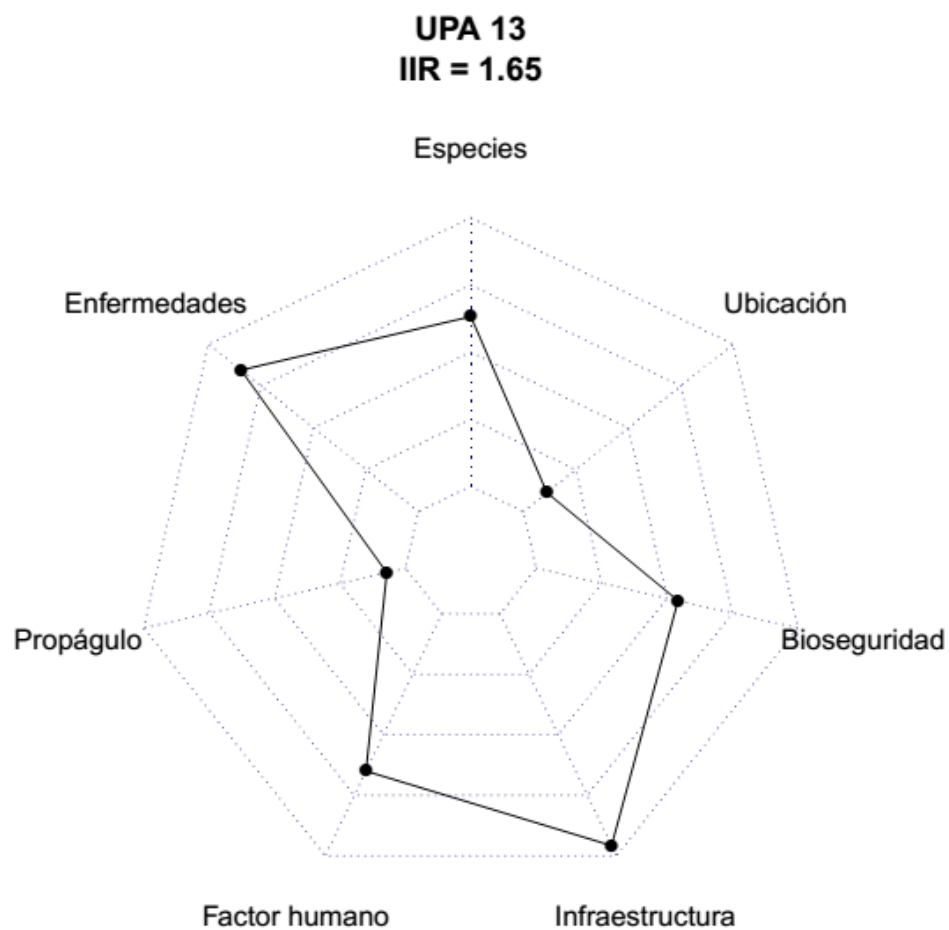


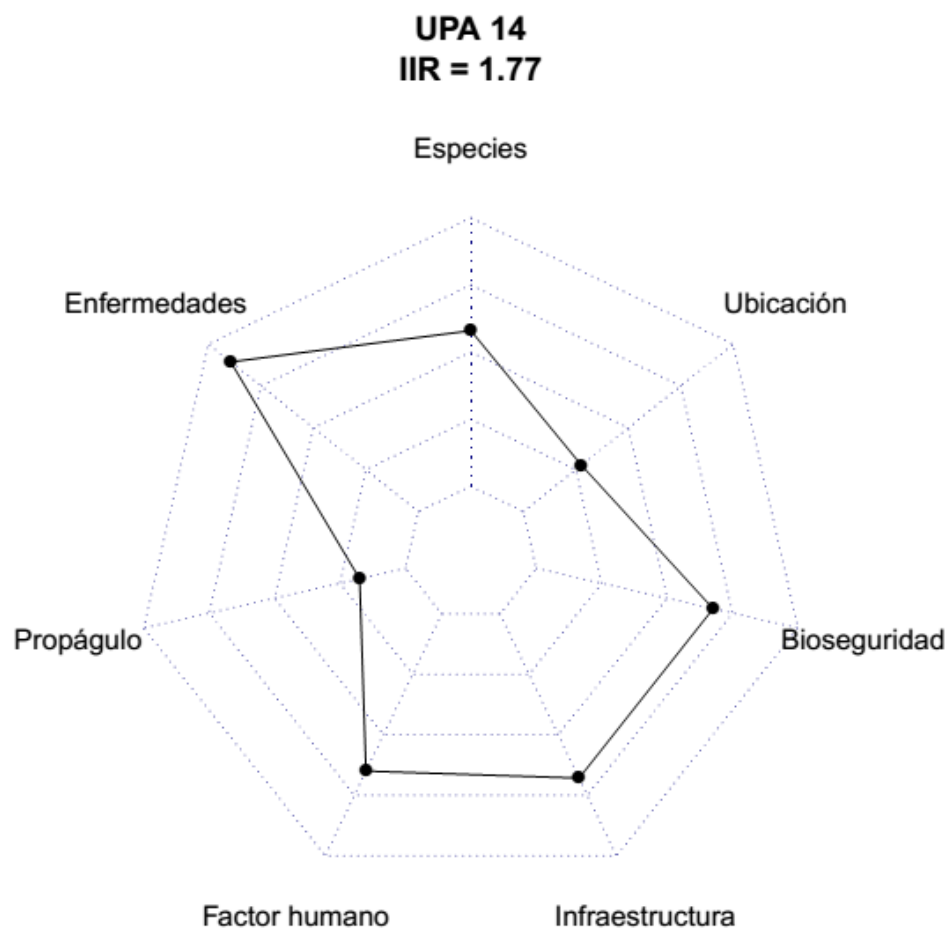


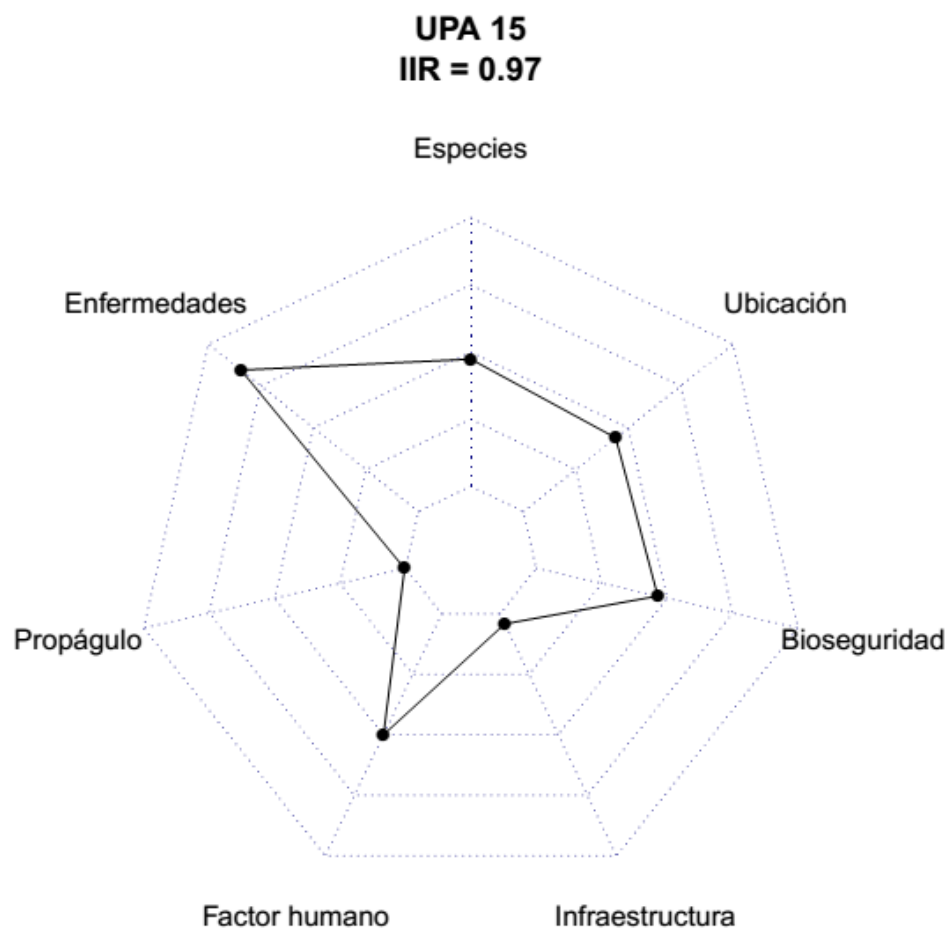


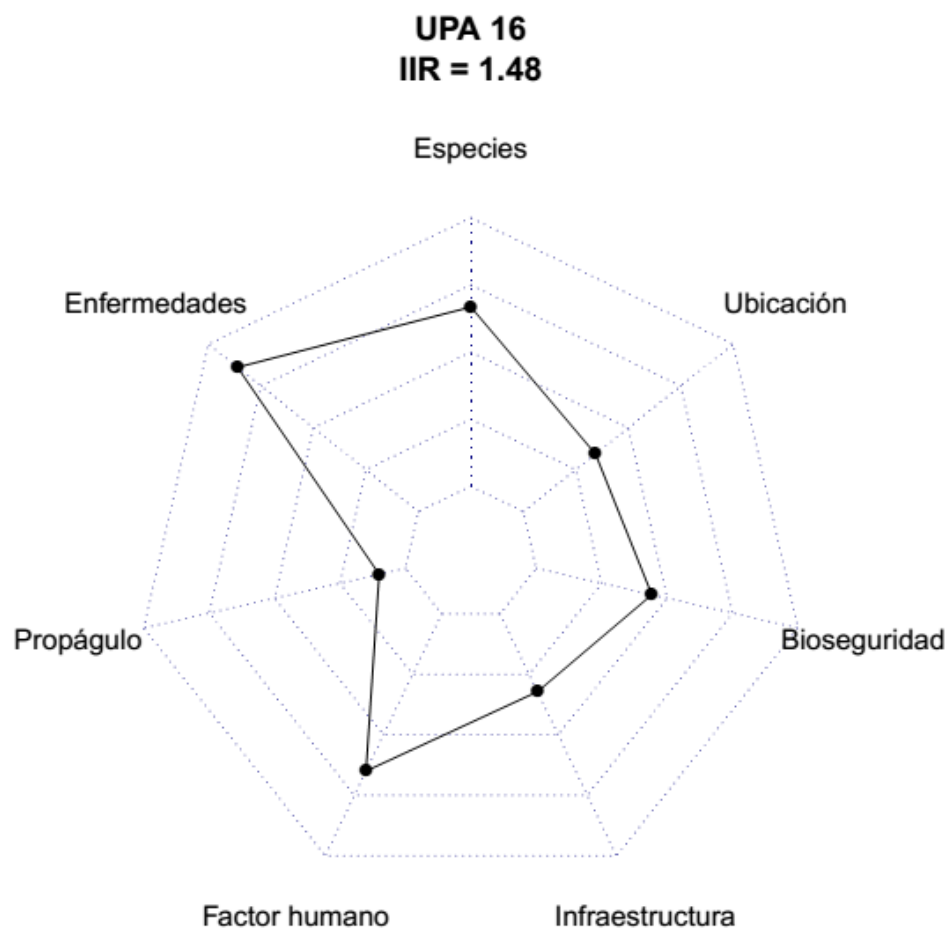


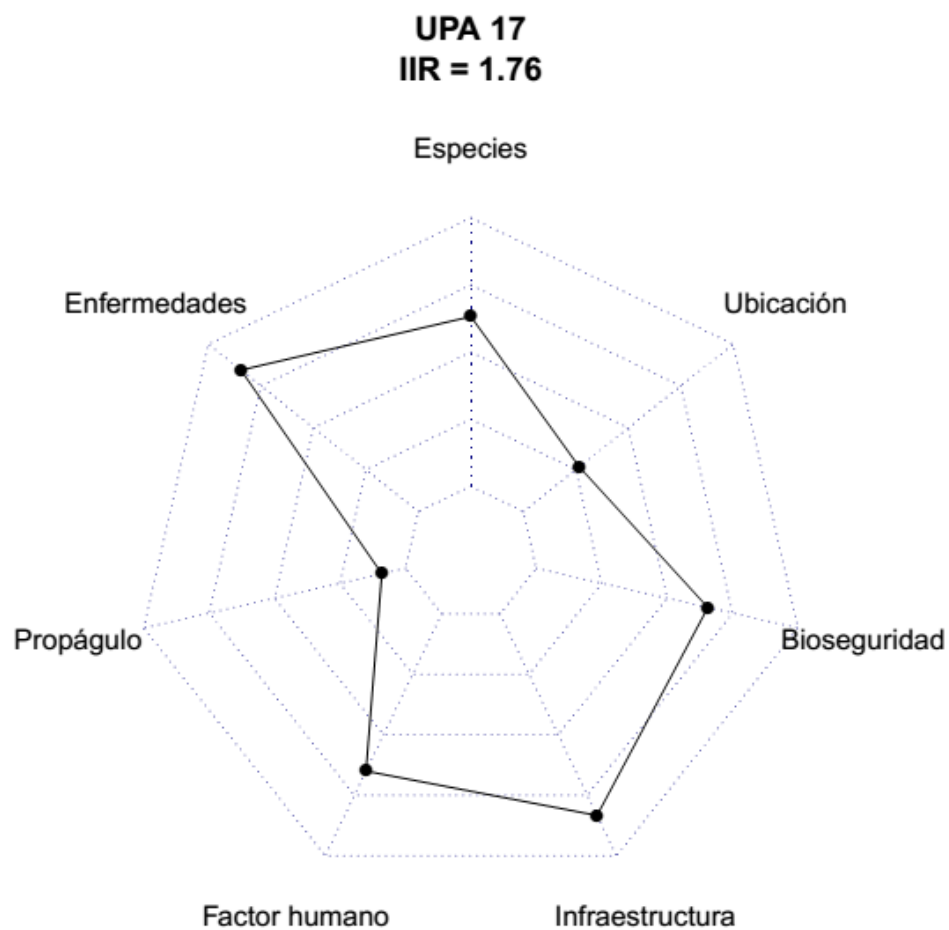


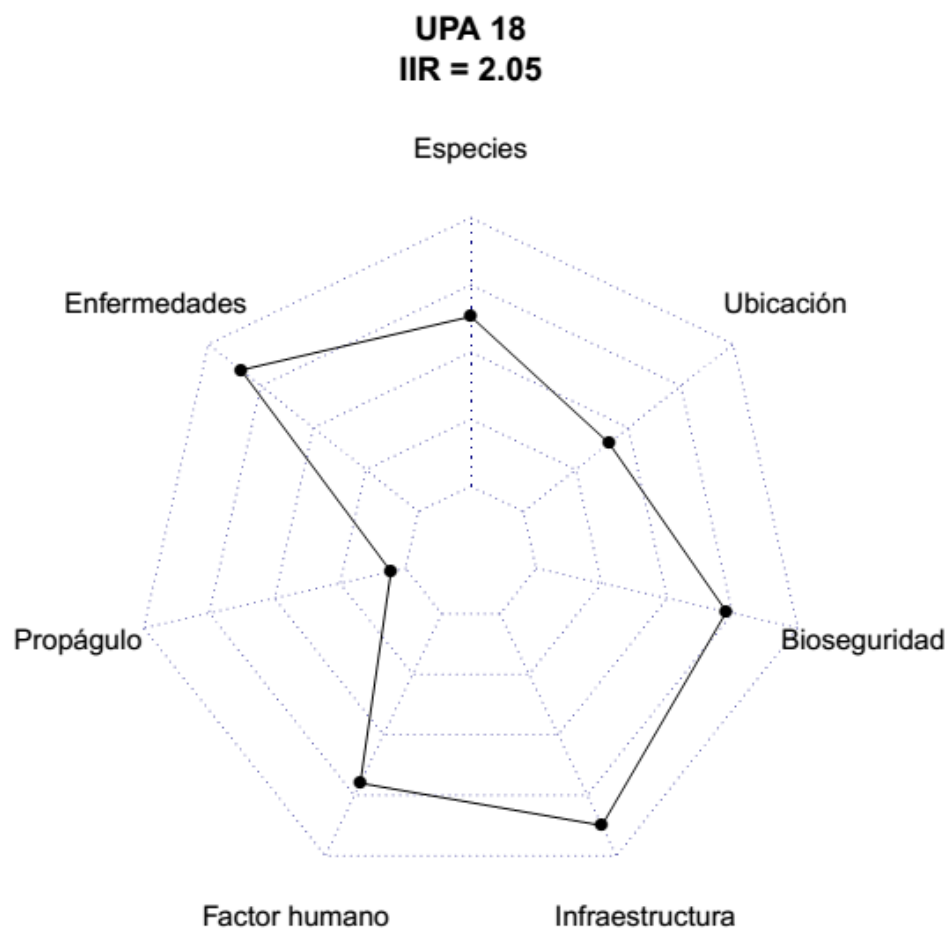


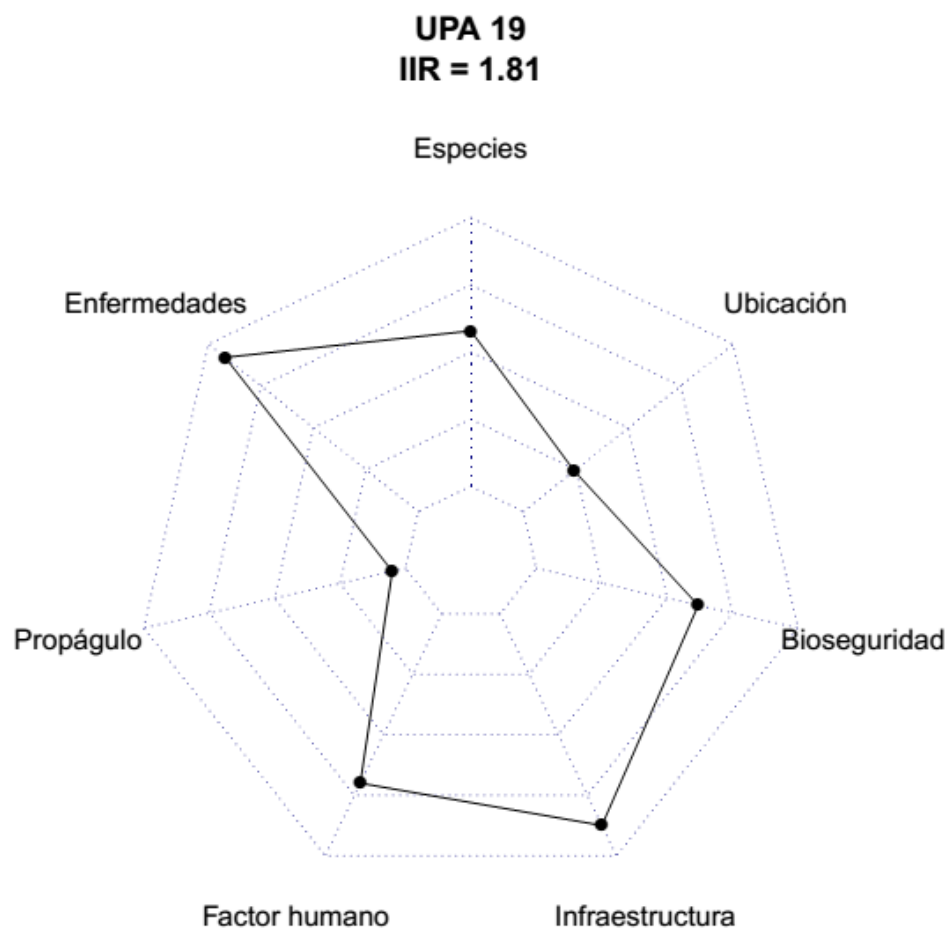


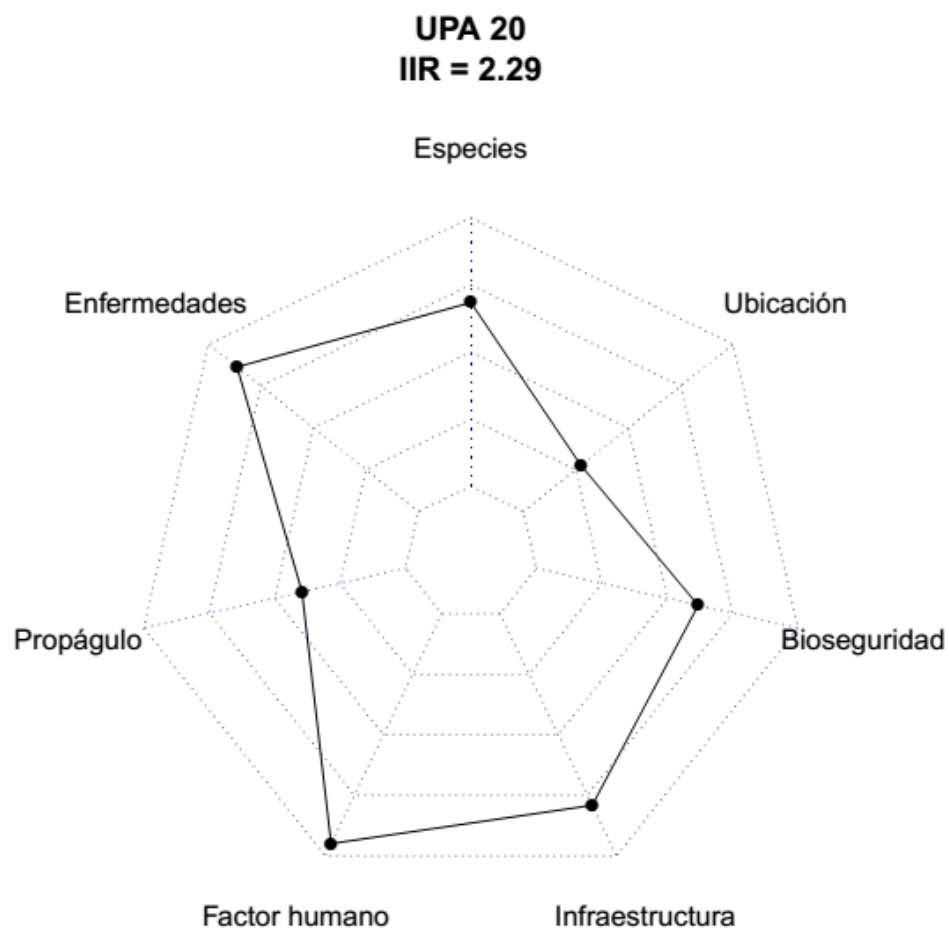


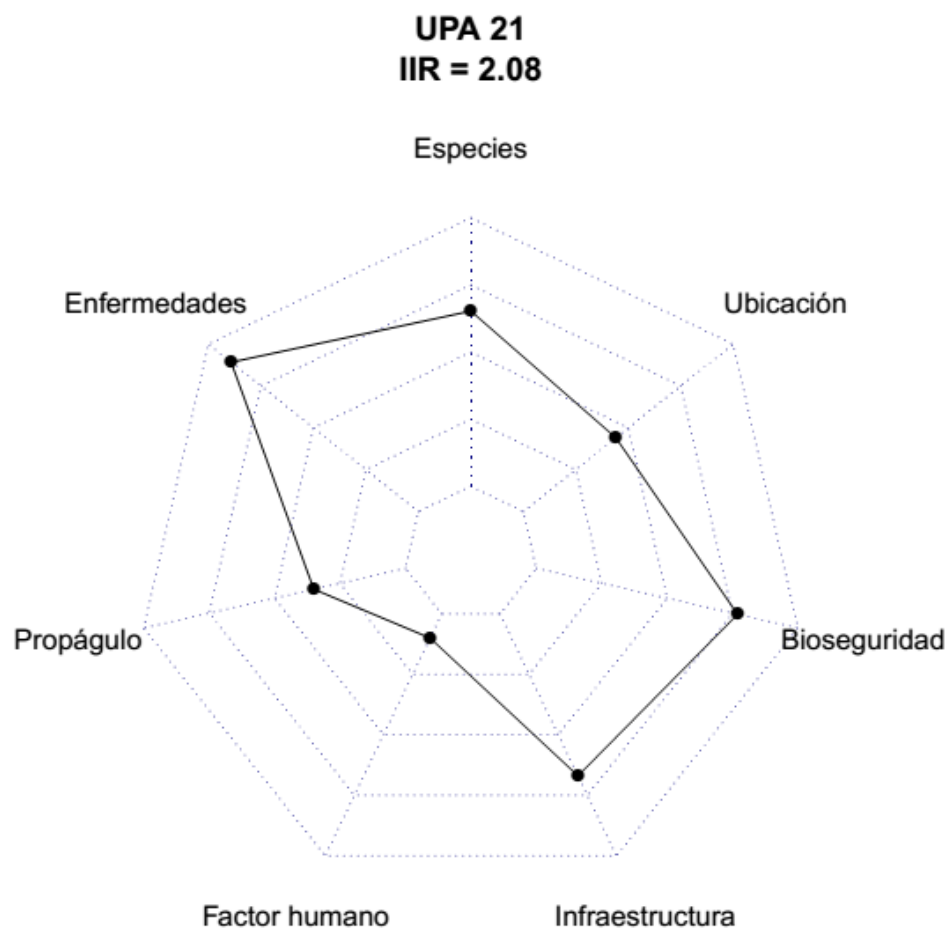


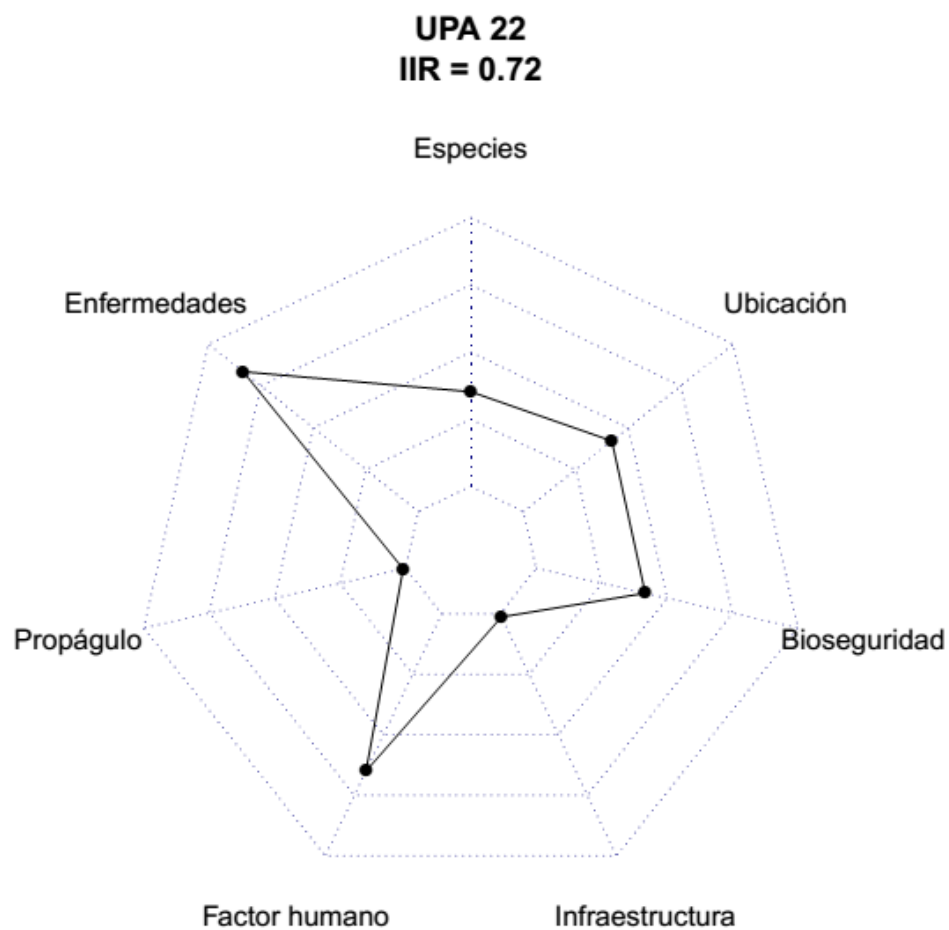


