



“Análisis de riesgo para los mejillones cebra (*Dreissena polymorpha*) y quagga (*D. bugensis*) en México”



ROBERTO EDUARDO MENDOZA ALFARO

31 de julio, 2019

“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: Análisis de riesgo para los mejillones cebra (*Dreissena polymorpha*) y quagga (*D. bugensis*) en México.

Objetivo: -Estimar la distribución potencial en condiciones climáticas presentes y bajo escenarios de cambio climático (año 2050) de los mejillones cebra y quagga (*D. polymorpha* y *D. bugensis*) en México mediante el algoritmo de modelado Maxent y elaborar un análisis de riesgo sobre la invasión de ambas especies en México mediante la herramienta AS-ISK.

Autor: Roberto Eduardo Mendoza Alfaro, Sergio Luna, Israel Rojo Ramos, Flor Sanchez & Erika Medina-Arellano.

Modo de citar el informe: PNUD México (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2019. Análisis de riesgo para los mejillones cebra (*Dreissena polymorpha*) y quagga (*D. bugensis*) en México. Proyecto 083999 “Aumentar las Capacidades Nacionales para el Manejo de las Especies Exóticas Invasoras (EEI) a través de la Implementación de la Estrategia Nacional de EEI”. Mendoza, R., Luna, S., Rojo-Ramos, I., Sánchez, F. & Medina-Arellano, E. Laboratorio de Ecofisiología, U.A.N.L., San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México. 121 pp.

Área geográfica objeto del informe: México

Fecha de inicio del proyecto: 31/04/2019

Fecha de terminación del proyecto: 31/10/2019

Acciones y objetivos estratégicos del proyecto GEF:

Acciones estratégicas	Objetivos estratégicos
Revisar, adecuar y desarrollar el marco legal y normativo	Prevenir, detectar y reducir el riesgo de introducción, establecimiento y dispersión de especies invasoras.
Desarrollar capacidades científicas, técnicas, humanas e institucionales.	
Establecer la coordinación entre poderes, intergubernamental, interinstitucional y con la sociedad.	Establecer programas de control y erradicación de poblaciones de especies invasoras que minimicen o eliminen sus impactos negativos y favorezcan la restauración y conservación de los ecosistemas.
Impulsar la divulgación, la educación y la concientización de la sociedad en general.	Informar oportuna y eficazmente a la sociedad para que asuma responsablemente las acciones a su alcance en la prevención, control y erradicación de las especies invasoras.
Generar conocimiento para la toma de decisiones informadas.	

Resumen: Por sus características de invasividad inherentes, el establecimiento de los mejillones cebra y quagga puede ocasionar severos daños ecológicos y económicos en el país. Debido a lo anterior, se realizó un análisis de riesgo para ambas especies tomando en cuenta a México como sitio de análisis, para lo que se utilizó la última versión del *Aquatic Species Invasiveness Screening Kit* (AS-ISK v2). Esta herramienta es una adaptación de herramientas de análisis de riesgo previas e incorpora importantes cambios en la formulación de las preguntas con el fin de reducir la ambigüedad e incertidumbre en la interpretación de las preguntas, incrementar el rango de aplicabilidad ecológica y aumentar la flexibilidad de la información relativa a la similitud climática y la tolerancia fisiológica. El AS-ISK comprende un total de 55 preguntas divididas en dos módulos, uno básico (BRA) y otro contemplando escenarios de cambio climático (CCA). Cada pregunta requiere una respuesta y un nivel de certidumbre, las cuales fueron contestadas de acuerdo con la información recabada sobre ambas especies. Además, con el fin de responder a las preguntas relativas a la similitud climática (preguntas 4, 5 y 51) y de posible impacto a especies nativas (pregunta 15) se realizó una estimación de la distribución potencial utilizando Maxent y un análisis de traslape de nicho con especies de unionidos nativos de México. Como resultado se obtuvieron puntuaciones BRA de 34.5 y 36 y CCA de 34.5 y 36, para el mejillón cebra y quagga, respectivamente, con un factor de certidumbre total de 0.9 y 0.91. Lo anterior indica un riesgo alto para ambas especies. En cuanto al modelo de nicho, se encontraron regiones con riesgo de establecimiento en México para ambas especies, siendo mayor el potencial del mejillón quagga, así como el posible traslape de nicho de ambas especies con unionidos nativos. Bajo escenarios de cambio climático, el potencial de establecimiento del mejillón cebra se ve reducido, mientras que el quagga no es afectado significativamente. Derivado de lo anterior se discute la necesidad de hacer evaluaciones de la idoneidad ambiental para los cuerpos de agua de mayor riesgo (en particular la determinación de la concentración de calcio y pH), así como el análisis de vulnerabilidad de infestación de la infraestructura (e.g. presas, plantas potabilizadoras).

Indice

1. Aquatic Species Invasiveness Screening Kit (AS-ISK)	1
2. Estimación de la Distribución Potencial.....	20
2.1 Obtención de datos	20
2.2 Entrenamiento y validación del modelo en Maxent	21
2.3 Traslape de nicho con uniñidos nativos	22
2.3 Proyección a futuro	23
2.4 Resultados	23
3. Acciones a considerar antes de la detección de mejillones	33
3.1 Análisis de Riesgo de adaptabilidad ambiental.....	35
3.1.1 Condiciones medioambientales necesarias para el establecimiento de los mejillones.....	36
4. Guía para el Análisis de Vulnerabilidad ante la invasión potencial de los mejillones quagga y cebra	54
4.1 Lista de Control para la Evaluación de la Vulnerabilidad de las Instalaciones	57
4.2 Apéndices	61
4.2.1 Apéndice A - Esquema del Plan de Proyecto	61
4.2.2 Apéndice B - Lista de verificación del sistema	65
4.2.3 Apéndice C - Detalles de las instalaciones típicas	76
REFERENCIAS	103

1. Aquatic Species Invasiveness Screening Kit (AS-ISK)

Para llevar a cabo el análisis de riesgo de ambas especies para México se utilizó la última versión de la herramienta *Aquatic Species Invasiveness Screening Kit* (AS-ISK v2). Esta herramienta es una adaptación de herramientas de análisis de riesgo previas y fue desarrollada para eliminar la restricción a grupos biológicos específicos de otras herramientas (*i.e.* FISK para peces dulceacuícolas, Amphisk para anfibios, FI-ISK para invertebrados, etc.), que no cubrían la amplia gama de organismos potencialmente invasores y los diversos ecosistemas acuáticos. También incorpora importantes cambios en la formulación de las preguntas con el fin de: 1) reducir la ambigüedad de los términos o la incertidumbre en la interpretación de las preguntas, 2) incrementar el rango de aplicabilidad ecológica para todos los grupos de organismos acuáticos, y 3) aumentar la flexibilidad de la información relativa a la similitud climática y la incorporación directa de datos sobre tolerancia fisiológica (Copp *et al.*, 2016).

El AS-ISK comprende un total de 55 preguntas divididas en dos módulos. Las primeras 49 preguntas corresponden al módulo de Análisis de Riesgo Básico (*Basic Risk Assessment*, BRA) y comprenden las 8 secciones presentes en las herramientas -ISK previas (FISK, M-FISK, etc.). El segundo módulo se denomina Análisis de Cambio Climático (*Climate Change Assessment*, CCA) y contiene 6 preguntas relativas al riesgo de que existan cambios en la probabilidad de introducción, establecimiento, dispersión y/o impactos de la especie bajo los escenarios de cambio climático futuros para el área de análisis de riesgo.

Cada pregunta requiere una respuesta "Sí/No" o en su defecto "Se desconoce", de acuerdo con la información disponible (excepto algunas en las que no se requiere "Si/No", ya que implica su categorización en distintos niveles, *e. g.* el tiempo para alcanzar la madurez sexual, que requiere una respuesta de 1, 2-3, 4-10, > 10 unidades de tiempo, de acuerdo al ciclo de vida del organismo) y un nivel de certidumbre. Este último criterio asigna una puntuación de certidumbre para cada pregunta (1 = Bajo; 2 = Medio; 3 = Alto; 4 = Muy alto), por lo que al final es posible obtener un "factor de certidumbre" (CF) para cada especie, que se calcula como: $\sum (CQ_i) / (4 \times n)$ ($i = 1, \dots, n$), donde CQ_i es la certeza para la

pregunta i, 4 es el valor máximo alcanzable para la certidumbre (es decir, "Muy alto") y n es el número total de preguntas que comprende el BRA ($n=49$) o el CCA ($n=55$). Por lo tanto, el CF oscila entre un mínimo de 0.25 (*i.e.* todas las preguntas con puntuación de certidumbre igual a 1) y un máximo de 1 (*i.e.* todas las preguntas con puntuación de certidumbre igual a 4) (Almeida *et al.*, 2013; Simonović *et al.*, 2013).

Todas las respuestas fueron contestadas de acuerdo con la información recabada en la revisión de literatura (PNUD México, 2019; Tabla 1). Por otra parte, con el fin de responder a las preguntas relativas a la similitud climática (preguntas 4, 5 y 51) y de posible impacto a especies nativas (pregunta 15) se realizó una estimación de la distribución potencial y un análisis de traslape de nicho con especies de unionidos nativos de México (sección 2). Una vez completado el cuestionario se obtuvo un informe sobre la puntuación obtenida para las especies, con valores posibles entre -12 y 64 para el módulo BRA y de -24 a 76 al incluirse el módulo CCA, incluyendo los detalles de las puntuaciones individuales para cada sección de preguntas, los sectores afectados (comercial, ambiental y los rasgos nocivos de la especie) y el factor de certidumbre (Tabla 2).

Tabla 1. Cuestionario y respuestas de la herramienta de análisis de riesgo AS-ISK para el mejillón cebra y quagga en México. Cuando las respuestas difieren entre ambas especies el recuadro gris representa la respuesta del mejillón quagga.				
No.	Pregunta	Respuesta	Certidumbre	Referencia
A. Biogeográfico/Histórico				
1. Domesticación/Cultivo				
1	¿Se ha sometido el taxón a un proceso de domesticación (o cultivo) por, al menos, 20 generaciones?	Sí	Muy alta	Son especies que se han mantenido a nivel internacional en laboratorios para su estudio y con fines experimentales y se han generado propuestas para su utilización en el medio natural con fines de disminuir la eutroficación en lagos (Reeders <i>et al.</i> , 1993; Mills <i>et al.</i> , 1996; Selegan <i>et al.</i> , 2001; Gu & Mitchell, 2002; Fenske 2002; Cohen 2005)
2	¿Se cosecha el taxón en estado silvestre y tiene probabilidades de ser vendido o utilizado vivo?	No	Muy alta	Debido a su tamaño y las altas cantidades de pesticidas, metales y patógenos que pueden bioacumular los mejillones dreisénidos, no son aptos para el consumo humano o animal (Davids & Kraak, 1993; Zdun <i>et al.</i> , 1994;; Taskinen & Valtanen, 1995; Molloy <i>et al.</i> , 1997; Burlakova <i>et al.</i> , 1998; Jarvis <i>et al.</i> , 2000; Laruelle <i>et al.</i> , 2002; Gu & Mitchell,

				2002; Karatayev <i>et al.</i> , 2000, 2002a, 2003; Fokin <i>et al.</i> , 2003; Burreson & Ford, 2004; Molloy <i>et al.</i> , 2005; Peribáñez <i>et al.</i> , 2006; Karatayev <i>et al.</i> , 2007; Lauringson <i>et al.</i> , 2007; Stybel <i>et al.</i> , 2009; Strayer, 2009; Stumpf <i>et al.</i> , 2010; Winters <i>et al.</i> , 2010, 2011; Schäfer <i>et al.</i> , 2012; Minguez <i>et al.</i> , 2012; Molloy <i>et al.</i> , 2012; Palos-Laidero <i>et al.</i> , 2014; Daeschlein <i>et al.</i> , 2015; Petkevičiūtė <i>et al.</i> , 2015; Arzul y Carnegie, 2015; Mosteo <i>et al.</i> , 2016; Hannon <i>et al.</i> , 2016; Travina <i>et al.</i> , 2019) (para mayor información ver secciones 5.6, 5.7 y 8.5 en PNUD México, 2019).
3	¿Tiene el taxón razas, variedades, sub-taxa o congéneres invasores?	Sí	Muy alta	Posterior a la dispersión del mejillón cebra, su congénere el mejillón quagga (<i>D. bugensis</i>) se introdujo fuera de su área natural causando daños similares (Morton, 1989; Drake & Bossenbroek, 2004). Además de poseer al menos tres subespecies: <i>D. p. polymorpha</i> , <i>D. p. gallandi</i> y <i>D. p. anatolica</i> (van der Velde <i>et al.</i> , 2010). (para mayor información ver sección 2 en PNUD México, 2019).
		Sí	Muy alta	<i>Dreissena polymorpha</i> es un congénere del mejillón quagga que, debido a sus características biológicas y ecológicas, ha provocado daños ecológicos y económicos severos, convirtiéndose en una de las 100 especies exóticas invasoras más dañinas del mundo (Morton, 1989; Lowe <i>et al.</i> , 2000; Strayer, 2009). Además, se conocen dos subespecies del mejillón quagga <i>D. r. bugensis</i> y <i>D. r. distincta</i> (Therriault <i>et al.</i> , 2004; Orlova <i>et al.</i> , 2005) (Para mayor información ver sección 2 en PNUD México, 2019).
2. Clima, distribución y riesgo de introducción				
4	¿Qué tan similares son las condiciones climáticas entre el área considerada en el Área de Riesgo (AR) y el área de distribución nativa del taxón?	Bajo	Muy alta	El modelo de distribución potencial para el mejillón cebra (Fig. 2) muestra una probabilidad baja para la mayor parte del país, con solo algunas regiones aisladas de riesgo relativamente medio a alto, siendo el promedio de idoneidad para todo el país de 0.02 (valores posibles entre 0 y 1).
		Medio	Muy alta	El modelo de distribución potencial para el mejillón quagga (Fig. 4) muestra una mayor proporción de zonas de riesgo alto para el país, siendo el promedio de idoneidad para todo el país de 0.167 (valores posibles entre 0 y 1), aunque al incluir información sobre

				litología el riesgo disminuye considerablemente.
5	¿Cuál es la calidad de los datos usados para la comparación climática?	Alto	Muy alta	Los modelos de ambas especies presentaron valores de AUC>0.90 para la validación cruzada aleatoria lo cual significa que el modelo mostró un desempeño excelente y AUC>0.80 para la validación cruzada por bloques, lo cual indica una buena medida de transferibilidad.
6	¿Se encuentra ya el taxón fuera de cautiverio en el área AR?	No	Muy alta	No se ha reportado es establecimiento del mejillón cebra en México.
		Sí	Muy alta	Existe un registro del mejillón quagga en Tijuana, Baja California (Wakida-Kusunoki <i>et al.</i> , 2015), además de un registro no oficial publicado en el periódico ZETA, donde se encontraron mejillones en la potabilizadora “El Florido” en Tijuana (Mercado-Juarez, 2014).
7	¿Cuántos vectores potenciales pudo usar el taxón para entrar al área AR?	>1	Muy alta	Los mejillones muestran múltiples vías de introducción, entre las cuales la incrustación de botes y aparejos de pesca es la principal causa (Minchin <i>et al.</i> , 2003). Además, muestran una dispersión pasiva al fijarse en diferentes sustratos que pueden ser arrastrados por el flujo de la corriente del agua (troncos, basura, llantas y boyas), o utilizando otros organismos como vectores. Por otra parte, también podrían entrar por el intercambio internacional de agua entre México y Estados Unidos (Carlton 1993; Johnson y Carlton, 1993; Martel 1993; Ackerman <i>et al.</i> , 1994; Ricciardi <i>et al.</i> , 1995a; Ram & McMahon, 1996; Bially & MacIsaac, 2000; Matthews <i>et al.</i> , 2014; Berber <i>et al.</i> , 2018) (Para mayor información ver sección 7 de PNUD México, 2019).
8	¿Se encuentra el taxón actualmente próximo a, y con probabilidades de, entrar en el corto plazo al área considerada en el AR (ej. Introducciones accidentales o intencionales)?	Sí	Muy alta	El mejillón cebra se encuentra cerca de la frontera con México, y en algunos lagos de Texas y California (Olson, 2016; Benson <i>et al.</i> , 2019a).
		No aplica	Muy alta	Esta especie está actualmente establecida dentro de México (Wakida-Kusunoki <i>et al.</i> , 2015).
3. Invasora en otros sitios				
9	¿Se ha naturalizado el taxón (ha establecido poblaciones viables)	Sí	Muy alta	Se ha reportado el establecimiento del mejillón cebra en múltiples países de Europa (Afganistán, Albania, Andorra,

	fuera de su rango de distribución original?			<p>Armenia, Austria, Azerbaiyán, Bielorrusia, Bélgica, Bosnia y Herzegovina, Canadá (Ontario y Manitoba), China (Xinjiang), Croacia, Dinamarca, Estonia, Islas Faroe, Francia, Alemania, Grecia, Hungría, India (Jammu-Cachemira), Italia, Kirguistán, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Moldova, Países Bajos, Pakistán, Polonia, Portugal, Serbia (Serbia), Eslovaquia, España, Suecia, Suiza, Tayikistán, Turquía (Turquía-en-Asia - nativo, Turquía-en-Europa - introducido), Reino Unido (Gran Bretaña, Irlanda del Norte) y Estados Unidos (Texas, Kansas, Tennessee, Kentucky, Pennsylvania, Nueva York, Ohio, Toronto, Michigan, Wisconsin, Minnesota) (Rajagopal <i>et al.</i>, 2009; Cianfanelli, <i>et al.</i>, 2007; CABI, 2018; Benson <i>et al.</i>, 2019^a)</p>
		Sí	Muy alta	<p>Se ha establecido en Canadá (Ontario), Países Bajos, Estados Unidos (Arizona, California, Colorado, Michigan, Missouri, Nevada, Nueva York, Ohio, Pennsylvania, Ohio, San Diego, Phoenix), México (Tijuana) y algunos países de Europa (Alemania, Hungría, Moldova, Holanda, Rumanía, La Federación Rusa, el Norte y sur de Rusia, Reino Unido, y Ucrania (Riessen <i>et al.</i>, 1993; Mills <i>et al.</i>, 1996; Nalepa, 2010; Benson <i>et al.</i>, 2010; van der Velde <i>et al.</i>, 2010; CABI, 2018).</p>
10	¿En las áreas donde ha sido introducido el taxón ha causado impactos adversos a poblaciones silvestres o taxones de importancia comercial?	Sí	Muy alta	<p>Los mejillones son hospederos intermediarios de diversos parásitos, los cuales aumentan su tasa de infestación en el hospedero definitivo (Davids y Kraak, 1993; Zdun <i>et al.</i>, 1994; Taskinen & Valtonen, 1995; Molloy <i>et al.</i>, 1997; Burlakova <i>et al.</i>, 1998; Jarvis <i>et al.</i>, 2000; Laruelle <i>et al.</i>, 2002; Gu & Mitchell, 2002; Karatayev <i>et al.</i>, 2000, 2002a, 2003; Fokin <i>et al.</i>, 2003; Burrenson & Ford, 2004; Molloy <i>et al.</i>, 2005; Peribáñez <i>et al.</i>, 2006; Karatayev <i>et al.</i>, 2007; Laurantson <i>et al.</i>, 2007; Stybel <i>et al.</i>, 2009; Strayer, 2009; Stumpf <i>et al.</i>, 2010; Winters <i>et al.</i>, 2010, 2011; Schäfer <i>et al.</i>, 2012; Minguez <i>et al.</i>, 2012; Molloy <i>et al.</i>, 2012; Palos-Laidero <i>et al.</i>, 2014; Daeschlein <i>et al.</i>, 2015; Petkevičiūtė <i>et al.</i>, 2015; Arzul & Carnegie, 2015; Mosteo <i>et al.</i>, 2016; Hannon <i>et al.</i>, 2016; Travina <i>et al.</i>, 2019).</p> <p>Se ha observado que la presencia de los mejillones invasores afecta negativamente la abundancia de los moluscos nativos (Karatayev <i>et al.</i>, 1997; Ricciardi <i>et al.</i>, 1997;</p>

				Ricciardi <i>et al.</i> , 1998; Strayer, 1999; Darrigran, 2002; Burlakova <i>et al.</i> , 2012; Mills <i>et al.</i> , 2017). Además, la capacidad filtradora de los dreisénidos permite eliminar una gran variedad de algas de los lagos, favoreciendo el crecimiento de microalgas tóxicas debido a las alteraciones en los ciclos de nitrógeno y fosforo (Griffiths, 1993; Fahnenstiel <i>et al.</i> , 1995a; Fahnenstiel <i>et al.</i> , 1995b; MacIsaac, 1996; Vanderploeg <i>et al.</i> , 2001; Ackerman <i>et al.</i> , 2001; Wong <i>et al.</i> , 2003; Bykova <i>et al.</i> , 2006; Bruesewitz <i>et al.</i> , 2006, Turner, 2010; Therriault <i>et al.</i> , 2012) (para mayor información ver sección 8.1 de PNUD México, 2019).
11	¿En las áreas donde ha sido introducido el taxón se han documentado impactos negativos a la acuacultura?	Sí	Muy alta	En California, algunas instalaciones de acuacultura se han visto obligadas a cesar sus operaciones y someterse a costosos cambios en su sistema de suministro de agua debido a infestaciones de dreisénidos (Bartley <i>et al.</i> , 2008).
12	¿En las áreas donde ha sido introducido el taxón se han documentado impactos negativos a los servicios ecosistémicos?	Sí	Muy alta	Se ha reportado que los dreisénidos pueden cambiar la química del agua. Las pseudoheces producidas en altas cantidades por los mejillones puede acidificar el agua dándole mal sabor (Van Benschoten <i>et al.</i> , 1993). Además, la clarificación provocada por los mejillones favorece la proliferación de macrófitas las cuales producen geosmina, dándole mal olor al agua potable (MacIsaac <i>et al.</i> , 2002). También impide las actividades recreativas en los lagos, favorece la proliferación de plantas nocivas y aumenta la cantidad de amonio disuelto. El Gobierno de Windsor, Ontario gasta USD\$ 323,000 anualmente controlando este problema (Pejchar & Mooney, 2009) (Para mayor información ver 8.6 del primer reporte).
13	¿En las áreas donde ha sido introducido el taxón se han documentado impactos socioeconómicos negativos?	Sí	Muy alta	Las invasiones de los mejillones en estructuras de instalaciones industriales tales como, centrales hidroeléctricas y nucleares, plantas distribuidoras de agua, plantas de tratamiento de aguas y sistemas de riego, implican el dañino problema de la remoción de las conchas, provocando pérdidas millonarias (Herbert <i>et al.</i> , 1989; Mackie <i>et al.</i> , 1989; McMahon & Tsou, 1990; Rosaen <i>et al.</i> , 2012). Por otra parte, la acumulación de grandes cantidades de conchas sobre las playas afecta el nivel de

				<p>ingresos de la región y la salud de los visitantes por el riesgo de cortaduras, lo que a su vez ha generado demandas económicas para los condados en donde se encuentran los lagos (Duran <i>et al.</i>, 2010). Los impactos ocasionados por los mejillones le han llegado a costar a EE. UU. Hasta USD\$ 5 mil millones (Idaho Aquatic Nuisance Species Taskforce, 2009), tan sólo el gasto realizado por las plantas eléctricas fue de casi USD\$ 900 millones (OTA, 1993).</p>
B. Biología/Ecología				
4. Rasgos indeseables (o de persistencia)				
14	¿Puede el taxón ser venenoso o representar un riesgo de algún tipo para la salud humana?	Sí	Muy alta	<p>Las conchas de los mejillones son peligrosas por tratarse de objetos cortantes que pueden causar laceraciones a las personas (Duran <i>et al.</i>, 2010).</p> <p>Además, albergan pesticidas y patógenos que pueden indirectamente ser transferidos por las redes tróficas hasta llegar a los humanos (Davids & Kraak, 1993; Zdun <i>et al.</i>, 1994; Taskinen & Valtonen, 1995; Molloy <i>et al.</i>, 1997; Burlakova <i>et al.</i>, 1998; Jarvis <i>et al.</i>, 2000; Laruelle <i>et al.</i>, 2002; Gu & Mitchell, 2002; Karatayev <i>et al.</i>, 2000, 2002a, 2003; Fokin <i>et al.</i>, 2003; Burreson & Ford, 2004; Molloy <i>et al.</i>, 2005; Peribáñez <i>et al.</i>, 2006; Karatayev <i>et al.</i>, 2007; Laurantson <i>et al.</i>, 2007; Stybel <i>et al.</i>, 2009; Strayer, 2009; Stumpf <i>et al.</i>, 2010; Winters <i>et al.</i>, 2010, 2011; Schäfer <i>et al.</i>, 2012; Minguez <i>et al.</i>, 2012; Molloy <i>et al.</i>, 2012; Palos-Laidero <i>et al.</i>, 2014; Daeschlein <i>et al.</i>, 2015; Petkevičiūtė <i>et al.</i>, 2015; Arzul & Carnegie, 2015; Mosteo <i>et al.</i>, 2016; Hannon <i>et al.</i>, 2016; Travina <i>et al.</i>, 2019) (para mayor información ver sección 5.6, 5.7 y 8.5 de PNUD México, 2019).</p>
15	¿Puede el taxón afectar uno o más taxa nativos (que no estén amenazados o protegidos)?	Sí	Muy alta	<p>Cuando la densidad y biomasa de los mejillones son muy altas disminuye la riqueza y diversidad de invertebrados bentónicos nativos, aumentando la de los exóticos (Karatayev <i>et al.</i>, 1997; Ricciardi <i>et al.</i>, 1997; Darrigran, 2002; Mills <i>et al.</i>, 2017).</p> <p>El potencial de filtración de los mejillones puede afectar a diferentes especies de fitoplancton (MacIsaac, 1996; Karatayev <i>et al.</i>, 1997). Además, este potencial les ayuda en la competencia con otros organismos, como las esponjas (Lancioni & Gaino, 2007) (para mayor información ver sección 8 de PNUD México, 2019). Adicionalmente, se encontró una alta probabilidad de traslape</p>

				de ambas especies invasoras con especies de unionidos nativos de México (sección 2.4.3 del presente documento).
16	¿Existen taxa amenazados o protegidos que el taxón no nativo pudiera parasitar dentro del área AR?	No	Medio	No es un depredador directo, ni es parásito, aunque puede ser un vector de parásitos (Davids & Kraak, 1993; Zdun <i>et al.</i> , 1994; Taskinen & Valtonen, 1995; Molloy <i>et al.</i> , 1997; Burlakova <i>et al.</i> , 1998; Jarvis <i>et al.</i> , 2000; Laruelle <i>et al.</i> , 2002; Gu & Mitchell, 2002; Karatayev <i>et al.</i> , 2000, 2002a, 2003; Fokin <i>et al.</i> , 2003; Bureson & Ford, 2004; Molloy <i>et al.</i> , 2005; Peribáñez <i>et al.</i> , 2006; Karatayev <i>et al.</i> , 2007; Lauringson <i>et al.</i> , 2007; Stybel <i>et al.</i> , 2009; Strayer, 2009; Stumpf <i>et al.</i> , 2010; Winters <i>et al.</i> , 2010, 2011; Schäfer <i>et al.</i> , 2012; Minguez <i>et al.</i> , 2012; Molloy <i>et al.</i> , 2012; Palos-Laidero <i>et al.</i> , 2014; Daeschlein <i>et al.</i> , 2015; Petkevičiūtė <i>et al.</i> , 2015; Arzul & Carnegie, 2015; Mosteo <i>et al.</i> , 2016; Hannon <i>et al.</i> , 2016; Travina <i>et al.</i> , 2019) (para mayor información ver sección 5.6 de PNUD México, 2019).
17	¿Es el taxón adaptable, en términos climáticos o ambientales, de manera que se incremente su persistencia potencial si ya invadió, o pudiera invadir el área AR?	Sí	Muy alta	Posterior a su introducción fuera de su área nativa, los mejillones se han adaptado a diferentes condiciones, logrando sobrevivir y expandir su área de distribución. Varios estudios sugieren que las poblaciones del sur de Estados Unidos, las cuales se encuentran cerca de la frontera, se están adaptando a las altas temperaturas. En particular el cebra se encuentra en Texas y en California, mientras que el quagga también se encuentra en California y ya existe un registro en México (Kinzelbach, 1992; Morton, 1993; Riessen <i>et al.</i> , 1993; Spidle <i>et al.</i> , 1994; Rosenberg & Ludyanskiy, 1994; Marsden <i>et al.</i> , 1996; Mills <i>et al.</i> , 1996; Ricciardi & MacIsaac, 2000; Stepien <i>et al.</i> , 2002; Drake & Bossenbroek, 2004; Orlova <i>et al.</i> , 2005; Astanei <i>et al.</i> , 2005; Elderkin & Klerks 2005; Cianfanelli <i>et al.</i> , 2007; Morse, 2009a; Rajagopal <i>et al.</i> , 2009; Nalepa, 2010; Boeckman & Bidwell 2014; Olson, 2016; Benson <i>et al.</i> , 2019a) (Para mayor información ver sección 5.1 de PNUD México, 2019).
18	¿Puede el taxón alterar la estructura/función de las redes tróficas en los ecosistemas acuáticos, que ya ha	Sí	Muy alta	Los cambios inducidos por los mejillones en las vías energéticas reestructuran las redes tróficas de los cuerpos de agua en los que se encuentran. Con la gran capacidad de filtración de los mejillones, el plancton y el zoobentos nativo de zonas profundas