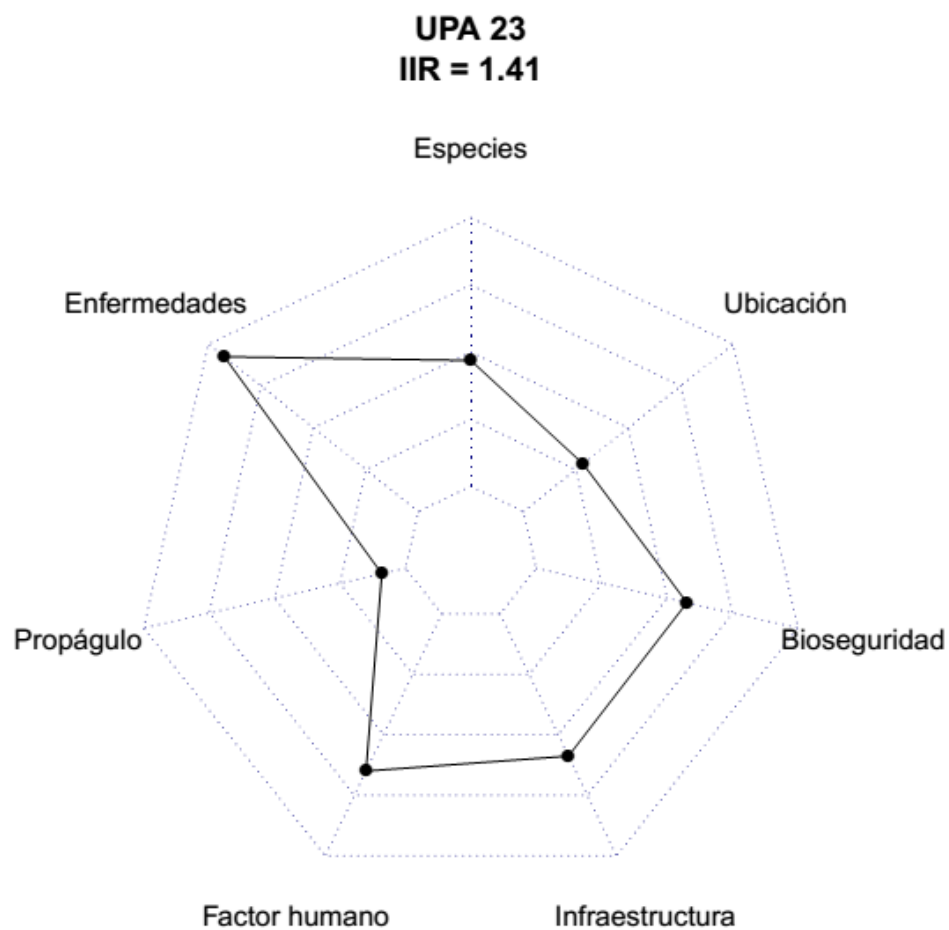


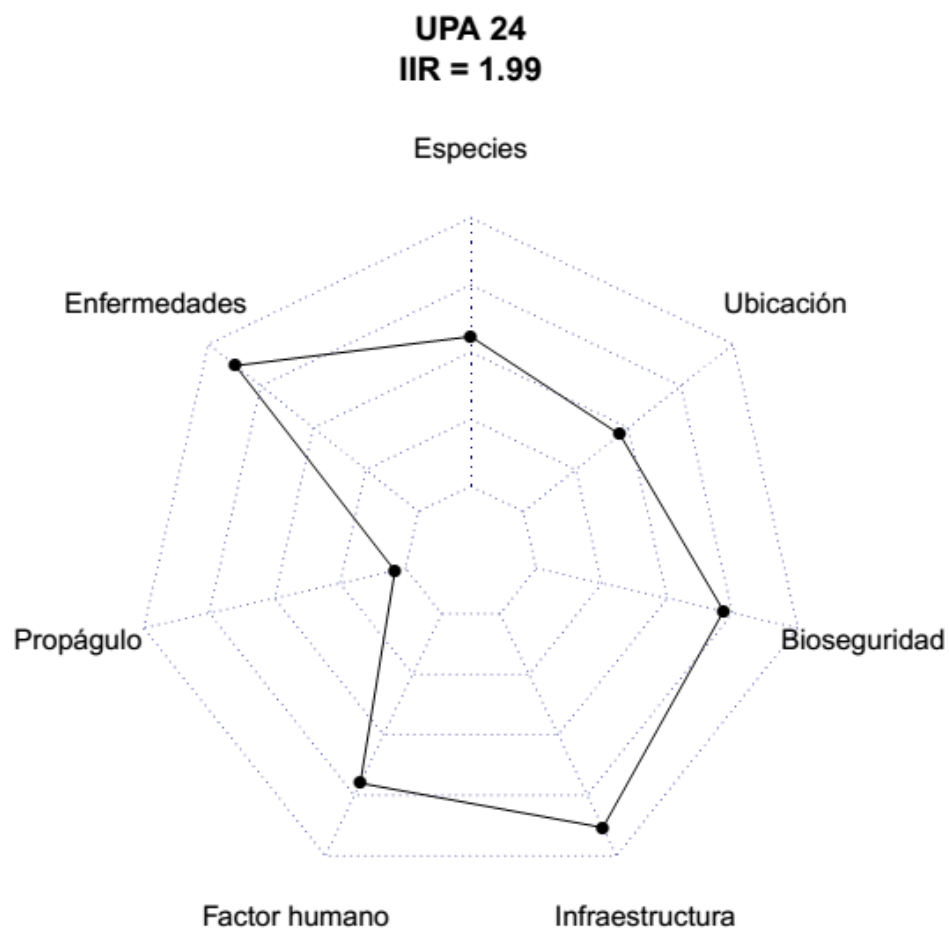


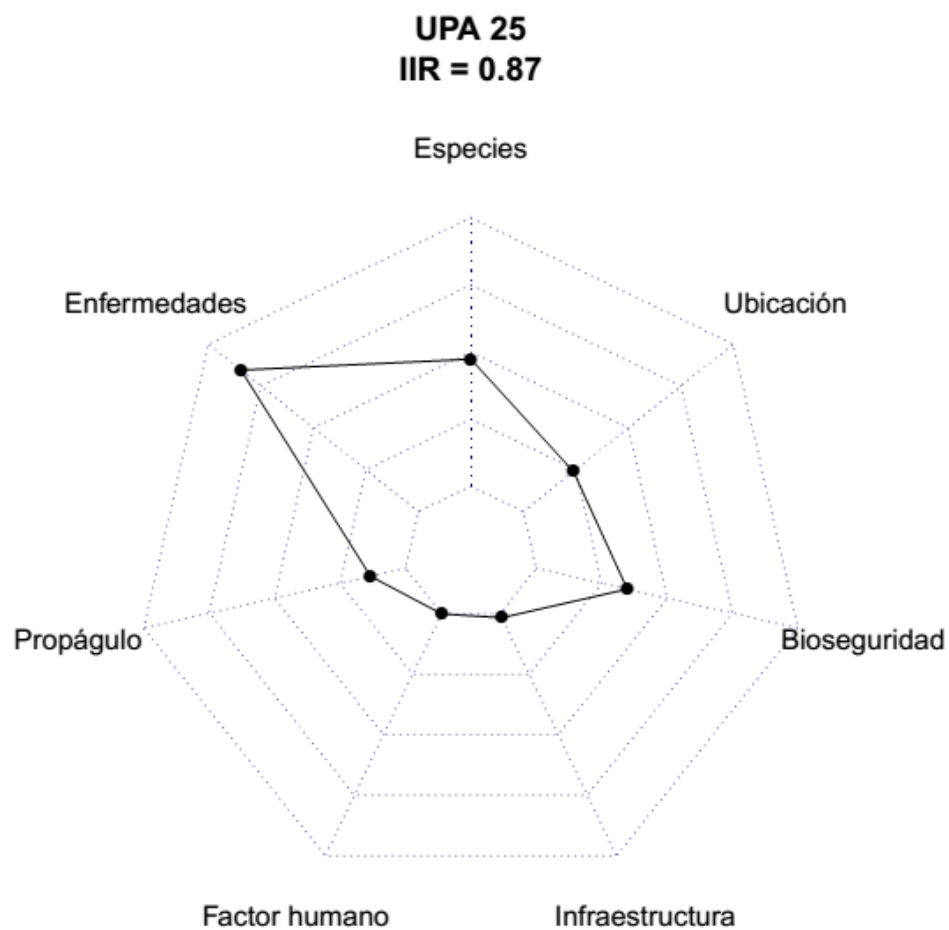


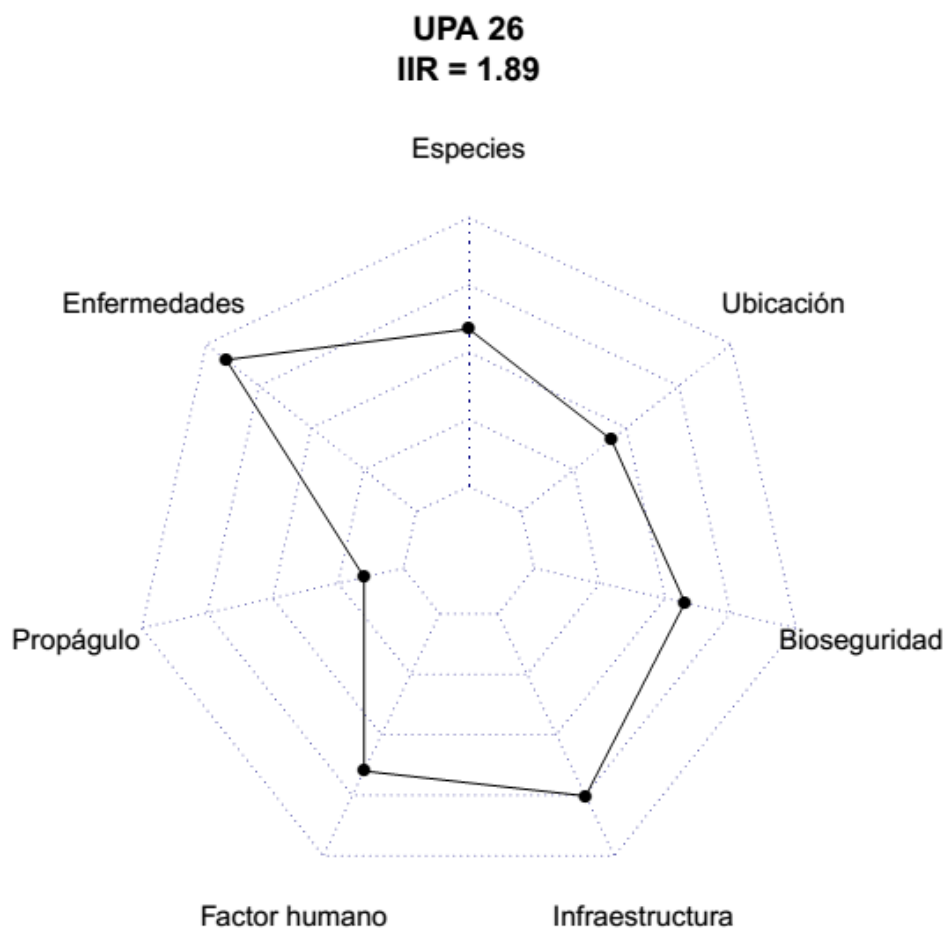


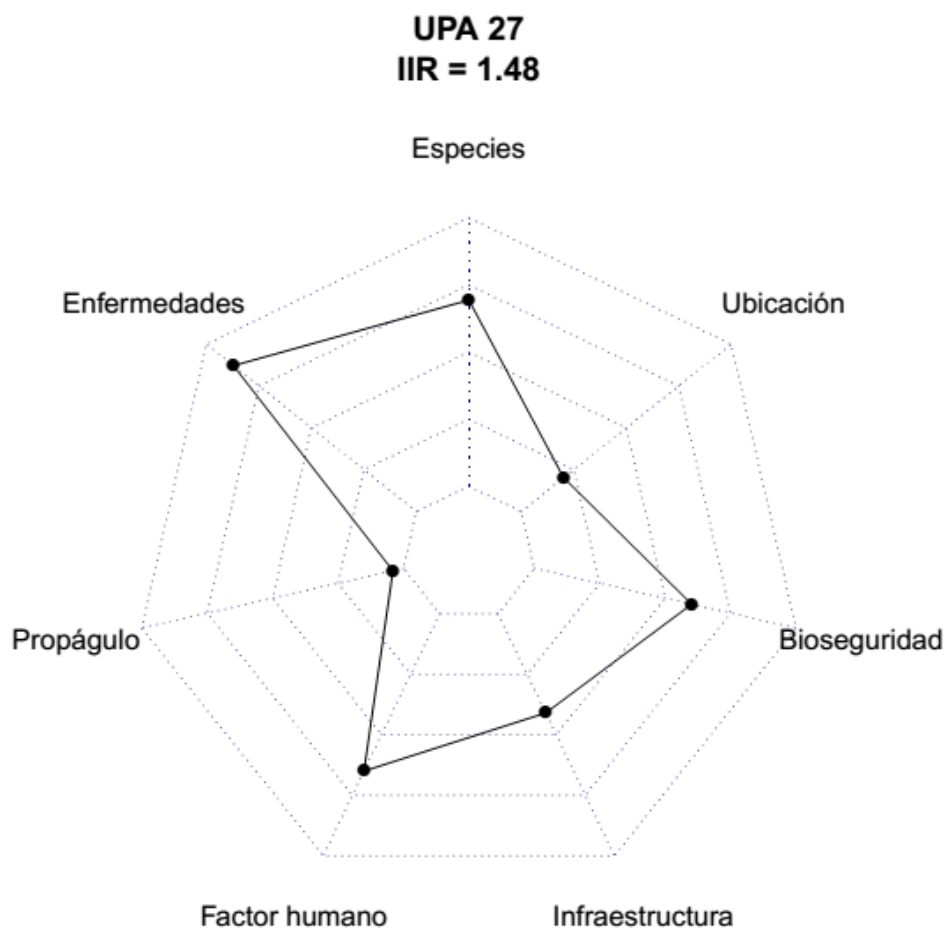


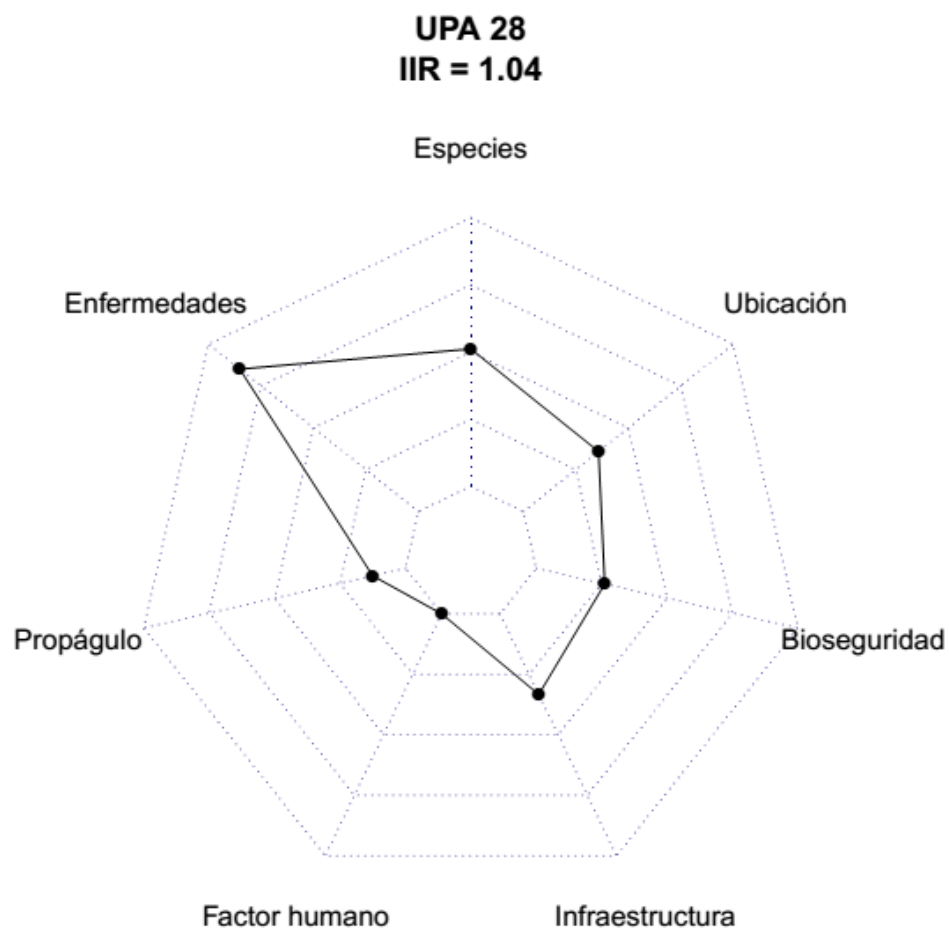


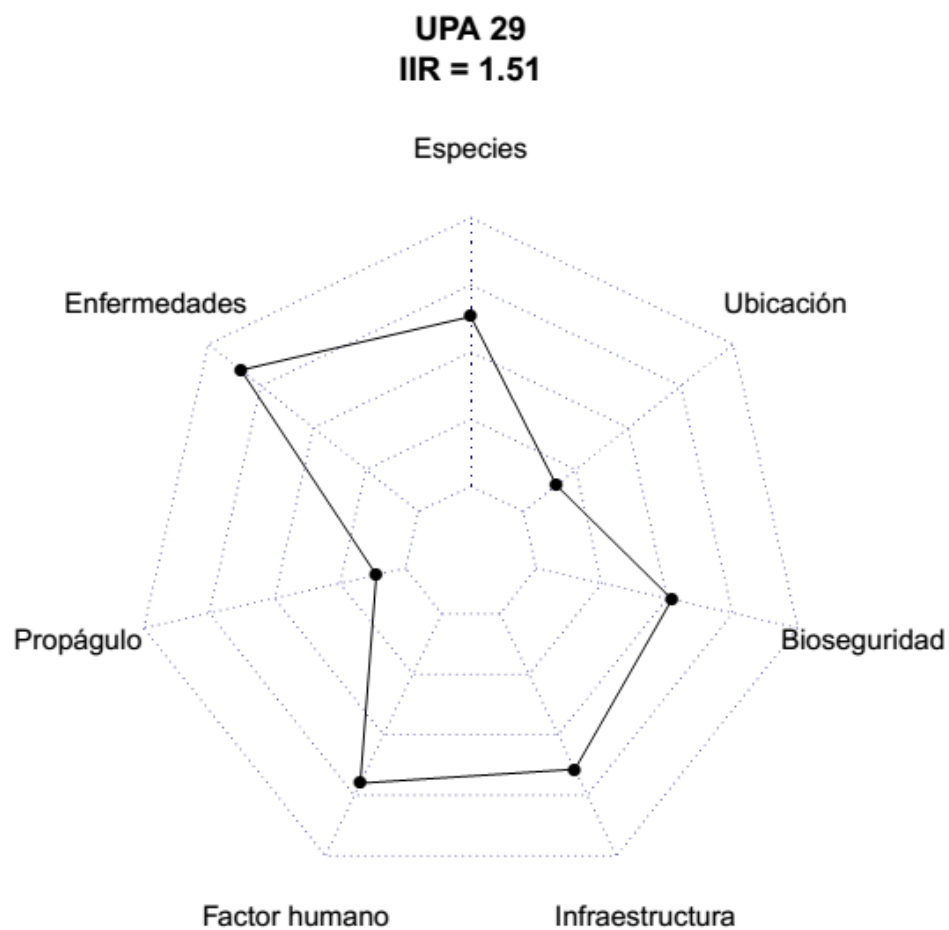


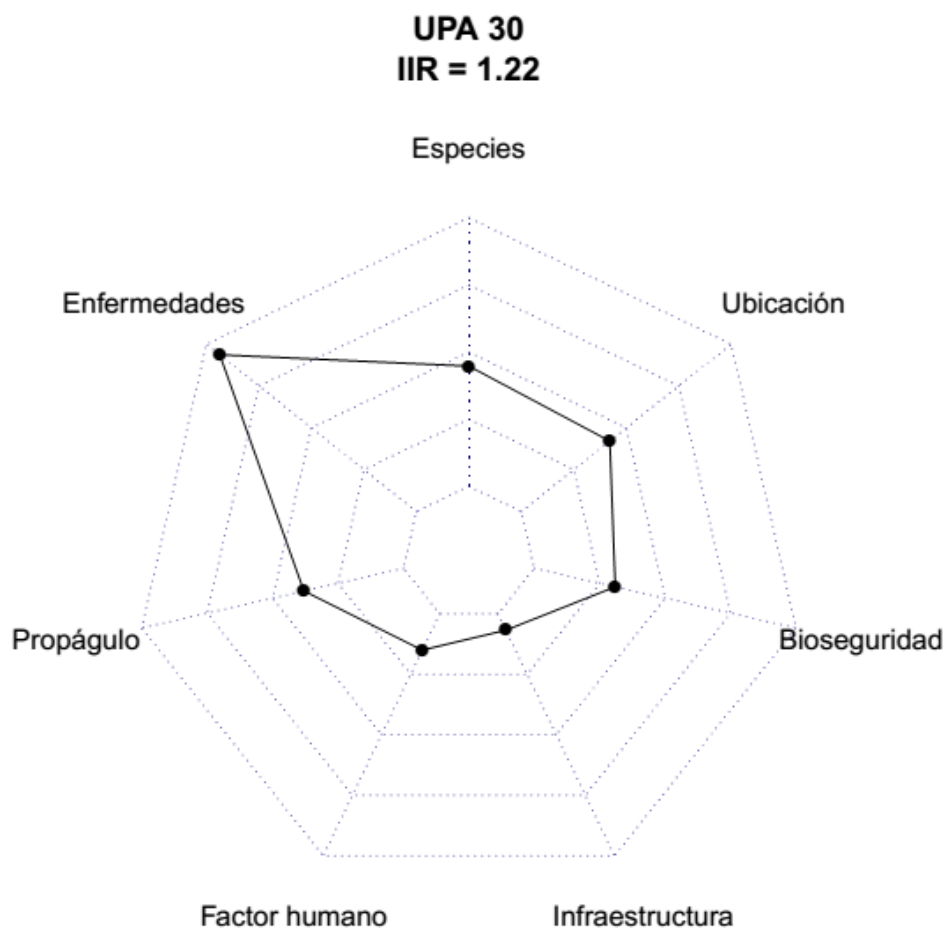


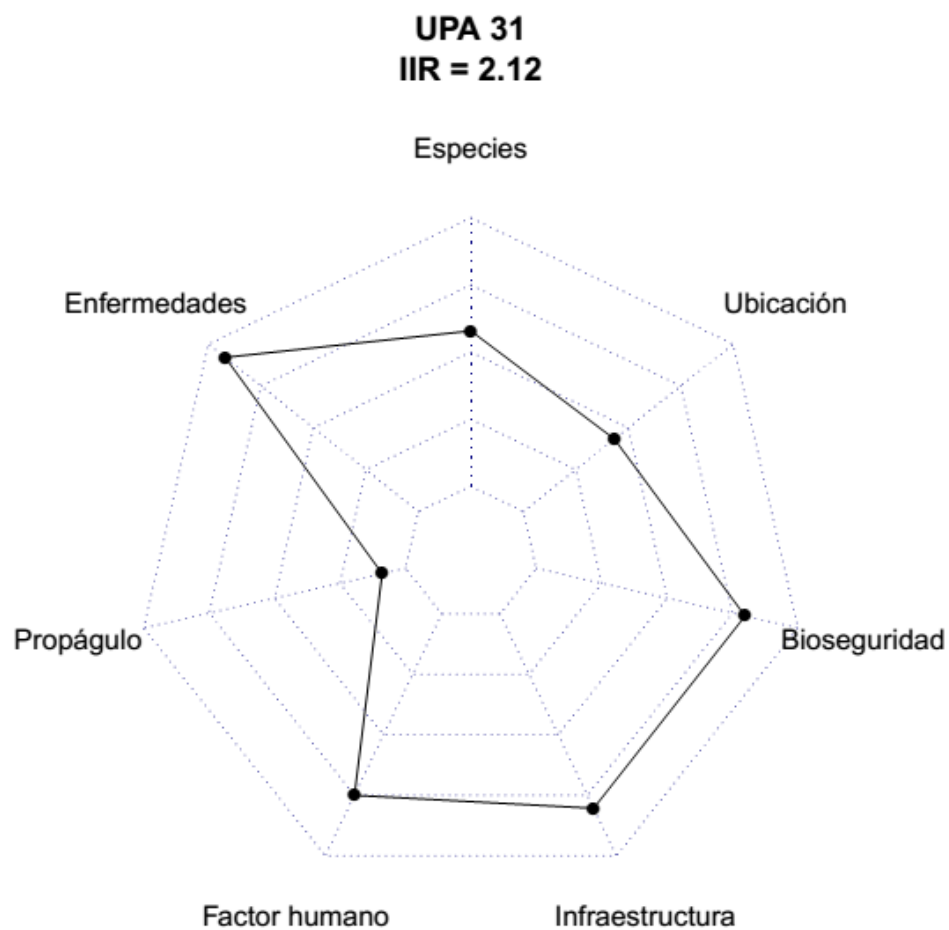