	invadido o que pudiera invadir en el área de AR?			disminuye, por lo que los peces planctívoros y bentívoros estrictos se ven afectados negativamente, así como los piscívoros que se suelen quedar sin presas. Además, los nutrientes liberados por los mejillones incrementan el sedimento bacteriano, el perifiton y las macrófitas que favorece el incremento de la densidad de zoobentos, al aumentar las colonias de mejillones, y este a su vez este sirve como fuente de nutrientes para aquellos peces con dietas no especializadas que logran adaptarse a los nuevos recursos (Herbert <i>et al.</i> , 1991; Griffiths, 1993; Fahnenstiel <i>et al.</i> , 1995a; Fahnenstiel <i>et al.</i> , 1995b; Effler <i>et al.</i> , 1996; Arnott & Vanni, 1996; Klerks <i>et al.</i> , 1996; Ram & McMahon, 1996; MacIsaac, 1996; Caraco <i>et al.</i> , 1997; Karatayev <i>et al.</i> , 1997; Ricciardi <i>et al.</i> , 1997; Ricciardi <i>et al.</i> , 1998; Honeyfield <i>et al.</i> , 1998; Fitzsimons <i>et al.</i> , 1999; Mackie, 1999; Strayer <i>et al.</i> , 1999; Roditi <i>et al.</i> , 2000; Lavrentyev <i>et al.</i> , 2000; Jarvis <i>et al.</i> , 2000; Pimentel <i>et al.</i> , 2000; Vanderploeg <i>et al.</i> , 2001; Ackerman <i>et al.</i> , 2001; Darrigran, 2002; Vanni, 2002; Wong <i>et al.</i> , 2003; Aldridge <i>et al.</i> , 2004; Raikow <i>et al.</i> , 2004; Strayer <i>et al.</i> , 2004; Sarnelle <i>et al.</i> , 2005; Wolgamood <i>et al.</i> , 2005; Tillitt <i>et al.</i> , 2005; Bruesewitz <i>et al.</i> , 2006; Zhu <i>et al.</i> , 2006; Bykova <i>et al.</i> , 2006; Strayer & Malcom, 2007; Zaiko <i>et al.</i> , 2009; Tillitt <i>et al.</i> , 2009; Turner, 2010; Higgins & Vander Zanden, 2010; Burlakova <i>et al.</i> , 2012; Therriault <i>et al.</i> , 2012; Mills <i>et al.</i> , 2017; Smith <i>et al.</i> , 2018) (para mayor información ver sección 8.1 de PNUD México, 2019).
19	¿Puede el taxón ocasionar impactos negativos a los servicios ecosistémicos en el área AR?	Sí	Muy alta	Como se mencionó en la pregunta 12, los impactos de estos bivalvos son universales. (Van Benschoten <i>et al.</i> , 1993; Mackie, 1999; MacIsaac <i>et al.</i> , 2002; Lovell & Stone, 2006; Benson <i>et al.</i> , 2019a) (para mayor información ver sección 8.6 de PNUD México, 2019).
20	¿Puede el taxón ser hospedero y/o actuar como vector para plagas reconocidas y agentes infecciosos que sean endémicos en el área AR?	No	Alta	No se encontraron patógenos endémicos de importancia en los mejillones
21	¿Puede el taxón ser hospedero y/o actuar como vector para	Sí	Muy alta	Se han reportado diversas especies parásitas de ambos mejillones de las cuales muchas de ellas no se encuentran en

	plagas reconocidas y agentes infecciosos que estén ausentes (sean nuevos) en el área AR?			México, ejemplo de esto es <i>Bucephallus polymorphus</i> , un tremátodo europeo que utiliza estos organismos como hospedero intermediario y que ha sido reportado en Norteamérica. Otros ejemplos pueden ser <i>Phyllodistomum macrocotyle</i> , <i>Hypocomagalma dreissenae</i> , y <i>Conchophthirus acuminatus</i> (Davids & Kraak, 1993; Zdun <i>et al.</i> , 1994; Taskinen & Valtonen, 1995; Molloy <i>et al.</i> , 1997; Burlakova <i>et al.</i> , 1998; Jarvis <i>et al.</i> , 2000; Laruelle <i>et al.</i> , 2002; Gu & Mitchell, 2002; Karatayev <i>et al.</i> , 2000, 2002a, 2003; Fokin <i>et al.</i> , 2003; Burreson & Ford, 2004; Molloy <i>et al.</i> , 2005; Peribáñez <i>et al.</i> , 2006; Karatayev <i>et al.</i> , 2007; Lauringson <i>et al.</i> , 2007; Stybel <i>et al.</i> , 2009; Strayer, 2009; Stumpf <i>et al.</i> , 2010; Winters <i>et al.</i> , 2010, 2011; Schäfer <i>et al.</i> , 2012; Minguez <i>et al.</i> , 2012; Molloy <i>et al.</i> , 2012; Palos-Laidero <i>et al.</i> , 2014; Daeschlein <i>et al.</i> , 2015; Petkevičiūtė <i>et al.</i> , 2015; Arzul & Carnegie, 2015; Mosteo <i>et al.</i> , 2016; Hannon <i>et al.</i> , 2016; Travina <i>et al.</i> , 2019) (para mayor información ver sección 5.6 y tabla 3 de PNUD México, 2019).
22	¿Puede el taxón alcanzar un tamaño corporal que incremente las posibilidades de liberarlo del cautiverio?	No	Muy alta	Comparado con otros bivalvos las especies de <i>Dreissena</i> son pequeñas, por lo que su tamaño no incrementa las posibilidades de liberación (Effler & Siegfried, 1994; Patterson <i>et al.</i> , 2005; Benson <i>et al.</i> , 2019a) (para mayor información ver sección 3 de PNUD México, 2019).
23	¿Es el taxón capaz de mantenerse en diversas condiciones de velocidad de corrientes de agua (e. g. es versátil en el uso de hábitat)?	Sí	Muy alta	Es común encontrar a los dreisénidos en diversidad de sitios (ríos, lagos, canales, y estuarios) (Pollux <i>et al.</i> , 2010). Esto debido al biso y su alta tasa de producción del mismo, característica que los hace capaces de resistir velocidades mayores a 1.0 m/s (Peyer <i>et al.</i> , 2009, 2010; Koopman <i>et al.</i> , 2018; LGEEPA, 2018).
24	¿Puede el modo de vida del taxón (e. g. excreción de subproductos) o comportamientos (e. g. alimentación) reducir la calidad del hábitat para taxa nativos?	Sí	Muy alta	Se ha demostrado que la desnitrificación y la cantidad de amoníaco aumentan en relación con los establecimientos de mejillón cebra, debido a las pseudoheces de los mejillones depositadas en los sedimentos. De esta forma se altera la disponibilidad de N/P favoreciendo el crecimiento de cianobacterias tóxicas como <i>Microcystis aeruginosa</i> . Además, la respiración de estos mejillones disminuye el oxígeno disuelto, pudiendo generar áreas anóxicas (Herbert <i>et al.</i> , 1991; Griffiths, 1993; Fahnenstiel <i>et al.</i> , 1995a; Fahnenstiel

				<p><i>et al.</i>, 1995b; Effler <i>et al.</i>, 1996; Arnott & Vanni, 1996; Klerks <i>et al.</i>, 1996; Ram & McMahon, 1996; MacIsaac, 1996; Caraco <i>et al.</i>, 1997; Karatayev <i>et al.</i>, 1997; Ricciardi <i>et al.</i>, 1997; Ricciardi <i>et al.</i>, 1998; Honeyfield <i>et al.</i>, 1998; Fitzsimons <i>et al.</i>, 1999; Mackie, 1999; Strayer <i>et al.</i>, 1999; Roditi <i>et al.</i>, 2000; Lavrentyev <i>et al.</i>, 2000; Jarvis <i>et al.</i>, 2000; Pimentel <i>et al.</i>, 2000; Vanderploeg <i>et al.</i>, 2001; Ackerman <i>et al.</i>, 2001; Darrigran, 2002; Vanni, 2002; Wong <i>et al.</i>, 2003; Aldridge <i>et al.</i>, 2004; Raikow <i>et al.</i>, 2004; Strayer <i>et al.</i>, 2004; Sarnelle <i>et al.</i>, 2005; Wolgamood <i>et al.</i>, 2005; Tillitt <i>et al.</i>, 2005; Bruesewitz <i>et al.</i>, 2006; Zhu <i>et al.</i>, 2006; Bykova <i>et al.</i>, 2006; Strayer & Malcom, 2007; Zaiko <i>et al.</i>, 2009; Tillitt <i>et al.</i>, 2009; Turner, 2010; Higgins & Vander Zanden, 2010; Burlakova <i>et al.</i>, 2012; Therriault <i>et al.</i>, 2012; Mills <i>et al.</i>, 2017; Smith <i>et al.</i>, 2018) (para mayor información ver sección 8.1 de PNUD México, 2019).</p>
25	¿Puede el taxón mantener una población viable incluso cuando esté presente a bajas densidades (o persistir en condiciones adversas en alguna forma latente)?	Sí	Muy alta	Se han reportado establecimientos de poblaciones a partir de densidades iniciales de 3.5 ind/m ² (Cope <i>et al.</i> , 2006).
5. Utilización de recursos				
26	¿Puede el taxón consumir taxa nativos amenazados o protegidos en el área de AR?	No	Muy alta	Los mejillones son organismos filtradores que pueden consumir fitoplancton nativo, sin contar que hasta la fecha se desconoce el estado de varias especies en México (Mackie <i>et al.</i> , 1989; Neuman & Jenner, 1992; Pathy, 1994; Dean, 1994; Cotner <i>et al.</i> , 1995; MacIsaac, 1996; Boelman <i>et al.</i> , 1997; Horgan & Mills 1997; Karatayev <i>et al.</i> , 1997; Ackerman, 1999; Frischer <i>et al.</i> , 2000; Roditi <i>et al.</i> , 2000; Goedkoop <i>et al.</i> , 2000; Kotta & Møhlenberg, 2002; Dionisio Pires <i>et al.</i> , 2004; Benson <i>et al.</i> , 2010; Higgins & Vander Zanden, 2010; Benson 2019a, b).
27	¿Puede el taxón retener recursos alimenticios (incluyendo nutrientes) en detrimento de taxa nativos en el área AR?	Sí	Muy alta	Al ser los dreisénidos invasores los moluscos con uno de los mayores potenciales de filtración, sus altas densidades poblacionales provocan que, al competir por alimento con otros bivalvos nativos, obtengan una mayor cantidad del recurso (Mackie <i>et al.</i> , 1989; Haag <i>et al.</i> , 1993;

				Bogan, 1993; Gills & Mackie, 1994; Pathy, 1994; Strayer & Smith, 1996; MacIsaac, 1996; Schloesser <i>et al.</i> , 1996; Karatayev <i>et al.</i> , 1997; Ricciardi <i>et al.</i> , 1998; Strayer, 1999; Vaughn & Taylor, 1999; Burlakova <i>et al.</i> , 2000; Garner & McGregor, 2001; Karatayev <i>et al.</i> , 2002; Ricciardi, 2003; Strayer <i>et al.</i> , 2004; Aldridge <i>et al.</i> , 2004; Bowers <i>et al.</i> , 2005; Warren & Haag, 2005; Jones <i>et al.</i> , 2006; Strayer & Malcom, 2007; Casper & Johnson, 2010; Sherman <i>et al.</i> , 2013; Bódis <i>et al.</i> , 2014; Lucy <i>et al.</i> , 2014; Burlakova <i>et al.</i> , 2018; Lopes-Lima <i>et al.</i> , 2018) (Para mayor información ver sección 8.2 de PNUD México, 2019).
6. Reproducción				
28	¿Puede el taxón exhibir cuidado parental y/o reducir la edad de madurez sexual en respuesta a las condiciones ambientales?	Sí	Muy alta	Los dreisénidos pueden reducir el tiempo que tardan en alcanzar la maduración dependiendo de la densidad poblacional, la tasa de crecimiento y la temperatura. Ejemplo de esto, son las poblaciones de mejillones invasores en Norteamérica (McMahon, 1991; Britton, 2007; Richter, 2008) (para mayor información ver sección 5.3 de PNUD México, 2019).
29	¿Puede el taxón producir gametos viables o propágulos (en el área AR)?	Sí	Muy alta	Según el modelo de nicho realizado para el mejillón cebra, existen algunas áreas en México idóneas para su establecimiento (para mayor información ver sección 2.4.1 del presente documento).
		Sí	Muy alta	El mejillón quagga se introdujo y estableció poblaciones en México en el 2014 (Wakida-Kusunoki <i>et al.</i> , 2015) (para mayor información ver sección 6 de PNUD México, 2019).
30	¿Puede el taxón hibridar con taxa nativos de forma natural?	No	Muy alta	Los únicos híbridos que se han observado son bajo condiciones de laboratorio y mueren al llegar a la etapa en forma de D (Nichols & Black, 1994). Se sugiere que existen barreras biológicas entre ambas especies que impiden su hibridación con otras (Stepien <i>et al.</i> , 1999; Voroshilova <i>et al.</i> , 2010) (para mayor información ver sección 5.3 de PNUD México, 2019).
31	¿Puede el taxón ser hermafrodita o reproducirse asexualmente?	No	Alta	Los dreisénidos son organismos dioicos, sin embargo, se ha sugerido la posibilidad de que existan ejemplares hermafroditas (Ludyanskiy, <i>et al.</i> , 1993; Benson <i>et al.</i> , 2019a, b) (para mayor información ver sección 5.3 de PNUD México, 2019).
32	¿Depende el taxón de otro taxón (o de	Sí	Muy alta	Los mejillones necesitan un sustrato relativamente duro para completar su etapa

	características específicas del hábitat) para completar su ciclo de vida?			larval final (pedivelígera) y realizar metamorfosis llegando a su etapa juvenil (Palau <i>et al.</i> , 2004; Benson <i>et al.</i> , 2019a). Además, necesitan un mínimo de moléculas esenciales como calcio, alcalinidad, conductancia y temperatura (para mayor información ver sección 5.3 de PNUD México, 2019 y la 2 del presente documento).
33	¿Se sabe (o es probable) que el taxón produzca un gran número de propágulos en un tiempo corto (e. g. <1año)?	Sí	Muy alta	Las hembras de los dreisénidos pueden producir hasta un millón de huevos desde los 4 meses de edad, de los cuales, de 30,000 a 40,000 huevos son fecundados (McMahon, 1991; Miller <i>et al.</i> , 1992) (para mayor información ver sección 5.3 de PNUD México, 2019).
34	¿Cuántas unidades de tiempo (días, meses, años) requiere el taxón para alcanzar la edad de la primera reproducción?	1	Muy alta	En su rango original los dreisénidos logran alcanzar su madurez sexual en el primer año de vida, sin embargo, en Norteamérica pueden reproducirse en menos tiempo (McMahon, 1991; O'Neill, 1996) (para mayor información ver sección 5.3 de PNUD México, 2019).
7. Mecanismos de dispersión				
35	¿Cuántos vectores/vías potenciales podría utilizar el taxón para dispersarse dentro del área AR (con hábitats adecuados en la cercanía)?	>1	Muy alta	Los dreisénidos pueden utilizar múltiples vías de introducción gracias a su capacidad de incrustación. Se ha reportado que botes, artes de pesca, objetos flotantes (basura, troncos, boyas), el intercambio internacional de agua entre México y Estados Unidos, y otros organismos pueden ser utilizados como vectores para la dispersión de estas especies (Johnson & Carlton, 1993; Carlton 1993; Martel 1993; Ackerman <i>et al.</i> , 1994; Ram & McMahon, 1996; Mackie & Schloesser, 1996; Bially & MacIsaac, 2000; Minchin <i>et al.</i> , 2003; Matthews <i>et al.</i> , 2014; Berber <i>et al.</i> , 2018) (para mayor información ver sección 7 de PNUD México, 2019).
36	¿Alguno de estos vectores/vías podría llevar al taxón a la proximidad cercana de una o más áreas protegidas (e. g. ZCM, APM, SICE)?	Sí	Medio	El ANP más cercana a un cuerpo de agua colonizado por el mejillón cebra, se encuentra a más de 300 Km. Considerando que se introdujeron en los Grandes Lagos en 1985 y que en 20 años recorrieron más de 3000 Km hacia el sur, la distancia al ANP significaría que en 2 años pudiera llegar (Kinzelsbach, 1992; Morton, 1993; Riessen <i>et al.</i> , 1993; Spidle <i>et al.</i> , 1994; Rosenberg & Ludyanskiy, 1994; Marsden <i>et al.</i> , 1996; Mills <i>et al.</i> , 1996; Ricciardi & MacIsaac, 2000; Stepien <i>et al.</i> , 2002; Drake &

				Bossenbroek, 2004; Orlova <i>et al.</i> , 2005; Astanei <i>et al.</i> , 2005; Elderkin & Klerks 2005; Cianfanelli <i>et al.</i> , 2007; Morse, 2009a; Rajagopal <i>et al.</i> , 2009; Nalepa, 2010; Boeckman & Bidwell 2014; Olson, 2016; Benson <i>et al.</i> , 2019a) (para mayor información ver sección 5.1 de PNUD México, 2019).
		Sí	Alta	El establecimiento del mejillón quagga en Tijuana puede representar un riesgo para la ANP "Constitución de 1857", y dos humedales RAMSAR que se encuentran a menos de 100 Km de distancia (SIGPA, 2019).
37	¿Tiene el taxón la capacidad de adherirse activamente a algún sustrato duro (e. g. casco de embarcaciones, boyas pilotes) de modo que se incremente su probabilidad de dispersión?	Sí	Muy alta	Los dreisénidos poseen un bisco, el cual es una fibra muscular que secretan algunos moluscos que les permite fijarse en una extensa variedad de sustratos (Ackerman <i>et al.</i> , 1992; Ekroat <i>et al.</i> , 1993; Claudi & Mackie, 1994; Ram & McMahon, 1996; Boelman <i>et al.</i> , 1997; Peyer <i>et al.</i> , 2009, 2010; Dalton & Cottrell, 2013) (para mayor información ver sección 3 de PNUD México, 2019).
38	¿Puede la dispersión natural del taxón ocurrir por medio de huevos (para animales) o por medio de propágulos (para plantas: semillas, esporas) dentro del área AR?	Sí	Muy alta	Los dreisénidos son organismos con fecundación externa, por lo que al establecerse en ríos y liberar sus gametos, los huevos fecundados pueden ser arrastrados por la corriente (Ram <i>et al.</i> , 1996a; Benson <i>et al.</i> , 2019a del primer reporte)
39	¿Puede la dispersión natural del taxón ocurrir por medio de larvas/juveniles (para animales) o por medio de fragmentos/brotes (para plantas) dentro del área AR?	Sí	Muy alta	Se ha reportado que las larvas pueden desplazarse distancias mayores a 300 Km al ser arrastradas por las corrientes de ríos (Bially & MacIsaac, 2000) (para mayor información ver sección 7 de PNUD México, 2019).
40	¿Pueden los estadios post-juveniles y adultos del taxón migrar dentro del área AR para reproducirse?	No	Media	Los mejillones son organismos sésiles por lo que no realizan migraciones. Aunque, ocasionalmente se pueden desprender colonias de mejillones, las cuales son trasladadas por las corrientes en la columna de agua (Ricciardi <i>et al.</i> , 1995; Molloy <i>et al.</i> , 1997).
41	¿Pueden los huevos o propágulos del taxón ser dispersados por	Sí	Media	Se ha sugerido que los huevos de los mejillones pueden ser transportados al ser ingeridos por aves, las cuales se mueven a

	otros animales dentro del área de AR?			otro cuerpo de agua donde los expulsarían junto con las heces del organismo (Johnson & Carlton, 1993) (para mayor información ver sección 7 de PNUD México, 2019).
42	¿Puede la dispersión del taxón a lo largo de los vectores/vías mencionadas en las siete preguntas previas (7.01-7.07; e. g. tanto accidental como intencional) ser rápida?	Sí	Alta	Particularmente en los estados fronterizos, ya que es donde se realiza el préstamo de agua internacional, además del paso de botes en los dos sentidos (CILA, 2019).
43	¿Es la dispersión del taxón dependiente de la densidad?	No	Media	No hay un reporte de que la dispersión ocurra por falta de recursos u otros factores denso-dependientes. Aunque mientras mayor sea el tamaño de las colonias, será mayor la producción de larvas aumentando la posibilidad de dispersión.
8. Atributos de tolerancia				
44	¿Puede el taxón resistir fuera del agua por periodos largos (e. g. mínimo de una o más horas) en alguna etapa de su ciclo de vida?	Sí	Muy alta	Tanto los adultos como las larvas de los mejillones soportan la desecación fuera del agua por periodos prolongados, hasta ser introducidas nuevamente a un nuevo cuerpo de agua (Ricciardi <i>et al.</i> , 1995).
45	¿Es el taxón capaz de tolerar un amplio rango de condiciones de calidad de agua relevantes para el mismo?	Sí	Muy alta	Se ha determinado que los adultos del mejillón cebra pueden sobrevivir en zonas hipolimnéticas a niveles de oxígeno 0.1-11.2 mg/L y en las epilimnéticas con niveles de oxígeno de 4.2-13.3 mg/L. A pesar de esto, las larvas resultan más dependientes del oxígeno, por lo que sus límites son diferentes. Las velígeras pueden sobrevivir durante periodos cortos a niveles de oxígeno al 20% de saturación (Baker <i>et al.</i> , 1993; Kraft, 1994; Karatayev <i>et al.</i> , 1997; Doll, 1997; Sorba & Williamson, 1997; Cohen & Weinstein, 1998; Turner, 2010; Benson <i>et al.</i> , 2019a) (para mayor información ver sección 5.5.1 de PNUD México, 2019).
		Sí	Muy alta	El mejillón quagga posee una plasticidad fenotípica que le permite adaptarse a bajos niveles de oxígeno. Se han documentado poblaciones de mejillones quagga en áreas anóxicas a profundidades de 15 metros (Alexander <i>et al.</i> , 2004; Summers <i>et al.</i> , 1996; McMahon, 1996; Madon <i>et al.</i> , 1998; Stoeckmann & Garton, 2001; Nalepa <i>et al.</i> , 2010; Troy <i>et al.</i> , 2012; Karatayev <i>et al.</i> ,

				2014; Tyner <i>et al.</i> , 2015; De Ventura <i>et al.</i> , 2016) (para mayor información ver sección 5.5.2 de PNUD México, 2019).
46	¿Puede ser el taxón controlado o erradicado en estado silvestre por agentes químicos, biológicos u otros medios?	Sí	Muy alta	Se han desarrollado diversos métodos químicos y físicos que permiten la erradicación y el control de los mejillones, tanto en industrias como en cuerpos de agua naturales (para mayor información ver sección 9 de PNUD México, 2019).
47	¿Puede el taxón tolerar o beneficiarse de alteraciones ambientales/humanas?	Sí	Muy alta	Al inicio de su dispersión por Europa, los mejillones se vieron favorecidos por las construcciones de sistemas de canales (Kinzelbach, 1992; Morton, 1993; Riessen <i>et al.</i> , 1993; Spidle <i>et al.</i> , 1994; Rosenberg & Ludyanskiy, 1994; Marsden <i>et al.</i> , 1996; Mills <i>et al.</i> , 1996; Ricciardi & MacIsaac, 2000; Stepien <i>et al.</i> , 2002; Drake & Bossenbroek, 2004; Orlova <i>et al.</i> , 2005; Astanei <i>et al.</i> , 2005; Elderkin & Klerks 2005; Cianfanelli <i>et al.</i> , 2007; Morse, 2009a; Rajagopal <i>et al.</i> , 2009; Nalepa, 2010; Boeckman & Bidwell 2014; Olson, 2016; Benson <i>et al.</i> , 2019a) (para mayor información ver sección 5.1 de PNUD México, 2019).
48	¿Puede el taxón tolerar niveles de salinidad más altos o bajos que los que se encuentran en su ambiente habitual?	Sí	Muy alta	El mar de Caspian, una de las regiones donde son originarios los mejillones, tiene una salinidad del 12 ‰, aunque estudios de laboratorio indican que la tolerancia máxima de los mejillones es de 14 ‰. Además, se sabe que estos soportan intercambios de agua de lastre (35 ‰) por al menos 48 hrs (van der Leeden <i>et al.</i> , 1990; Baker <i>et al.</i> , 1993; Strayer & Smith 1993; Spidle <i>et al.</i> , 1995; Wright <i>et al.</i> , 1996; Mills <i>et al.</i> , 1996; Doll, 1997; Cohen & Weinstein, 1998; Cohen 2005; Cia-Abaurre, 2008; Ellis & Mac Isaac, 2009) (para mayor información ver sección 5.5 de PNUD México, 2019).
49	¿Existen enemigos naturales efectivos (depredadores) del taxón en el área AR?	Sí	Muy alta	Existen algunos peces moluscivoros, en el Norte de México, que se han reportado como depredadores del mejillón cebra y quagga en otros lugares (French, 1993; Mackie & Schloesser, 1996; Thorp <i>et al.</i> , 1998b; Kirk <i>et al.</i> , 2001; Bowers & Szalay, 2007; Miller <i>et al.</i> , 2009) (para mayor información ver sección 5.9 de PNUD México, 2019).
9. Cambio climático				
50	Considerando las predicciones de condiciones	Incremento	Medio	Con las predicciones de cambio climático, los escenarios de precipitación cambiarán, por lo que es factible que aumenten los

	climáticas futuras, ¿son susceptibles de incrementarse, reducirse o no manifestarse cambios en los riesgos de introducción del taxón en el área AR?			cambios de agua internacionales. Además, hay evidencia de que los mejillones tienen un potencial de adaptación rápido, y que las poblaciones del sur de EE. UU. presentan tolerancias a temperaturas más elevadas que otras colonias de dreisénidos (ver sección 10 de PNUD México, 2019).
51	Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿son susceptibles de incrementarse, reducirse o no manifestarse cambios en los riesgos de establecimiento?	Reducción	Muy alta	La proyección del modelo generado para el mejillón cebra bajo los escenarios de cambio climático muestra que se incrementa el riesgo de establecimiento en algunas regiones, mientras que en otras el riesgo disminuye. Sin embargo, la disminución del valor promedio de idoneidad para todo el país es entre 30.13 y 45.37% para los diferentes escenarios de RCP.
		Sin cambios	Muy alta	La proyección del modelo generado para el mejillón quagga bajo los escenarios de cambio climático muestra que se incrementa el riesgo de establecimiento en algunas regiones, mientras que en otras el riesgo disminuye. Sin embargo, se ve menos afectado que el mejillón cebra, con una disminución del valor promedio de idoneidad para todo el país entre 0.49 y 3.16% para los diferentes escenarios de RCP, mientras que bajo el escenario RCP6.0 el riesgo aumenta en un 1.62%.
52	Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿son susceptibles de incrementarse, reducirse o no manifestarse cambios en los riesgos de dispersión del taxón dentro del área AR?	Incremento	Alta	Al extenderse los periodos calurosos, las actividades recreacionales tenderán a prolongarse posiblemente causando un mayor número de introducciones (ver sección 10 en PNUD México, 2019).
53	Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿Cuál es la posible magnitud de futuros impactos potenciales a la biodiversidad y/o al estatus/integridad ecológica?	Más baja	Medio	Las simulaciones de cambio climático asumen que la filtración de los mejillones no variará con el cambio de temperatura. Sin embargo, experimentalmente se ha demostrado lo contrario, asegurando que esta disminuirá después de los 22°C (ver sección 10 de PNUD México, 2019).

54	Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿Cuál es la posible magnitud de futuros impactos potenciales a la estructura y/o función ecosistémica?	Más baja	Alta	Dado a que el principal factor de los impactos ecológicos, indudablemente, es la capacidad de filtración de los mejillones, la cual disminuiría con el cambio climático, lo más probable es que las alteraciones al ecosistema se reduzcan también (ver sección 10 de PNUD México, 2019).
55	Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿Cuál es la posible magnitud de futuros impactos potenciales a los servicios ecosistémicos/factores socioeconómicos?	Más alta	Medio	Aunque, algunos predicen la extinción del mejillón cebra en sitios donde la temperatura llegue a elevarse, otros mencionan sobre su posible adaptación a estos hábitats y la posible aceleración de su ciclo de vida. Estos cambios variarán entre el tamaño y tipo de los cuerpos de agua (grandes lagos naturales o pequeños lagos artificiales). La importancia de la morfometría y especificidad del sitio, junto con el clima local, implican que las predicciones solo pueden realizarse teniendo en cuenta el tipo específico de ecosistema y una región específica (ver sección 10 de PNUD México, 2019).

Tabla 2. Reporte de AS-ISK para el mejillón cebra y quagga.		
Calificación		
	Mejillón cebra	Mejillón quagga
BRA	34.5	36
Resultado BRA	-	-
BRA+CCA	34.5	38
Resultado BRA+CCA	-	-
Componentes de la calificación		
A. Biogeográfico/Histórico	7.5	13.0
1. Domesticación/Cultivo	2.0	2.0
2. Clima, distribución y riesgo de introducción	1.0	2.0
3. Invasora en otros sitios	4.5	9.0
B. Biología/Ecología	27.0	23.0
4. Rasgos no deseables (o persistencia)	9.0	9.0
5. Utilización de recursos	2.0	2.0
6. Reproducción	5.0	1.0
7. Mecanismos de dispersión	6.0	6.0
8. Atributos de tolerancia	5.0	5.0
C. Cambio climático	0.0	2.0
9. Cambio climático	0.0	2.0
Preguntas respondidas		
Total	55	55
A. Biogeográfico/Histórico	13	13
1. Domesticación/Cultivo	3	3
2. Clima, distribución y riesgo de introducción	5	5
3. Invasora en otros sitios	5	5
B. Biología/Ecología	36	36
4. Rasgos no deseables (o persistencia)	12	12
5. Utilización de recursos	2	2
6. Reproducción	7	7
7. Mecanismos de dispersión	9	9
8. Atributos de tolerancia	6	6
C. Cambio climático	6	6
9. Cambio climático	6	6
Sectores afectados		
Comercial	9	13
Ambiental	1	2
Rasgos nocivos de la especie o población	29	28
Confianza		
BRA+CCA	0.90	0.91
BRA	0.93	0.94
CCA	0.63	0.67

2. Estimación de la Distribución Potencial

Con el fin de responder a las preguntas concernientes a la similitud climática se realizó un modelo de nicho utilizando el algoritmo de Máxima Entropía (*Maxent*; Phillips *et al.*, 2006) para estimar la distribución potencial para las especies de mejillones cebrá y quagga en México en condiciones climáticas actuales y para el año 2050. *Maxent* es uno de los algoritmos de modelado de nicho ecológico más utilizados (Merow *et al.*, 2013) y ha demostrado ser una herramienta muy efectiva para la realización de modelos de especies acuáticas invasoras (Reshetnikov & Ficetola, 2011; Poulos *et al.*, 2012) además de presentar mejores resultados respecto a otros métodos (Hernández *et al.*, 2006; Poulos *et al.*, 2012). De hecho ha mostrado un mejor desempeño que otros métodos de modelado al predecir la distribución potencial del mejillón cebrá en EE. UU. (Mingyang *et al.*, 2008).

2.1 Obtención de datos

Los registros de ocurrencia para ambas especies se obtuvieron de las bases de datos de la *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF; www.gbif.org), *Biodiversity Information Serving Our Nation* (BISON; www.bison.usgs.gov/), *Ocean Biogeographic Information System* (OBIS; www.obis.org/), así como el registro del mejillón quagga presente en México (Wakida-Kusunoki *et al.*, 2015). Los cuales fueron depurados para eliminar registros con incertidumbre mayor a 500 metros, registros anteriores al año 1950, así como otros registros incongruentes (*e.g.* fósiles, marinos) y duplicados. Además, con el fin de reducir el sesgo espacial, los registros fueron filtrados de forma que solo se conservaron aquellos con una distancia mínima de 10 km entre ellos usando el paquete *spThin* (Aiello-Lammens *et al.*, 2015).

Como variables ambientales predictoras se utilizaron las 19 variables bioclimáticas de *WorldClim* 2.0 (Fick & Hijmans, 2017; www.worldclim.org) con una resolución de 30 arcosegundos (~1 km) (Rodríguez-Merino *et al.*, 2015), además de cuatro variables topográficas/hidrológicas *Hydro1k* del *U.S. Geological Survey Facility* (aspecto, índice topográfico combinado, dirección de flujo y pendiente;

<http://edcdaac.usgs.gov/gtopo30/hydro/>). La concentración de calcio ha sido definida como una variable de gran importancia para el establecimiento de ambas especies (Whittier *et al.*, 2008; Bosso *et al.*, 2017), no obstante, debido a la falta de datos de este tipo para México no fue posible incluirla en el modelo.

La concentración de calcio ha sido definida como una variable de gran importancia para el establecimiento y supervivencia de ambas especies (Whittier *et al.*, 2008; Bosso *et al.*, 2017). No obstante, debido a la falta de datos de este tipo para México no fue posible incluirla directamente en el modelo. En cambio se utilizaron los datos de litología (tipo de rocas de la superficie terrestre) como medida indirecta de esta variable, debido a que las propiedades geoquímicas, mineralógicas y físicas de las rocas juegan un papel fundamental en muchos procesos biogeoquímicos de los ecosistemas acuáticos como la concentración de calcio y alcalinidad (GLiM, Hartmann & Moosdorf, 2012).

2.2 Entrenamiento y validación del modelo en Maxent

Debido a que Maxent trabaja mediante un algoritmo de máxima entropía, es necesario proporcionar datos aleatorios para la caracterización del entorno (background). Sin embargo, se ha demostrado que la extensión del área de calibración del modelo repercute en los análisis de desempeño posteriores (sobreevaluación del desempeño del modelo conforme aumenta el área) (Merow *et al.*, 2013). Por lo anterior, se seleccionaron 10,000 puntos aleatorios dentro de un radio de 500 Km alrededor de los registros de presencia. Posteriormente, se calibró el modelo y se evaluó su desempeño mediante validación cruzada mediante dos formas de partición de los datos: de forma aleatoria (5 grupos) y de forma no aleatoria (4 bloques estructurados geográficamente). Se ha sugerido que este último proporciona una mejor medida de la transferibilidad del modelo, debido a que se reduce la correlación espacial de los datos, ya que permite hacer uso de la heterogeneidad presente en los datos, lo cual es un aspecto crítico a evaluar si el modelo se utilizará de una forma predictiva fuera de las condiciones en las que es calibrado (Wenger & Olden, 2012; Warren *et al.*, 2019), lo cual es de gran importancia en el caso de especies exóticas y de

estudios de cambio climático, donde es necesario transferir el modelo en condiciones distintas a los datos de calibración (Muscarella *et al.*, 2014). Como medida de desempeño se utilizó el área bajo la curva ROC parcial (AUC), considerando que valores de AUC >0.7, >0.8 y >0.9 indican un modelo aceptable, bueno y excelente, respectivamente. Así mismo, se determinó la influencia de las variables ambientales mediante la realización de los modelos utilizando combinaciones de las variables bioclimáticas, hidrológicas y litológicas.

Finalmente el modelo fue proyectado a las condiciones climáticas de México, con el fin de determinar las áreas con mayor probabilidad de establecimiento. Para la realización de los modelos se utilizó la versión de *Maxent* 3.3.3 a través de su implementación en “R”, utilizando los paquetes “dismo” (Hijmans *et al.*, 2017) y “ENMeval” (Muscarella *et al.*, 2014).

2.3 Traslape de nicho con uniñidos nativos

Debido a que los uniñidos son especies nativas susceptibles al desplazamiento por los mejillones invasores (Strayer & Smith, 1996; Burlakova *et al.*, 2000), se evaluó la probabilidad de que exista un traslape entre las zonas de mayor probabilidad de establecimiento de los mejillones cebra y quagga usando los datos derivados de los modelos de nicho ecológico y los registros de ocurrencia de especies nativas de uniñidos mediante una prueba de Monte Carlo de acuerdo con lo reportado por Gómez-Ruiz y Lacher (2017). Brevemente, se seleccionaron aquellas especies de uniñidos con más de 10 registros únicos georreferenciados en México incluyendo aquellos cercanos a la frontera (GBIF; www.gbif.org) y se calculó el área dentro de un radio de 5 km alrededor de estos registros (número de celdas) con un valor mayor o igual a un umbral con una tasa de omisión de 5% del derivado del modelo de nicho respectivo. Posteriormente, se realizó el mismo análisis con una cantidad equivalente de puntos aleatorios, repitiendo el proceso 999 veces, y se determinó la probabilidad de que el promedio de las áreas asociadas con los registros de cada especie fuera mayor a lo esperado por azar (Manly, 2006). Este análisis se realizó en R utilizando los paquetes “raster” y “dismo” (Hijmans *et al.*, 2015; R Core Team, 2018).

2.3 Proyección a futuro

Para considerar la distribución potencial de ambas especies bajo escenarios de cambio climático se proyectaron los modelos de nicho generados por Maxent bajo las condiciones previstas de temperatura y precipitación en México para el año 2050 de acuerdo con datos de Worldclim (Hijmans *et al.*, 2005; Gallardo & Aldridge, 2013). Para esto se consideraron las cuatro posibles Trayectorias de Concentración Representativas (RCP; Representative Concentration Pathway), las cuales describen condiciones climáticas diferentes de acuerdo con escenarios de emisión/acumulación de gases de efecto invernadero (IPCC, 2014) derivados del modelo CCSM4 (Community Climate System Model). Las cuatro RCP; RCP2.6, RCP4.5, RCP6 y RCP8.5, representan los posibles valores de forzamiento radiativo en el año 2100 (2.6, 4.5, 6.0 y 8.5 W/m²). Los demás parámetros fueron similares a lo indicado en la proyección para condiciones actuales, excluyendo los datos de litología debido a la incertidumbre de utilizar datos categóricos.

2.4 Resultados

2.4.1 Distribución potencial

En total fueron utilizadas 1708 ocurrencias para el mejillón cebra y 389 para el mejillón quagga (Fig. 1). Para ambas especies se encontró que el uso de las variables bioclimáticas por sí solas mostraba un desempeño excelente (AUC > 0.9) y un nivel aceptable de transferibilidad. No obstante, al incluir datos de hidrología y litología los valores de AUC aumentaron, lo cual indica que estas variables aportaron información que permite identificar correctamente un mayor número de ocurrencias de ambas especies. Cabe destacar que los datos de litología son categóricos, por lo que podría existir una mayor incertidumbre en la proyección de los resultados hacia México. Por lo anterior se muestran los modelos con y sin la inclusión de la variable litología.

El modelo de distribución potencial para el mejillón cebra (Fig. 2) muestra una probabilidad baja para la mayor parte del país, con solo algunas regiones aisladas de riesgo relativamente

medio a alto. Los valores de AUC determinados fueron mayores a 0.9 y 0.8 para la partición aleatoria y por bloques, respectivamente, lo cual significa que el modelo mostró un desempeño excelente y una buena medida de transferibilidad (Fig. 3). Respecto a la inclusión de la variable litología, a grandes rasgos no se aprecia una diferencia importante en la proyección.

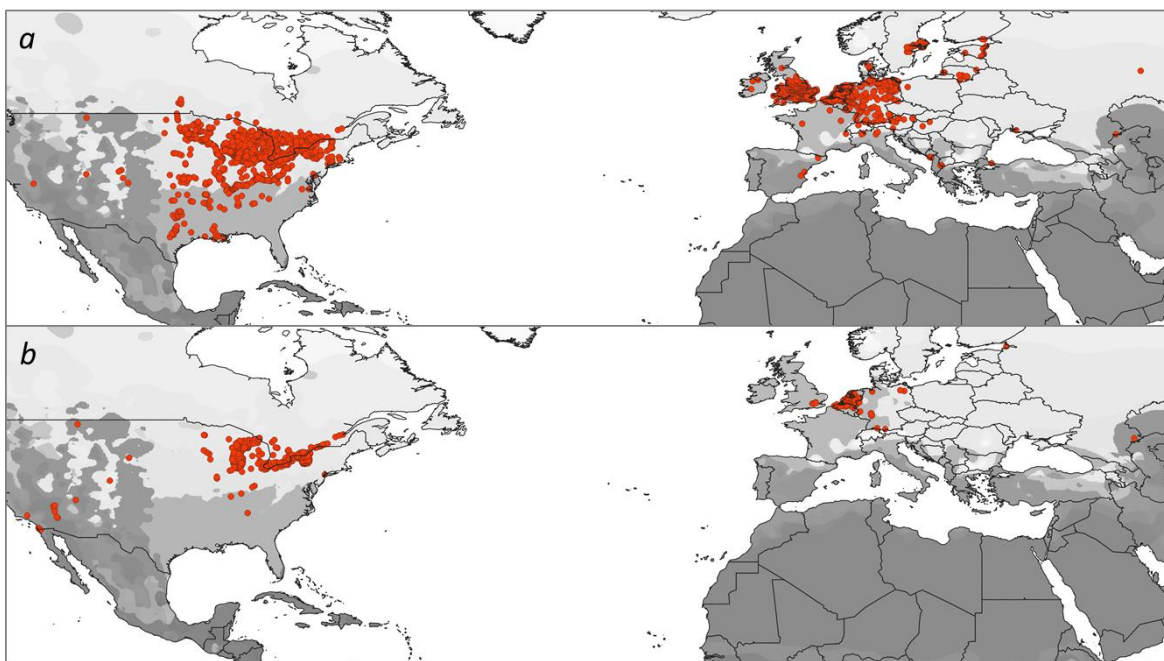


Figura 1. Registros de presencia utilizados para la elaboración del modelo de distribución del mejillón cebra (a) y quagga (b).

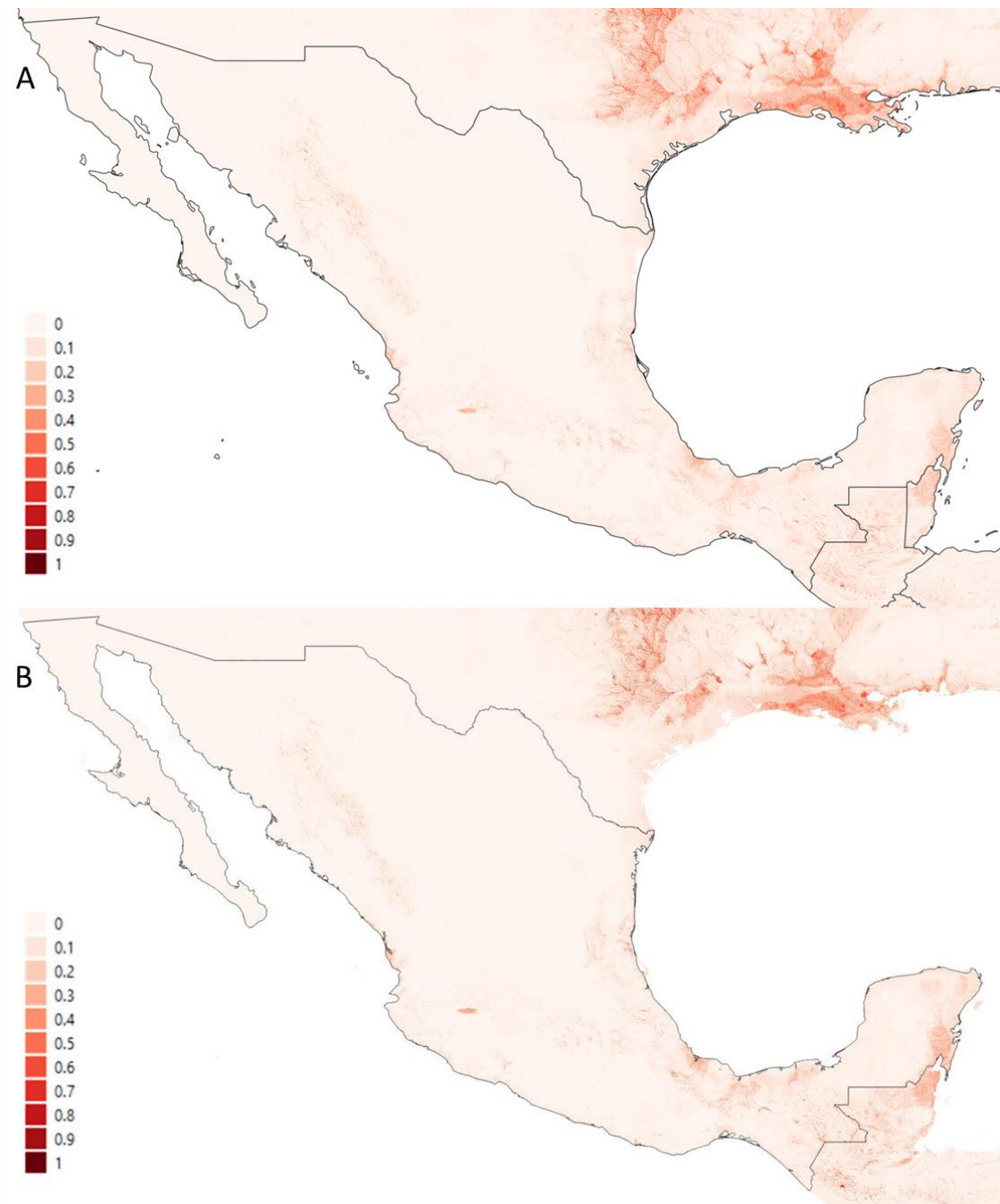


Figura 2. Distribución potencial del mejillón cebra *Dreissena polymorpha* para condiciones ambientales presentes en México de acuerdo al modelo de nicho generado por Maxent usando datos de las condiciones bioclimáticas e hidrológicas (A), e incluyendo datos de litología (B). Valores cercanos a 1 indican mayor idoneidad de hábitat.

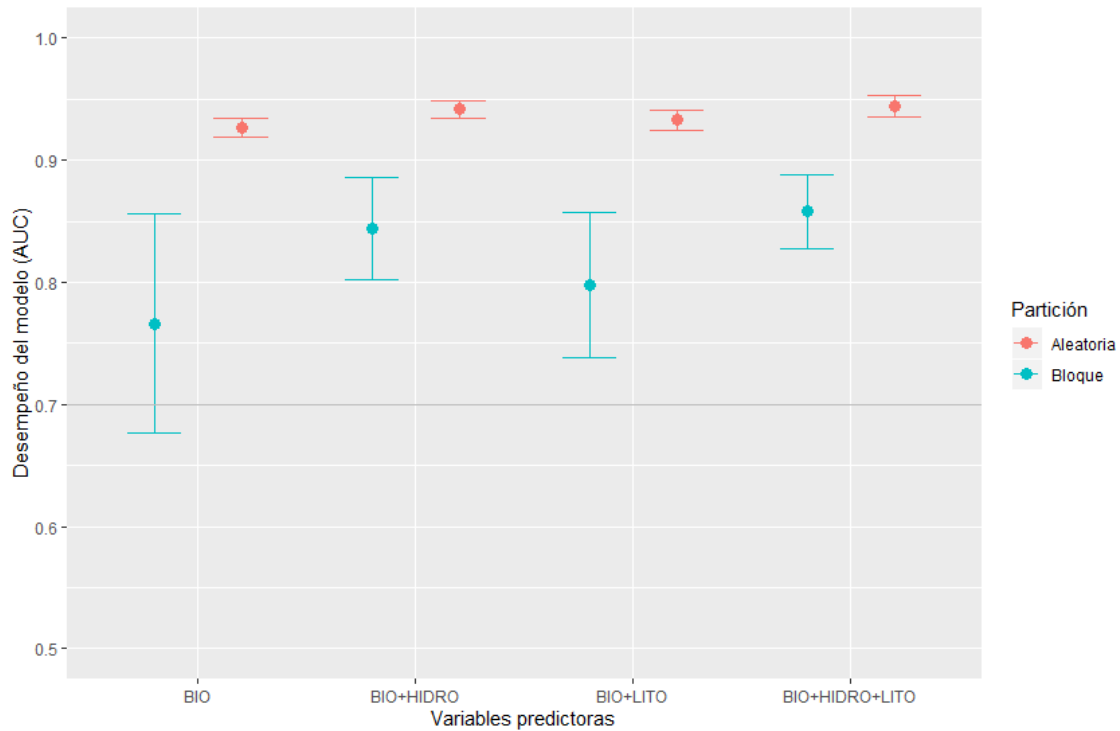


Figura 3. Datos de evaluación del desempeño del modelo del mejillón cebra (valores del área bajo la curva ROC \pm SD) mediante validación cruzada aleatoria y por bloques (partición de los datos), utilizando combinaciones de las variables bioclimáticas (BIO), hidrológicas (HIDRO) y litológicas (LITO).

En contraste, el modelo de distribución para el mejillón quagga (Fig. 4) muestra un mayor riesgo de establecimiento que el mejillón cebra, con una mayor proporción de zonas de riesgo alto. Los valores de desempeño fueron similares a los del mejillón cebra, con valores AUC mayores a 0.9 y 0.8 para la validación aleatoria y por bloques, respectivamente (Fig. 5). A diferencia del mejillón cebra, la inclusión de la variable litología si muestra un cambio considerable sobre la proyección del modelo del mejillón quagga, observándose una disminución muy significativa en la probabilidad de establecimiento de ésta especie.

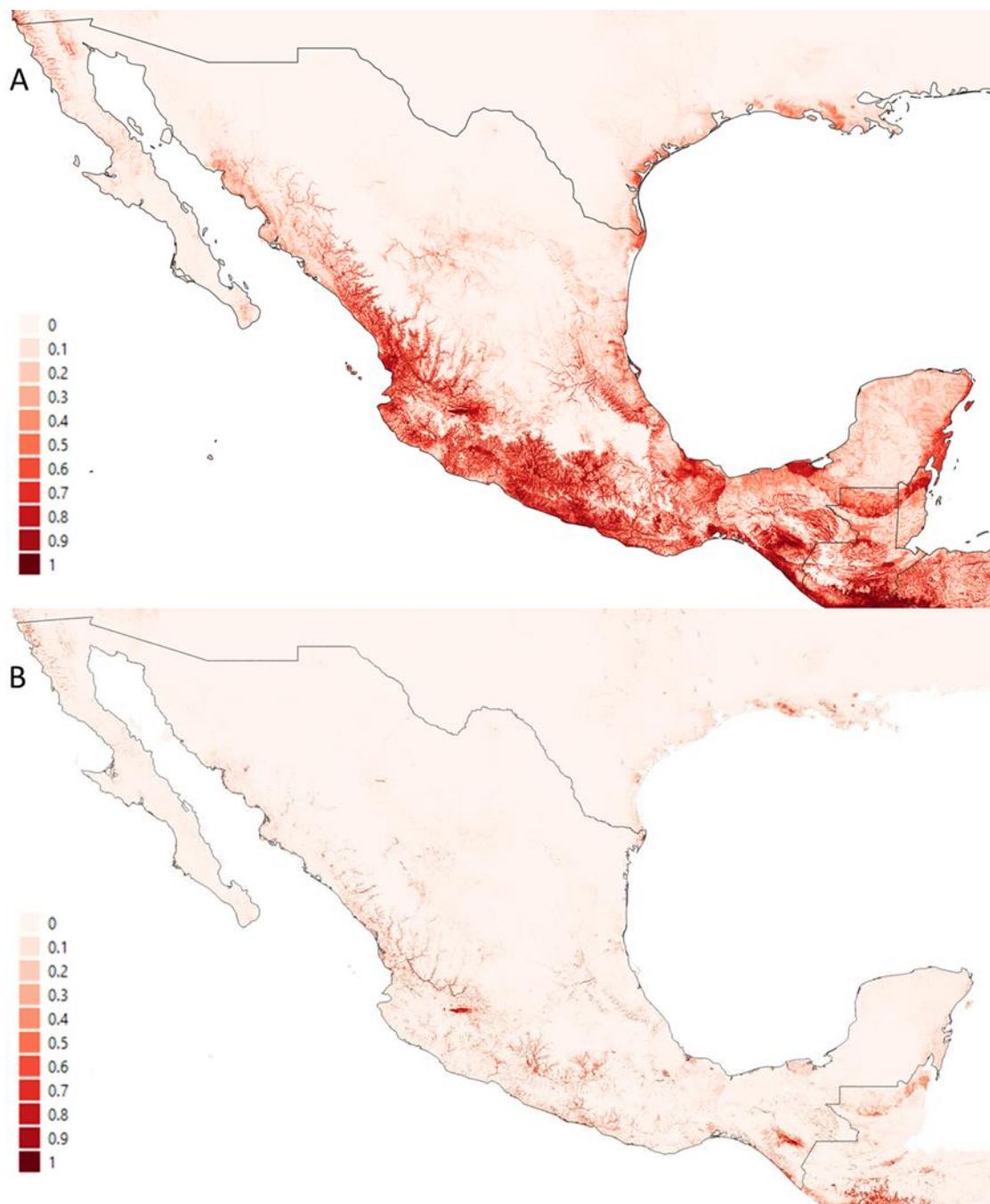


Figura 4. Distribución potencial del mejillón quagga *Dreissena bugensis* para condiciones ambientales presentes en México de acuerdo al modelo de nicho generado por Maxent usando datos de las condiciones bioclimáticas e hidrológicas (A), e incluyendo datos de litología (B) . Valores cercanos a 1 indican mayor idoneidad de hábitat.