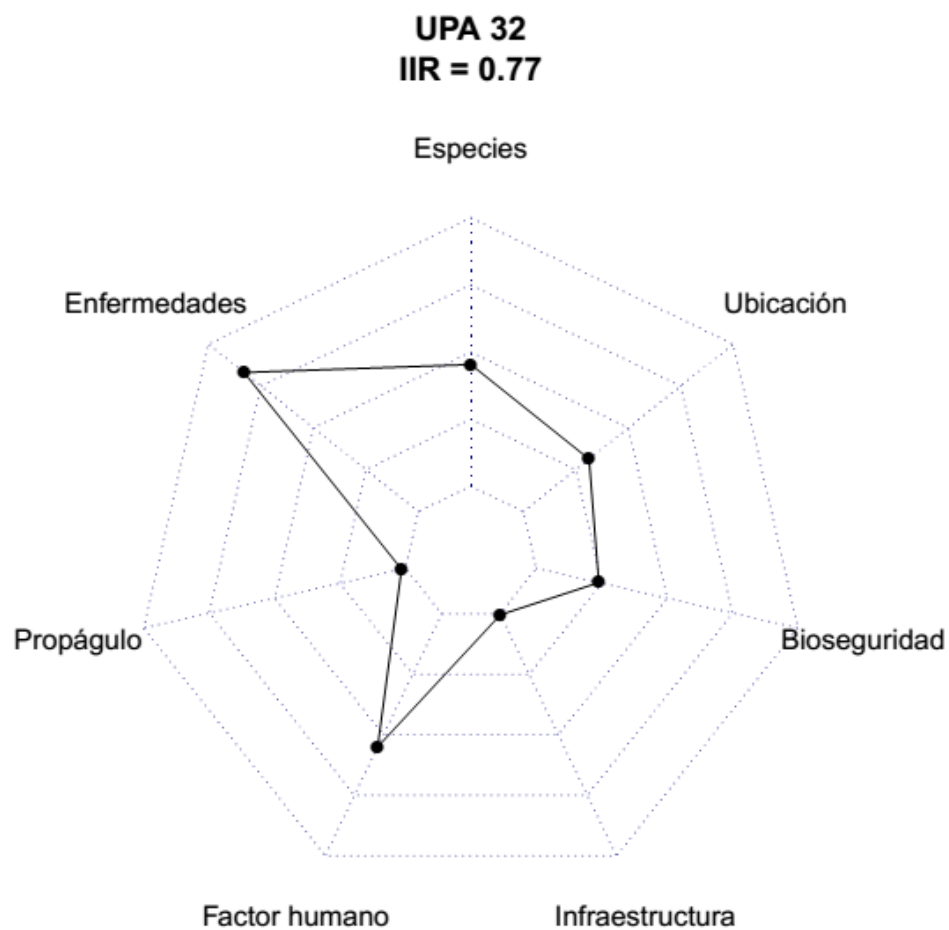


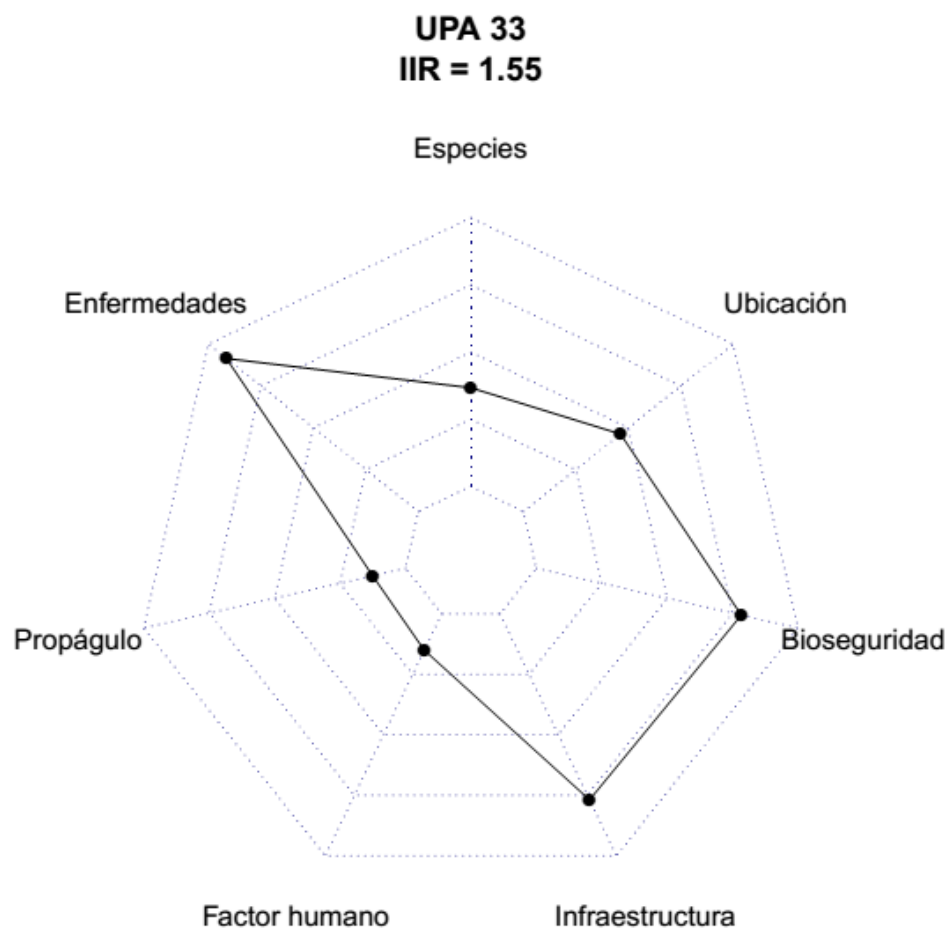


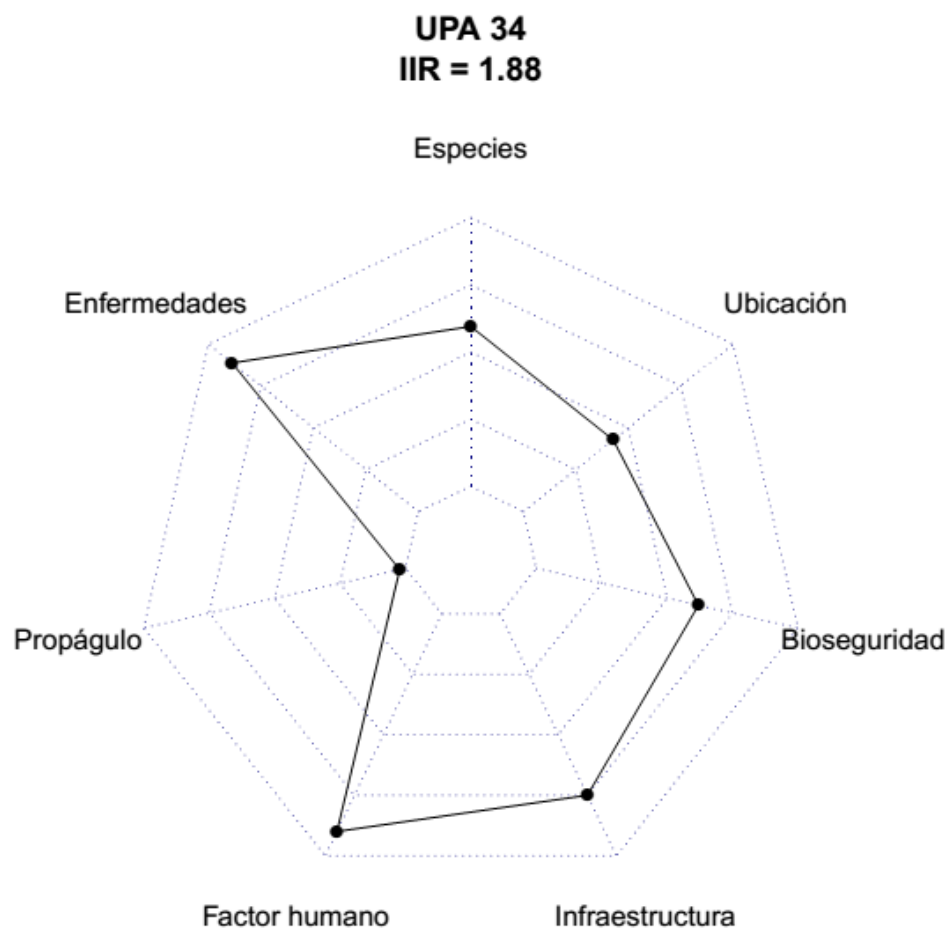


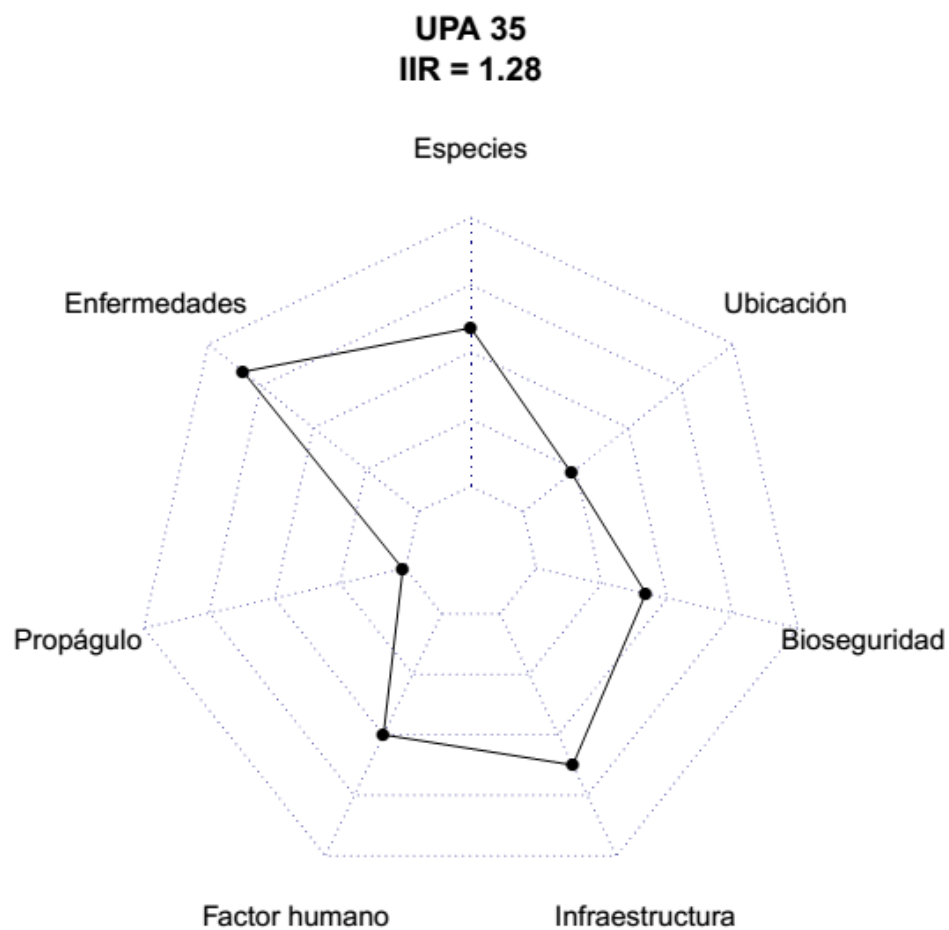


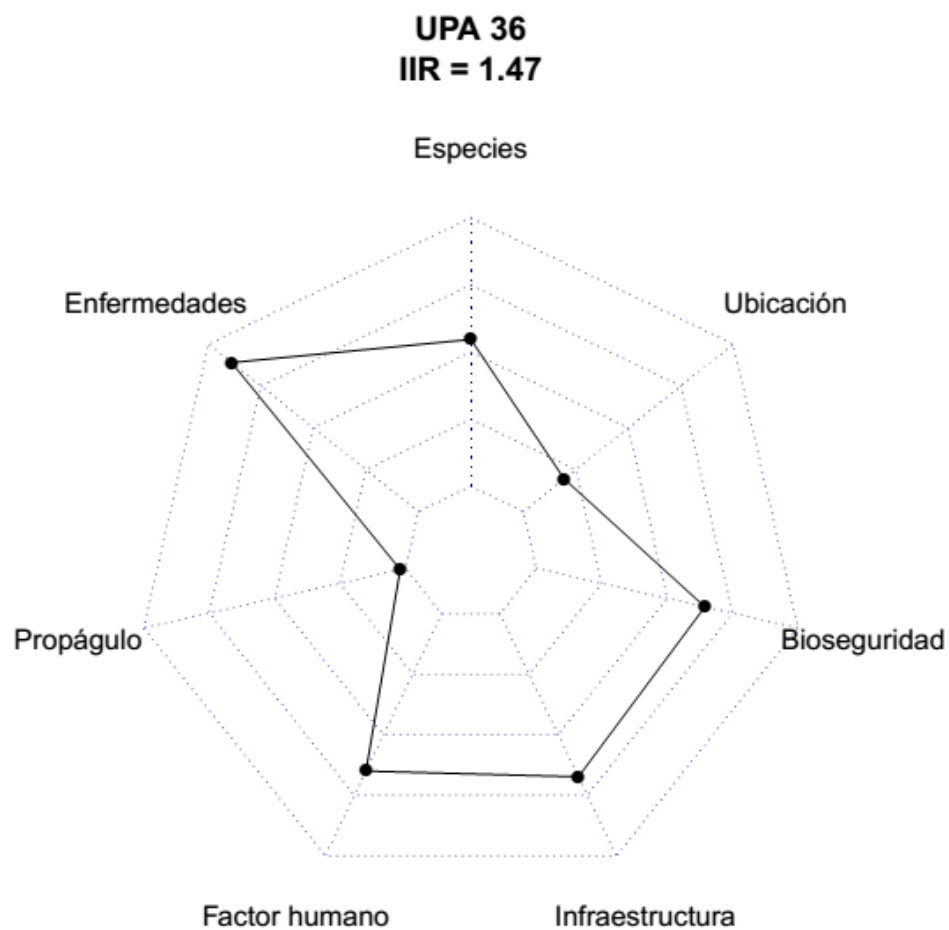


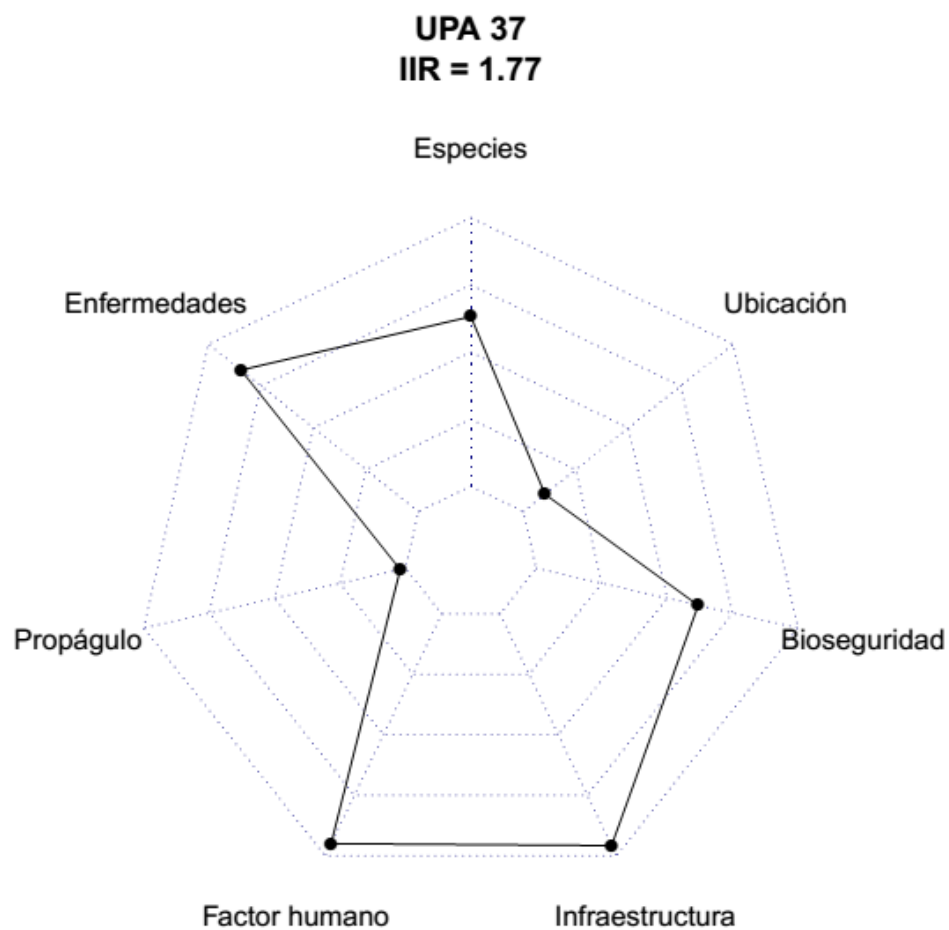


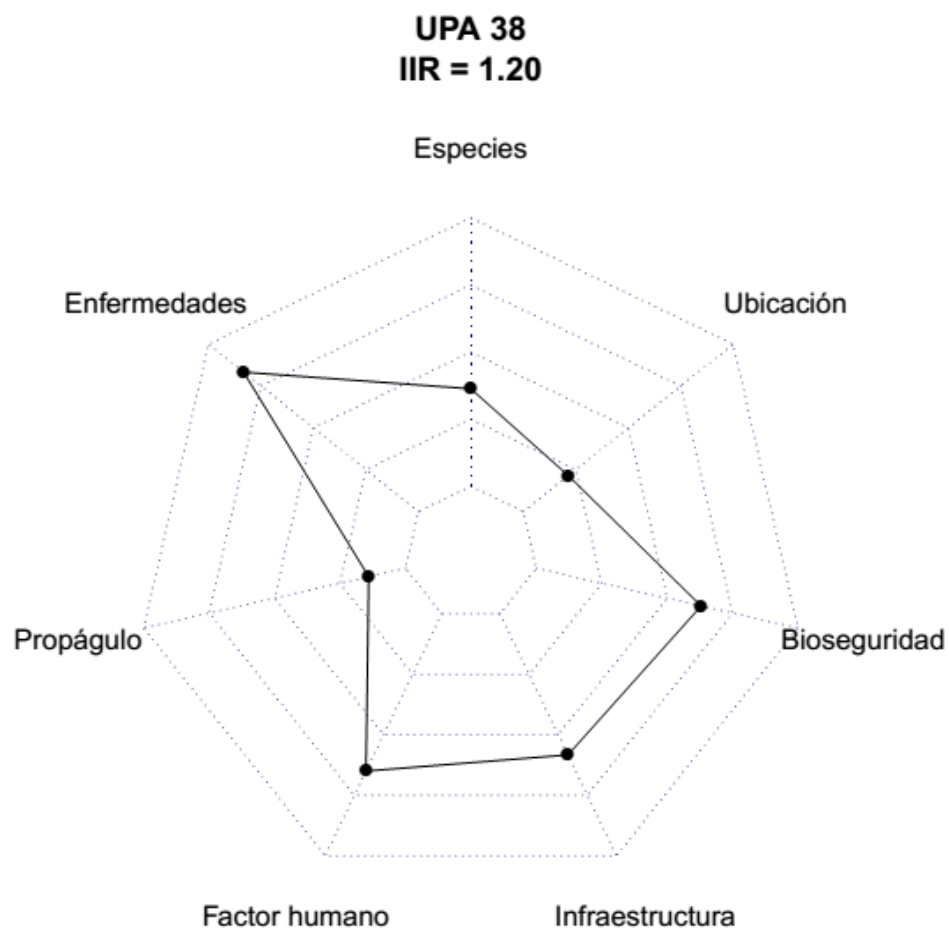


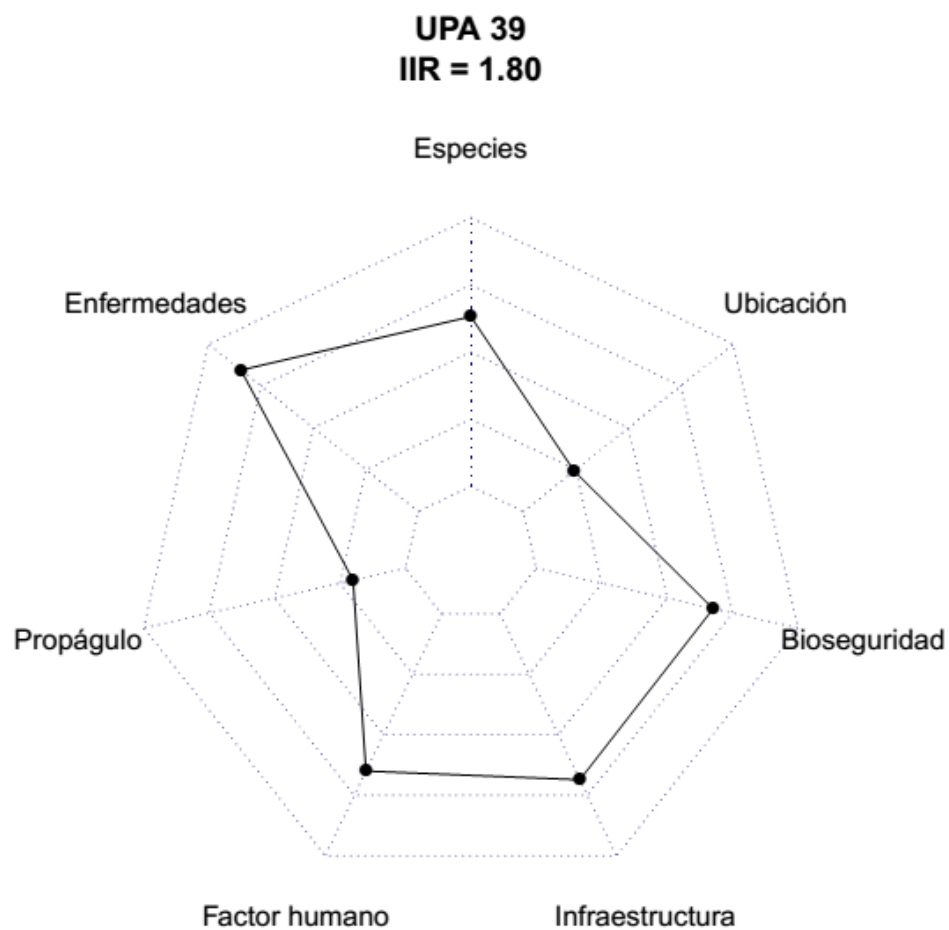


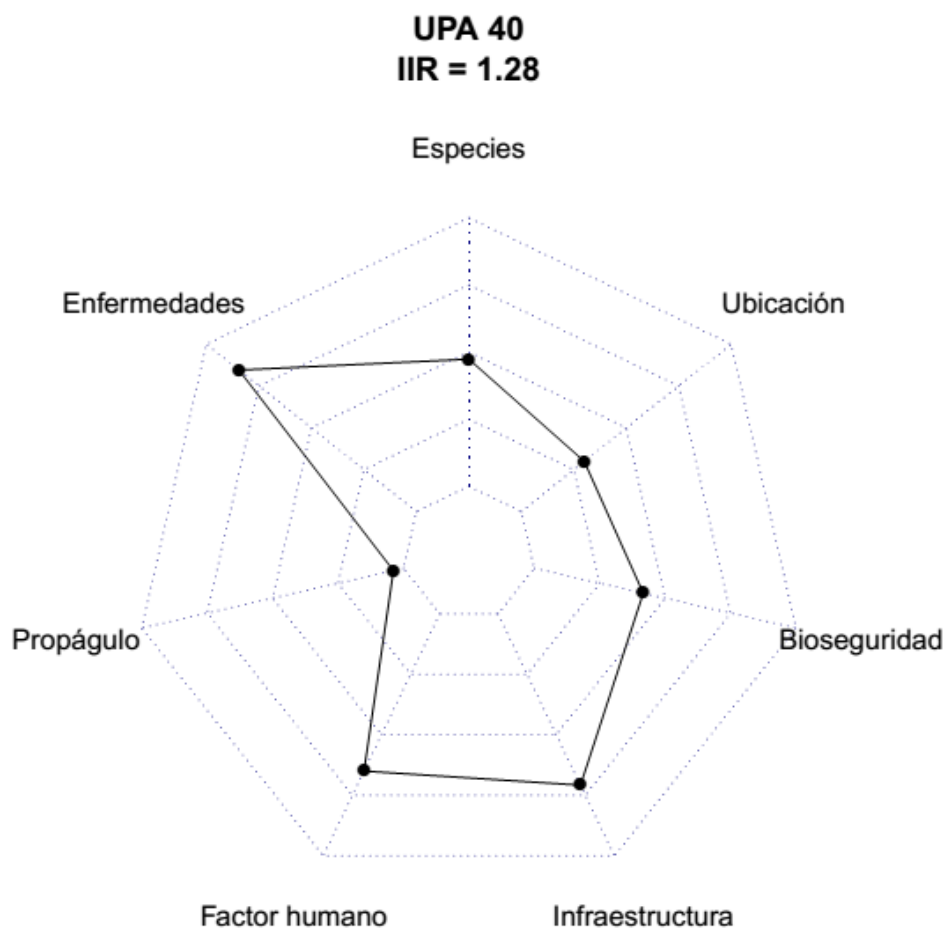


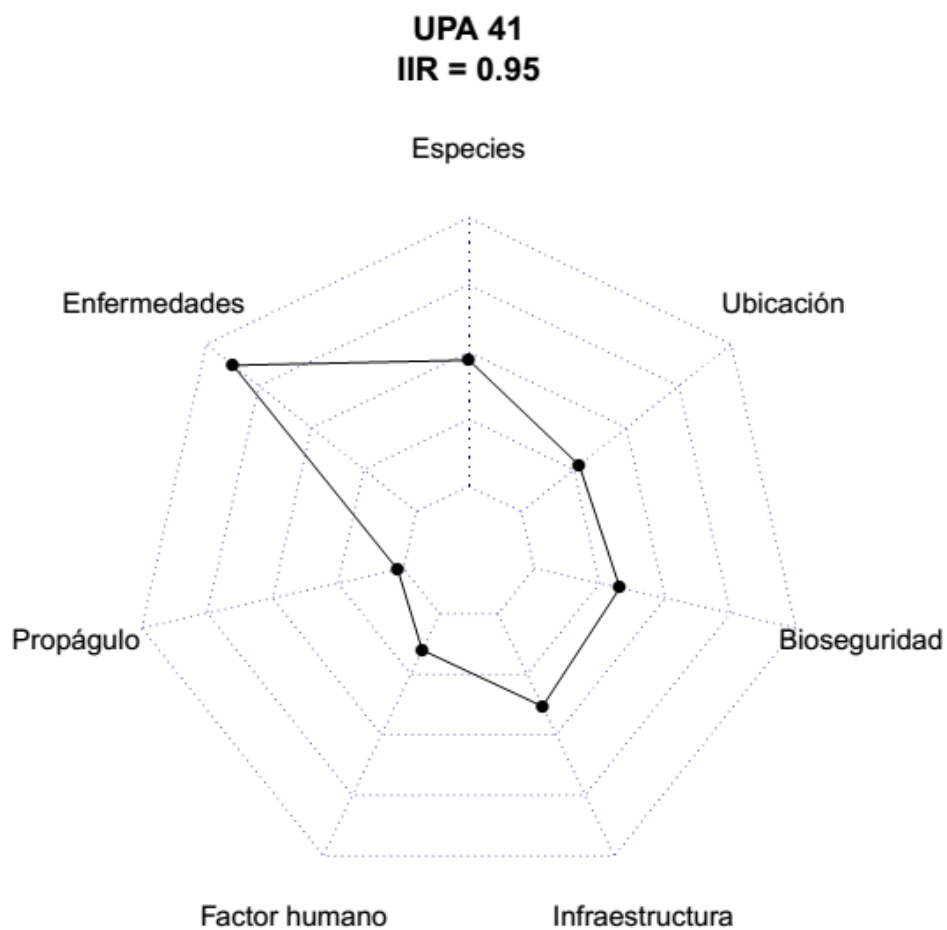


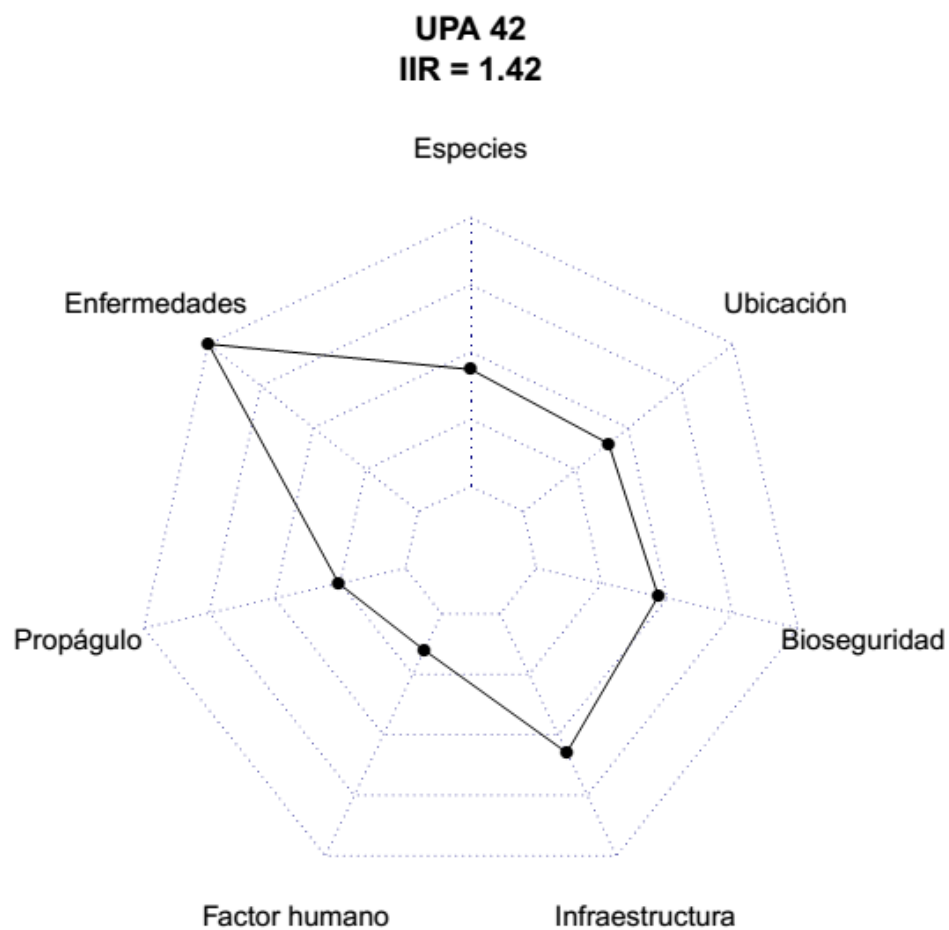


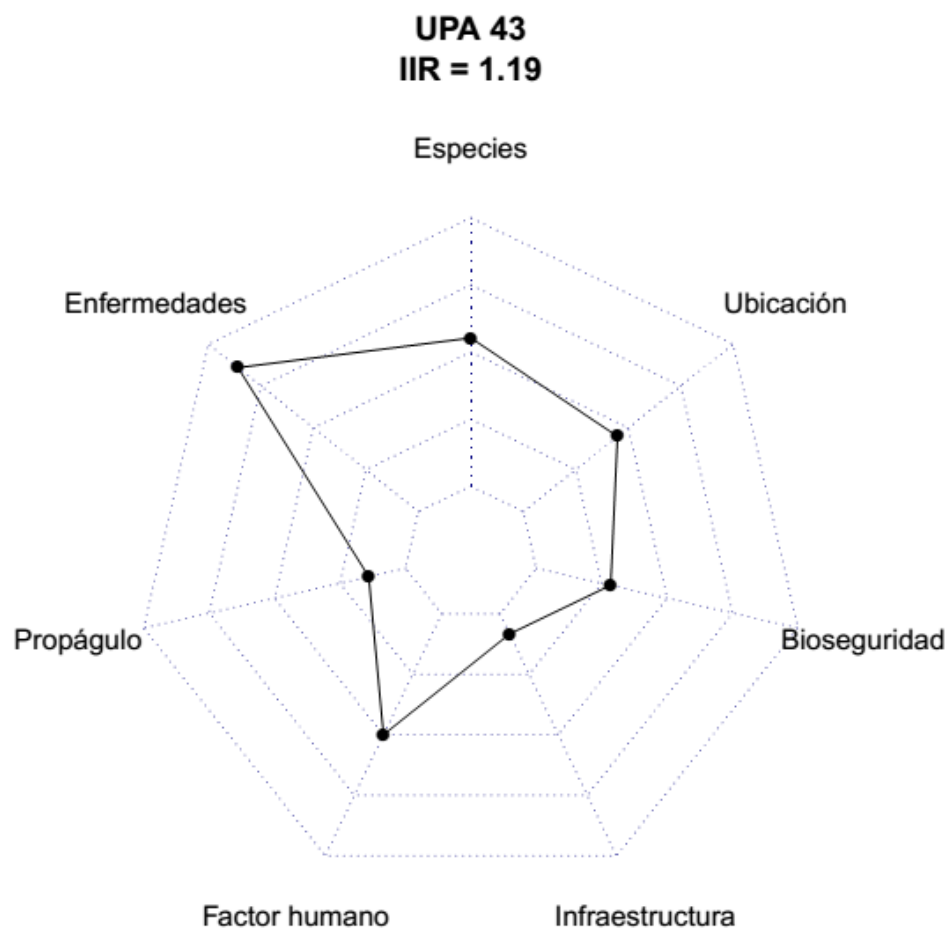


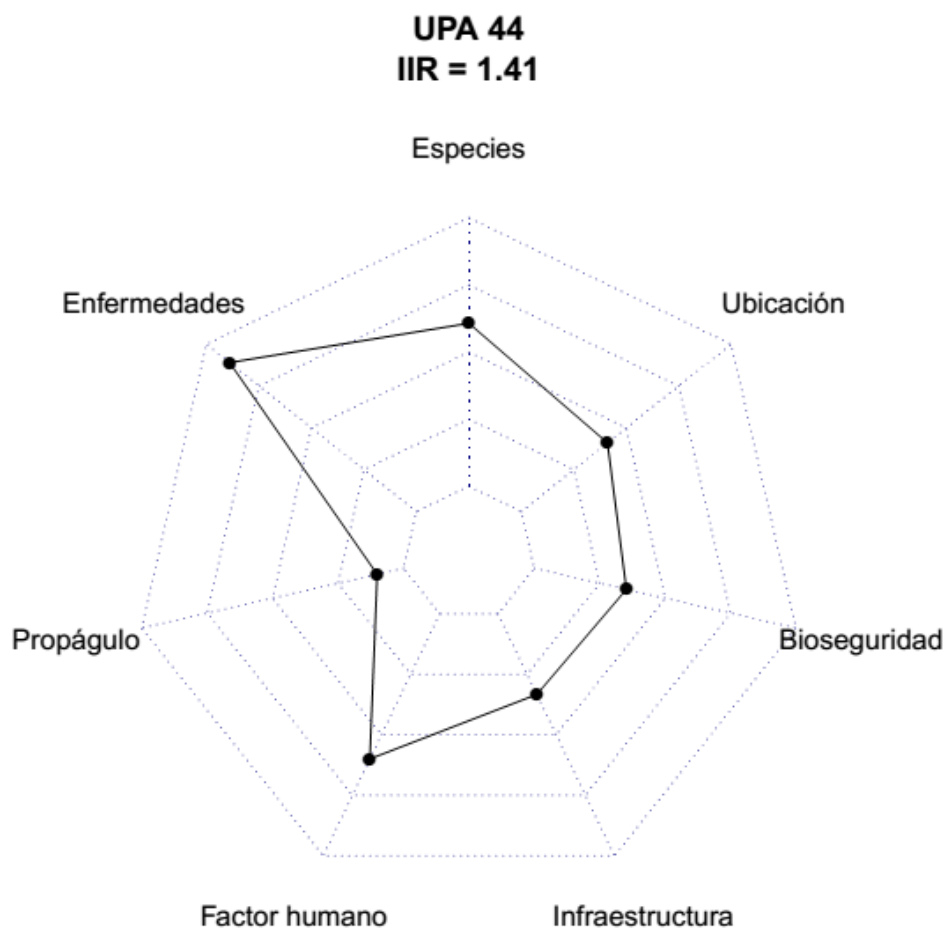


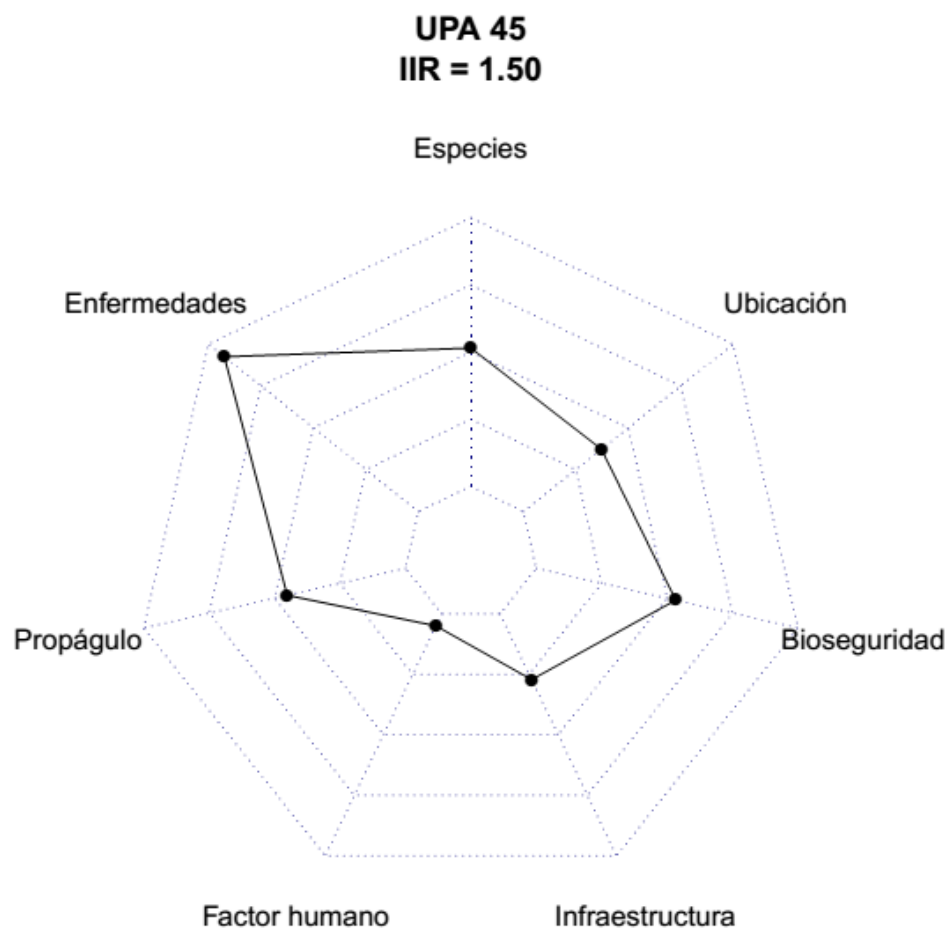


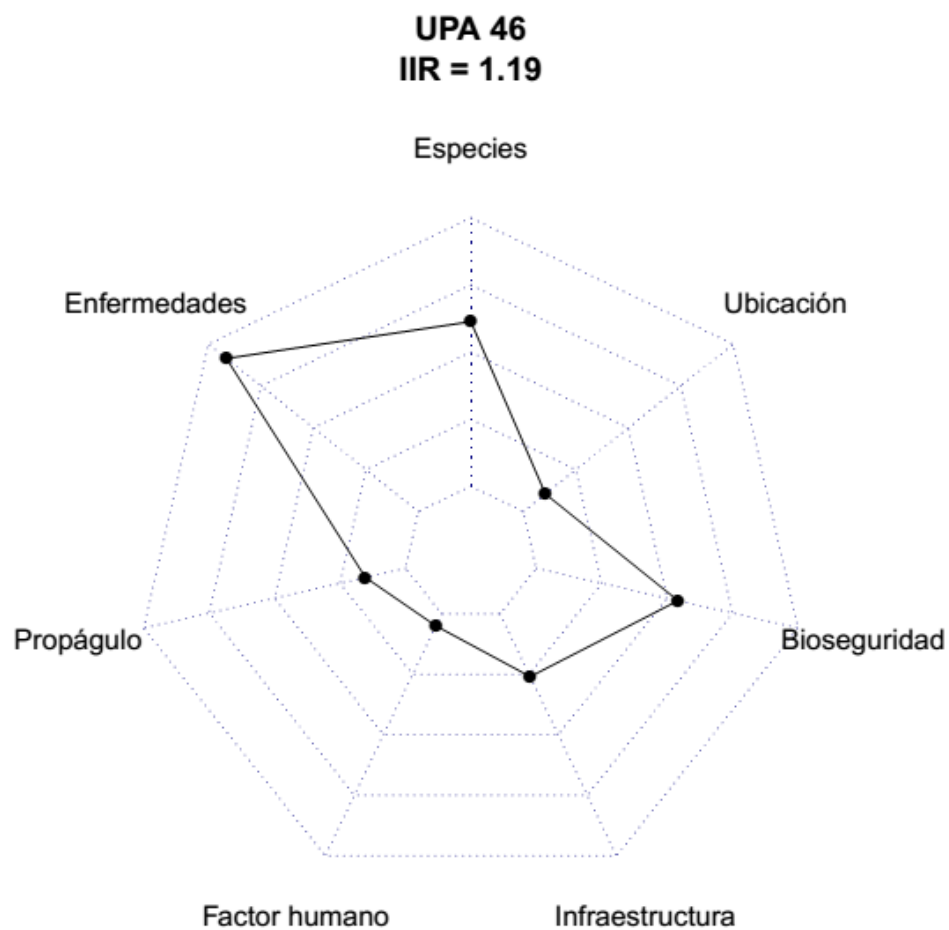


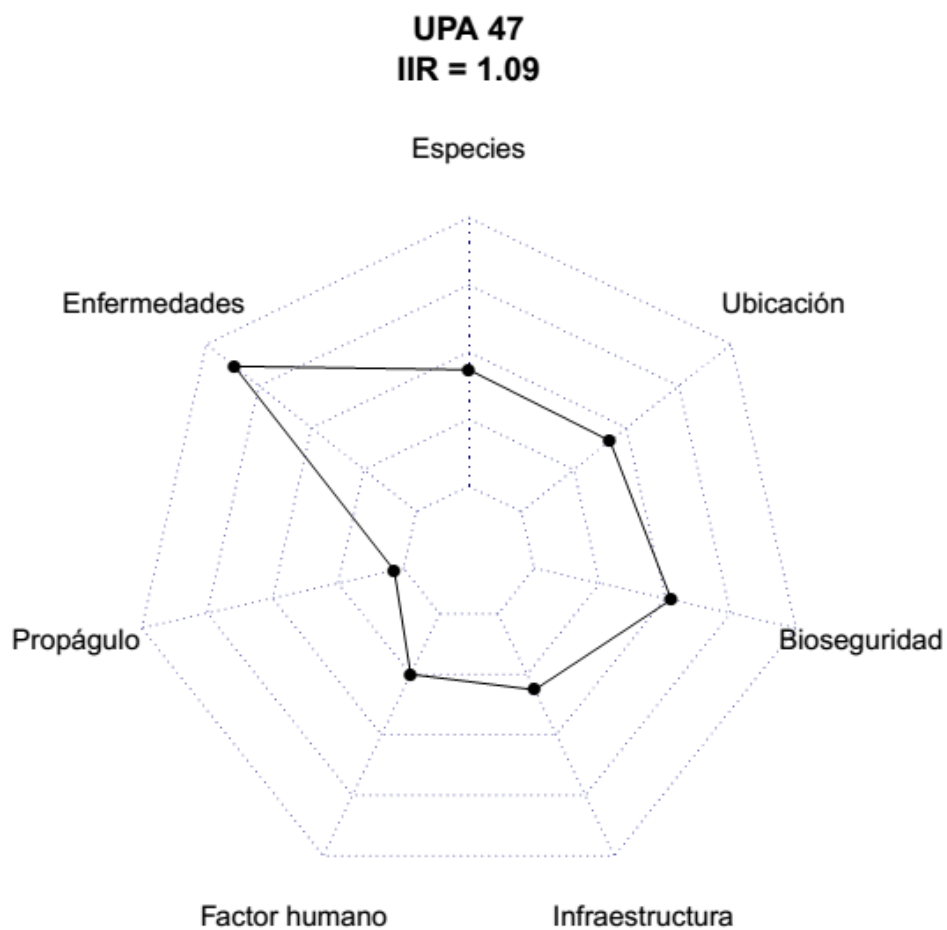


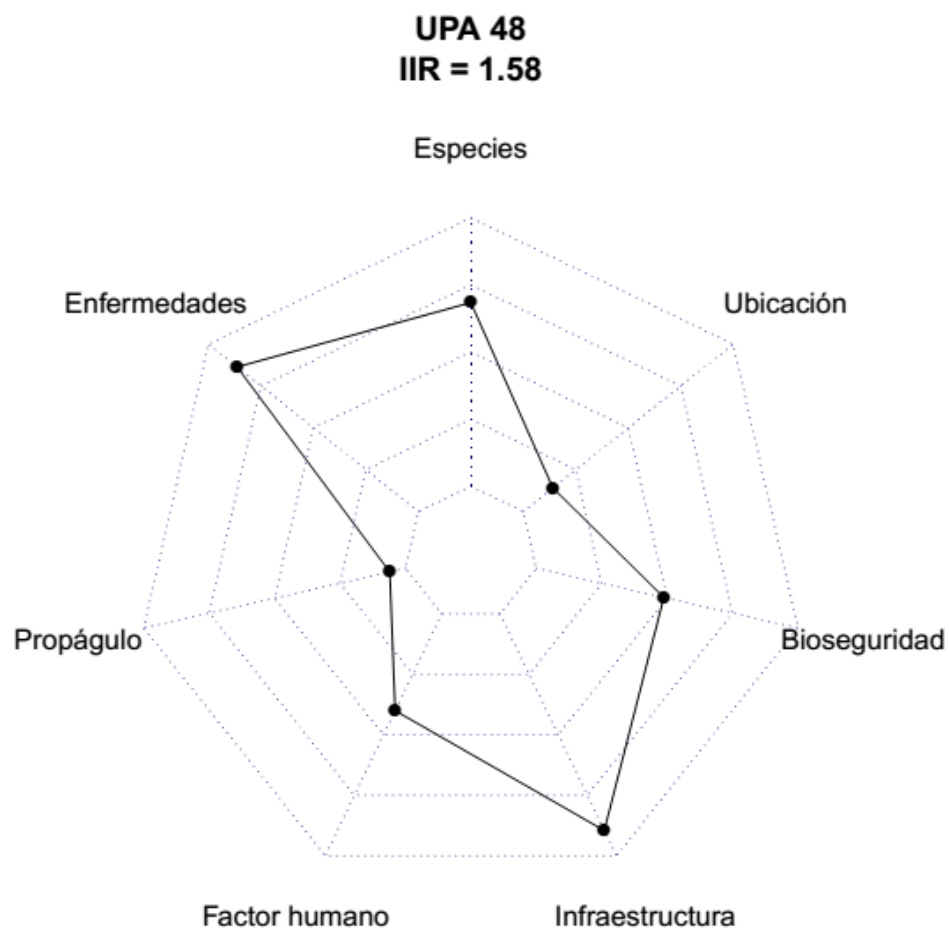


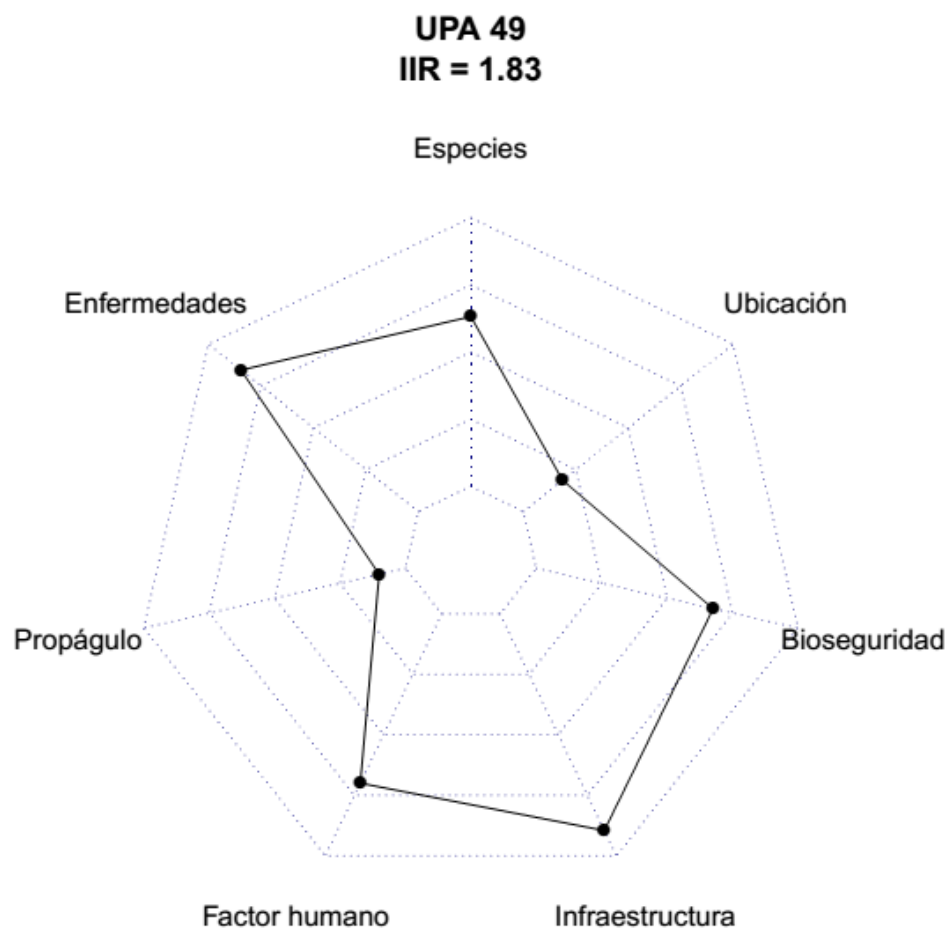


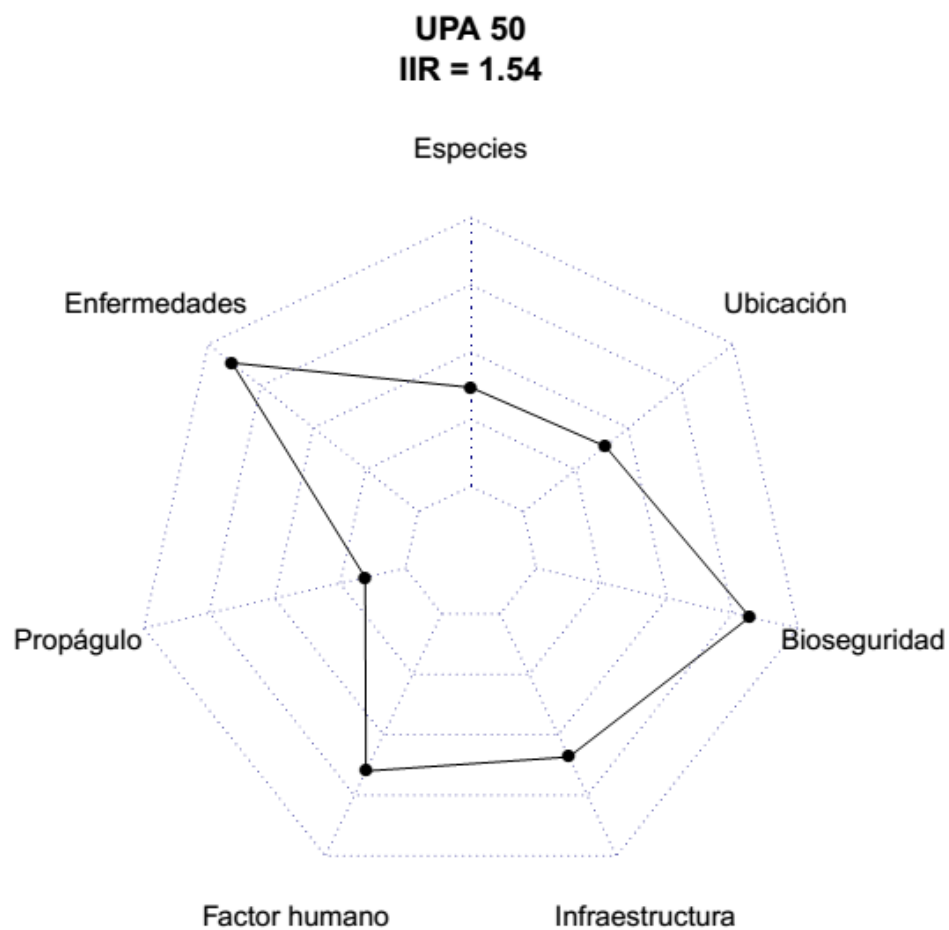












ANEXO D

Métodos de desinfección y eliminación de peces muertos

Los desinfectantes son compuestos que eliminan los patógenos en las superficies biológicas mediante acciones no específicas. Las características ideales de un desinfectante son: tener un amplio espectro, acción rápida y baja toxicidad. Por estas razones, así como por la falta de control reglamentario, los desinfectantes han ganado un amplio uso en las instalaciones acuícolas.