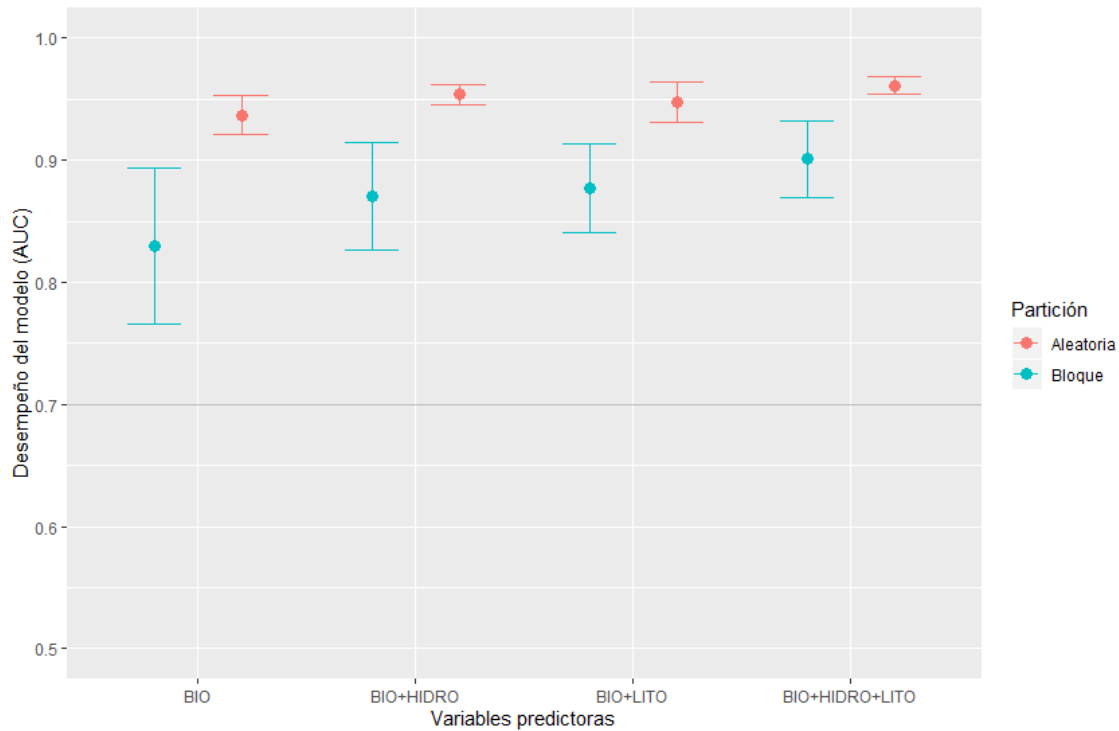


Figura 5. Datos de evaluación del desempeño del modelo del mejillón quagga (valores del área bajo la curva ROC \pm SD) mediante validación cruzada aleatoria y por bloques (partición de los datos), utilizando combinaciones de las variables bioclimáticas (BIO), hidrológicas (HIDRO) y litológicas (LITO).

2.4.2 Proyección a futuro

Respecto a los escenarios de cambio climático se observan variaciones en el cambio de los valores de idoneidad (Fig. 6 y 7, Tabla 3), observándose algunas regiones con mayor probabilidad de establecimiento mientras que en otras el riesgo disminuye para ambas especies. No obstante en general el mejillón cebra muestra disminuciones bajo todos los escenarios de RCP, con disminuciones de entre 30.13 y 45.37% en el riesgo de establecimiento. Por otra parte, el mejillón quagga es menos afectado por el cambio climático (en México), mostrando una disminución general de entre 0.49 y 3.16%, aunque bajo el escenario RCP6.0 el riesgo aumenta en un 1.62%.

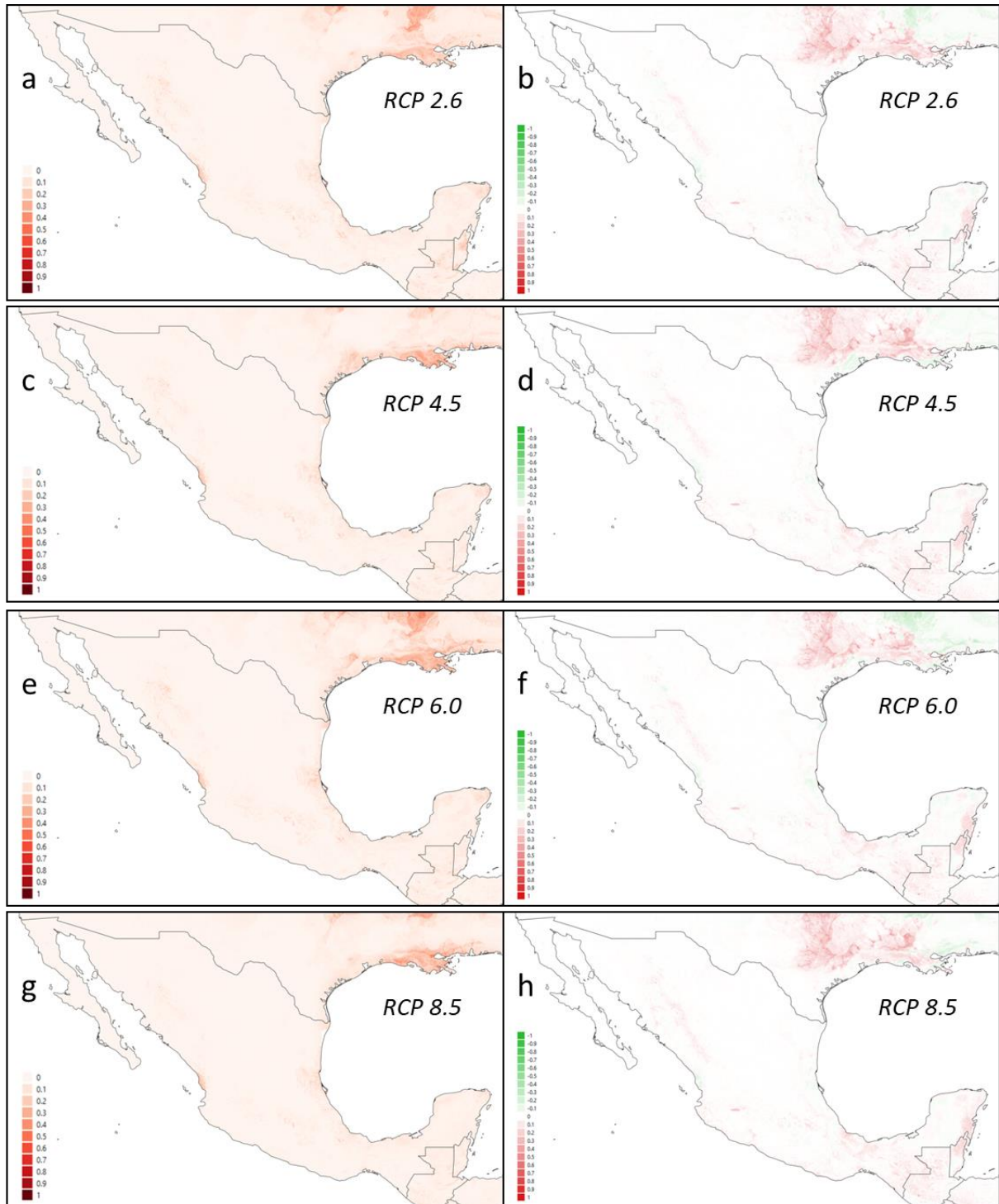


Figura 6. Distribución potencial del mejillón cebra *Dreissena polymorpha* para condiciones ambientales en México bajo cuatro escenarios de cambio climático para el año 2050 (RCP 2.6, 4.5, 6.0 y 8.5). Mapa de idoneidad para el escenario RCP2.6 (a), RCP4.5 (c), RCP6.0 (e) y RCP8.5 (g), valores cercanos a 1 indican mayor riesgo. Para cada escenario se muestra la diferencia del valor de idoneidad respecto al modelo de condiciones actuales (b, d, f y h), valores positivos y negativos indican un aumento o disminución de la idoneidad, respectivamente.

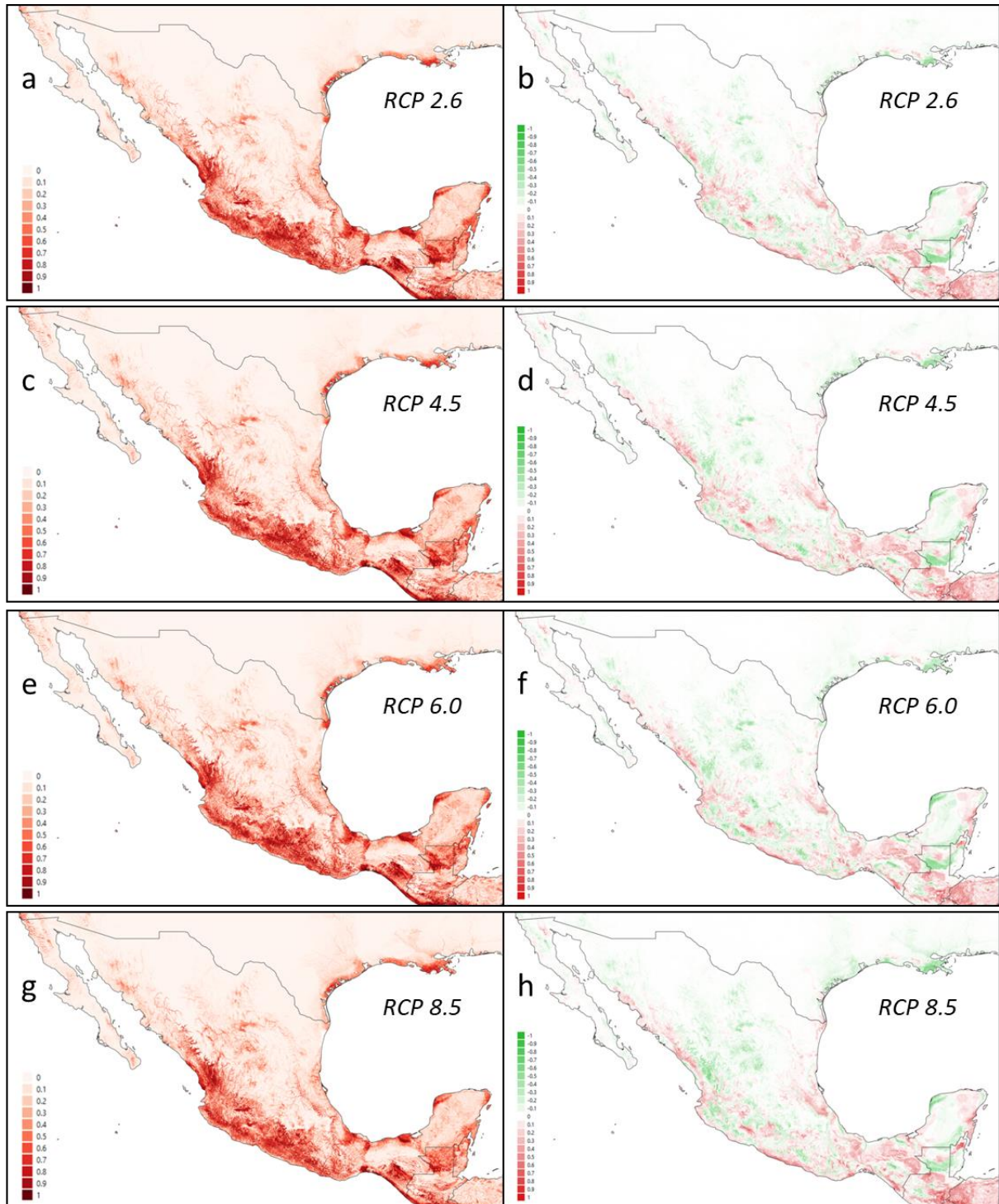


Figura 7. Distribución potencial del mejillón cebra *Dreissena quagga* para condiciones ambientales en México bajo cuatro escenarios de cambio climático para el año 2050 (RCP 2.6, 4.5, 6.0 y 8.5). Mapa de idoneidad para el escenario RCP2.6 (a), RCP4.5 (c), RCP6.0 (e) y RCP8.5 (g), valores cercanos a 1 indican mayor riesgo. Para cada escenario se muestra la diferencia del valor de idoneidad respecto al modelo de condiciones actuales (b, d, f y h), valores positivos y negativos indican un aumento o disminución de la idoneidad, respectivamente.

Tabla 3. Resumen de los valores promedio de idoneidad (proyección logística) de acuerdo con los modelos generados por Maxent para condiciones actuales y bajo escenarios de cambio climático en México para los mejillones cebra y quagga.

Especie	Condiciones climáticas	Promedio (idoneidad)	Porcentaje de cambio
Mejillón cebra	Actuales	0.0203	
	RCP2.6	0.0142	-30.13%
	RCP4.5	0.0125	-38.34%
	RCP6.0	0.0139	-31.82%
	RCP8.5	0.0111	-45.37%
Mejillón quagga	Actuales	0.1677	
	RCP2.6	0.1640	-2.18%
	RCP4.5	0.1624	-3.16%
	RCP6.0	0.1704	+1.62%
	RCP8.5	0.1668	-0.49%

2.4.3 Traslape de nicho con uniónidos nativos

Se obtuvieron un total de 759 registros de la familia Unionidae, incluyendo 36 géneros y 72 especies (Anexo A). No obstante, solo 18 especies fueron evaluadas debido a que el resto no contaron con el número mínimo de registros establecido. Debido a la incertidumbre del uso de datos de la variable de litología se analizaron ambos modelos para cada especie (Tabla 4).

Se encontraron un total de 10 uniónidos que mostraron un traslape significativo para al menos uno de los modelos. Para el mejillón cebra no se encontró gran diferencia entre ambos modelos ya que para los dos se encontró un posible traslape con tres especies de uniónidos diferentes. Mientras que para el mejillón quagga el modelo que no incluye datos de litología muestra un posible traslape con nueve de las 18 especies, mientras que al incluir datos de litología el número de especies se reduce a tres. En particular destacan las especies *Cyrtonaias umbrosa*, *Megaloniaias nervosa* y *Sphenoniaias liebmanni* que muestran traslape con ambas especies de mejillones invasores en al menos uno de los modelos, mientras que *Psoroniaias distincta* mostró un traslape significativo en todos los modelos. Derivado de estos datos es posible concluir que existe el riesgo de desplazamiento de diversas especies de uniónidos nativos en caso de establecerse los mejillones invasores en alguna de las áreas en las que éstos habitan.

Tabla 4. Evaluación de traslape de nicho (Monte Carlo). Los valores corresponden a la probabilidad de que la especie este reportada en zonas con alto riesgo de establecimiento de los mejillones cebra y quagga, de acuerdo con los modelos con y sin datos de litología. Se resaltan los valores significativos.

Especie	Cebra	Cebra (litología)	Quagga	Quagga (litología)
<i>Actinonaias medellina</i>	0.697	0.574	0.001***	0.893
<i>Actinonaias signata</i>	0.874	0.704	0.233	0.611
<i>Anodonta impura</i>	0.177	0.153	0.337	0.115
<i>Anodontites cylindracea</i>	0.522	0.274	0.001***	0.719
<i>Barynaia plexus</i>	0.261	0.368	0.002**	0.909
<i>Cyrtionaias tampicoensis</i>	0.874	0.779	0.047*	0.921
<i>Cyrtionaias umbrosa</i>	0.042*	0.012*	0.001***	0.07
<i>Disconaias fimbriata</i>	0.192	0.114	0.002**	0.133
<i>Frierisonia iridella</i>	0.978	0.83	0.133	0.361
<i>Lampsilis teres</i>	1	1	0.573	0.999
<i>Megalonaias nervosa</i>	0.023*	0.086	0.161	0.045*
<i>Nephronaias aztecorum</i>	0.885	0.675	0.001***	0.038*
<i>Popenaias popeii</i>	0.984	0.86	0.067	0.929
<i>Psorionaias distincta</i>	0.02*	0.004**	0.001***	0.036*
<i>Pyganodon grandis</i>	0.674	0.689	0.255	0.405
<i>Sphenonaias liebmanni</i>	0.164	0.022*	0.001***	0.512
<i>Toxolasma texasiense</i>	1	1	1	1
<i>Utterbackia imbecillis</i>	0.931	0.764	0.96	0.688

* $P < 0.05$

** $P < 0.01$

*** $P < 0.001$

3. Acciones a considerar antes de la detección de mejillones

De acuerdo con la Oficina de Recuperación del Agua del Departamento del Interior de los EE. UU. (US Department of Interior, 2019) se deberán considerar diversas acciones antes y después de la detección de los mejillones. Las acciones tomadas para evitar la invasión o responder a ésta deberán estar adaptadas a cada ubicación específica y las siguientes actividades representan opciones a considerar como parte de cualquier planificación para la preparación, así como opciones para el manejo de los mejillones después de la detección.

1. ***Desarrollar plan(es) de respuesta coordinada:*** este plan detallará las políticas, comando y estructura de autoridad, estrategias, comunicaciones, roles y responsabilidades, y acciones de respuesta a implementar: involucra a varias agencias federales, estatales y locales y partes interesadas.
2. ***Realizar evaluaciones de riesgo ambientales de la infestación:*** esta actividad se puede completar de manera independiente o como parte del Plan de Respuesta Coordinada. El propósito es identificar cuáles son los cuerpos de agua con mayor riesgo de infestación dentro de la región geográfica de interés o jurisdicción de gestión. La probabilidad de infestación se basa típicamente en el uso de actividades recreativas, la infestación más cercana conocida y la medida en que las condiciones ambientales (incluyendo calcio, pH, oxígeno disuelto, temperatura, etc.) faciliten el establecimiento del mejillón. Esta información se puede utilizar para priorizar las evaluaciones de vulnerabilidad de las instalaciones (Análisis de Riesgo para instalaciones - plantas generadoras de electricidad, plantas de tratamiento de agua, presas, etc.).
3. ***Realizar evaluación(es) de vulnerabilidad de las instalaciones:*** esta actividad se puede completar de manera independiente o siguiendo la(s) evaluación(es) de riesgo de infestación y consiste en realizar un inventario de la infraestructura crítica relacionada con el cuerpo de agua y analizar cómo cada componente se puede ver afectado si ocurre la infestación (ver la *Guía para el Análisis de Vulnerabilidad*). Los

resultados pueden ser utilizados para priorizar las necesidades y acciones de protección de las instalaciones.

4. **Implementar programas de monitoreo:** se deben considerar programas de monitoreo para cuerpos de agua de alta prioridad donde la infestación es más probable o causaría daños importantes a los sistemas de agua u otros recursos clave. Esto incluye programas de monitoreo diseñados para la detección temprana de larvas de mejillón mediante muestreo de agua y análisis de laboratorio (que se detallan en la sección de Monitoreo para la Detección Temprana), que potencialmente proporcionen de 2 a 5 años de tiempo para planificar e implementar acciones de protección antes de que la infestación perjudique las operaciones a través del establecimiento de adultos en estructuras hidráulicas o en zonas críticas de los sistemas.

Acciones a considerar después de la detección de mejillones en un cuerpo de agua:

1. **Ejecutar el plan de respuesta coordinada:** incluye notificación, intercambio de información y la implementación de acciones de contención y control (es decir, la ejecución de los componentes del Plan de Acción).
2. **Aumentar la supervisión:** se deberá llevar a cabo una transición del monitoreo para la detección temprana a un monitoreo con mayor frecuencia para confirmar la detección, identificar o localizar la presencia de adultos y rastrear los niveles de infestación. Esta actividad también puede incluir inspecciones regulares de las instalaciones para determinar en qué momento estarán siendo impactadas por la colonización de los adultos. Esta información puede servir de guía en las acciones de protección de las instalaciones y ayuda a anticipar los impactos ecológicos para la planificación de la futura mitigación.
3. **Identificar e implementar medidas de protección adecuadas para las instalaciones:** será necesario identificar qué acciones o tecnologías son las más

adecuadas para mantener en funcionamiento las operaciones de tratamiento de agua y reducir los costos de operación y mantenimiento u otros gastos. Se han utilizado diversas tecnologías convencionales con éxito.

4. Identificar los impactos ecológicos: esto implica desarrollar e iniciar acciones para evaluar y realizar un seguimiento de las alteraciones ecológicas, desarrollar planes de control y mitigación e implementar las acciones de manejo a largo plazo (se tienen que considerar especies en peligro de extinción, redes tróficas, calidad del agua, etc.).

3.1 Análisis de Riesgo de adaptabilidad ambiental

Este análisis consiste en evaluar tanto los cuerpos de agua, como las instalaciones y los diferentes parámetros que prevalecen en estos para predecir la posibilidad de establecimiento de los mejillones. Un aspecto importante es que independientemente de que los parámetros favorezcan o no el establecimiento, la evaluación se tiene que realizar como si los mejillones fueran a sobrevivir y a establecerse.

Obviamente este proceso tiene que ir acompañado de un programa de monitoreo continuo para detección temprana con técnicas confiables (*e. g.* microscopía polarizada-cruzada y confirmación por medio de análisis de DNA). Este aspecto es importante para detectar los dos principales tipos de incrustaciones de los mejillones: a) incrustaciones crónicas y b) agudas. Las incrustaciones crónicas ocurren cuando los mejillones cebra o quagga juveniles se adhieren a estructuras externas e internas de las tuberías y canales. Los mejillones juveniles se van acumulando con el tiempo y crecen en su lugar, lo que reduce el flujo de agua y, en algunos casos, puede incluso impedir el flujo por completo.

Mientras que las incrustaciones agudas se producen cuando una gran acumulación de conchas de mejillones adultos, vivos o muertos, se desprende de los lugares aguas arriba y es transportada por el flujo de agua a los sistemas de tuberías. Las grandes cantidades de conchas de mejillones tapan rápidamente tuberías de pequeño diámetro, filtros fijos, filtros

móviles, intercambiadores de calor y otros componentes del sistema. Tales eventos pueden ocurrir en momentos inesperados y, si no se anticipan, pueden tener consecuencias rápidas y significativas. De aquí que resulte esencial que cualquier instalación que experimente incrustaciones de mejillones esté preparada para lidiar con ambos tipos de incrustaciones.

Inicialmente se tiene que contar con mapas detallados y diagramas de flujo de las operaciones que se realizan en las instalaciones, mismos que deben ser provistos por la empresa o institución responsable. En cada instalación, el equipo encargado del análisis deberá inspeccionar todas las áreas accesibles, desde rejas para basura (estructuras de madera o metal, frecuentemente sostenidas por mampostería, que evitan que los desechos flotantes que se transportan por el agua ingresen a la entrada de una estación de bombeo o transporte de agua), hasta tuberías y canales de descarga, identificando varios componentes intermedios y sistemas de enfriamiento previamente resaltados en los mapas. Durante estas inspecciones, el equipo puede identificar las posibles amenazas e impactos en los sistemas y en los componentes individuales.

3.1.1 Condiciones medioambientales necesarias para el establecimiento de los mejillones

Como se mencionó en el primer reporte de la presente consultoría (sección 5.5) existen diferentes parámetros de calidad del agua que afectan el establecimiento de los mejillones cebra y quagga. Algunos parámetros tienen mejor correlación con la supervivencia y la densidad de los mejillones que otros. Los parámetros más comúnmente utilizados (y enumerados en orden decreciente de su valor predictivo) son:

- Contenido de calcio
- Alcalinidad y dureza total
- pH
- Nutrientes (fósforo total, nitrógeno total, niveles de clorofila *a*)
- Turbidez (profundidad de disco de Secchi)
- Contenido de oxígeno disuelto

- Temperatura media anual
- Conductividad (y/o salinidad, sólidos disueltos totales)

Aunque se pueden usar valores medios anuales de cada uno de los parámetros, las variaciones temporales (por ejemplo, estacionales) y espaciales (por ejemplo, variaciones horizontales y de profundidad) dan una mayor certeza a las predicciones de supervivencia de los mejillones y sobre las densidades potenciales.

El calcio, la alcalinidad, el pH y la dureza total se consideran parámetros de "tiza o gis", ya que generalmente están relacionados con el contenido de minerales en el agua. Dentro de los parámetros de gis, el nivel de calcio es, con mucho, el más usado y el más confiable. Mientras que la alcalinidad sólo informa la disponibilidad del calcio. Por otra parte, la dureza total consiste en dureza temporal (es decir, cantidad de calcio y magnesio en forma de carbonato y es similar a los valores de alcalinidad) y dureza permanente (es decir, la cantidad de calcio y magnesio en forma no carbonatada que no está disponible para los mejillones). El pH determina la forma en que se encontrarán los carbonatos, así los valores de pH por debajo de 8.2 mantienen todo el calcio en forma de bicarbonato y los valores por encima de 8.2 mantienen la forma de calcio como monocalcarbonato. La eliminación del dióxido de carbono (por ejemplo, mediante el efecto de la fotosíntesis de plantas y algas) provoca la precipitación de carbonato de calcio, por lo que no está disponible para los mejillones. Por lo tanto, mientras que el calcio es la variable clave, el conocimiento de los valores de las otras variables de gis también son importantes para predecir las densidades de dreisénidos.

Los parámetros de nutrientes (por ejemplo, fósforo total y nitrógeno), los niveles de clorofila "a", la profundidad de disco de Secchi y el contenido de oxígeno disuelto se conocen como "indicadores tróficos" y están interrelacionados. De esta manera, cuanto más altos son los valores de las variables de nutrientes, mayor será la biomasa de las algas y, por lo tanto los niveles de la clorofila "a" y el oxígeno disuelto (en la superficie), y más bajos los valores de profundidad de disco de Secchi (*i.e.* el agua es más turbia). Dado que los mejillones se alimentan de algas, los valores de los indicadores tróficos también son

criterios importantes para predecir las densidades de dreisénidos. El fósforo total debe usarse cuando el fósforo sea el nutriente limitante; mientras que el nitrógeno total debe usarse cuando el nitrógeno sea limitante.

También se debe considerar que el oxígeno disuelto en aguas más profundas de lagos y embalses puede convertirse en un factor limitante durante ciertas partes del año. Por esta razón los perfiles de oxígeno estacionales deberán verificarse en todos los cuerpos de agua que serán examinados.

La conductividad y la temperatura media anual del agua superficial son los únicos criterios físicos utilizados. La temperatura se vuelve crítica cuando el cuerpo de agua en cuestión está cerca del límite térmico superior o inferior para la supervivencia de las larvas velígeras. La conductividad rara vez es un problema, pero debe verificarse en todos los casos.

La siguiente tabla (5) compilada por Claudi & Prescott (2009) se derivó de los valores publicados por varios autores y proporciona los rangos de valores para cada uno de los parámetros y el riesgo potencial de invasión de los mejillones. Como se ha mencionado previamente, el parámetro clave es el contenido de calcio y su disponibilidad. Cabe mencionar que su disponibilidad entra en duda sólo si el pH es alto. Idealmente, el potencial de riesgo estacional se debe evaluar considerando los datos mensuales recopilados durante varios años.

Tabla 5. Criterios utilizados para determinar los niveles de infestación en zonas templadas del Este de Norteamérica y Europa. Tomado de Claudi & Prescott (2009).

Parámetro	Riesgo potencial			
	Ninguno	Poco	Moderado	Elevado
Calcio (mg/L)	<10	<16	16-24	≥24
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	<35	35-45	45-89	>90
Dureza total (mg CaCO ₃ /L)	<40	40-44	45-90	≥90
pH	<7.2	7.2-7.5	7.5-8.0 ó 8.7-9.0	8.0-8.6
Temperatura media en Verano (°C)	<18	18-20 ó >28	20-22 ó 25-28	22-24
Oxígeno disuelto mg/L (% de saturación)	<6 (25%)	6-7 (25-50%)	7-8 (50-75%)	≥8 (>75%)
Conductividad (μS/cm)	<30	30-37	37-84	≥85
Salinidad (mg/L)	>10	8-10	5-10	<5
Profundidad de disco Secchi (m)	<0.1	0.1-0.2 ó >2.5	0.2-0.4	0.4-2.5
Clorofila <i>a</i> (μg/L)	<2.5 ó >25	2.0-2.5 ó 20-25	8-20	2.5-8
Fósforo total (μg/L)	<5 ó >35	5-10 ó 30-35	15-30	10-15
Nitrógeno total (μg/L)	<200	200-250	250-300	300-500

Una vez realizado el análisis de las variables ambientales se debe tomar en cuenta que la decisión de proceder con un plan de detección temprana y respuesta rápida (DTRR) es sumamente importante por los recursos, tiempo y esfuerzo que esto implica, por lo que a menudo se debe recurrir a un análisis más profundo que conlleve a tomar la decisión adecuada. Para este propósito existen diferentes aproximaciones dentro de las que destacan:

- a) los árboles probabilísticos,
- b) los modelos de predicción probabilísticos, y
- c) análisis basados en Sistemas de Información Geográfica (SIG).

A continuación, se presentan algunos ejemplos de estas herramientas.

3.1.1.1 Árbol de probabilidad aplicado a la dispersión del mejillón cebra

Los árboles de probabilidad son representaciones diagramáticas de la incertidumbre utilizada como parte de un análisis de decisión formal (Clemen & Reilly, 2001). Dentro del

presente contexto, se han adaptado para estructurar la incertidumbre considerada en la dispersión del mejillón cebra tomando en cuenta datos existentes sobre la fisiología y ecología de la especie. Estos árboles además contribuyen a comunicar la información y los supuestos y de esta manera proveer un análisis trazable. En seguida se presenta un ejemplo de una vía potencial de dispersión del mejillón cebra que se refiere al aumento de flujo para proveer de agua a pequeñas cuencas agrícolas por medio del bombeo de agua de ríos importantes. En este caso particular se trataba de considerar si era una decisión adecuada bombear agua del río Arkansas en el Bayou Bartholomew, un tributario del río Oachita, a través de una toma en Pine Bluff, Arkansas (Fig. 8). El aumento del flujo es parte del proyecto propuesto para riego y control de inundaciones del Sudeste de Arkansas, y que potencialmente beneficiaría a los hábitats acuáticos y apoyaría el riego de plantaciones extensivas de arroz y soya. Antes de llevar a cabo estas acciones U.S. Fish and Wildlife solicitó al Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los EE. UU. analizar la expansión de rango potencial del mejillón cebra asociada con este proyecto (Payne & Miller, 2004).

Lo que se consideró primeramente fue la probabilidad de establecimiento de los mejillones considerando las temperaturas de la región. El mejillón cebra invadió el río Arkansas presumiblemente por el tráfico de embarcaciones provenientes del Norte. En general las densidades poblacionales son bajas, aunque pueden elevarse en veranos anormalmente fríos. Esto tiene sentido si se considera que se presentan altas mortalidades en otros lugares, como el bajo Mississippi, cuando las temperaturas alcanzan 29-30°C durante tres meses, por lo que se asume que primordialmente la temperatura es lo que ha evitado que el mejillón colonice los cuerpos de agua del Sur de los EE. UU. Por otra parte, existe evidencia de que poblaciones poco densas logran sobrevivir en el río principal de la cuenca del Atchafalaya. Sin embargo, los hábitats acuáticos de la llanura de inundación conectados con el río, aunque son sólo ocasionalmente colonizados, no son capaces de sostener incluso poblaciones de baja densidad durante el verano.

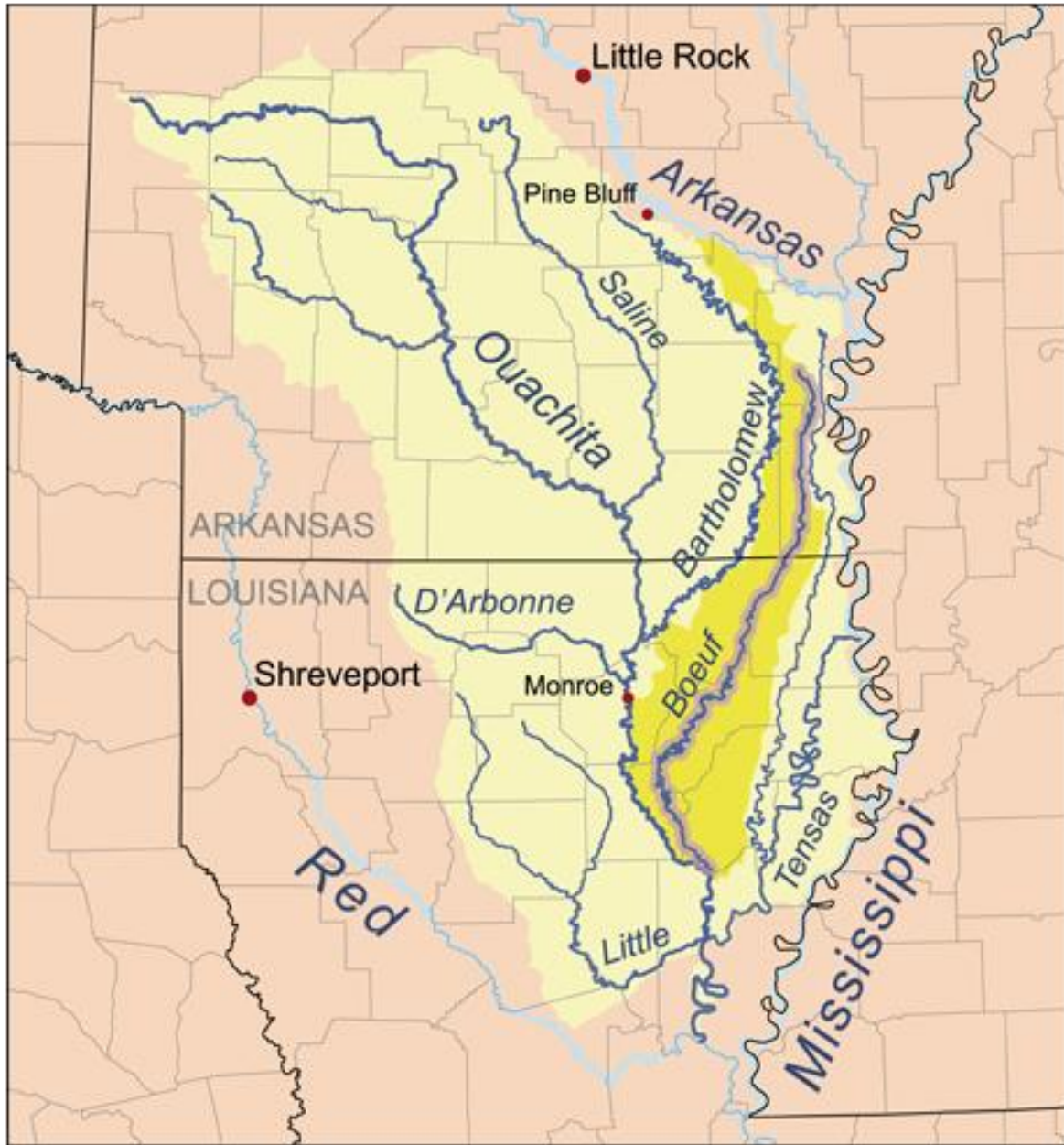


Figura 8. Imagen mostrando el río Arkansas, el Bayou Bartholomew, el río Oachita, y Pine Bluff, Arkansas. Tomada de <http://usking.us/news/new-nominations/bayou-bartholomew-arkansas-andlouisiana-state-the-longest-bayou-in-the-u-s>.

Las larvas velígeras planctónicas representan la mayor amenaza para el transporte por bombeo de una cuenca a otra, ya que pueden sobrevivir en su etapa planctónica de 2 a 3 semanas. Por otra parte, gracias a su establecimiento en el sustrato por medio del biso pueden soportar la turbulencia, que además les beneficia ya que los hábitats con

turbulencia están a menudo bien oxigenados. En contraste, los cuerpos lenticos y poco oxigenados como los pantanos, estanques y lagos pequeños con fluctuaciones diurnas y estacionales de oxígeno impiden la supervivencia de las larvas.

Considerando estos factores fisiológicos y ecológicos se construye el árbol de probabilidad para tomar la decisión de implementar el plan de DTRR en los arroyos y ríos de los EE. UU.

La Figura 9 es un árbol de probabilidad que resume las principales incertidumbres para determinar si los mejillones cebra podrían establecerse con éxito debido a la dispersión ocasionada por el bombeo. El punto de entrada para el árbol es una decisión (representada por un cuadrado) de iniciar el bombeo: en primavera, verano, otoño o invierno. Luego, en cada estación, se consideran las tres fuentes principales de incertidumbre:

- (a) ¿Hay larvas velígeras saludables y disponibles en cantidad suficiente en la fuente del bombeo para que se pueda suscitar su posible propagación?;
- (b) ¿La temperatura del cuerpo de agua receptor se mantendrá lo suficientemente fría como para permitir que una población se establezca exitosamente? y,
- c) ¿Se encontrarán sustratos firmes adecuados para la fijación?

Las explicaciones más detalladas de estos factores son las siguientes.

Probabilidad de un suministro suficiente de larvas velígeras del río Arkansas. La reproducción del mejillón cebra tiende a ser mayor en primavera y otoño cuando la temperatura del agua está aproximadamente entre 12 y 25 °C, que se aproxima al rango óptimo para un balance bioenergético positivo. Durante las estaciones cálidas, la reproducción disminuye o se detiene a medida que la temperatura del agua se acerca a los 30 °C; el límite letal superior para los mejillones adultos de cebra suele ser ligeramente superior a 30 °C. De la misma manera, durante el otoño y el invierno, la reproducción cesa a medida que la temperatura desciende a menos de 12 °C. Aunque variables distintas a la temperatura, como la condición nutricional que también afecta la reproducción, no tienen una asociación tan simple y directa como la temperatura. Considerando los patrones de

temperatura estacionales, se puede estimar la probabilidad de que pudiera incursionar un suministro adecuado de velígeras en primavera, verano, otoño e invierno en el área receptora (Bayou Bartholomew). En general, en esta área la temperatura es propicia para una reproducción exitosa en primavera y otoño, pero resulta ser demasiado cálida en verano y demasiado fría en invierno. Por lo tanto, hasta no contar con una consideración más detallada de los datos reales de temperatura del río Arkansas, las probabilidades de 0.6, 0.3, 0.5 y 0.2 podrían aplicarse a la primavera, el verano, el otoño y el invierno, respectivamente.

Temperatura del agua de la corriente receptora. Incluso en condiciones ideales, la mayoría de las larvas velígeras no sobrevivirán (de aquí que por estrategia - estrategias *r* - una sola hembra sea responsable de la producción de al menos cientos de miles de larvas). La introducción en un hábitat con condiciones marginales presenta desafíos aún mayores para la supervivencia temprana. Incluso si se bombeara una concentración suficiente de larvas velígeras sanas desde el río de origen, esas larvas deberían encontrar condiciones en el cuerpo de agua receptor que fueran adecuadas para la supervivencia durante un par de años (periodo de vida útil promedio de un mejillón cebrá). Considerando las condiciones limitantes y la adaptación del mejillón cebrá, la temperatura del agua es una variable crítica para la supervivencia de las larvas translocadas. Y es conocido que el estrés bioenergético se presentará a temperaturas superiores a 25 °C, mientras que la mortalidad será muy probable si las temperaturas se mantienen por arriba de 30 °C durante varias semanas.

Dentro de este contexto, resulta poco probable que la temperatura del agua de Bayou Bartholomew sea a menor a 30 °C durante el verano y la mayor parte del otoño. Solo en un verano excepcionalmente frío sería probable que la temperatura permaneciera lo suficientemente fría durante el tiempo suficiente para permitir el establecimiento de una población. Suponiendo que tal condición de verano ocurriera una vez cada cinco años (una suposición que podría ser constatada mediante un análisis minucioso de los datos históricos

de temperatura), entonces sería lógico atribuir 0.2 y 0.8 como las probabilidades de condiciones de temperatura adecuadas e inadecuadas, respectivamente.

Idoneidad del sustrato para el establecimiento. El sustrato generalmente no resulta adecuado para los mejillones cebra en el sistema Bayou Bartholomew, ya que está constituido predominantemente por limo y arcilla. La principal fuente de sustrato duro es la gran cantidad de escombros leñosos y partículas de grava o adoquines de la construcción de carreteras y puentes. De aquí, que la probabilidad de encontrar un sustrato lo suficientemente firme para la fijación se haya estimado en 0.05 (aproximadamente lo que corresponde a la abundancia relativa de dicho sustrato). Consecuentemente la probabilidad de un sustrato inadecuado es estimada en 0.95.

Consideración combinada de sustrato y temperatura. Los mejillones cebra requerirán simultáneamente tanto el sustrato como la temperatura adecuados para establecer una población en Bayou Bartholomew, ya que tener uno sin el otro no es suficiente para asegurar la supervivencia. Por lo tanto, en lugar de considerar secuencialmente estos factores en el árbol de probabilidad, se combinan para su consideración. De aquí se derivan cuatro ramas del segundo nodo de oportunidad (círculo) en la Figura 9. Estos corresponden a los resultados siguientes: tanto el sustrato como la temperatura son inadecuados ($p = 0.95 * 0.8$); el sustrato no es adecuado y la temperatura es adecuada ($p = 0.95 * 0.2$); el sustrato es adecuado y la temperatura es inadecuada ($p = 0.05 * 0.8$); y, tanto el sustrato como la temperatura son adecuados ($p = 0.05 * 0.2$). La única rama que permite el establecimiento exitoso de la población es la última, cuando se encuentran tanto un sustrato adecuadamente firme como agua suficientemente fría.

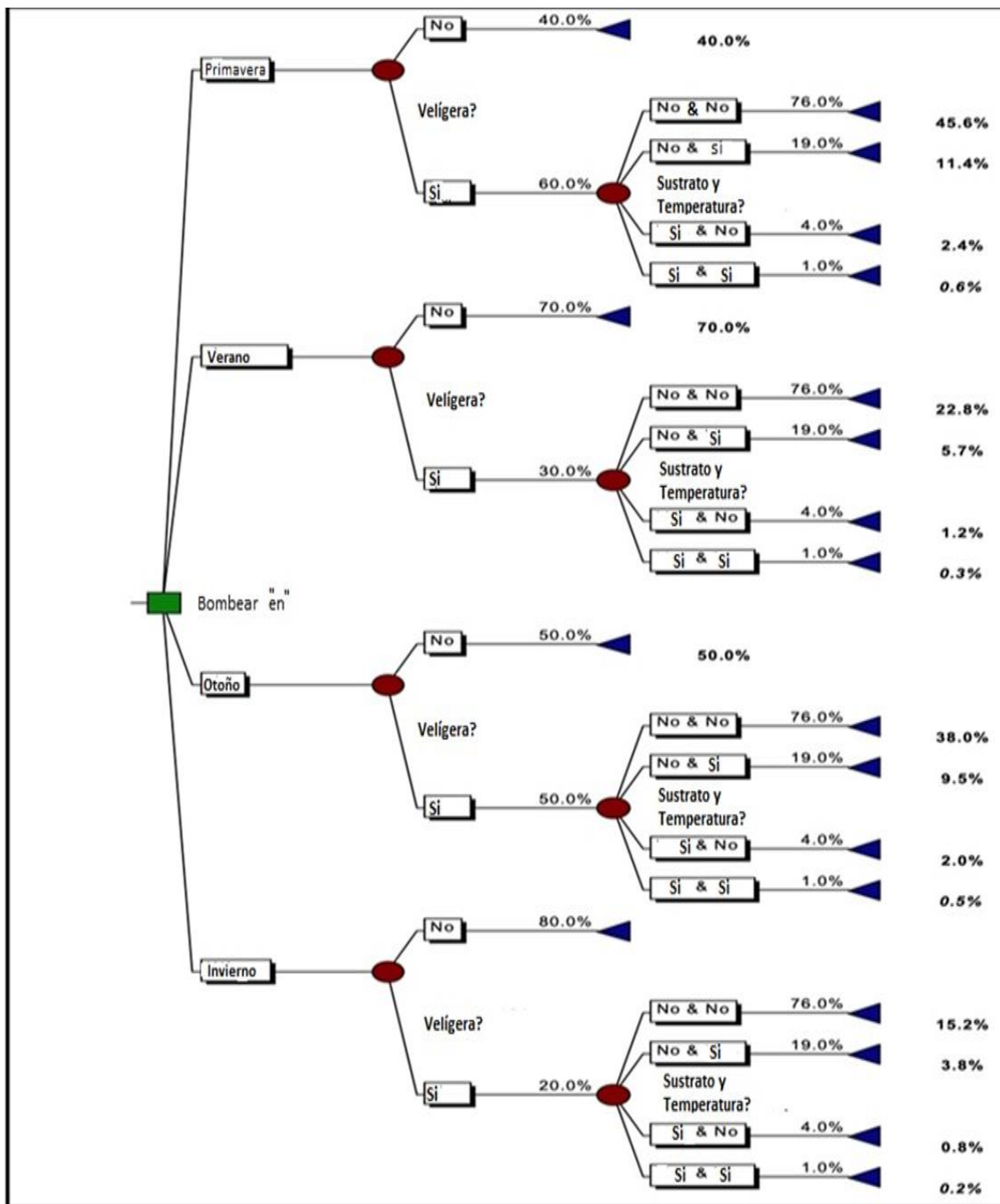


Figura 9. Árbol de probabilidad para evaluar la dispersión mediada por el bombeo de larvas de mejillón cebra (Payne & Miller, 2004).

En función del análisis se puede concluir que la probabilidad de una introducción y establecimiento exitoso debido a la actividad de bombeo es baja, independientemente de

la abundancia y suministro suficiente de velígeras de acuerdo con las estaciones. Los valores para las cuatro vías exitosas equivalen a solo 0.6, 0.3, 0.5 y 0.2 por ciento de probabilidades de dispersión ocasionada por el bombeo en primavera, verano, otoño e invierno, respectivamente.

3.1.1.2 Evaluación de riesgo y modelo de decisión para la invasión del mejillón cebra

Wu *et al.* (2010) desarrollaron un modelo de toma de decisiones basado en una evaluación de riesgo dirigida a determinar la probabilidad de invasión y establecimiento de mejillón cebra en toda la cuenca de St. Croix, Wisconsin, EE. UU. El modelo de decisión CASM ZM, basado en la evaluación de riesgo, es una versión del modelo integral de sistemas acuáticos (*Comprehensive Aquatic Systems Model* - CASM) y fue modificado para simular el crecimiento, la reproducción y la distribución espacial de los mejillones cebra. Para funcionar como una herramienta de manejo de riesgos, el modelo simula la complejidad dinámica de las poblaciones de mejillones cebra, así como sus impactos en las poblaciones de fitoplancton, zooplancton, invertebrados bentónicos, peces y mejillones nativos. Para elaborar el modelo se utilizaron datos que describen y cuantifican diferentes vías de invasión de las larvas y adultos del mejillón, *i.e.* no sólo se consideró el transporte natural por las corrientes, sino también el transporte accidental por embarcaciones, plantas, animales y otros objetos (basura, troncos, etc.).

Por otra parte, para desarrollar el CASM ZM se consideró que los nuevos hábitats aún no invadidos deberían de cumplir con las características fisicoquímicas para permitir la supervivencia larvaria y la reproducción. De aquí que se hayan seleccionado 14 factores ambientales, como la concentración de calcio (17 mg/L), la dureza total (57.5 mg/L), la conductividad (62 μ S/cm), la concentración de oxígeno disuelto (6 mg/L), salinidad (7 PSU), pH (6.8 y 9.4), potasio (50 mg/L para larvas y 100 mg/L para adultos), amonio (>1 mg N/L), velocidad de la corriente (> 1.5 m/s), profundidades del disco Secchi (75 y 205 cm), profundidad (4-12 m) y temperaturas del agua para el crecimiento (14 °C) y la reproducción (30 °C). También se incluyó la Clorofila *a*, como una medida indirecta de la disponibilidad

de fitoplancton, para lo que se consideró una media de filtración de 16.2 mL/mg/h. El análisis de estos factores contribuyó a la elaboración del Índice de Idoneidad (*Suitability Index - SI*).

Finalmente, se consideraron las relaciones funcionales bajo cuatro supuestos básicos:

- (1) La idoneidad del hábitat aumenta con los valores crecientes de los factores ambientales;
- (2) La idoneidad del hábitat disminuye al presentarse valores excesivamente altos de los factores;
- (3) La idoneidad del hábitat es óptima para un rango definido de los factores, y
- (4) Los factores demasiado bajos o altos definen el umbral que identifica las condiciones inhabitables del cuerpo de agua.

El CASM ZM también incluye un marco bioenergético que describe el crecimiento de los mejillones cebrá y sus impactos en las redes tróficas acuáticas.

En la Figura 10 se ilustran los factores que contribuyen a identificar los aspectos de hábitat, localidad e inoculación, que definen la probabilidad de establecimiento de los mejillones. El modelo también identifica las consecuencias (ecológicas, de infraestructura, económicas) del establecimiento de mejillones que se utilizarían para evaluar la efectividad de métodos alternativos para controlar la tasa de invasión de los dreisénidos.

Según el modelo, el riesgo de establecimiento de mejillones en un lago, arroyo o río aún no infestados es función de:

- (1) La calidad potencial del hábitat de los dreisénidos,
- (2) La ubicación (es decir, la proximidad geográfica o funcional a las aguas infestadas), y
- (3) La inoculación, que aborda las vías disponibles de introducción de mejillón, así como las tasas de introducción.

El modelo fue calibrado probándolo en 70 cuerpos de agua de la cuenca del St. Croix, para invasiones potenciales a partir del Lago Michigan.

A partir de la base de datos colectada para estos cuerpos de agua se construyó el Índice de Idoneidad del Hábitat (*Habitat Suitability Index* - **HSI**) o Índice de Riesgo del Hábitat. Para esto, el HSI se calculó de dos formas diferentes a partir de datos existentes ya sea utilizando el SI mínimo, o la media geométrica del SI para cada factor fisicoquímico y para cada cuerpo de agua. Posteriormente, los resultados de los cálculos de HSI se utilizaron para clasificar los sistemas como en riesgo Bajo, Medio o Alto en relación con la idoneidad del hábitat y el riesgo de establecimiento del mejillón cebra. Como hipótesis de partida para la integración de ambas aproximaciones HSI, se produjo una clasificación inicial de acuerdo con la siguiente consideración:

Riesgo Bajo:	$HSI_{\text{mínimo}} < 0.5$ y $HSI < 0.8$
Riesgo Medio:	$HSI_{\text{mínimo}} < 0.5$ y $HSI_{\text{promedio}} > 0.8$
Riesgo Alto:	$HSI_{\text{mínimo}} > 0.5$ y $HSI_{\text{promedio}} > 0.8$

dónde: $HSI_{\text{mínimo}} = \text{mínimo}(SI_1, SI_2, \dots, SI_{14})$;
 $HSI_{\text{medio}} = \text{media geométrica}(SI_1, SI_2, \dots, SI_{14})$.

3.1.1.3 Modelo de Decisión basado en la Evaluación de Riesgo

El modelo considera los parámetros reportados en la literatura para el ciclo de vida del mejillón que permiten estimar la introducción potencial, crecimiento y establecimiento. La dinámica de simulación de las redes tróficas está basada en el modelo integral de sistemas acuáticos (CASM).

El modelo también evalúa la efectividad de las acciones de manejo alternativas dirigidas a controlar el establecimiento de mejillones, evalúa las consecuencias de nuevas infestaciones y aborda la mitigación de los posibles impactos en los mejillones unidos

nativos en peligro de extinción. El modelo de simulación de mejillones invasores proporciona la flexibilidad estructural para incorporar fácilmente nuevos componentes (o eliminarlos), representa aspectos variables del establecimiento de los mejillones (por ejemplo, historia de vida y biología/ecología del mejillón, calidad del hábitat, navegación comercial e intensidad de navegación recreativa, pesca, etc.), y caracteriza explícitamente las incertidumbres asociadas con los supuestos del modelo y las estimaciones de los parámetros. Así, el modelo realiza un análisis de sensibilidad numérica e incertidumbre utilizando métodos de Monte Carlo como parte de su ejecución estándar. Los resultados de estos análisis identifican los elementos clave que dan lugar a las estimaciones inciertas de establecimiento y definen el valor de la nueva información que se puede obtener para reducir las incertidumbres, mejorar el rendimiento del modelo y aumentar la utilidad de los resultados del modelo en el manejo y la toma de decisiones.

El modelo comienza con un cuerpo de agua no infestado seleccionado en la Cuenca St. Croix en algún momento elegido (t). Luego, el modelo avanza en el tiempo (por ejemplo, 1 semana, $t+1$), calcula la tasa de inoculación por vías de importancia reconocida y determina una tasa de inoculación total (I_T) durante el período. La inoculación se refiere a la introducción de adultos, juveniles o larvas velígeras en un sistema aún no infestado. La tasa de inoculación total se estima como la suma de cinco tasas separadas definidas por mecanismos alternativos para la introducción de mejillones invasores en sistemas aún no infestados:

I_{SW} : Introducción a partir de un sistema invadido corriente arriba y conectado físicamente,

I_{CV} : Introducción por navegación comercial,

I_{RB} : Introducción por embarcaciones recreativas,

I_F : Introducción por pesca recreativa (instrumentos, vestimenta y calzado de los pescadores),

I_W : Introducción por fauna (por ejemplo, aves acuáticas, pequeños mamíferos) que visitan el cuerpo de agua aún no infestado.

Luego, para cada etapa de vida modelada (velígeras, juveniles, adultos) y para cada etapa de tiempo, la inoculación total se calcula como la suma de estas vías de introducción

$$I_T = I_{SW} + I_{CV} + I_{RB} + I_F + I_W$$

La probabilidad de establecimiento se define como $P_{E/I}$, considerando la I_T . La calidad del hábitat para los mejillones invasores contribuye a la estimación de $P_{E/I}$. Los valores desfavorables de los factores fisicoquímicos que repercuten en la supervivencia, el crecimiento y la reproducción del mejillón pueden producir estimaciones suficientemente bajas de $P_{E/I}$, de tal manera que el sistema no logrará infestarse, por lo que se estima una probabilidad de $1 - P_{E/I}$. Las aguas superficiales recién infestadas pueden posteriormente servir como punto de partida (fuentes aguas arriba) para la infestación de otros cuerpos de agua (indicado por la línea discontinua en la Fig. 10).

El desarrollo del modelo requiere la derivación de una relación funcional entre el número de mejillones introducidos y la probabilidad de que establezcan una población reproductiva. Para esto pueden requerirse supuestos de un tamaño de población límite para el establecimiento. Para las aguas superficiales recién infestadas, el modelo caracteriza las consecuencias ecológicas y económicas de la infestación. Las consecuencias ecológicas incluyen los impactos en la calidad del agua (por ejemplo, el aumento de las concentraciones de amoníaco, el aumento en la transparencia del agua), las alteraciones de las redes tróficas acuáticas (por ejemplo, la disminución excesiva del plancton) y los efectos sobre los mejillones nativos. Los impactos en los uniñidos se modelan como fijación física directa o asfixia, limitación potencial de su alimentación y toxicidad por amoníaco.

Se identifican cinco posibles acciones de manejo (**MA**) en el marco de modelado de decisiones (Fig. 10). Se debe tomar en cuenta que el escenario MA-0, que representa la ausencia de acciones de gestión, está implícito, pero no se ilustra:

- **MA-1** se refiere a la oportunidad de regular los flujos entre las aguas superficiales infestadas que se encuentran conectadas físicamente con las no infestadas.
- **MA-2** identifica las acciones que se pueden emprender para programar la navegación comercial, restringir el acceso de los botes recreativos y controlar las actividades relacionadas con la pesca, para así reducir la introducción de mejillones invasores en las aguas superficiales aún no infestadas.
- **MA-3** incluye acciones tomadas para reducir las incrustaciones de los mejillones invasores en embarcaciones comerciales y recreativas. Tales acciones podrían implicar cuarentena de embarcaciones y tratamientos de calor (u otros) para desinfectar los cascos de los botes. Las restricciones en el uso de cubetas para transportar carnada viva y la insistencia en limpiar los equipos de pesca podrían reducir la introducción involuntaria por parte de los pescadores.
- **MA-4** aborda cualquier acción que pueda emprenderse para reducir la calidad del hábitat de los mejillones invasores introducidos en aguas superficiales aún no infestadas. Si bien algunas medidas son potencialmente efectivas, las dificultades logísticas en la implementación de cambios en el hábitat (por ejemplo, la reducción de calcio) a nivel del ecosistema (cuerpo de agua) sugieren que estas acciones de manejo rara vez serán factibles. Sin embargo, se incluye MA-4 para aquellas oportunidades inusuales donde tales manipulaciones pudieran resultar factibles.
- **MA-5** no intenta reducir las tasas de inoculación como en las acciones de manejo planteadas en MA-1 hasta MA-4. Más bien, MA-5 aborda la viabilidad de mitigación de los impactos causados en los mejillones nativos mediante

la eliminación y reubicación de los uni6nidos en instalaciones acu6colas o naturales con condiciones que los pongan a salvo de las infestaciones de los mejillones invasores.