Los tipos de agentes desinfectantes que pueden utilizarse durante un brote de enfermedades en animales acuáticos incluyen los siguientes:

1. Agentes oxidantes
2. Modificadores del pH (álcalis y ácidos)
3. Aldehídos
4. Biguanidas
5. Compuestos de amonio cuaternario (QAC)
6. Irradiación ultravioleta (UV)
7. Calor
8. Secado

Aplicaciones de desinfectantes para equipos con las dosis recomendadas por el *Australian Aquatic Veterinary Emergency Plan* (2008).

| Agente desinfectante | Aplicación | Patógenos | Dosis recomendada | Comentarios |
|--|---|---------------------|--|--|
| Soluciones de hipoclorito (hipoclorito de calcio o hipoclorito de sodio) | Tratamiento de superficies limpias y duras | Todos los patógenos | Mínimo 30 mg / L de cloro | Uso como solución desinfectante general |
| | Tratamiento del agua (suponiendo baja carga orgánica) | Todos los patógenos | Mínimo 30 mg / L de cloro Mantener un mínimo de 5 mg / L de cloro | Mantener durante un mínimo de 24 horas para inactivar. Pruebe el nivel de cloro antes |

| | | | | |
|--|--|---------------------|---|--|
| | | | residual. | de la descarga o neutralice con tiosulfato. Menos activo en presencia de altos niveles de materia orgánica. Re-dosifique si fuera necesario |
| | Tratamiento de las redes | Todos los patógenos | Dosis inicial de 1000 mg / L de Cloro. Mantener un mínimo de 5 mg / L de cloro residual | Mezclar bien para asegurar una distribución uniforme. Sumerja durante un mínimo de 6 horas. |
| | Tratamiento por inmersión de materiales absorbentes tales como redes de cuchara, cuerdas o superficies absorbentes | Todos los patógenos | Solución de > 200 mg / L de cloro disponible | Permita tiempo para saturar completamente más 2 minutos adicionales (mínimo). Enjuague los artículos en agua dulce o neutralice con tiosulfato |
| | Tratamiento de tanques, pisos y paredes en las instalaciones de cultivo | Todos los patógenos | Rocíe con una solución > 1,500 mg / L de cloro | Deje la solución durante 2 horas, luego enjuague. Los tanques deben ser llenados con agua dulce y se les debe agregar 200 mg / L de |

| | | | | |
|-------------|--|--------------------------|---|---|
| | | | | cloro. |
| Cloramina-T | Tratamiento del agua | Bacterias, virus, hongos | 20 mg / L de cloramina-T (o según las instrucciones del fabricante) | Mantenga durante un mínimo de 24 horas; Probar el nivel de cloro antes de la descarga o neutralizar con tiosulfato. Las concentraciones y las dosis varían entre los productos. |
| | Tratamiento de superficies duras previamente limpiadas | Bacterias, virus, hongos | 20 g / L de cloramina-T (o según las instrucciones del fabricante) | Dejar secar en superficies adecuadas, o por un mínimo de 30 minutos antes del enjuague, las concentraciones y las dosis varían entre los productos |
| | Baños de pies (tapete sanitario) | Bacterias, virus, hongos | 50 g / L de cloramina-T (o según las instrucciones del fabricante). | Cepillar las botas antes de la inmersión. Dejar secar en las botas. Las concentraciones y las dosis varían entre los productos |
| | Tratamiento de superficies duras | Todos los patógenos | 1% de solución durante > 60 minutos (o | Las concentraciones y las dosis varían entre los |

| | | | | |
|---------------------------|--|---------------------|---|--|
| | | | según las instrucciones del fabricante). | productos |
| Ácido peracético | Tratamiento de superficies porosas | Todos los patógenos | Solución al 2% durante > 60 minutos (o según las instrucciones del fabricante). | Las concentraciones y las dosis varían entre los productos |
| | Tratamiento de lodos residuales (alta materia orgánica). | Todos los patógenos | 40 L de solución concentrada por 1000 L. Tiempo de contacto > 1 hora | Puede causar excesiva formación de espuma y desbordamiento del tanque en presencia de altos niveles de proteína |
| Compuestos de monosulfato | Tratamiento de superficies duras | Todos los patógenos | 10 g / L (o según las instrucciones del fabricante) | Tasa de aplicación de 400 mL / m ² durante > 10 minutos. Las dosis y concentraciones varían entre los productos |
| | Tratamiento de superficies porosas | Todos los patógenos | 20 g / L (o según las instrucciones del fabricante) | Tasa de aplicación de 400 mL / m ² durante > 10 minutos. Las dosis y concentraciones varían entre los |

| | | | | productos |
|------------------|---|--------------------------|---|---|
| | Baños de pies (tapete sanitario) | Todos los patógenos | 50 g / L (o según las instrucciones del fabricante) | Retirar toda la materia orgánica del calzado antes de la inmersión; Tiempo de inmersión > 1 minuto. Reemplazar la solución diariamente en áreas de uso intensivo y cada 4 días en áreas de uso ligero. Dosis y concentraciones varían entre productos |
| Dióxido de cloro | Tratamiento de superficies duras y porosas. Tratamiento del agua | Todos los patógenos | Según las instrucciones del fabricante | Puede producir vapores volátiles cuando se activa por primera vez |
| Yodóforos | Tratamiento de superficies duras | Bacterias, hongos, virus | > 200 mg / L de yodo | Aplicar a la superficie 1- Yodóforo 2 minutos. |
| | Desinfección rociando el equipo | Bacterias, hongos, virus | 100 ppm de yodo | Aplicar a equipos previamente limpiados y secados |
| | Baños de pies | Bacterias, | > 200 mg / l | Limpie las botas |

| | | | | |
|--------------------|---|----------------------------------|--|--|
| | (tapete sanitario) | hongos, virus | de yodo | antes de la desinfección. Reemplazar diariamente en áreas de alto uso, o cuando la solución haya perdido color. |
| | Úselo para lavarse las manos o la piel, o en artefactos para pesca (caña u otro equipo delicado). | Bacterias, hongos, virus | > 200 mg / l de yodo | Solución de polividona yodada. No utilice soluciones de yodo acidificadas |
| | Tratamiento del agua | Bacterias, hongos, virus | 30 mg / L de yodo, durante 12 horas | Tratar con tiosulfato antes de la descarga. |
| Óxido de calcio | Estanques de tierra | Todos los patógenos | 0.5 kg / m ² durante 1 mes | Repetir la dosis al menos en dos ocasiones en zonas húmedas o en caso de inundación |
| Hidróxido de sodio | Tratamiento de superficies de concreto | Todos los patógenos | Aplicado como una mezcla con CaOH y Teepol | NaOH se vende generalmente como gránulos. Repetir la dosis al menos en dos ocasiones en zonas húmedas o en caso de inundación. También puede |
| | Tratamiento de superficies en las que una alta carga de | Patógenos virales en superficies | Aplicado como una solución de 20 g / L de | |

| | | | | |
|---------------------|---|---------------------|--|--|
| | materia orgánica puede ser un problema | | NaOH durante > 10 minutos | utilizarse como una solución al 0,2% como agente limpiador para equipos. Teepol (agente humectante) mejora la penetración a través del suelo y en el concreto. |
| | Tratamiento de aguas residuales | Todos los patógenos | A una dosis para alcanzar un pH > 12 durante 24 horas. | |
| | Tratamiento de lodos residuales (alto contenido de materia orgánica). | Todos los patógenos | 50% (p / v) a una tasa de 30 L / 1000 L de suspensión | La dosis debe alcanzar un pH > 12. Tratar durante > 4 días. |
| Hidróxido de calcio | Tratamiento de lodos residuales (alto contenido de materia orgánica) | Todos los patógenos | 40% (p / v) a una tasa de 60 L / 1000 L de suspensión | La dosis debe alcanzar un pH > 12. Tratar durante > 4 días. |
| Glutaralde-hido | Tratamiento de objetos pequeños o sujetos a corrosión | Todos los patógenos | 2% (p / v) durante 30 minutos | Disponible como solución concentrada |
| Formalina | Tratamiento de superficies duras o porosas, baños de pies (tapete | Todos los patógenos | 8% (vol / vol) durante 30 minutos | Disponible como solución al 40%. Diluir 1:12 para su uso. Usar sólo en áreas bien |

| | | | | |
|-----------------------------------|--|---|--|---|
| | sanitario) | | | ventiladas |
| | Tratamiento de lodos residuales (alto contenido de materia orgánica) | Todos los patógenos | 40 L de solución de formalina (40%) por 1000 L | Debe distribuirse uniformemente |
| | Tratamiento de tuberías o canales de alcantarillado (<i>in situ</i>) | Todos los patógenos | 300 ml de solución de formalina comercial por 10 L de agua | Llenar completamente la tubería con solución desinfectante y dejar durante 24 horas |
| Compuestos cuaternarios de amonio | Úselo en la piel o en artículos delicados | Algunas bacterias, algunos virus | 1 mg / L durante > 1 minuto | Gama limitada de eficacia |
| | Uso en superficies duras | Algunas bacterias, algunos virus | 2 mg / L durante > 15 minutos | Gama limitada de eficacia |
| Calor | Tratamiento de aguas residuales | La mayoría de los patógenos Los virus de la Categoría A y algunas bacterias pueden ser resistentes | 60°C durante 10 minutos; 70 ° C durante 6 minutos; 75 ° C durante 5 minutos; 80 ° C durante 4 minutos | |

| | | | | |
|------------------|--|---|--|--|
| | Tratamiento de superficies duras y equipos | La mayoría de los patógenos Los virus de la Categoría A y algunas bacterias pueden ser resistentes | Limpieza con vapor a 115 - 130 ° C durante 5 minutos | Difícil de regular, mejor utilizado como complemento de otros métodos de desinfección. Especialmente adecuado para el tratamiento de tanques de transporte |
| Desecación y luz | Tanques de tierra | La mayoría de los patógenos | Secar durante > 3 meses a una temperatura media > 18 ° C | El período de secado puede reducirse si se combina con un desinfectante químico apropiado. Utilice el secado y la luz solar como un complemento general a todo método de desinfección, si es posible |
| Luz UV | Tratamiento de aguas residuales | Virus, bacterias, hongos | > 25 mJ / cm ² | Requiere pretratamiento con precipitación química o filtración |
| | Tratamiento del agua. | Esporas de Myxosporideos | > 35 mJ / cm ² | |
| Ozono | Tratamiento | Todos los | 1 mg / L durante > 1 | |

| | | | | |
|--|---------|-----------|--------|--|
| | de agua | patógenos | minuto | |
|--|---------|-----------|--------|--|

Desinfección de aguas residuales

La cloración es el método más seguro de desinfección del agua, tanques e implementos, ya que el gas de cloro se volatiliza tarde o temprano. Y se puede acelerar su volatilización con aireación

Antes de la cloración, el agua debe pasar a través de un filtro capaz de eliminar la materia orgánica suspendida. A continuación, se presenta el protocolo recomendado para la cloración:

- Añadir en un recipiente 1.6 ml de hipoclorito sódico (12,5% de cloro) por litro de agua.
- Antes de comenzar el tratamiento, el efluente clorado debe ser llevado a un pH entre 5,0 y 7,0.
- Después de la adición de hipoclorito, las aguas residuales deben agitarse durante 10 minutos para asegurar que se mezcle completamente el hipoclorito y que sea retenido durante un período de 1 h.
- Después del período de retención, el cloro en las aguas residuales se neutraliza añadiendo Tiosulfato de sodio a razón de 1.25 g (2.5 ml de solución de tiosulfato de sodio al 50%) por litro de aguas residuales.
- Se agita durante 10 minutos antes de la descarga.

El agua clorada no debe descargarse directamente en canales adyacentes sin haber sido desclorada.

ANEXO E

GUÍA PARA LA ELIMINACIÓN DE PECES MUERTOS Y REALIZACIÓN DE BIOPSIAS

Eliminación de peces muertos

Todos los animales o huevos muertos deben mantenerse en una solución de formalina al 10% durante un mínimo de 5 días antes de deshacerse de ellos. La relación entre el volumen de los animales muertos o huevos y la solución no deberá ser inferior a 1: 5.

Envío de peces enfermos y muestras para su análisis posterior

Los peces enfermos pueden ser transportados al laboratorio de diagnóstico de la siguiente manera:

- **Peces vivos:** Los peces deben ser empacados en bolsas de plástico dobles, llenas de agua hasta un tercio de su capacidad, con los 2/3 restantes del volumen lleno de aire/oxígeno. Las bolsas deben estar bien selladas y embaladas dentro de una caja de poliestireno o caja de cartón forrada con poliestireno.
- **Pescados muertos enteros:** Los pescados enfermos o los que acaban de morir deben ser colocados cada uno en la bolsa de plástico separada y sellada. Se transportan en hielo triturado, en un refrigerador o en una caja de transporte forrada de poliestireno y deben llegar al laboratorio en un plazo no mayor a 24 horas. Esta podría ser la muestra más apropiada para el aislamiento e identificación de patógenos.
- **Pescados muertos enteros para análisis *post mortem*:** Los peces enfermos o recientemente muertos pueden congelarse y transportarse para análisis *post mortem*. Es necesario colocar cada pescado en una bolsa de plástico individual, y esta se debe congelar (-20), llene la bolsa con hielo machacado y cierre herméticamente desplazando el aire y transporte la bolsa en una caja de poliestireno (hielera). Las muestras de dichos organismos se utilizarán para detectar patógenos virales.

- **Peces para la histopatología:** Los peces que se utilizan para análisis histopatológicos deben ser sacrificados por inmersión en hielo triturado (peces pequeños) o con un fuerte golpe en la cabeza en el caso de los peces más grandes. Los peces pequeños deben abrirse ventralmente y sumergirse en el fijador de Davidson (Lightner, 1996), en una proporción de 10: 1 (). El líquido de fijación tiene la siguiente composición:

| Ingrediente | Cantidad (ml) |
|-----------------------|---------------|
| 95% Etanol | 33.0 |
| 100% Formol | 22.0 |
| Ácido acético glacial | 11.5 |
| Agua destilada | 33.5 |

Para los peces más grandes, debe abrirse toda la longitud de la cavidad del cuerpo y las vísceras y la vejiga natatoria deben desplazarse suavemente para permitir la incisión de cada órgano principal, al menos una vez, para permitir la máxima penetración del fijador. Idealmente, el órgano, o cualquier lesión bajo investigación, debe ser removida, cortada en bloques y colocada en un volumen de fijador al menos 10 veces el volumen del tejido.

Para la preparación de la piel, resulta mejor cortar varias piezas grandes con un bisturí, brevemente empapado en el fijador, y después cortar en secciones más pequeñas de aproximadamente 1.0 cm de ancho y meter las piezas rápidamente al fijador durante 24 horas.

Para muestras de lesiones, es aconsejable cortar una muestra que incluya tejido sano alrededor de la lesión, para permitir la comparación entre tejidos sanos y afectados, con una anchura no superior a 1.0 cm. Las muestras deberán ser inmediatamente colocadas en el fijador durante 24 horas.

El recipiente con el tejido inmerso en el fijador debe estar herméticamente sellado. Utilice recipientes de plástico. El recipiente sellado debe colocarse en un contenedor lleno de gránulos de poliestireno u otro material de embalaje.

Procedimiento para biopsias

- Limpie y desinfecte (con un limpiador antibacteriano) una superficie de trabajo adecuada (una superficie lisa y no absorbente como madera laminada o plástico). Coloque el microscopio asegurando que todos los componentes del mismo estén funcionando correctamente.
- Coloque una toalla de papel humedecida con una superficie suficiente para colocar el pez al que se le realizará la biopsia.
- Tenga listo un portaobjetos y un cubreobjetos limpios
- Se debe preparar un baño con anestesia para introducir el pez antes de tomar la muestra.
- Para preparar un baño, tome un recipiente adecuado para el tamaño del pez, y coloque suficiente agua de estanque / acuario en él para que el pez se sienta cómodo
- Utilice guantes de plástico para proteger al pez durante el manejo.
- Si sólo un pez muestra signos de enfermedad, sáquelo de la población usando una red de algodón para provocar el mínimo estrés posible.
- Por otra parte, si una población de individuos está afectada, seleccione el pez más afectado o que tenga los signos clínicos más evidentes.
- Se colocan en un recipiente con suficiente cantidad de agua y se anestesia
- Mientras tanto, se mantiene otro recipiente con agua dulce aireada para la recuperación de los peces después de la recolección de muestras para su observación
- Anestesie los peces usando aceite de clavo: El aceite de clavo se diluye con etanol en una proporción de 1: 9 (aceite de clavo: etanol) para producir una solución madre de trabajo de 100 mg / ml, ya que cada ml de aceite de clavo contiene aproximadamente 1 gramo de clavo. Mantenga esta solución en una botella oscura, y almacénela preferiblemente también en

la oscuridad. Las concentraciones entre 40 y 120 mg / L son efectivas en peces de agua dulce.

- Otra alternativa es utilizar MS222 (TMS –Tricaine Methane sulfonate), comúnmente comercializado bajo el nombre de *Finquel*
- El MS222 se puede administrar mediante inmersión, es decir, en un baño de agua en una solución MS222, mediante aspersión sobre branquias con una bomba de aerosol en peces grandes
- El MS222 es soluble en agua y debe prepararse en agua similar a las condiciones de vida naturales del animal cuando se usa para su inmersión. De preferencia, el agua debe tomarse del tanque original en donde se encontraba el animal o de la fuente de agua natural. El agua debe tener niveles adecuados de oxígeno disuelto, un pH apropiado, temperatura y dureza
- Se puede preparar una solución madre para su uso en aplicaciones de baño de agua o para aspersión. Las soluciones madre MS222 comúnmente usadas son de 10 g / L, usando agua corriente. En caso de que el agua se acidifique debe añadirse bicarbonato sódico (10-20 g / L).
- Para sedar a los organismos se debe alcanzar una concentración de 15-50 mg/L
- La acción de MS222 como anestésico varía ampliamente entre las especies y se ve afectada por la temperatura del agua, la dureza y el tamaño de cada animal. Se recomiendan pruebas preliminares para determinar la concentración y el tiempo de exposición para cada aplicación para asegurar suficiente profundidad anestésica y recuperación segura.
- Después de completar los procedimientos, coloque los animales en agua bien oxigenada / aireada.
- Es necesario vigilar de cerca a los peces que se recuperan de la anestesia hasta que estén nadando.

Biopsia de la piel

- Se emplean dos métodos: raspado de la piel y recorte de la aleta.
- Use guantes de plástico, levante suavemente el pez del agua y colóquelo sobre la toalla húmeda.
- El raspado de la piel se realiza utilizando una hoja de bisturí raspando suavemente a lo largo del lado del cuerpo o aletas.
- No raspe demasiado, ya que podría dañar al pez. Regrese el pez al recipiente con agua limpia para que se recupere.
- Coloque el raspado sobre el cubreobjetos y añada una gota de agua dulce filtrada y encima un cubreobjetos.
- No debe usarse agua de la llave ya que el cloro matará a los parásitos antes de que puedan haber sido observados.
- Para colocar correctamente el cubreobjetos, sosténgalo por los lados a un ángulo de 45 °, sujételo con una aguja de disección y bájelo sobre el frotis.
- De esta manera puede se puede evitar atrapar burbujas de aire en el cubreobjetos.
- Limpie el líquido que se desborde de la preparación con una toalla de papel sin alterar el cubreobjetos y luego colóquelo en el microscopio.
- La preparación debe ser examinada inmediatamente ya que los parásitos de los peces pueden no vivir mucho tiempo en la preparación, y el frotis puede secarse rápidamente.
- Eventualmente, la preparación puede almacenarse por períodos cortos en un recipiente humedecido para evitar que se seque.
- Para hacer un contenedor humedecido simplemente coloque una toalla de papel húmeda en un contenedor de plástico sellable (un *tupperware*).

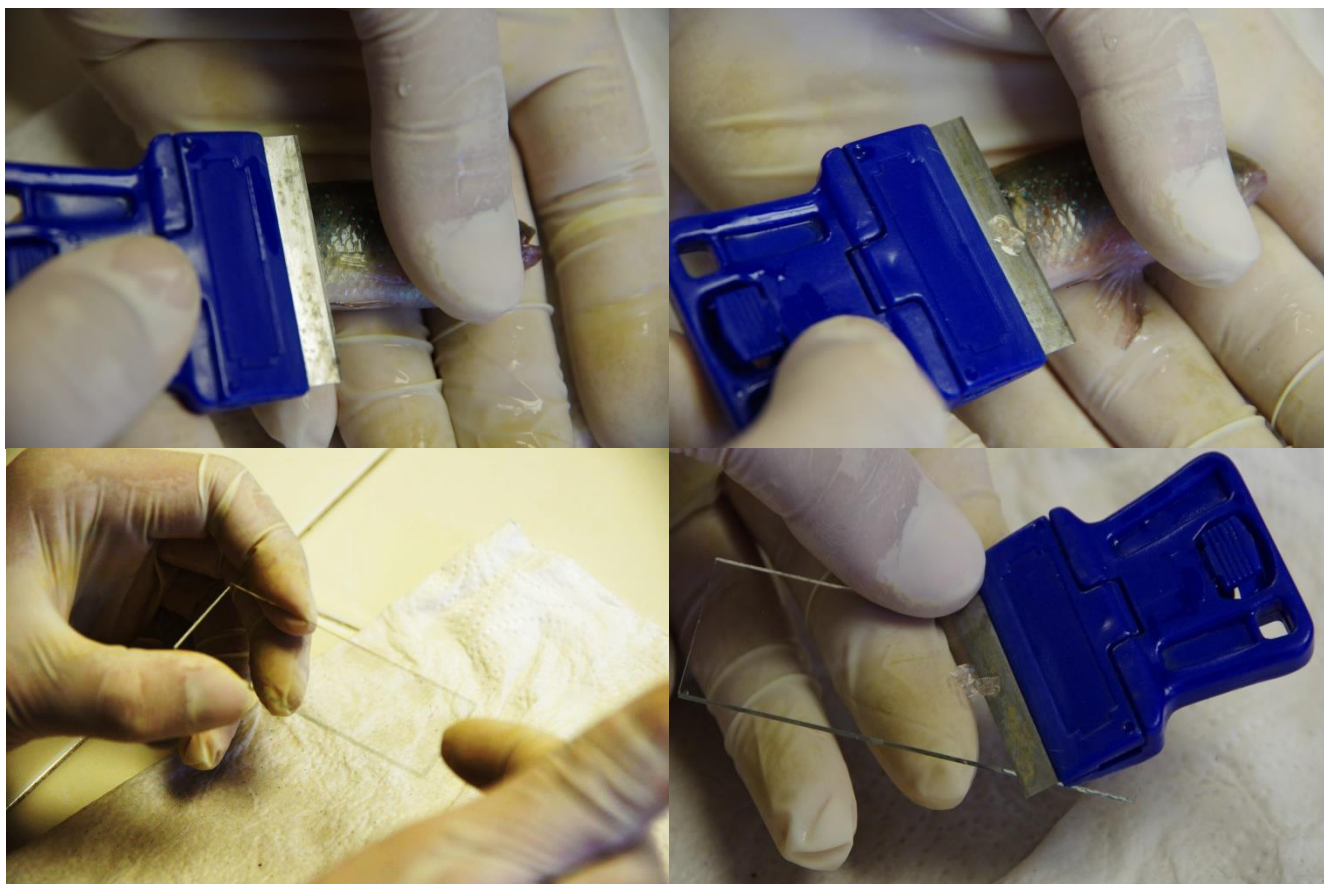


Fig. 41 Ejemplo del raspado de piel

Biopsia de aleta

- En la biopsia de la aleta, la aleta se extiende y se usan unas tijeras para cortar un trozo triangular de tejido fino de entre los rayos de las aletas.



Fig. 42 Ejemplo del corte de aleta

Biopsia de branquias

- Inmediatamente antes de la biopsia, las branquias deben ser examinadas de manera general.
- Las branquias saludables son de color rojo brillante. Las branquias de color rosa pálido indican anemia, mientras que las branquias pardas sugieren formación de metahemoglobina.
- Las branquias se vuelven de color rosa pálido poco después de la muerte debido a que cesa la irrigación de sangre de las branquias.
- La biopsia branquial se realiza insertando la punta de un par de finas tijeras en la cámara branquial.
- Las tijeras se abren suavemente, levantando el opérculo hasta que los arcos branquiales se puedan ver
- Se cortan las puntas de varias lamelas primarias y se transfieren a un portaobjetos y luego se coloca encima un cubreobjetos.
- Sólo se deben cortar las puntas de las lamelas procurando que el sangrado sea mínimo

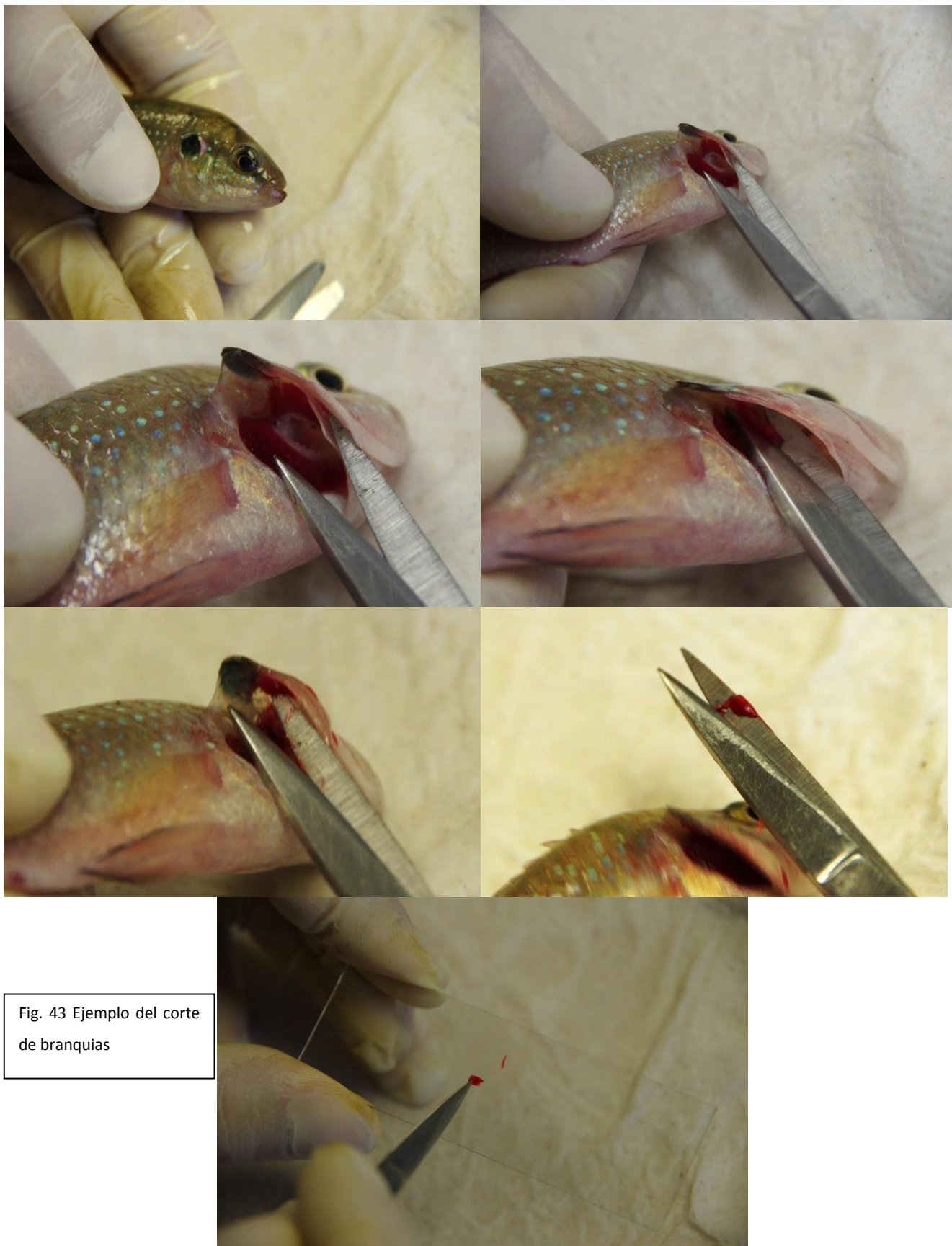


Fig. 43 Ejemplo del corte de branquias

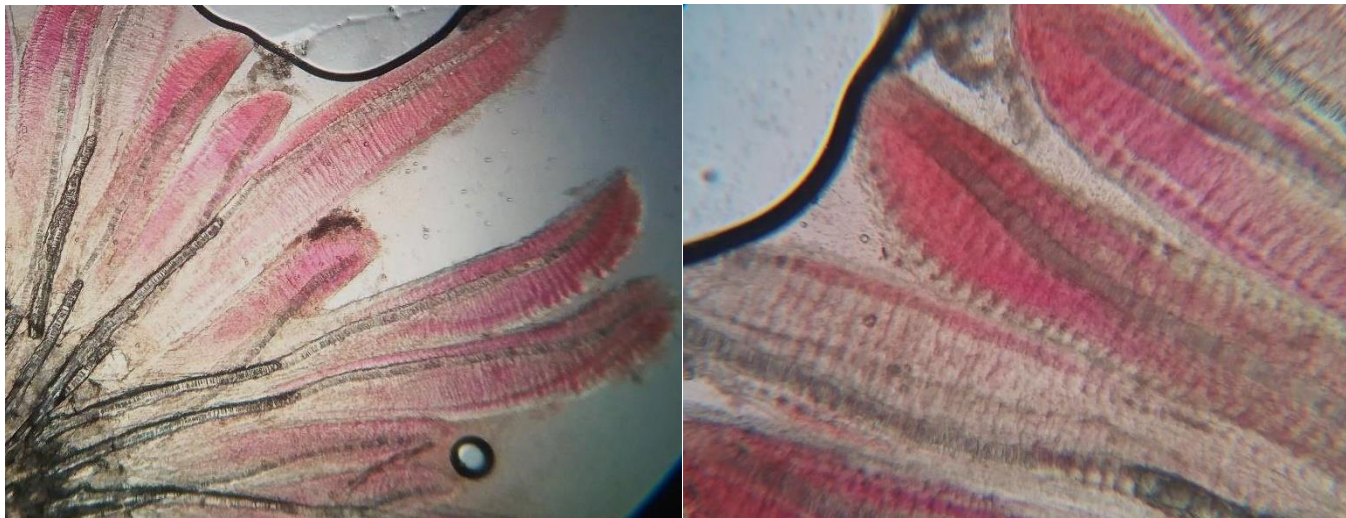


Fig. 44 Branquias vistas al microscopio

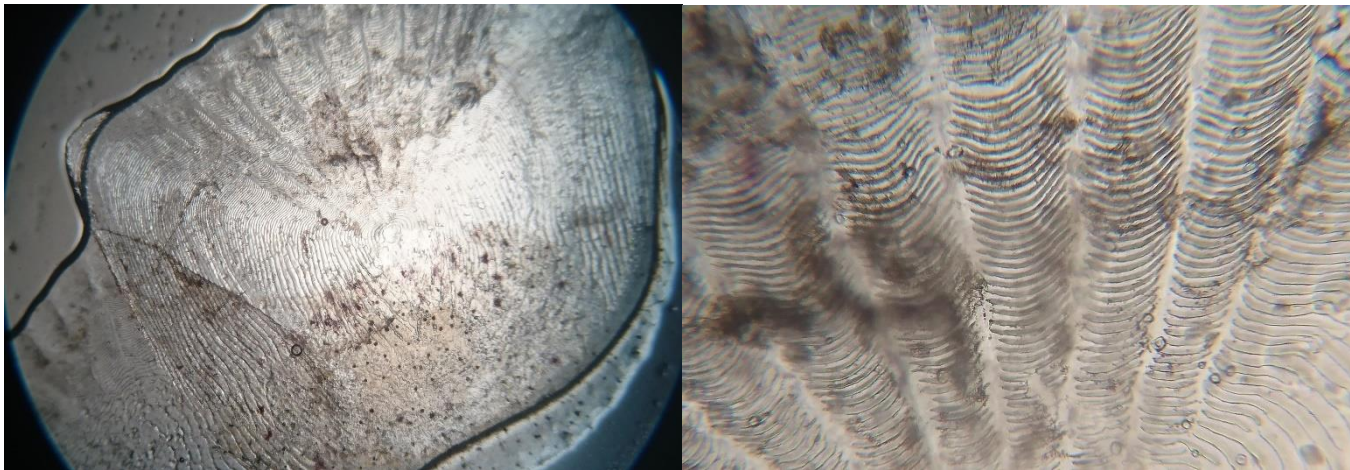


Fig. 45 Escamas vistas al microscopio

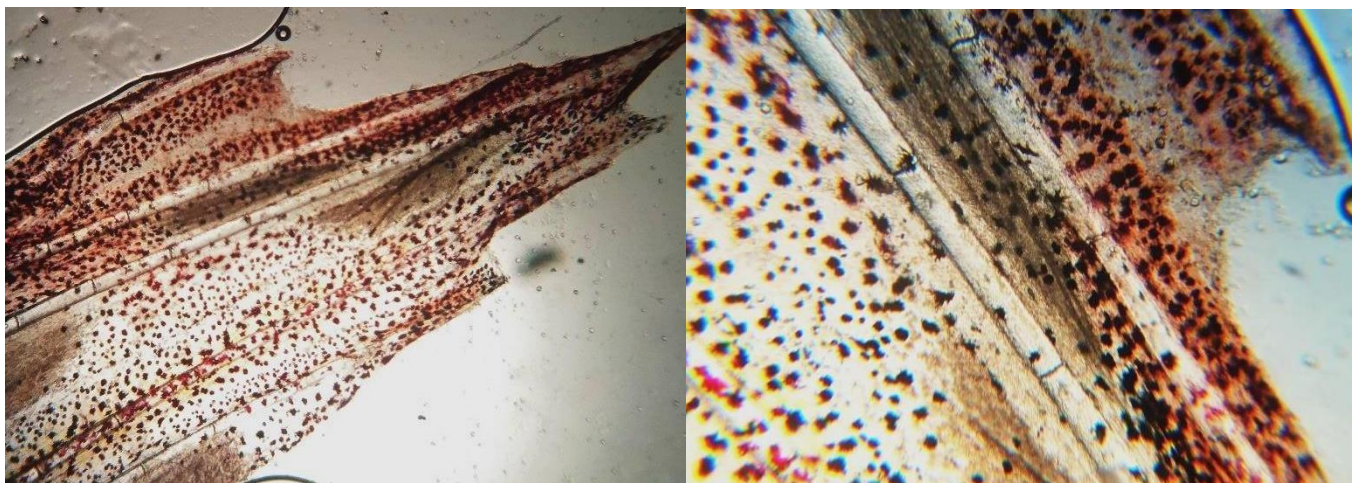


Fig. 46 Aleta vista al microscopio

ANEXO F

Los desinfectantes son compuestos que eliminan los patógenos en las superficies biológicas mediante acciones no específicas. Las características ideales de un desinfectante son: tener un amplio espectro, acción rápida y baja toxicidad. Por estas razones, así como por la falta de control reglamentario, los desinfectantes han ganado un amplio uso en las instalaciones acuícolas.

Los tipos de agentes desinfectantes que pueden utilizarse durante un brote de enfermedades en animales acuáticos incluyen los siguientes:

1. Agentes oxidantes
2. Modificadores del pH (álcalis y ácidos)
3. Aldehídos
4. Biguanidas
5. Compuestos de amonio cuaternario (QAC)
6. Irradiación ultravioleta (UV)
7. Calor
8. Secado

Tabla 7. Aplicaciones de desinfectantes para equipos con las dosis recomendadas por el *Australian Aquatic Veterinary Emergency Plan (2008)*.

| Agente desinfectante | Aplicación | Patógenos | Dosis recomendada | Comentarios |
|--|---|---------------------|--|--|
| Soluciones de hipoclorito (hipoclorito de calcio o hipoclorito de sodio) | Tratamiento de superficies limpias y duras | Todos los patógenos | Mínimo 30 mg / L de cloro | Uso como solución desinfectante general |
| | Tratamiento del agua (suponiendo baja carga orgánica) | Todos los patógenos | Mínimo 30 mg / L de cloro Mantener un mínimo de 5 mg / L de cloro residual. | Mantener durante un mínimo de 24 horas para inactivar. Pruebe el nivel de cloro antes de la descarga o neutralice con tiosulfato. Menos activo en presencia de |

| | | | | |
|-------------|--|--------------------------|---|---|
| | | | | altos niveles de materia orgánica. Re-dosifique si fuera necesario |
| | Tratamiento de las redes | Todos los patógenos | Dosis inicial de 1000 mg / L de Cloro. Mantener un mínimo de 5 mg / L de cloro residual | Mezclar bien para asegurar una distribución uniforme. Sumerja durante un mínimo de 6 horas. |
| | Tratamiento por inmersión de materiales absorbentes tales como redes de cuchara, cuerdas o superficies absorbentes | Todos los patógenos | Solución de > 200 mg / L de cloro disponible | Permita tiempo para saturar completamente más 2 minutos adicionales (mínimo). Enjuague los artículos en agua dulce o neutralice con tiosulfato |
| | Tratamiento de tanques, pisos y paredes en las instalaciones de cultivo | Todos los patógenos | Rocíe con una solución > 1,500 mg / L de cloro | Deje la solución durante 2 horas, luego enjuague. Los tanques deben ser llenados con agua dulce y se les debe agregar 200 mg / L de cloro. |
| Cloramina-T | Tratamiento del agua | Bacterias, virus, hongos | 20 mg / L de cloramina-T (o según las instrucciones del fabricante) | Mantenga durante un mínimo de 24 horas; Probar el nivel de cloro antes de la descarga o neutralizar con tiosulfato. Las concentraciones y las dosis varían entre los productos. |
| | Tratamiento de superficies duras previamente limpiadas | Bacterias, virus, hongos | 20 g / L de cloramina-T (o según las instrucciones del fabricante) | Dejar secar en superficies adecuadas, o por un mínimo de 30 minutos |

| | | | | |
|---------------------------|--|--------------------------|---|--|
| | | | | antes del enjuague, las concentraciones y las dosis varían entre los productos |
| | Baños de pies (tapete sanitario) | Bacterias, virus, hongos | 50 g / L de cloramina-T (o según las instrucciones del fabricante). | Cepillar las botas antes de la inmersión. Dejar secar en las botas. Las concentraciones y las dosis varían entre los productos |
| | Tratamiento de superficies duras | Todos los patógenos | 1% de solución durante > 60 minutos (o según las instrucciones del fabricante). | Las concentraciones y las dosis varían entre los productos |
| Ácido peracético | Tratamiento de superficies porosas | Todos los patógenos | Solución al 2% durante > 60 minutos (o según las instrucciones del fabricante). | Las concentraciones y las dosis varían entre los productos |
| | Tratamiento de lodos residuales (alta materia orgánica). | Todos los patógenos | 40 L de solución concentrada por 1000 L. Tiempo de contacto > 1 hora | Puede causar excesiva formación de espuma y desbordamiento del tanque en presencia de altos niveles de proteína |
| Compuestos de monosulfato | Tratamiento de superficies duras | Todos los patógenos | 10 g / L (o según las instrucciones del fabricante) | Tasa de aplicación de 400 mL / m ² durante > 10 minutos. Las dosis y concentraciones varían entre los productos |
| | Tratamiento de superficies porosas | Todos los patógenos | 20 g / L (o según las instrucciones del fabricante) | Tasa de aplicación de 400 mL / m ² durante > 10 minutos. Las dosis y concentraciones varían entre los |

| | | | | |
|------------------|---|--------------------------|---|---|
| | | | | productos |
| | Baños de pies (tapete sanitario) | Todos los patógenos | 50 g / L (o según las instrucciones del fabricante) | Retirar toda la materia orgánica del calzado antes de la inmersión; Tiempo de inmersión > 1 minuto. Reemplazar la solución diariamente en áreas de uso intensivo y cada 4 días en áreas de uso ligero. Dosis y concentraciones varían entre productos |
| Dióxido de cloro | Tratamiento de superficies duras y porosas. Tratamiento del agua | Todos los patógenos | Según las instrucciones del fabricante | Puede producir vapores volátiles cuando se activa por primera vez |
| Yodóforos | Tratamiento de superficies duras | Bacterias, hongos, virus | > 200 mg / L de yodo | Aplicar a la superficie 1- Yodóforo 2 minutos. |
| | Desinfección rociando el equipo | Bacterias, hongos, virus | 100 ppm de yodo | Aplicar a equipos previamente limpiados y secados |
| | Baños de pies (tapete sanitario) | Bacterias, hongos, virus | > 200 mg / l de yodo | Limpie las botas antes de la desinfección. Reemplazar diariamente en áreas de alto uso, o cuando la solución haya perdido color. |
| | Úselo para lavarse las manos o la piel, o en artefactos para pesca (caña u otro equipo delicado). | Bacterias, hongos, virus | > 200 mg / l de yodo | Solución de polividona yodada. No utilice soluciones de yodo acidificadas |
| | Tratamiento del agua | Bacterias, hongos, virus | 30 mg / L de yodo, durante 12 | Tratar con tiosulfato antes |