El modelo es flexible ya que permite especificar las acciones de manejo como variables de entrada o insumos permitiendo modificar los flujos entre cuerpos de agua, limitar el acceso a la navegaci6n, reducir las incrustaciones de las embarcaciones o redefinir los factores de idoneidad del h6bitat para el sistema de inter6s. Las reducciones asociadas en las tasas de inoculaci6n se traducir6n luego en valores reducidos de $P_{E/I}$ y valores reducidos de consecuencias ecol6gicas y econ6micas.

Las etapas de tiempo del modelo se definen en gran medida por la disponibilidad de datos. Por ejemplo, los datos de calidad del h6bitat est6n disponibles semanalmente para algunas aguas superficiales en la Cuenca de St. Croix, mientras que otros sistemas se muestrean con menos frecuencia, aunque los valores semanales pueden interpolarse razonablemente. El usuario del modelo puede definir la duraci6n temporal (por ejemplo, la cantidad de etapas de tiempo). Obviamente, entre m6s largo sea el periodo simulado, mayor ser6 la posibilidad de un establecimiento de mejillones. Se usa com6nmente un horizonte de planificaci6n de 50 a6os para comparar alternativas de manejo.

El modelo ilustrado en la Fig. 10 se aplica a un solo cuerpo de agua superficial individual seleccionado en la cuenca. El modelo se puede ejecutar para tantos sistemas no infestados como se desee, dependiendo de la disponibilidad de los datos. Como resultado de la aplicaci6n del modelo a varios sistemas, se puede desarrollar un patr6n de infestaci6n en funci6n del paisaje (las caracter6sticas tipo del sistema). La velocidad y probabilidad de dispersi6n de los mejillones invasores a lo largo de la cuenca se ver6 afectada a medida que los sistemas conectados f6sicamente se infesten.

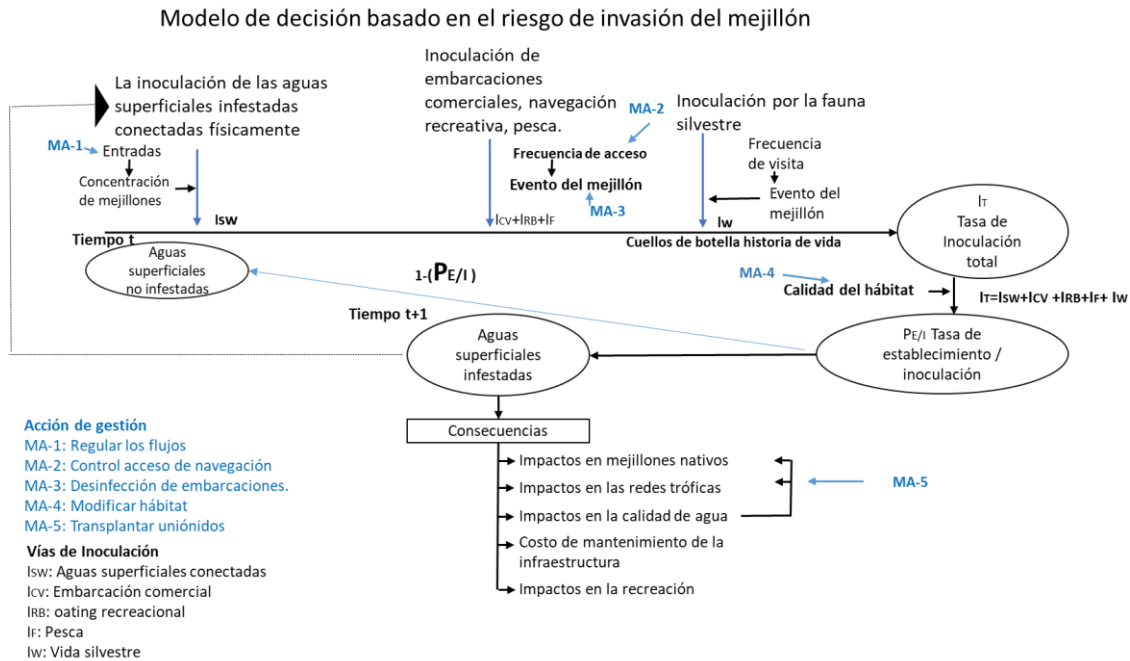


Figura 10. Modelo de decisión de criterios múltiples basado en el riesgo para (1) evaluar la probabilidad de infestación por mejillones invasores, (2) caracterizar las consecuencias ecológicas y económicas del establecimiento de mejillones, y (3) evaluar acciones de manejo alternativas dirigidas a controlar la propagación de mejillones.

El CASM ZM se puede usar para pronosticar el riesgo de invasiones exitosas de dreisénidos y evaluar los impactos asociados de los mejillones invasores en la dinámica de las redes tróficas de sistemas acuáticos aún no infestados en toda la cuenca de St. Croix.

3.1.1.4 Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Por otra parte, un método común es comparar las condiciones limitantes de la especie con los datos ambientales (climatología, geología, química del agua, etc.). Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se utilizan cada vez más como herramienta de evaluación de riesgos para especies exóticas (Lavakare, 2005; Gormley *et al.*, 2011; Jiménez-Valverde *et al.*, 2011), proporcionando una plataforma efectiva para diseñar una base de datos integrada para evaluar el riesgo y desarrollar estrategias de reducción del riesgo (Amoako-Atta & Hicks, 2004). Dado que los datos sobre el riesgo de infestación del mejillón cebra

dependen del espacio, pueden almacenarse, procesarse y analizarse fácilmente en bases de datos SIG. Por ejemplo, Neary & Leach (1992) evaluaron el riesgo de colonización de mejillón cebra con un SIG y cartografiaron la posible propagación de la especie en Ontario de acuerdo con las tolerancias de mejillón con el pH y el Ca^{+2} y datos de 6151 lagos. Por otra parte, Koutnik & Padilla (1994) utilizaron datos limnológicos para probar las asociaciones entre las clases de densidad poblacional pronosticadas en los lagos y tres características a escala del paisaje (depósitos superficiales, tipo de lecho rocoso y ecorregiones designadas por la EPA) para predecir (i) ausencia o presencia, (ii) categoría de densidad poblacional y (iii) abundancia numérica de mejillones cebra para los lagos del interior de Wisconsin. Aunque los modelos utilizados difieren en sus predicciones para lagos específicos susceptibles a la invasión de dreisénidos, se logró encontrar una asociación significativa entre cada característica a escala del paisaje y las clases de densidad de dreisénidos. Numerosos investigadores han utilizado los datos disponibles de monitoreo de lagos para predecir la densidad de dreisénidos para los lagos interiores, concluyendo que, a mayor información disponible, menor incertidumbre en las predicciones.

4. Guía para el Análisis de Vulnerabilidad ante la invasión potencial de los mejillones quagga y cebra

Ante la rápida expansión de los mejillones dreisénidos en el Oeste de los EE. UU. y los severos impactos negativos generados en varias plantas de tratamiento de agua y presas federales, estatales y municipales, el Departamento del Interior de los EE. UU. a través de la Oficina de Recuperación del Agua contrataron consultores (*RNT Consulting Inc.*) para la elaboración de guías estandarizadas para evaluar el riesgo de invasión en este tipo de instalaciones.

El proceso de evaluación de las instalaciones generalmente requiere de un tiempo considerable para la planificación y coordinación, investigación de antecedentes, visitas al sitio, evaluación de datos y preparación de un informe. Se pueden agrupar en la misma evaluación varias instalaciones pequeñas que sean similares o estén duplicadas. Es

recomendable un enfoque de equipo de 2 o 3 personas para que la evaluación sea más eficaz. Se requiere que al menos uno de los miembros del equipo que tenga conocimiento/experiencia en las operaciones que se realizan en la instalación específica (como se explica a continuación). El líder del equipo de evaluación deberá estar familiarizado con las características y el comportamiento general de los mejillones o deberá contar con una persona de apoyo (un biólogo) familiarizada con los mejillones, para que participe dentro del equipo de evaluación.

Los riesgos y problemas específicos que se presentarán en una instalación ante la invasión de los dreisénidos dependerán de:

1. Cómo entra el agua cruda en la instalación
2. La aplicación de cualquier proceso para tratar o transformar el agua para diversas aplicaciones dentro de las instalaciones
3. La manera en que se planeó la disposición de todas las ramificaciones de tuberías y la ubicación de los componentes y equipos, incluidos los materiales de construcción
4. Las condiciones de operación de los diversos sistemas de agua (como caudales máximos y mínimos, frecuencia de funcionamiento, rangos de temperatura).

Esta guía o plantilla de evaluación de la instalación se puede utilizar en la mayoría de las circunstancias. Si la instalación es un pequeño criadero de peces o una gran planta de bombeo, es fundamental saber de qué se debe proteger, ya sea de la fijación temprana de las larvas de los mejillones o del ingreso de mejillones adultos.

La guía se aplica mejor después de haber realizado una evaluación ambiental de la fuente de agua para determinar la susceptibilidad a la invasión de los mejillones, sin embargo, dicha evaluación no es un requisito previo para completar la guía. La gerencia puede decidir proceder con una evaluación de las instalaciones antes o en paralelo con la evaluación de la idoneidad ambiental. Como mínimo, es altamente recomendable que se verifique el

contenido de calcio del agua que pasa a través de la instalación para determinar si hay suficiente calcio para soportar el crecimiento y supervivencia de los mejillones. Como referencia, los contenidos de calcio de 8 mg/L o menos no contribuirían a la supervivencia a largo plazo de los mejillones adultos. Por supuesto, hay otros parámetros que pueden impedir que los mejillones prosperen en las aguas de la instalación, pero se vuelven irrelevantes si no hay suficiente calcio para soportar la supervivencia del mejillón.

El agua en contacto con el concreto y la argamasa puede causar un deterioro constante de estos materiales y lixiviar el calcio de los materiales de unión de silicato de calcio. Esta acción es más pronunciada con aguas suaves o ligeramente ácidas, como las que se encuentran en los embalses alimentados desde áreas pantanosas. Aún en estructuras de concreto que estén relativamente protegidas, puede existir un área local con concentraciones elevadas de calcio que pueda contribuir al establecimiento de los mejillones. En los embalses con concentraciones de calcio bajas o marginales, las áreas de concreto protegidas serían buenas ubicaciones para monitorear los mejillones, especialmente si las estructuras de concreto muestran algún tipo de deterioro debido a la lixiviación del concreto.

A continuación, se presenta la guía para la evaluación de riesgo de invasión de las instalaciones.

4.1 Lista de Control para la Evaluación de la Vulnerabilidad de las Instalaciones

Nombre del Proyecto:

Preparado por:

Fecha de preparación:

1.- Instrucciones para el llenado de la guía

- Complete todos los campos en blanco para cada número de las secciones que se muestran a continuación (consulte las notas a pie de página para las columnas: Estado y Comentarios).
- La lista de verificación se divide en fases lógicas. Es mejor no pasar de una fase a la siguiente, hasta que la primera fase esté completa. Dentro de cada fase, es probable que muchas tareas se tengan que desarrollar en paralelo y el orden en que se ejecuten se hará a discreción del líder del equipo.
- Emita esta lista de verificación con sus informes semanales o mensuales según corresponda. Asegúrese de identificar la fecha de emisión para que los interesados sepan que están viendo la actualización más reciente y así sean capaces de evaluar el progreso o aportar información al programa.
- Esta guía está configurada para un proyecto de pequeño tamaño. El Apéndice “A” contiene un esquema para un Plan de Proyecto. Esto se proporciona para la orientación del usuario y no pretende reemplazar las metodologías de proyecto estándar que puedan existir. El Apéndice “A” también contiene algunas sugerencias útiles sobre las habilidades requeridas y papeles que deben desempeñar los miembros del equipo del proyecto.
- También se incluye en el apéndice “A” un ejemplo gráfico de planeación tiempo/tarea (diagrama de Gantt). Los periodos de tiempo pretenden representar

una evaluación real de instalaciones, pero se deben ajustar para sus propias circunstancias. Puede ser útil colocar las fechas en el elemento de la lista de verificación correspondiente si no se considera necesario utilizar el diagrama de Gantt.

2. Preparación (Etapa 1)			
No.	Elemento	Estatus ¹	Comentarios/ Plan para resolverlo
1	Planeación		
1.1	¿Se ha preparado el alcance del proyecto, incluida la definición y los objetivos?		
1.2	¿Se ha aprobado la <i>Declaración del Alcance del Proyecto</i> ?		
1.3	¿Hay un <i>Plan de Proyecto</i> sobre el cual medir el progreso?		
1.4	¿El plan del proyecto aborda las siguientes áreas?:		
1.4.1	• Alcance del proyecto y entregables		
1.4.2	• Cronograma del proyecto		
1.4.3	• Presupuesto del proyecto		
1.4.4	• Organización y recursos del proyecto		
1.5	¿Se incluyó a las partes interesadas clave en el <i>Plan del Proyecto</i> ?		
1.6	¿Se involucraron clientes potenciales al principio del proceso de planificación?		
1.7	Si hay proveedores, ¿han firmado el <i>Plan del Proyecto</i> ?		
1.8	Si existe un contratista de supervisión independiente, ¿ha firmado el <i>Plan del Proyecto</i> ?		
1.9	¿Se identifica y define la función de patrocinador del proyecto?		
1.10	¿Hay personas alternativas si los miembros clave del proyecto no estuvieran disponibles o se reasignaran?		
1.11	Otros elementos de la organización (por favor enliste):		
2	Seguimiento y Monitoreo		
2.1	¿Los distintos tipos de informes, sus contenidos, frecuencia y audiencia están definidos y comunicados al Equipo del Proyecto?		

¹Introduzca las letras siguientes: **C** (Completo), **P** (Parcial), **S** (Sí), **N** (No), **NA** (No Aplica)

2.2	¿Están los requisitos de la contribución de los miembros del Equipo del Proyecto claramente documentados y comunicados?		
3	Reuniones y participación		
3.1	¿Se han definido y comunicado las diversas reuniones, el propósito, el contexto, la frecuencia y los participantes de la evaluación?		
3.2	¿Se han solicitado los planos y documentos de las instalaciones?		
4	Supuestos y restricciones del proyecto		
4.1	¿Existen supuestos clave en los que se basa la evaluación y se han documentado estos supuestos?		
4.2	¿El proyecto tiene restricciones? tales como:		
4.2.1	<ul style="list-style-type: none"> Programación del cierre de las instalaciones 		
4.2.2	<ul style="list-style-type: none"> Limitaciones de acceso a las instalaciones y requisitos de ventilación 		
4.2.3	<ul style="list-style-type: none"> Problemas de supervisión, como la disponibilidad de informes de los registros de muestreo realizados en temporadas anteriores 		
4.2.4	<ul style="list-style-type: none"> ¿Se requiere alguna capacitación necesaria para el personal clave del proyecto? 		
4.2.5	<ul style="list-style-type: none"> ¿Se necesita algún tipo de adquisición previa al proyecto para el equipo portátil de campo? 		

3. Revisión interna y preparación para visitas de campo (Etapas 2)			
No.	Elemento	Estatus	Comentarios/Plan para resolverlo
1	Revisión		
1.1	¿Se han revisado los planos y documentos del sitio de la instalación?		
1.2	¿Las preguntas derivadas de la revisión de los documentos se comunicaron y discutieron con los expertos del sitio?		
1.3	¿La revisión de los documentos permitió identificar alguna actividad previa a la visita al sitio que se debería realizar, como inspecciones de video que requieran de la intervención de buzos o la programación del apagado de equipos?		
1.4	¿Se completaron todas las tareas previas a la visita al sitio que se debían realizar?		
1.5	¿Se ha actualizado la lista de entregables en función de la información de los documentos del sitio?		
1.6	¿Se han preparado todas las hojas de la lista de verificación del sistema?		

4. Visitas al sitio, seguimiento e informes (Etapa 3)			
El enfoque principal es seguir la trayectoria del agua a través de las instalaciones del sitio. La trayectoria del agua se volverá más complicada cada vez que el agua se ramifique en un sistema específico. Siga cada sistema hasta haber cubierto el flujo completo de agua a través de la instalación.			
No.	Elemento	Estatus	Comentarios/Plan para resolverlo
1	Recorridos de campo		
1.1	¿Se ha completado una reunión previa en el sitio?		
1.2	¿Estaba disponible todo el personal necesario del sitio?		
1.3	¿Se han programado y completado las discusiones de seguimiento con el personal no disponible durante la visita al sitio?		
1.4	¿Se han completado todas las listas de verificación del recorrido del sistema?		
1.5	¿Se han documentado y comunicado todas las observaciones derivadas de la reunión del sitio y los recorridos del sistema a la persona responsable de la acción?		
1.6	¿El borrador del informe del proyecto ha sido revisado por todos los participantes?		
1.7	¿Se ha aprobado el informe final para su publicación?		
1.8	¿Se ha distribuido el informe final?		

5. Evaluación de Riesgo de las Instalaciones – Lista de Contacto del Equipo del Proyecto			
Nombre del Proyecto: Líder del Proyecto: 			
Algunas sugerencias para los papeles que desempeñarán los diferentes miembros del equipo y las habilidades o conocimientos que serían útiles que tuviera cada miembro del equipo están contenidas en el Apéndice "A".			
Nombre	Título	Ubicación	Teléfono de la oficina y correo electrónico

6. Evaluación de Riesgo de las Instalaciones – Lista de Entregables

Nombre de la Instalación:

Los entregables son paquetes de documentos internos preparados para cada sistema o estructura principal. Una vez que se completan todos los entregables, se utilizan para preparar el informe de evaluación general, que sería el único entregable externo. Será útil al preparar ésta lista consultar el Apéndice D con el fin obtener detalles adicionales sobre los sistemas y componentes típicos en riesgo que deben considerarse.

Estructura principal	Planos de referencia del sistema utilizados	Entregables
Ejemplo 1: Presa	Enumere todos los planos generales (PG), la vista de planta y las secciones transversales, así como los planos detallados.	Copias de todos los planos + fotografías + lista de verificación del recorrido de la presa.
Ejemplo 2: Sistema de agua de enfriamiento de la unidad de la estación de bombeo	Enumere todos los diagramas de flujo, diagramas de tuberías e instrumentación (DTI) o PG	Copias de todos los planos + fotografías + lista de verificación del recorrido de la presa
Ejemplo 3: Sistema de agua para incendios de la central eléctrica	Listar todos los diagramas de flujo DTI o PG	Copias de todos los planos + lista de verificación completa del sistema completado
Continuar con sistemas o estructuras hasta que todas las áreas en contacto con agua cruda hayan sido cubiertas.		

4.2 Apéndices

4.2.1 Apéndice A - Esquema del Plan de Proyecto

1. Introducción

Propósito del Plan

Indique el propósito del Plan del Proyecto. Indique en un breve párrafo la definición del proyecto que proporcionará el Plan, incluidas las metas y los objetivos.

Antecedentes sobre el proyecto

Describa el historial del proyecto. Incluya información como iniciativas anteriores, la regulación, la disponibilidad de recursos y la razón de ser del proyecto. Describa, en esencia, cómo surgió el proyecto.

2. Alcance

Una definición clara y concisa del alcance es clave para el éxito del proyecto. El alcance debe describir desde una perspectiva cuantitativa lo que se debe lograr.

Definición del alcance

Indique específicamente qué trabajo se realizará. Si el proyecto forma parte de un enfoque por etapas, puede incluir entregables de la etapa anterior y el alcance logrado indicando los objetivos. A partir de esto se definirán y desarrollarán tareas o acciones con mayor precisión.

Costos, beneficios y riesgos

Este es el alcance financiero del proyecto. Indique brevemente los costos y beneficios asociados con el proyecto. Incluya una descripción de los riesgos conocidos y cómo serán tratados. Los riesgos pueden ser elementos que podrían retrasar o impedir la evaluación,

como conflictos con otros proyectos. El riesgo de no llevar a cabo la evaluación de la instalación también debe describirse.

Lista de productos / entregables del proyecto

Este es el ámbito de la entrega. Los Productos del Proyecto pueden incluir entregables formales, así como resultados concretos informales. Incluya en esta sección una lista de los entregables y sus contenidos (si corresponde) que se producirán durante el proyecto. Recuerde incluir los entregables de la gestión del proyecto, como el *Plan del Proyecto* y el *Plan de Trabajo*.

Metas

Este es el alcance temporal del proyecto. Enumere y describa brevemente los logros significativos del proyecto que actuarán como puntos de evaluación primarios para el progreso del proyecto. Estos son generalmente los puntos en los que la finalización de una actividad o grupo de actividades permite que el proyecto alcance una meta al producir un producto o resultado altamente visible o significativo (por ejemplo, entrega de equipo, entrega de material, reunión de revisión, punto de control de aprobación). No todas las fechas de finalización de las tareas en el proyecto serán metas, pero cada meta debe estar vinculada a un entregable.

Suposiciones

Describa brevemente las suposiciones sobre el proyecto relacionadas con los recursos, el alcance, las expectativas, los cronogramas, etc.

Restricciones del proyecto

Describa los principales obstáculos y limitaciones bajo los cuales se debe llevar a cabo el proyecto, en relación con el entorno o los parámetros del proyecto (plazos y fecha final, financiamiento, niveles de habilidades, disponibilidad de recursos, etc.).

3. Plan de Trabajo del Proyecto

Aquí se describen en detalle todas las etapas, tareas y subtareas. Incluye un diagrama de Gantt (gráfico de la red del proyecto) que muestra estimaciones de cuánto tiempo llevará completar cada subtarea, tarea y etapa, los recursos necesarios para completar cada tarea, las dependencias e interrelaciones de la tarea, y cualquier consideración especial que deba hacerse (Fig. 11).

Funciones y responsabilidades del proyecto

Identifique los recursos específicos que se requieren para completar el proyecto. Como mínimo, el Equipo del Proyecto debe incluir:

- Un Ingeniero o una persona con capacidad técnica para leer e interpretar planos técnicos,
- Un Biólogo o una persona muy familiarizada con el ciclo de vida y los hábitos de los dreisénidos,
- Alguien del personal operativo de la planta o una persona muy familiarizada con el funcionamiento de la instalación que se va a evaluar

Describa los papeles y responsabilidades de cada miembro del Equipo junto con el plan de comunicación, para asegurar que los miembros del Equipo entiendan lo que se espera de ellos. Describa el mecanismo para comunicar las responsabilidades a través del Equipo del Proyecto y dentro de la organización en general (en la medida en que sea necesario).

Directorio de contactos del equipo del proyecto

Esta es una lista de todos los miembros del equipo y otras personas clave involucradas con el proyecto. La lista debe incluir sus nombres, ubicaciones físicas, números de teléfono, números de contacto alternativos, dirección postal, direcciones de correo electrónico, títulos y cualquier otra información pertinente que permita una mejor comunicación entre las personas involucradas.

4. Aprobaciones

Hoja de aprobación

Es necesario incluir una hoja de aprobación que deberá ser firmada por el Equipo de Proyecto, el Líder del Proyecto, el Patrocinador Ejecutivo, el Cliente y la administración de la empresa asociada con el proyecto. La hoja de aprobación representa el contrato entre el proyecto y el área de negocios involucrada en el proyecto.

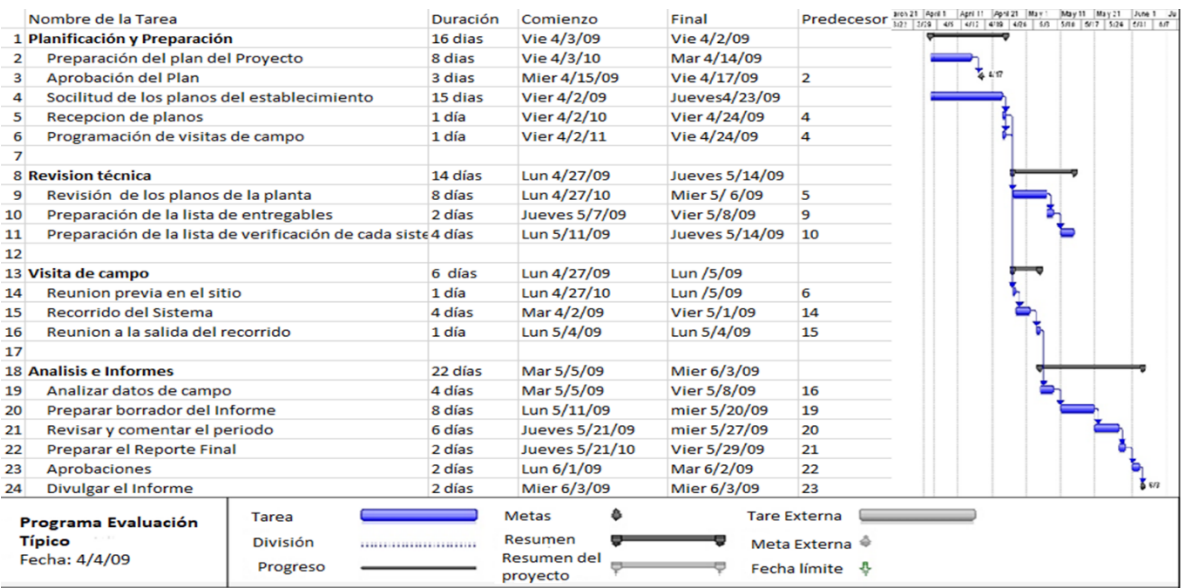


Figura 11. Diagrama de Gantt mostrando los periodos de tiempo en los que cumplirán las metas del proyecto.

4.2.2 Apéndice B - Lista de verificación del sistema

Nombre del sistema o estructura:

Preparado por:

Fecha de preparación:

1. Instrucciones

- Prepare una de estas hojas para cada sistema o estructura principal identificada en la lista de Entregables.
- Para cada número de artículo a continuación, complete todos los campos en blanco (consulte las notas a pie de página para las columnas Estatus y En riesgo de mejillones).
- Para algunos de los componentes, como válvulas y filtros, puede haber varios en un solo sistema. Si se tuviera que considerar más de un componente se deberá agregar una hoja adicional para ese grupo de componentes en particular.
- Consulte el Apéndice C para obtener información adicional y sugerencias sobre diversos sistemas y componentes.
- Agregue filas adicionales según sea necesario cuando identifique los elementos que deben considerarse y no están cubiertos en ninguna otra parte de la lista.

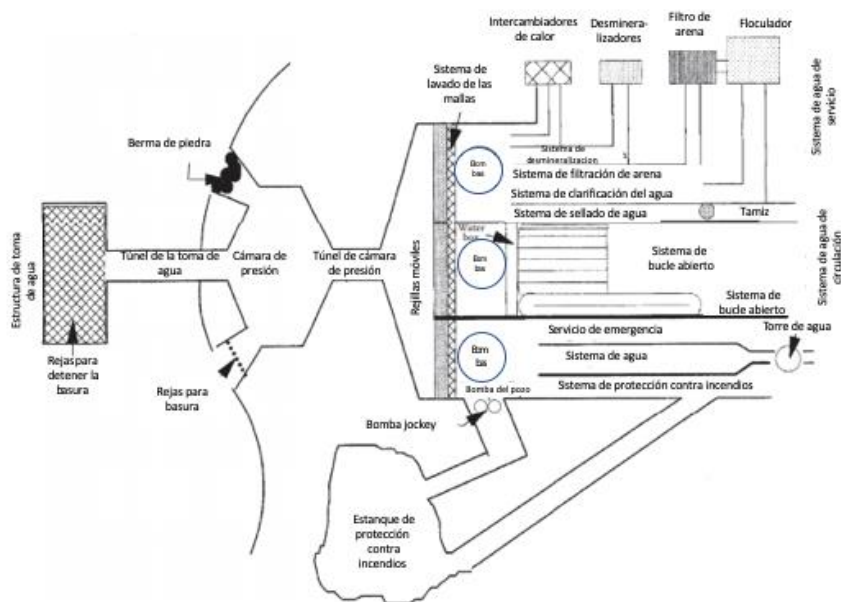


Figura 12. Esquema de una planta potabilizadora. Tomado de Mackie & Claudi (2010).

2. Tutorial para llenar la Lista de verificación (Esquemas de algunas partes se observan en las figuras 12 - 24)

No.	Elemento	Estatus	En Riesgo (si/no)	Comentarios
1	General para Presas, Embalses, Acueductos.			

1.1	¿Hay membranas, juntas de control, medios de construcción permeables, drenajes, etc. que dejen pasar el agua cruda?			
1.2	¿Hay salidas de aire?			
1.3	Compruebe si el desagüe y los accesorios están siempre húmedos o secos y registre la duración del período seco.			
1.4	¿Cuánto fluctúa el nivel del agua (es decir, la elevación de la superficie del agua del embalse)?			
1.5	¿Se inspeccionan regularmente todas las rutas potenciales de filtración de agua?			
2	Estructuras de entrada del agua			
2.1	Tipos de estructuras de admisión presentes (pueden estar presentes más de una):			
2.1.1	<ul style="list-style-type: none"> Canal abierto directo hacia la instalación (concreto) 			
2.1.2	<ul style="list-style-type: none"> Canal abierto directo hacia la instalación (otro material - especifique) 			
2.1.3	<ul style="list-style-type: none"> Cámaras de presión (especificar material de revestimiento) 			
2.1.4	<ul style="list-style-type: none"> Torre (especificar material de construcción) 			
2.1.5	<ul style="list-style-type: none"> Túnel sumergido o entrada de tubería (especifique el material de construcción) 			
2.1.6	<ul style="list-style-type: none"> Entradas de compuertas (especificar material de construcción) 			
2.1.7	<ul style="list-style-type: none"> Barreras para peces 			
2.2	¿Es probable que el piso de cualquiera de las estructuras de admisión se cubra con limo o sedimento?			
2.3	¿Hay alguna estructura duplicada como sistema auxiliar?			
2.4	¿Cuál es el rango de velocidad de flujo en la estructura?			
2.5	¿La estructura es accesible para inspección o mantenimiento?			
2.6	¿Hay interrupciones en la operación para facilitar el acceso y cuál es su frecuencia?			
2.7	¿Hay ciclos de mantenimiento programados y cuáles son sus frecuencias?			
3	Rejas para detener la Basura, Rejillas, mallas			
3.1	Registre el espaciado, el tamaño y el material de las barras de las rejas para detener la basura.			

3.2	¿Las rejas para basura son fijas o fácilmente removibles para mantenimiento?			
3.3	¿Hay una frecuencia de mantenimiento planificada para las rejas para detener la basura? Si es así, ¿cuál es el intervalo de tiempo?			
3.4	¿Hay un rastrillo para basura u otro tipo de sistema de limpieza?			
3.5	¿Son los dedos de rastrillo lo suficientemente grandes para quitar los mejillones de los lados de las barras de la reja para detener la basura?			
3.6	Registre la ubicación, el material, el tamaño y el espaciado de cualquier reja de admisión pequeña.			
3.7	¿Las rejillas son fijas o removibles para un fácil mantenimiento?			
3.8	Compruebe si las rejillas en la parte inferior de las tuberías o canales se cubren con limo o sedimento.			
3.9	Registre la ubicación, el material, el tamaño y el espaciado de la rejilla de cualquier tamiz.			
3.10	¿Las rejillas son fijas o removibles para un fácil mantenimiento?			
4	Pozos y Sumideros			
4.1	Ubicación y material de construcción de los pozos.			
4.2	Identificar fluctuaciones de nivel del agua en pozos de bombeo.			
4.3	Distancia de succión de la bomba desde el fondo de los pozos. ¿La bomba succionaría al pozo las conchas que se transportan por el piso?			
4.4	Ubicación y material de construcción de los sumideros.			
4.5	¿Hay un flotador u otro instrumento en el sumidero que pudiera cubrirse con mejillones?			
4.6	Frecuencia de inspección de sumideros por personal de planta.			
5	Bombas y turbinas			
5.1	¿El motor de la bomba o el generador de turbina se enfría con agua o aire? Los motores enfriados por agua están en riesgo.			
5.2	¿Pueden las conchas de los mejillones entrar en los anillos de desgaste?			
5.3	¿Tiene la bomba un cierre mecánico?			
5.4	¿Cómo se purga el sello durante la puesta en marcha?			
5.5	¿Cómo se purga el sello durante el funcionamiento normal?			

5.6	¿Tiene la turbina o la bomba una caja de empaquetadura?			
5.7	¿Hay un anillo de linterna en la caja de empaquetadura u otra cavidad para enfriar y purgar el agua?			
5.8	¿Cómo se enjuaga el anillo durante la puesta en marcha?			
5.9	¿Cómo se purga el anillo durante el funcionamiento normal?			
5.10	¿Los baleros del motor tienen lubricación refrigerada por agua?			
5.11	Compruebe si la bomba tiene baleros refrigerados por agua			
5.12	¿Pueden las conchas del mejillón entrar por los espacios de los baleros lubricados por agua?			
5.13	¿Los sellos o las cavidades de la caja de empaquetadura tienen un medio de monitoreo o inspección?			
5.14	¿Se pueden limpiar los sellos o la caja de empaquetadura sin quitar el motor?			
6	Tubería			
6.1	Identificar materiales de construcción para tuberías.			
6.2	¿Cuál es el rango de velocidad de flujo en la tubería?			
6.3	¿Cuánto tiempo dura la velocidad por encima de 6 pies/s (1.83 m/s)?			
6.4	¿Cuánto tiempo dura la velocidad por debajo de 1.83 m/s?			
6.5	¿Existen cambios en el diámetro de la tubería?			
7	Instrumentos de la tubería y otros instrumentos			
7.1	Identifique cualquier tubería de diámetro pequeño (2 pulgadas de diámetro o menos) que incluya material de construcción como:			
7.1.1	• Grifos de medición de flujo			
7.1.2	• Grifos de piezómetro			
7.1.3	• Grifos de presión			
7.1.4	• Tuberías para tomar muestras			
7.1.5	• Tuberías de equilibrio de presión			
7.1.6	• Otros especificar			
8	Intercambiadores de calor			
8.1	Identificar material de construcción del pleno (cámara de mezcla).			
8.2	Identificar material de construcción de la tubería.			

8.3	¿Cuál es el diámetro de la tubería?			
8.4	¿Cuál es el rango de velocidad de flujo en la tubería?			
9	Válvulas			
9.1	Identifique todas las válvulas normalmente abiertas (NA).			
9.2	¿Las válvulas NA pueden no sellar correctamente si el asiento o la cara de la válvula se cubre de mejillones?			
9.3	Identifique todas las válvulas normalmente cerradas (NC)			
9.4	¿Pueden las válvulas NC no abrirse si la cara de la válvula queda cubierta con mejillones?			
9.5	¿Cuál es el diámetro de la garganta de la válvula? ¿Es lo suficientemente pequeño como para ser tapado por las conchas de mejillones?			
10	Cedazos y Filtros			
10.1	Identifique el estilo del cedazo, el material de construcción y la canasta del cedazo, así como el tamaño de los poros de la canasta. Los estilos típicos son:			
10.1.1	• Cedazo fijo en línea			
10.1.2	• Cedazo dúplex			
10.1.3	• Cedazo auto-lavable			
10.1.4	• Cedazo en Y			
10.1.5	• Otro tipo - especifique			
10.2	Identifique el estilo del filtro, el material de construcción, así como el tamaño de los poros del filtro. Los estilos típicos son:			
10.2.1	• Filtro auto-lavable			
10.2.2	• Filtro de cartucho reemplazable			
10.2.3	• Otro tipo - especifique			



Figura 13. Canal pluvial abierto que conduce agua a la planta de tratamiento de aguas residuales Oriente. Tomado del Siglo de Torreón. <https://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/1501809.descargan-agua-de-lluvia-a-canales-y-plantas-tratadoras.html>



Figura 14. Torre del Lago Mead. Tomado de <http://www.perroviajante.com/2011/09/09/la-domadora-del-rio-colorado-hoover-dam/lago-mead-y-torres-de-nevada/>



Figura 15. Barrera o reja para detener basura. Tomado de https://www.google.com/search?q=trash+rack&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahKEwiT1avw2M7jAhUK6wKHbosAEcQ_AUIESgB&biw=1348&bih=607#imgsrc=q4_BbBqpqRfYXM y https://www.google.com/imgres?imgurl=https://www.lakeside-equipment.com/wp-content/uploads/2015/08/Screen_Trash_Rakes_HydronicT_Side1.jpg&imgrefurl=htt.



Figura 16. Compuertas de la presa Hoover, Colorado. Tomado de <https://www.viajesroadtripusa.com/visitar-la-presa-hoover/>

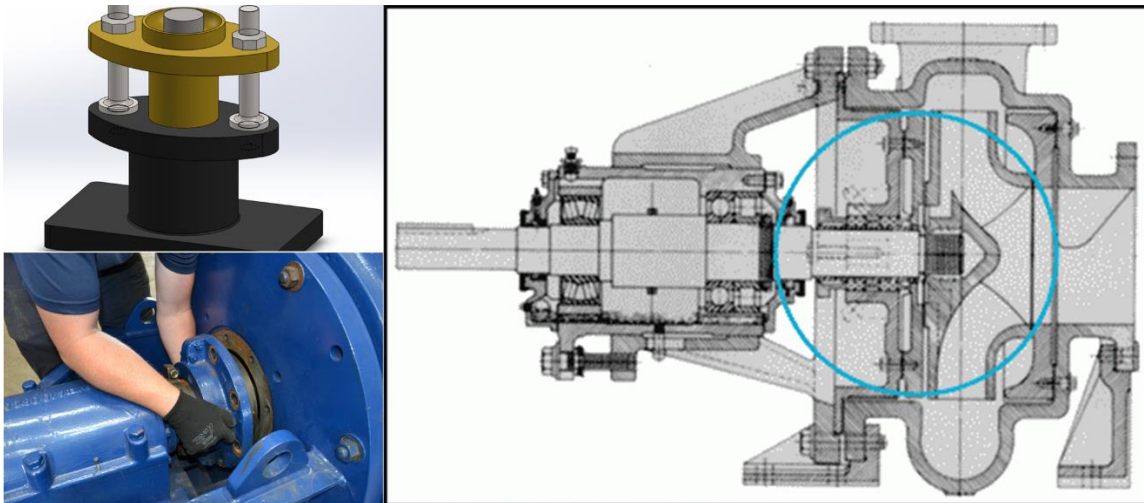


Figura 17. Caja de empaquetadura. Tomado de https://mh-mechanicalengineering.blogspot.com/2012/06/motor_6089.html, <https://grabcad.com/library/stuffing-box-parts-and-assembly-1> y <http://campaign.ksb.com/blog/why-is-slurry-coming-out-of-my-stuffing-box>



Figura 18. Sello mecánico de eje PSS para funcionar en un ambiente sucio o limoso. Tomado de <https://blogpuneet.wordpress.com/2013/11/08/stuffing-box-details/>



Figura 19. Cedazo en forma de "y". www.alibaba.com/product-detail/Casting-Steel-ASTM-A351-CF8-CF8M_60572585045.html

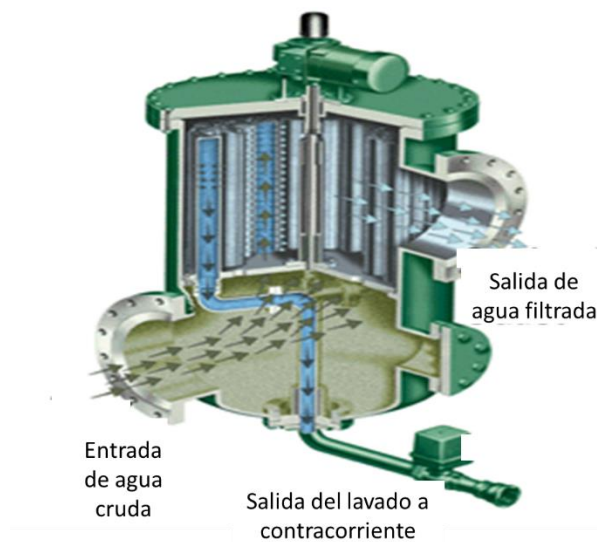


Figura 20. Cedazo auto-lavable. www.alibaba.com/product-detail/Casting-Steel-ASTM-A351-CF8-CF8M_60572585045.html



Figura 21. Cedazo dúplex. Tomado de <https://www.indiamart.com/proddetail/duplex-strainer-3523901688.html> y https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjN0c3yqNHjAhUKOq0KHZNpAgkQjRx6BAGBEAU&url=%2Furl%3Fsa%3Di%26source%3Dimages%26cd%3D%26ved%3D%26url%3Dhttp%253A%252F%252Fcm enterprisesinc.com%252Fproducts%252Ffilters-strainers-traps%252Ftitan-strainers%252F%26psig%3DAOvVaw2pl8d0_BiXyiegnrZNdtzB%26ust%3D1564186720367879&psig=AOvVaw2pl8d0_BiXyiegnrZNdtzB&ust=1564186720367879



Figura 22. Cedazo en línea. https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fimages-na.ssl-images-amazon.com%2Fimages%2FI%2F71B2B96e7dL_SX425.jpg&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.amazon.com%2FBackyard-Flock-Strainer-Fittings-Included%2Fdp%2FB07G8N6GJ7&docid=piS6LfJSyaRnM&tbnid=LZPsSgxlOqH2HM%3A&vet=10ahUKEwjfjM2nqtHjAhVKHqwKHdEUCvYQMwhDKAEwAQ..i&w=425&h=425&bih=1040&biw=1920&q=in%20line%20strainer&ved=0ahUKEwjfjM2nqtHjAhVKHqwKHdEUCvYQMwhDKAEwAQ&iact=mrc&uact=8

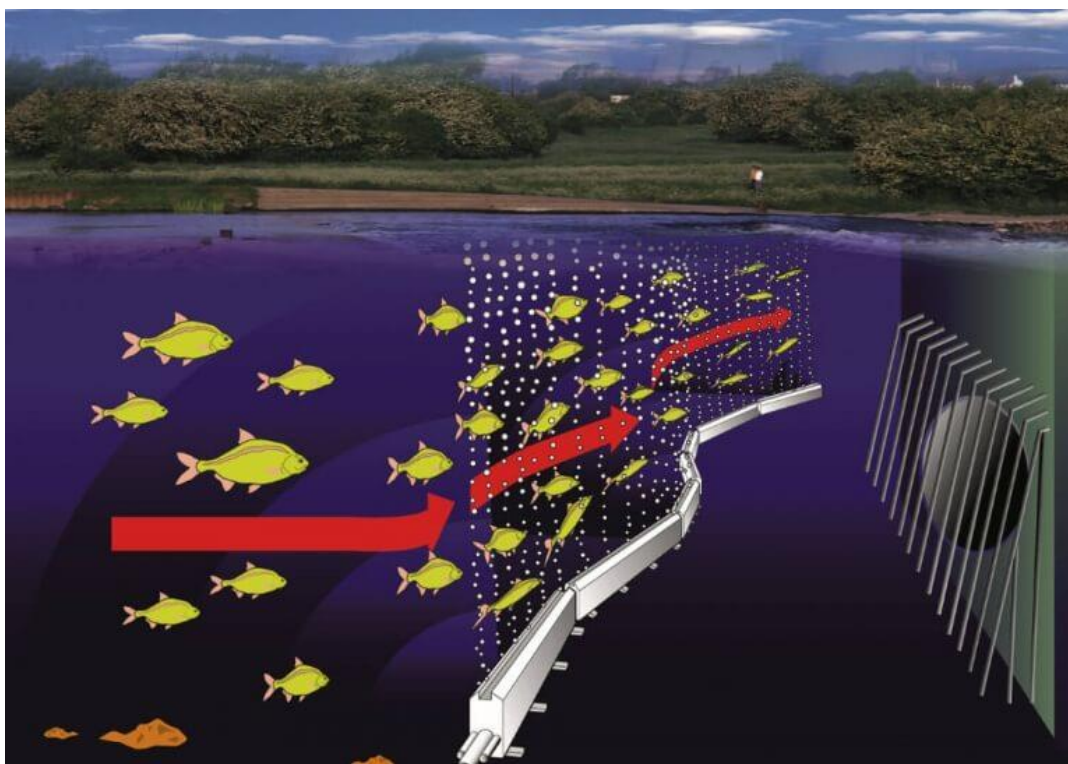


Figura 23.

Barrera para peces. <https://www.ovivowater.com/es/product/municipal/municipal-drinking-water/raw-water-intake-2/fish-guidance-system-3/ovivo-fish-guidance-system-sound-projector-arrays-3/>

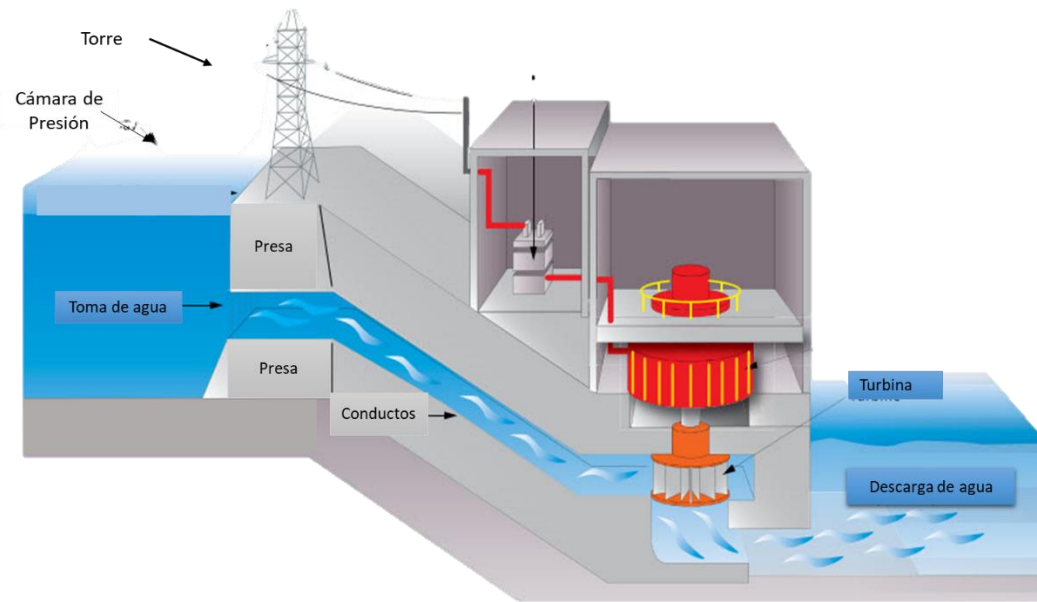


Figura 24. Esquema de una planta hidroeléctrica. Tomado de <http://ixiqi.co/image>

4.2.3 Apéndice C - Detalles de las instalaciones típicas

Pasos involucrados (instalación y recorrido del sistema)

Los siguientes pasos son los que normalmente se realizan.

1. Reúna y revise los datos del sitio.

Obtenga y examine los planos de la instalación mucho antes de la visita a las instalaciones. Esto hará que su recorrido para la inspección sea más eficiente y reducirá la cantidad de tiempo requerido por los operadores de las instalaciones. Examinar los planos con anticipación también le permitirá hacer preguntas y pedir aclaraciones, igualmente podrá identificar sistemas adicionales que deban ser examinados.

Solicite planos para todos los sistemas expuestos a agua cruda. Los tipos de planos que son más útiles son los esquemas del sistema y los planos de diseño.

Los planos tienen denominaciones variadas: Hojas de flujo, DTI (diagramas de tuberías e instrumentos) o Esquemas del sistema. Estos planos muestran qué componentes existen y cómo están ordenados entre sí, y no suelen estar a escala.

Los planos de disposición se suelen denominar planos de disposición general (DG). Algunos planos detallados pueden ser necesarios también. Estos planos muestran dónde se ubican las estructuras y los componentes y cómo se construyen. Estos planos son siempre a escala.

Tenga en cuenta que los planos pueden no estar siempre actualizados. Algunas instalaciones antiguas pueden haber sufrido cambios o mejoras a lo largo de los años que no se consideraron suficientes para justificar una actualización del plano. Cuando solicite los planos, debe solicitar los planos originales de cuando la instalación se construyó, si es que están disponibles.

Examine todos los diagramas de flujo, comprenda los subsistemas y dónde se separan de la línea de entrada de agua principal. Observe la posición de las rejillas fijas, bombas, cedazos, filtros, enfriadores, intercambiadores de calor, sistemas de aire acondicionado y cualquier otro equipo que use agua cruda para enfriar o que simplemente permita su paso.

2. Recorrido de instalaciones

Con los planos en la mano, camine por la instalación desde el punto donde entra el agua, hasta el punto en donde sale. Asegúrese de que los planos representen verdaderamente lo que hay en la instalación. A veces se hacen modificaciones, pero no se registran. A veces, los sistemas se abandonan y se retiran del servicio, pero aún aparecen como funcionales en los planos. Este recorrido se realiza mejor con un miembro del personal de mantenimiento mecánico que haya estado en las instalaciones durante varios años.

Durante el recorrido, tome nota de los materiales de construcción y anótelos en los planos. El concreto y el acero inoxidable son más propensos a las macroincrustaciones que el latón y el cobre.

Aparte de los materiales de construcción, la siguiente información importante es el ciclo de trabajo de los diversos sistemas. La forma en que se usa un sistema es tan importante como los componentes del sistema y los materiales de construcción. El ciclo de trabajo de un sistema puede muy a menudo exponer problemas que de otra manera podrían pasarse por

alto. De manera similar, el ciclo de trabajo a veces se puede usar estratégicamente para controlar los problemas de los mejillones. Las preguntas para reunir la información esencial son las siguientes:

1. ¿Qué sistemas nunca se pueden apagar, a excepción de los periodos programados para inspección y mantenimiento (por ejemplo, los sistemas de protección contra incendios, agua de refrigeración, puertas de emergencia, salidas de aire y otros sistemas de seguridad)? Estos representan los sistemas más críticos o de mayor prioridad para proteger.
2. ¿Están siempre en operación? Si el agua siempre está fluyendo en estos sistemas, ¿cuál es la velocidad de flujo en las distintas partes del sistema?
3. ¿Se llenan y están estáticos de forma intermitente? Si están estáticos y llenos, ¿cuánto tiempo permanecen estáticos?
4. Si están intermitentemente estáticos ¿durante cuánto tiempo son drenados?
5. Si hay filtros delanteros en la descarga de las bombas, ¿qué tipo de malla o apertura de malla tienen? ¿Con qué frecuencia se abren, se inspeccionan o se limpian?
6. ¿Cuál es el diámetro del tubo más pequeño en el sistema?
7. ¿Cuáles son los intercambiadores de calor más pequeños presentes?
8. ¿Se han encontrado residuos o lodo en alguna parte del sistema que transporte agua sin tratar? Describir.
9. La capacidad de enfriamiento en los intercambiadores de calor ¿es adecuada o excesiva? Quizás el agua que sale actualmente tenga una temperatura más elevada que cuando se diseñó.
10. ¿Hay signos visibles de infestación por moluscos en áreas expuestas al agua, como drenajes? (e. g. almejas asiáticas (*Corbicula* sp.), caracoles o dreisénidos).

3. Análisis

Una vez que crea que está completamente familiarizado con los sistemas de agua cruda en las instalaciones, es hora de regresar a la oficina y comparar planos con observaciones de campo para desarrollar una lista de estructuras y sistemas que probablemente se verán afectados.

En general, los sistemas que contienen rejillas fijas con pequeños huecos, tuberías de admisión estrechas que ya funcionan a toda su capacidad o tuberías de pequeño diámetro donde el agua cruda se mueve de forma crónica (o intermitente) a menos de 1.83 m/s serán áreas problemáticas. Lo que sigue es una revisión de los diferentes problemas que los macroincrustadores causan a diferentes instalaciones que utilizan agua cruda y el impacto que pueden tener en las estructuras.

Sistemas de instalaciones típicas

Toma de agua

Los sistemas de admisión abarcan grandes estructuras estáticas, como un compartimento lateral forrado de hormigón, tuberías de admisión, torres, rejillas para basura y barreras flotantes. Algunas estructuras están activas, como puertas, válvulas y equipos de limpieza de rejillas para basura. Algunas instalaciones tienen la capacidad de tomar agua de más de una fuente en diferentes momentos, cambiando entre canales, pozos o tuberías.

Agua cruda

Muchas instalaciones requieren agua, por lo general, para propósitos de enfriamiento o enjuague. Cuando esta agua se toma de la corriente principal de agua que pasa por una instalación, entonces se denomina agua cruda. El agua cruda se llevará a la instalación a través de tuberías, que a su vez se conectan a varias tuberías de derivación para brindar una variedad de funciones.

Agua de servicio

Los términos "agua cruda" y "agua de servicio" a menudo se usan indistintamente. Una buena regla general es considerar el agua como cruda hasta que pase a través de algún componente modificador que generalmente es un filtro. A partir de entonces, el agua podría considerarse agua de servicio. El agua de servicio se usa más comúnmente para enfriar, pero también se puede pasar por tuberías de pequeño diámetro en una instalación para estaciones de lavado, instalaciones sanitarias o riego de césped y jardines.

Agua de refrigeración de las unidades

Es muy común en instalaciones grandes que tienen agrupaciones funcionales específicas importantes, como turbinas o bombas grandes, duplicar estas agrupaciones de manera que juntas formen la instalación general. Cada uno de estos grupos duplicados se conoce como una unidad. Las unidades que tienen grandes demandas de agua de refrigeración generalmente tendrán un sistema de agua de servicio exclusivo denominado "agua de refrigeración de la unidad". La unidad también puede utilizar el sistema general de agua de servicio de la instalación para varias necesidades comunes. Los sistemas de refrigeración de las unidades a menudo están interconectados y también conectados al sistema global de agua de servicio para fines de redundancia y respaldo. A medida que aumenta el número de unidades y aumentan las interconexiones y el flujo global de agua dentro de la instalación se vuelve más complejo. Por esta razón, es esencial contar con personal con conocimientos de las instalaciones como parte del equipo de evaluación.

Agua doméstica

Muchas instalaciones no están ubicadas donde se dispone de agua municipal y, por lo tanto, tienen que generar su propia agua doméstica para uso potable en la cocina, duchas, estaciones de lavado de ojos, etc. Algunas veces, el agua doméstica puede ser utilizada por equipos que solo pueden funcionar correctamente con agua filtrada limpia.

Sistemas de protección contra incendios

Los sistemas de seguridad, como los de protección contra incendios, utilizan frecuentemente el agua tratada de la ciudad. En tales casos están a salvo de los macroincrustadores. Sin embargo, si extraen agua directamente de alguna fuente de agua sin tratar, son tan vulnerables como otros sistemas de agua de servicio. Los sistemas de protección contra incendios están diseñados para llenarse con agua y luego mantenerse en un estado presurizado estático. Por lo general, las estaciones de bombeo con mangueras son a menudo una fuente conveniente de agua para lavar equipos. Esto significa que se necesita un flujo constante de agua para reemplazar el volumen de agua utilizada. Este flujo de reposición es el principal punto de entrada para dreisénidos. También proporciona los nutrientes y el oxígeno necesarios para su supervivencia. Los macroincrustadores pueden ingresar a estos sistemas como larvas o incluso como adultos si no hay filtros presentes en la descarga de la bomba.