| | | | horas | de la descarga. |
|---------------------|--|----------------------------------|--|---|
| Óxido de calcio | Estanques de tierra | Todos los patógenos | 0.5 kg / m ² durante 1 mes | Repetir la dosis al menos en dos ocasiones en zonas húmedas o en caso de inundación |
| Hidróxido de sodio | Tratamiento de superficies de concreto | Todos los patógenos | Aplicado como una mezcla con CaOH y Teepol | NaOH se vende generalmente como gránulos. Repetir la dosis al menos en dos ocasiones en zonas húmedas o en caso de inundación. También puede utilizarse como una solución al 0,2% como agente limpiador para equipos. Teepol (agente humectante) mejora la penetración a través del suelo y en el concreto. |
| | Tratamiento de superficies en las que una alta carga de materia orgánica puede ser un problema | Patógenos virales en superficies | Aplicado como una solución de 20 g /L de NaOH durante > 10 minutos | |
| | Tratamiento de aguas residuales | Todos los patógenos | A una dosis para alcanzar un pH> 12 durante 24 horas. | |
| | Tratamiento de lodos residuales (alto contenido de materia orgánica). | Todos los patógenos | 50% (p / v) a una tasa de 30 L / 1000 L de suspensión | La dosis debe alcanzar un pH> 12. Tratar durante > 4 días. |
| Hidróxido de calcio | Tratamiento de lodos residuales (alto contenido de materia orgánica) | Todos los patógenos | 40% (p / v) a una tasa de 60 L / 1000 L de suspensión | La dosis debe alcanzar un pH> 12. Tratar durante > 4 días. |
| Glutaralde-hido | Tratamiento de objetos pequeños o sujetos a corrosión | Todos los patógenos | 2% (p / v) durante 30 minutos | Disponible como solución concentrada |
| Formalina | Tratamiento de superficies duras o porosas, baños de pies (tapete sanitario) | Todos los patógenos | 8% (vol / vol) durante 30 minutos | Disponible como solución al 40%. Diluir 1:12 para su uso. Usar sólo en áreas bien ventiladas |
| | Tratamiento de lodos residuales | Todos los patógenos | 40 L de solución de formalina | Debe distribuirse |

| | | | | |
|-----------------------------------|--|--|--|--|
| | (alto contenido de materia orgánica) | | (40%)por 1000 L | uniformemente |
| | Tratamiento de tuberías o canales de alcantarillado (<i>in situ</i>) | Todos los patógenos | 300 ml de solución de formalina comercial por 10 L de agua | Llenar completamente la tubería con solución desinfectante y dejar durante 24 horas |
| Compuestos cuaternarios de amonio | Úselo en la piel o en artículos delicados | Algunas bacterias, algunos virus | 1 mg / L durante > 1 minuto | Gama limitada de eficacia |
| | Uso en superficies duras | Algunas bacterias, algunos virus | 2 mg / L durante > 15 minutos | Gama limitada de eficacia |
| Calor | Tratamiento de aguas residuales | La mayoría de los patógenos Los virus de la Categoría A y algunas bacterias pueden ser resistentes | 60°C durante 10 minutos; 70 ° C durante 6 minutos; 75 ° C durante 5 minutos; 80 ° C durante 4 minutos | |
| | Tratamiento de superficies duras y equipos | La mayoría de los patógenos Los virus de la Categoría A y algunas bacterias pueden ser resistentes | Limpieza con vapor a 115 - 130 ° C durante 5 minutos | Difícil de regular, mejor utilizado como complemento de otros métodos de desinfección. Especialmente adecuado para el tratamiento de tanques de transporte |
| Desecación y luz | Tanques de tierra | La mayoría de los patógenos | Secar durante > 3 meses a una temperatura media > 18 ° C | El período de secado puede reducirse si se combina con un desinfectante químico apropiado. Utilice el secado y la luz solar como un complemento general a todo método de desinfección, si es posible |
| Luz UV | Tratamiento de | Virus, bacterias, | > 25 mJ / cm ² | Requiere |

| | | | | |
|-------|-----------------------|--------------------------|---------------------------------|---|
| | aguas residuales | hongos | | pretratamiento con precipitación química o filtración |
| | Tratamiento del agua. | Esporas de Myxosporideos | $> 35 \text{ mJ} / \text{cm}^2$ | |
| Ozono | Tratamiento de agua | Todos los patógenos | 1 mg / L durante > 1 minuto | |

Desinfección de aguas residuales

La cloración es el método más seguro de desinfección del agua, tanques e implementos, ya que el gas de cloro se volatiliza tarde o temprano. Y se puede acelerar su volatilización con aireación

Antes de la cloración, el agua debe pasar a través de un filtro capaz de eliminar la materia orgánica suspendida. A continuación, se presenta el protocolo recomendado para la cloración:

- Añadir en un recipiente 1.6 ml de hipoclorito sódico (12,5% de cloro) por litro de agua.
- Antes de comenzar el tratamiento, el efluente clorado debe ser llevado a un pH entre 5,0 y 7,0.
- Después de la adición de hipoclorito, las aguas residuales deben agitarse durante 10 minutos para asegurar que se mezcle completamente el hipoclorito y que sea retenido durante un período de 1 h.
- Después del período de retención, el cloro en las aguas residuales se neutraliza añadiendo Tiosulfato de sodio a razón de 1.25 g (2.5 ml de solución de tiosulfato de sodio al 50%) por litro de aguas residuales.
- Se agita durante 10 minutos antes de la descarga.

El agua clorada no debe descargarse directamente en canales adyacentes sin haber sido desclorada.

ANEXO G

Evaluación de riesgo cualitativa para inundaciones en acuicultura

Definir la probabilidad de escape de los recursos acuícolas.

La probabilidad de que los recursos acuícolas escapen de una operación de cultivo depende esencialmente de los factores mostrados en la Tabla 7

| | |
|---|---|
| Tabla 8.- Factores que afectan la probabilidad de que los recursos acuícolas escapen de las instalaciones de acuicultura a los cursos de agua naturales | |
| 1.- | Los estanques y / o tanques están ubicados en áreas propensas a inundaciones. |
| 2.- | Los francobordos de los niveles de agua en cada uno de los estanques y / o tanques son inadecuados. |
| 3.- | No hay muros perimetrales presentes para la protección contra inundaciones o las que existen son inadecuadas. |
| 4.- | No se hace un cribado adecuado de las aguas residuales de estanques y / o tanques. |
| Existe proximidad a cuerpos de agua permanentes | |

| | |
|--|---|
| Tabla 9.- Términos utilizados para describir la probabilidad de que ocurran dichos eventos | |
| Alto | Se esperaría que ocurriera el evento |
| Moderado | Hay pocas posibilidades de que ocurra el evento |
| Bajo | Sería improbable que ocurra el evento |
| Muy bajo | El evento ocurriría raramente |
| Extremadamente bajo | El evento ocurriría muy raramente |
| Riesgo insignificante | La probabilidad es tan pequeña que puede ser ignorada en términos prácticos |

Consecuencias del escape de los peces de una instalación acuícola.

Cuando los recursos acuícolas escapen pueden representar un riesgo ambiental significativo. Estos riesgos pueden incluir, pero no limitarse a:

- La posible introducción de enfermedades en el entorno acuático circundante.
- La posible introducción de organismos acuáticos no nativos en los cursos de agua circundantes.
- El potencial para el desplazamiento de organismos acuáticos nativos por especies exóticas que se hayan escapado
- La posibilidad de generar cambios significativos en el pool genético de la biota natural acuática.
- El potencial de provocar impactos socioeconómicos a raíz de todo lo anterior.

Tabla 10.- Factores clave para clasificar la importancia de los recursos acuícolas que han escapado

1. Los efectos biológicos sobre la biota acuática circundante.
- 2.- Los efectos a corto y largo plazo sobre el medio ambiente.
3. Los efectos socioeconómicos en una empresa/industria/nivel nacional.

Desde el punto de vista del manejo de riesgos, el escape accidental de los peces de una instalación acuícola a los cuerpos de agua naturales es inaceptable. En la mayoría de las circunstancias es imposible contener a los organismos que se han escapado y los posibles impactos ambientales que estos animales pueden tener son difíciles de cuantificar. El potencial de introducción de enfermedades en el medio acuático, que pudieran o no establecerse, por las posibles repercusiones que resultaran en morbilidad o mortalidad de la biota nativa, también se considera como un riesgo significativo e inaceptable.

Los impactos y su importancia, como consecuencia del escape de las especies exóticas puede clasificarse en una de cinco categorías.

Las categorías definidas en la Tabla 4 están establecidas dentro de un rango continuo de consecuencias. Las descripciones son indicativas de los resultados esperados.

| Tabla 11.- Categorías indicativas de las consecuencias esperadas | |
|--|---|
| Catastrófica | Asociada con el establecimiento y dispersión de enfermedades, nuevas variedades genéticas o especies no deseadas que se esperaría que tuvieran consecuencias ambientales irreversibles significativas |
| Alta | Asociada con la introducción de enfermedades en el medio acuático, que, aunque no fuera probable que se establecieran, pudieran dar lugar a morbilidad o mortalidad de la biota nativa. Aquí se deben consideración igualmente las poblaciones de especies exóticas que pudieran establecerse y desplazar la biota nativa o tener alguna influencia genética en las poblaciones nativas existentes. |
| Moderada | Es mínima la probabilidad de que el escape de los recursos acuícolas al medio acuático produzca algún efecto en las poblaciones nativas o genere alteración en la genética de las poblaciones y que cualquier enfermedad introducida tenga algún impacto pronunciado, lo que implicaría que ésta pudiera ser tratada, contenida o erradicada con costos mínimos |
| Baja | Asociada con introducción de enfermedades que probablemente ya se encuentran establecidas en la biota silvestre. Aquí también se considera un mínimo desplazamiento de la biota nativa, así como una alteración poco significativa de diversidad genética |
| B | Asociada a una instalación acuícola en la que no se presentan enfermedades, en donde todos los animales son de la misma estructura genética que los de las especies que se encuentran en la naturaleza circundante, de la misma estructura biogeográfica y que, por ende, las consecuencias económicas y ambientales como consecuencia de cualquier escape no son significativas. |

Matriz de evaluación de Riesgos

| | | | | | | |
|----------------------------------|----|----|----|----|----|----|
| Probabilidad de establecimiento | A | SI | NO | NO | NO | NO |
| | M | SI | NO | NO | NO | NO |
| | B | SI | SI | NO | NO | NO |
| | MB | SI | SI | SI | NO | NO |
| | EB | SI | SI | SI | SI | NO |
| | N | SI | SI | SI | SI | SI |
| | | N | B | M | A | C |
| Importancia de las consecuencias | | | | | | |

“SI” = El riesgo es aceptable y la actividad puede ser permitida

“NO” = El riesgo es inaceptable y la actividad no puede ser permitida sin manejo de riesgos

Nivel de Probabilidad

A= alto, M=Moderado, B=Bajo, MB=Muy Bajo, EB= Extremadamente Bajo

N= No significativa

Nivel de Importancia

C= Catastrófico, A= Alto, M= Moderado, B= Bajo, N= No significativa

Tabla 12.- Riesgo de introducción de patógenos y parásitos

| Actividad propuesta | Probabilidad (Eje Y en la Matriz de riesgo) | Importancia (Eje X en la Matriz de riesgo) | Riesgo |
|---|---|--|-------------|
| Áreas susceptibles a inundaciones Estanques y tanques con muros menores a Q ₁₀₀ | Alta | Baja | Inaceptable |
| Áreas no susceptibles a | Baja | Baja | Aceptable |

| | | | |
|---|--|--|--|
| inundaciones Estanques y tanques con muros iguales o mayores a Q_{100} | | | |
|---|--|--|--|

Tabla 13.- Riesgo de introducción de peces dulceacuícolas exóticos

| Actividad propuesta | Probabilidad (Eje Y en la Matriz de riesgo) | Importancia (Eje X en la Matriz de riesgo) | Riesgo |
|---|--|---|-------------|
| Áreas susceptibles a inundaciones Estanques y tanques con muros menores a Q_{100} | Moderado-Alto | Moderado-Alto | Inaceptable |
| Áreas no susceptibles a inundaciones Estanques y tanques con muros iguales o mayores a Q_{100} | Bajo | Bajo | Aceptable |

Tabla 14.- Factores/beneficios socio-económicos

| Actividad propuesta | Beneficio potencial |
|---|---------------------|
| Áreas susceptibles a inundaciones Estanques y tanques con muros menores a Q_{100} | Ninguno |
| Áreas no susceptibles a inundaciones Estanques y tanques con muros iguales o mayores a Q_{100} | Ninguno |

Tabla 15.- Resumen del riesgo cualitativo de una instalación acuícola que se puede inundar con el consecuente escape de los peces

| Actividad | Introducción de patógenos y parásitos (Tabla 5) | Introducción de especies exóticas (Tabla 6) | Beneficio (Tabla 7) | Idoneidad* |
|---|---|---|---------------------|------------|
| Áreas susceptibles a inundaciones Estanques y tanques con muros menores a Q_{100} | Inaceptable | Inaceptable | Ninguno | NO |
| Áreas no susceptibles a inundaciones Estanques y tanques con muros iguales o mayores a Q_{100} | Aceptable | Aceptable | Ninguno | SI |

* Si el riesgo de enfermedad o el riesgo de translocación son inaceptables entonces la actividad acuícola no debe ser autorizada

ANEXO H

Análisis de Riesgo Cualitativo para el cultivo de peces exóticos de agua dulce

Definir la probabilidad de que las poblaciones de peces exótico dulceacuícolas y enfermedades asociadas sean introducidas y se establezcan en un área (evaluación de la probabilidad)

La probabilidad de que peces exóticos y patógenos o parásitos asociados escapen de una operación de acuicultura y se introduzcan y se establezcan en cuerpos de agua naturales depende de los factores mostrados en las Tablas 9a y b.

| |
|--|
| Tabla 16a.- Factores que afectan la probabilidad de que un patógeno o parásito se introduzcan y establezcan en un área |
|--|

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Un agente patógeno está presente en el lote de peces exóticos de agua dulce 2. Peces infectadas o aguas de poblaciones de peces infectados son vertidas en aguas nativas. 3. Temperatura 4. Salinidad 5. Hospederos disponibles |
|--|

| |
|---|
| Tabla 16b.-Factores que afectan la probabilidad de que peces exóticos dulceacuícolas establezcan poblaciones en un área |
|---|

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. La bioseguridad de la instalación acuícola 2. Competencia con peces nativos 3. Temperatura 4. Salinidad 5. Disponibilidad de alimento 6. Reproducción exitosa de especies de peces exóticos |
|---|

| | |
|---|--|
| Tabla 17.- Términos utilizados para describir la probabilidad de que ocurra un evento | |
|---|--|

| | |
|----------|---|
| Alta | Se esperaría que el evento ocurriera |
| Moderada | Existen pocas posibilidades de que el evento ocurra |
| Baja | Es poco probable que el evento ocurra |
| Muy Baja | El evento ocurriría raramente |

| | |
|---------------------|---|
| Extremadamente Baja | El evento ocurriría muy raramente |
| No significativa | La probabilidad es tan pequeña que puede ser ignorada en términos prácticos |

Definición de las consecuencias de que enfermedades o poblaciones de peces de agua dulce exóticos se introduzcan y se establezcan en una zona (evaluación de las consecuencias).

El establecimiento de una nueva especie de agente patógeno o parásito en una zona puede tener efectos biológicos y repercusiones negativas sobre la industria (por ejemplo, una pesquería afectada), aspectos sociales y el medio ambiente. Estas consecuencias se pueden medir en términos cuantitativos (en relación con su impacto económico) y en términos cualitativos (en relación con su impacto sobre la sociedad y el medio ambiente). En algunos casos los efectos de una enfermedad o introducción de especies pueden contrarrestarse en diversos grados por medio de la adopción de métodos de control o erradicación, sin embargo, estas medidas están asociadas con costos que deben ser incluidos en las estimaciones de impacto económico, social y ambiental.

Tabla 18.- Factores clave en la clasificación de la importancia del establecimiento de una nueva especie de agente patógeno o parásito o de especies de peces exóticos

1. Los efectos biológicos sobre las especies acuáticas.
2. Disponibilidad, costo y eficacia de los métodos de control y erradicación.
3. Los efectos económicos en una empresa / industria / nivel nacional.
4. La duración de los efectos (largo y corto plazo).
5. Los efectos sobre las especies nativas y el medio ambiente en general, incluyendo cualquier pérdida de comodidades sociales.
6. Cualquier otro efecto sobre los servicios sociales (por ejemplo, la degradación de la pesca recreativa).

El impacto o la importancia del establecimiento de una enfermedad o de una especie exótica en una zona se clasifica dentro de una de las cinco categorías descritas como: catastróficas, altas, moderadas, bajas o no significativas. Los factores claves para clasificar

la importancia del establecimiento de del establecimiento de una enfermedad o de una especie exótica se muestran en la Tabla 12.

Las categorías definidas en la Tabla 12, se encuentran dentro de un rango continuo de consecuencias. Las descripciones son indicativas de los resultados esperados.

| Tabla 19.- Términos utilizados para describir la severidad del impacto (nivel de importancia) | |
|---|--|
| Catastrófica | Asociada a una introducción que se esperaría que perjudicara significativamente el desempeño económico a nivel nacional. Alternativamente, o adicionalmente, podría causar daños graves e irreversibles al medio ambiente. |
| Alta | Asociada a una introducción que tendría serias consecuencias biológicas (por ejemplo, alta mortalidad o alta morbilidad y causar un impacto significativo). Tales efectos se apreciarían normalmente durante un período mayor o igual que un ciclo de producción normal y no serían susceptibles de control o erradicación. Se esperaría que estos eventos perjudicaran significativamente el desempeño económico a nivel de la industria. Alternativamente, o adicionalmente, podría causar serios daños al medio ambiente. |
| Moderada | Asociada a una introducción que tiene consecuencias biológicas menos pronunciadas. Tal introducción podría perjudicar significativamente el desempeño económico a nivel empresarial / regional, pero no tendría un efecto económico significativo en el nivel de 'toda la industria'. Pueden ser susceptibles de control o erradicación a un costo significativo, o sus efectos pueden ser temporales. Pueden afectar al medio ambiente, pero tales daños no serían graves o podrían ser reversibles. |
| Baja | Asociado a una introducción que tiene consecuencias biológicas ligeras y que normalmente sería susceptible de control o erradicación. Se esperaría que tales acontecimientos perjudicaran el desempeño económico a nivel empresarial o regional, pero tendrían poca importancia a nivel de la industria. Los efectos sobre el medio ambiente serían menores o, si fueran más pronunciados, serían temporales. |
| No significativa | Asociada a una introducción que no tendría consecuencias biológicas significativas, puede ser transitorio y / o fácilmente susceptible de control o erradicación. Se esperaría que los efectos económicos fueran de bajos a moderados a nivel de empresa individual e insignificantes a nivel regional. Los efectos sobre el |

| | |
|--|--|
| | medio ambiente serían insignificantes. |
|--|--|

Tabla 20.- Riesgo de introducción de patógenos y parásitos

| Actividad propuesta | Probabilidad (Eje Y en la Matriz de riesgo) | Importancia (Eje X en la Matriz de riesgo) | Riesgo |
|-------------------------------------|--|---|-------------|
| Por encima del suelo - sin descarga | Extremadamente baja | Alta | Aceptable |
| Por encima del suelo - con descarga | Alta | Alta | Inaceptable |
| Estanques - sin descarga | Extremadamente Baja | Alta | Aceptable |
| Estanques - con descarga | Alta | Alta | Inaceptable |

Tabla 21.- Riesgo de introducción de peces dulceacuícolas exóticos

| Actividad propuesta | Probabilidad (Eje Y en la Matriz de riesgo) | Importancia (Eje X en la Matriz de riesgo) | Riesgo |
|-------------------------------------|--|---|-------------|
| Por encima del suelo - sin descarga | Extremadamente baja | Alta | Aceptable |
| Por encima del suelo - con descarga | Alta | Alta | Inaceptable |
| Estanques - sin descarga | Extremadamente Baja | Alta | Aceptable |

Proyecto GEF-EEI_ Servicios de consultoría para desarrollar una propuesta técnica entre los productores para minimizar el riesgo de dispersión de Especies Exóticas Invasoras (EEI) en el sector acuícola del estado de Morelos.

| | | | |
|--------------------------|------|------|-------------|
| Estanques - con descarga | Alta | Alta | Inaceptable |
|--------------------------|------|------|-------------|

| Tabla 22.- Beneficios socio-económicos | |
|--|----------------------------|
| Actividad propuesta | Beneficio potencial |
| Por encima del suelo - sin descarga | Moderado |
| Por encima del suelo - con descarga | Moderado |
| Estanques - sin descarga | Moderado |
| Estanques - con descarga | Moderado |

Tabla 23.- Resumen del riesgo cualitativo de una instalación acuícola que se puede inundar con el consecuente escape de los peces

| Actividad | Introducción de patógenos y parásitos (Tabla 11) | Introducción de especies exóticas (Tabla 112) | Beneficio (Tabla 13) | Idoneidad* |
|-------------------------------------|---|--|-----------------------------|-------------------|
| Por encima del suelo - sin descarga | Aceptable | Aceptable | Moderado | SI |
| Por encima del suelo - con descarga | Inaceptable | Inaceptable | Moderado | NO |
| Estanques - sin descarga | Aceptable | Aceptable | Moderado | Si |
| Estanques - con descarga | Inaceptable | Inaceptable | Moderado | NO |

* Si el riesgo de introducción de enfermedades o de especies exóticas es inaceptable la actividad no debe ser autorizada.