A veces, partes de los sistemas de extinción de incendios, como los sistemas de diluvio, se mantienen en un estado de drenado parcial, por lo que la ubicación del lugar donde se seca el sistema deberá ser anotada.

Además del agua de reposición para compensar el volumen de agua utilizada y las fugas eventuales, los sistemas contra incendios tienden a probarse con regularidad, a veces mensualmente. Durante estas pruebas, se extrae con frecuencia agua cruda. Dichas pruebas, si se realizan durante la temporada de reproducción del mejillón, pueden introducir larvas o macroincrustantes adultos en el sistema de protección contra incendios. Los macroincrustantes adultos pueden ser eliminados por tamices o cedazos frontales y las larvas pueden no sobrevivir si el sistema es verdaderamente estático o si hay una rápida disminución del oxígeno en el sistema.

Drenaje y sumideros

Las tuberías y sumideros del drenaje a menudo se pasan por alto a pesar de estar en riesgo de colonizarse fácilmente con mejillones (Fig. 25 y 26). Por lo general, la tubería del drenaje y los sumideros no amenazan la operatividad de una instalación, pero pueden ser una molestia operacional si están infestados. Los desagües abiertos y los sumideros a menudo pueden ser buenos lugares para buscar la presencia de mejillones, así como otras especies indicadoras, como almejas y caracoles.

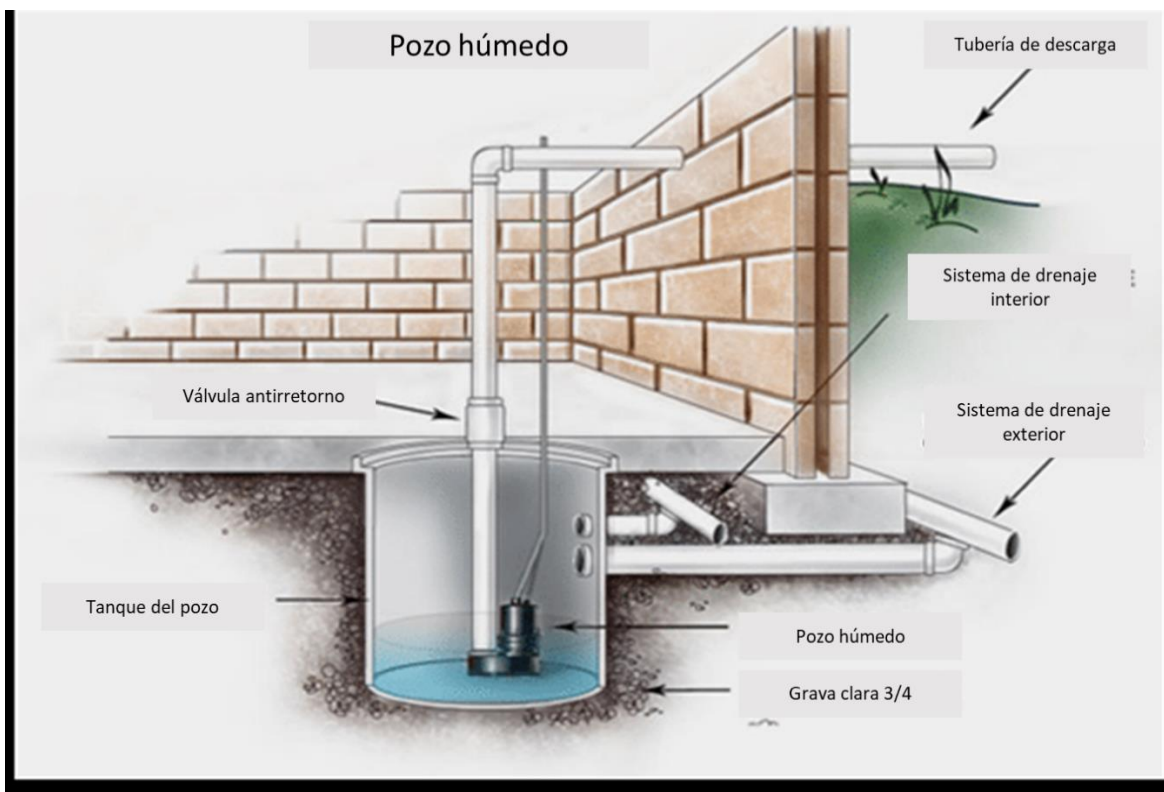


Figura 25. Estructura de los pozos húmedos. Tomado de <https://i3j6n7j3.stackpathcdn.com/wp-content/uploads/2017/01/Sump-Pump-illustration.png>



Figura 26. Pozo húmedo. Tomado de <https://www.h2oflowtech.co.uk/wet-well-cleaning-and-jetting>

HVAC

Los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (*Heating, ventilating and air-conditioning systems* - HVAC) emplean una gran variedad de tecnologías. Algunos sistemas utilizan aire como medio para intercambiar calor y no correrán el riesgo de problemas con los mejillones. Otros sistemas utilizan agua cruda para enfriar el aire o un refrigerante, y en climas muy secos, el agua cruda se puede usar en enfriadores evaporativos.

Los sistemas HVAC normalmente sólo están asociados con la comodidad del personal y, por lo tanto, el deterioro del sistema no suele ser un problema operacional de alta prioridad. Sin embargo, en ocasiones las áreas de las instalaciones tienen salas con equipos de control esenciales, generalmente de naturaleza eléctrica, que generan calor y requieren refrigeración ininterrumpida. Estas áreas deberán examinarse para asegurarse de que el

agua cruda utilizada esté protegida contra el deterioro que pudieran ocasionar los mejillones.

Aire comprimido

El aire comprimido puede ser parte esencial en un sistema operacional de una instalación para hacer funcionar los actuadores de válvulas y mantener la supresión del nivel de agua para las turbinas de arranque rápido (*i. e.* con reserva de giro). Los sistemas de aire comprimido comúnmente dependen del agua de enfriamiento para los enfriadores intermedios. Más raramente, los motores del compresor pueden tener baleros enfriados por agua o incluso motores enfriados por agua.

Descarga

La descarga de agua de una instalación no suele ser una preocupación tan importante como el resto de los sistemas. El agua tiende a ser más turbulenta al salir en una tubería de descarga de la planta de energía o de la tubería de descarga de la estación de bombeo y las liberaciones generalmente se realizan a través de estructuras muy grandes y de alta capacidad.

Instrumentación y control

El desempeño y la condición de todos los sistemas son monitoreados y ajustados por los operadores de las instalaciones utilizando los sistemas disponibles de instrumentación y control (I&C). Los medidores de nivel, visores, medidores de flujo, transmisores de presión y varios tipos de válvulas de control son ejemplos de equipos en los sistemas I&C. Normalmente, el equipo y la tubería son pequeños en relación con los sistemas de proceso con los que están asociados. Su pequeño diámetro los hace particularmente vulnerables a los mejillones. El equipo puede estar en contacto con el agua cruda, pero puede no tener

ningún flujo, como un grifo de presión. La línea de instrumentos que va desde la tubería al transductor de presión puede no estar en riesgo si no hay oxígeno en la línea debido a que no hay flujo. La entrada al grifo de presión se convierte entonces en el área de preocupación. Si se enchufa el grifo, el instrumento podría volverse poco confiable.

Componentes y estructuras dentro de los sistemas.

Estructuras de toma de agua

Tomas de agua profunda

Las tomas que extraen agua de una profundidad mayor a 90 pies (27.432 m) generalmente experimentarán la menor cantidad de incrustaciones por los dreisénidos. Esto se debe principalmente a tres factores. En la mayoría de los casos, las profundidades mayores de 27.432 m contienen agua que es permanentemente más fría que las profundidades menores. Esta área se describe como debajo de la termoclina. El agua entrante será mucho más fría que la que está por encima de la termoclina durante la temporada reproductiva y las bajas temperaturas ambientales se traducen en un crecimiento más lento de los moluscos. En segundo lugar, los nutrientes disponibles y fitoplancton pueden estar limitados. La luz a 27.432 m de profundidad será muy baja en la mayoría de los casos, lo que limitará el crecimiento de algas verdes (la principal fuente de alimento para la mayoría de los moluscos). El tercer factor moderador es que el número de velígeras viables que llegan a la toma de agua puede ser limitado dependiendo del perfil del fondo del lago o del reservorio y de los patrones de circulación que existen. Además, la temperatura ambiente del agua puede estar por debajo de la temperatura mínima requerida por las larvas.

No obstante, incluso las que tomas extraen agua de gran profundidad deben evaluarse individualmente. La zona de extracción y la hidrodinámica del embalse general deben considerarse cuidadosamente. Por ejemplo, en la presa Hoover, Colorado, el agua ingresa a la presa a través de cuatro compuertas separadas. Cada compuerta tiene su propia torre de admisión cilíndrica, una apertura de admisión segmentada en dos profundidades de

agua diferentes, con compuertas para cada apertura segmentada y rejillas para basura colocadas en centros de 3" (7.6 cm). Una de las torres de admisión se desaguó y las superficies internas de la torre se inspeccionaron a finales de 2007. Casi toda la superficie interna de concreto de la torre de admisión fue colonizada por mejillones quagga. Hubo un gradiente de densidad de incrustaciones, con la mayoría de las incrustaciones observadas entre los 60 y 90 pies (18.3-27.432 m) superiores de la torre. El establecimiento disminuyó a medida que aumentaba la profundidad, pero fue sólo a 200 pies (\approx 61 m) por debajo del nivel del lago que no vieron ningún otro establecimiento en las paredes de la torre. Sin embargo, las compuertas que fueron alimentadas desde estas torres de admisión y que estaban aproximadamente a 61 m por debajo del nivel del lago tenían establecimientos sustanciales en todas las paredes. La principal razón de esto parece haber sido la extracción de agua relativamente cálida y rica en nutrientes de la profundidad de 18.3 m que contenía un gran número de larvas velígeras de dreisénidos.

En algunas presas del sur de los EE. UU. donde el agua se extrae del fondo de la presa el oxígeno disuelto puede disminuir drásticamente en ciertos momentos del año, lo que impide la supervivencia de los dreisénidos en estas tomas.

Tomas de agua profundidad moderada

Las tomas de agua que son de diámetro relativamente pequeño (24 a 72 pulgadas, 61 a 183 cm), situadas en los 27.432 m superiores de agua y muy largas (varios cientos de metros) son particularmente vulnerables. El extremo de la toma en el lago generalmente termina en una rejilla fija o reja para basura diseñada para excluir los desechos grandes. El agua fluye a través de la rejilla, la mayoría de las veces por medio de gravedad, generalmente a una estación de bombeo. Es probable que la rejilla de admisión sea el punto más visible de incrustaciones. Los mejillones pueden cerrar los espacios entre los barrotes de las rejas fácilmente y disminuir la capacidad de entrada del agua.

En la misma entrada, incluso antes de que los mejillones que cubran completamente el interior de las tuberías de admisión reduciendo la cantidad de agua que la tubería puede

transportar, llegan a aumentar la fricción y la turbulencia del flujo al aumentar la rugosidad de la superficie de la tubería. Durante el diseño de la toma de agua, la rugosidad del material se incorpora a los cálculos de diámetro requeridos (utilizando la fórmula de Hazen y Williams) como el factor "c" (o coeficiente de fricción) para determinar el tamaño de la tubería requerida para satisfacer los requisitos de capacidad de descarga. Cuando la rugosidad aumenta debido al establecimiento de mejillones, disminuyen los caudales y las plantas que bombean agua cerca de su capacidad diseñada tendrán problemas para satisfacer la demanda. En los Grandes Lagos se ha demostrado que el aumento de la rugosidad y la disminución de la capacidad se registraron en las cuatro semanas posteriores al inicio del establecimiento de los mejillones cebrá, cuando las densidades aumentaron de 0 a 6,000 ind/m².

Toma de agua superficial y poco profunda

Para las plantas que tienen tomas de diámetro muy grande o que utilizan una toma de superficie, a menudo la infestación de mejillones solo causa problemas cuando el agua cruda llega al cárcamo de bombeo. Antes de la entrada al cárcamo de bombeo, se usan con frecuencia rejas fijas para filtrar la basura, con el fin de evitar la entrada de grandes escombros flotantes. Las rejas para filtrar la basura son a menudo la primera estructura visible con incrustaciones cuando se comienzan a incrustar los mejillones. En la planta de energía de Monroe, las rejas para basura con espacios de 3 pulgadas (7.6 cm) se cubrieron rápidamente de mejillones en menos de cuatro meses. Como resultado más del 75% de la superficie de filtración fue ocluida. En cualquier lugar debajo de los primeros 6 pies (1.83 m), la capa de mejillones llegó a cubrir el espacio de 3 pulgadas (7.6 cm) entre las barras verticales, y también se extendió hasta 6 pulgadas más allá del lado corriente abajo de la reja. Desde entonces, se han reportado observaciones similares en varias industrias de diferentes ubicaciones geográficas.

Es común colocar barreras flotantes de superficie en el área próxima a una toma. Estas barreras pueden servir para evitar que grandes objetos flotantes alcancen la entrada o se

colocan para evitar que las embarcaciones se acerquen demasiado a la entrada. A veces, se sujetan redes a estas barreras flotantes para evitar que los peces entren en las instalaciones. Un gran problema es que cuando comienzan las bioincrustaciones los flotadores se comienzan a hundir por el peso de los mejillones y ya no pueden cumplir con su función.

En climas más fríos, las tomas poco profundas o las rejillas en las tomas de superficie pueden desarrollar un problema secundario de hielo debido a la presencia de organismos macroincrustantes en la rejilla de admisión. En la planta de agua de Monroe, Michigan, la población de mejillones cebra en y alrededor de la entrada de agua cruda contribuyó en gran medida a la formación de hielo, que a su vez interrumpió el flujo de agua cruda durante más de 56 horas. Es probable que los cambios de velocidad y los flujos turbulentos creados por la población de mejillones cebra hayan facilitado el desarrollo del hielo.

Compuertas

Las compuertas son las estructuras de admisión de agua especializadas que se encuentran en muchas plantas hidráulicas. Canalizan el agua entrante a través de una caída vertical hacia las turbinas. Aunque durante la máxima capacidad operativa, las velocidades de flujo en las compuertas son generalmente demasiado grandes para que los mejillones se asienten, durante las interrupciones breves o durante los picos de potencia operacionales (cuando el agua tiende a acumularse), el establecimiento de las larvas puede ser posible si la compuerta no se desagua. Normalmente, una compuerta alimentará una turbina y, por lo tanto, el flujo de la compuerta se puede detener según la demanda de la red. Sin embargo, en la presa Hoover cada compuerta suministra varias unidades a través de líneas laterales. Si no todas las unidades están operando (lo que es típico de las plantas de energía con picos máximos o plantas que suministran una reserva de funcionamiento), las velocidades de la compuerta se reducen considerablemente permitiendo el establecimiento (como se observó en la presa Hoover).

Durante los cortes más prolongados, especialmente en aguas cálidas, la caída de oxígeno disuelto en el agua dentro de la compuerta puede ser suficiente para evitar que se produzca un establecimiento.

La infestación de mejillones en la compuerta daría lugar a un aumento de la rugosidad hidráulica, lo que se traduciría en una pérdida de producción de energía. Además, en climas fríos, la compuerta puede estar sujeta a la formación de hielo, como se describió anteriormente.

Es importante identificar las salidas de aire de la compuerta. Las partes humedecidas de la tubería de estas salidas de aire pueden ser ubicaciones de establecimiento de los mejillones, ya que normalmente no hay flujo de alta velocidad en la rama de ventilación. Es necesario confirmar la operación de ventilación de aire prevista (es decir, saber con qué fin se ha establecido la ventilación en ese lugar, incluido el drenaje, llenado y/o cierre de la puerta de emergencia) y considerar la posibilidad de reducir la capacidad de ventilación.

Rejas para detener la basura, rejillas, mallas

La mayoría de las rejas para detener la basura se consideran de alto riesgo en el establecimiento de los mejillones. De aquí que sea muy importante determinar la accesibilidad de las rejas con el fin de limpiarlas ya que de otra manera se afectaría la estrategia de control y los requisitos de protección de las instalaciones. Ante esta situación se debe cuestionar lo siguiente: ¿Se pueden retirar las rejas fácilmente para llevar a cabo su limpieza? ¿Están expuestas ocasionalmente debido a los cambios en el nivel del agua?, momento en el cual la limpieza sería más fácil ¿Cómo pueden ser inspeccionadas o monitoreadas para verificar si se empezaron a acumular los mejillones o si han alcanzado un nivel en el que se requiere una intervención de limpieza? Las rejas para detener la basura pueden ser buenas candidatas para recubrimientos anti-incrustantes o de liberación de incrustaciones (desincrustante) (ver sección 9.2 en PNUD México, 2019).

Con frecuencia hay mallas diseñadas para excluir peces y escombros flotantes más pequeños de las tomas de agua. Estas son a veces mallas de desplazamiento que giran a intervalos frecuentes y los residuos acumulados son lavados por un sistema de auto-lavado de malla. Estas mallas pueden tener una apertura tan fina como de 1 mm y tan gruesa como de 13 mm. Si bien las mallas en sí mismas no suelen ser colonizadas debido a su rotación dentro y fuera del agua, las estructuras de soporte suelen ser infestadas. Obviamente, la colonización severa de las estructuras de soporte puede interferir con la eficacia del funcionamiento de la malla. Además, cuando las tomas, canales de admisión o compartimientos previos tienen una alta densidad de mejillones adultos, los mejillones tienden a formar grupos que están sujetos a desprenderse y desplazarse por la corriente. Cuando se desprenden así, tienden a rodar por la parte inferior con la corriente y con frecuencia inciden en las mallas obstruyéndolas. Estos grupos se deben eliminar de las mallas mediante el sistema de lavado, ya que de otra manera se pueden trasladar y caer de la malla al pozo de la bomba que se está protegiendo.

En la mayoría de las situaciones, las rejillas de admisión son fijas y similares a rejas para detener la basura y requerirán un sistema de limpieza periódica o continua (Fig. 27 y 28).

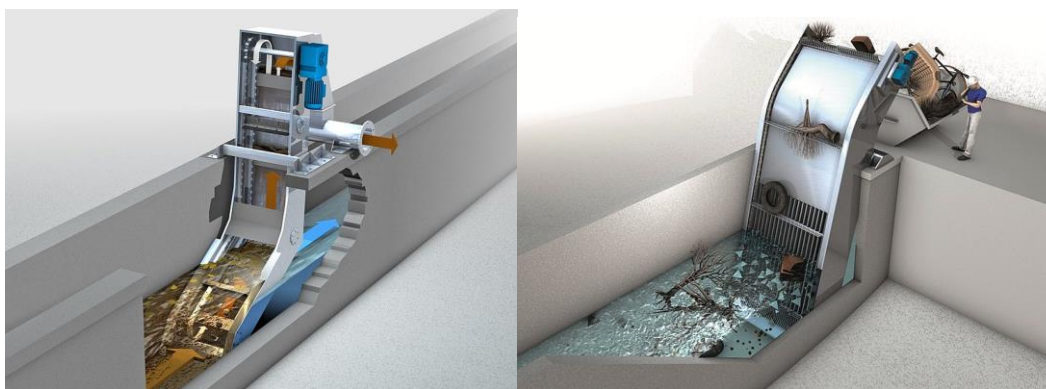


Figura 27. Rejas móviles para detener la basura. Tomado de Hubber Technology (<https://www.hubber.de/es/productos/tamizado-de-aguas/tamices-de-chapa-perforada-y-rejas/hubber-reja-de-gruesos-rakemaxr-hf-high-flow.html>).



Figura 28. Rejas de basura infestadas de mejillón quagga. Tomado de Stephen, 2013.

Puertas, registros de parada

Las puertas de aislamiento o de emergencia a menudo están suspendidas sobre el agua por encima de una abertura. Las incrustaciones en la puerta podrían interferir con la inserción adecuada de la puerta. La incrustación de mejillones en los registros de acero de la guía sobre la que se desliza la puerta que generalmente tienen forma de canal podría dificultar el sellado correcto de la puerta, especialmente si se incrustan.

Pozos y Sumideros

La acumulación de mejillones en los flotadores del sumidero podría ocasionar una detección del nivel de agua errónea o poco confiable. De aquí que los flotadores y el sumidero deban inspeccionarse a intervalos regulares. Los mejillones generalmente se asientan en las partes externas de las carcasas de las bombas sumergidas y en las paredes del sumidero a niveles por debajo del interruptor de cierre de nivel.

Dentro del cuarto de bombas, los pozos en donde éstas se sitúan están generalmente hechos de concreto y, por ende, sujetos a una fuerte colonización por los dreisénidos. Las paredes, así como las campanas de las bombas que se sumergen en el agua y a través de las cuales se extrae el agua, pueden ser la fuente de acumulaciones de mejillones adultos y de

conchas individuales en los sistemas posteriores, si esos sistemas no están protegidos por cedazos frontales. Las bombas de protección contra incendios, que suelen estar ubicadas en el cuarto de bombas, son motivo de especial preocupación ya que estas deben estar listas para operar en cualquier momento.

El agua en los sumideros puede ser a menudo varios grados más elevada que el agua cruda. Por esta razón los mejillones pueden crecer más rápidamente en el sumidero que en otras áreas con agua más fría. A la inversa, cuando el agua cruda tiene una temperatura elevada la temperatura menos elevada del sumidero puede evitar el crecimiento de los mejillones.

Bombas y turbinas

En las estaciones de bombeo grandes el sistema de agua del sello del eje de la bomba a menudo se alimenta con agua filtrada sólo durante el arranque de la bomba. Por lo que, durante el funcionamiento normal, la cavidad del sello puede quedar expuesta a pequeños fragmentos de concha y se puede experimentar un mayor desgaste. Además, poco a poco la cavidad del sello se convierte en un área de establecimiento para los mejillones. En función de lo anterior es necesario verificar si la cavidad del sello tiene un procedimiento de inspección y limpieza provisto por el fabricante del sello y si recomienda inspecciones cuando la temperatura de la cavidad del sello supere los niveles permitidos.

Todas las bombas tienen motores enfriados por aire o por agua. Si los motores se enfrían con aire los dreisénidos no deben afectar su funcionamiento. Sin embargo, si los motores están refrigerados por agua, como ocurre con muchas de las bombas más grandes, es posible que las bovinas del motor, los baleros de empuje y guía del motor, el balero guía de la bomba y el sello del eje de la bomba requiera agua de refrigeración. La mayoría del agua de refrigeración para tales aplicaciones se pasa a través de diferentes filtros.

Los cedazos son efectivos para evitar que los mejillones adultos o las conchas de los mejillones causen problemas de obstrucción al entrar en el sistema de tuberías. Sin

embargo, las velígeras pueden pasar fácilmente por los filtros y pueden establecerse en áreas de la tubería que no están hechas de cobre o aleación de cobre.

Si el sistema de agua del sello del eje de la bomba no se alimenta con agua filtrada, la cavidad de sellado en los sellos mecánicos y la cavidad del anillo de linterna en las cajas de empaquetadura pueden convertirse en áreas de fijación para los mejillones, por lo que deberán inspeccionarse y limpiarse si las temperaturas de la cavidad del sello llegan a aumentar por encima de los niveles permitidos.

Las bombas y las turbinas suelen tener anillos de desgaste en el borde de las piezas giratorias. Estos anillos de desgaste son de un material resistente. Sin embargo, ante un desgaste normal la presencia de conchas de mejillón podría aumentar la tasa de desgaste en los anillos. Por esta razón se deberá alertar a la planta de tratamiento sobre la posibilidad de un aumento en las tasas de desgaste de los anillos.

Las turbinas tienen baleros de guía y, al igual que las bombas grandes, los baleros generalmente están lubricados con aceite que proviene de enfriadores de aceite enfriados por agua. Los baleros del generador también necesitarán agua de enfriamiento. Como es de esperarse, los enfriadores de aceite estarán en riesgo de deterioro por las conchas de mejillón. Las turbinas pueden tener sellos de eje que requieren del paso del agua para enfriarse. Si los pasajes del sello se bloquean con las conchas de los mejillones, los componentes del sello pueden sobrecalentarse y dañarse. El agua que se escape del sello del eje se deberá coleccionar y drenar aparte, ya que las velígeras son lo suficientemente pequeñas para pasar a través del espacio entre el eje y el sello y la tubería del drenaje estaría en riesgo de incrustación de los mejillones.

Los elementos de precaución señalados anteriormente son sumamente importantes, por lo que de no atenderse pueden ocasionar fallas graves. Por ejemplo, los sellos en las bombas de lodo usadas para la eliminación de cenizas fallaron en 10 ocasiones en la planta de Monroe durante 1989 debido a que el suministro de agua a los sellos se bloqueó por las conchas de los mejillones (Fig. 29).



Figura 29. Turbina infestada por mejillones cebra. Tomado de <https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&ved=2ahUKEwik9N3BhdPjAhUKUK0KHWRLBucQjRx6BAgBEAU&url=https%3A%2F%2Fstateimpact.npr.org%2Ftexas%2F2013%2F06%2F18%2Fhow-zebra-mussels-could-raise-your-water-bill%2F&psig=AOvVaw23KmtN85PLT7vylEAeT1iV&ust=1564246239801469>

Tuberías

A medida que el agua ingresa a los diversos sistemas también lo hacen las larvas que nadan libremente durante la temporada reproductiva por lo que los mejillones pueden establecerse en las tuberías. El material de construcción de las tuberías es muy importante. Así, todas las tuberías de acero de carbono, acero inoxidable, aluminio y concreto presentan riesgo de establecimiento. Mientras que las tuberías de cobre y las de aleaciones con alto contenido de cobre tienen un riesgo mucho menor de incrustación.

La mayoría de los sistemas en cuestión están compuestos por tuberías de pequeño diámetro (generalmente de 8 pulgadas o menos) donde las velocidades del agua son

menores a 6 pies/s (183 cm/s). Bajo tales condiciones las larvas pueden establecerse y comenzar a crecer, lo cual a su vez crea condiciones para un mayor establecimiento. El desarrollo posterior de colonias densas, a su vez, disminuirá la cantidad de agua disponible para el sistema de la planta.

Inclusive en algunos casos las áreas diseñadas para sostener tasas de flujo lo suficientemente altas como para impedir la adhesión se han encontrado llenas de mejillones juveniles. Esto puede suceder durante interrupciones parciales o de corto plazo cuando los flujos se reducen por un período de tiempo.

Las tuberías de pequeño diámetro incrustadas son motivo de especial preocupación porque, en la mayoría de los casos, no están accesibles para la limpieza convencional.

Por otra parte, es necesario identificar el cruce de las conexiones de las tuberías entre los sistemas. Cuando las conexiones normalmente están cerradas los mejillones pueden asentarse en el cruce de las conexiones de las tuberías y bloquear el flujo.

La chimenea de equilibrio o pozo de oscilación es una estructura complementaria en algunas centrales hidroeléctricas y estaciones de bombeo destinada a absorber los cambios de presión causados por el golpe de ariete en galerías o túneles. Estos grandes tanques de almacenamiento usados para neutralizar la presión son casos especiales que requieren una tubería con un gran diámetro. Las partes mojadas del tanque constituyen un riesgo en el establecimiento de los mejillones. En particular, si la entrada al tanque se tapa parcialmente la tubería tiene un riesgo mayor de golpe de ariete. Por otra parte, si el tanque también sirve como respiradero, entonces puede existir un mayor riesgo de colapso de la tubería a menos que la entrada al tanque se mantenga libre.

Instrumentos relacionados con la tubería

Las estaciones de medición y los pozos de flotación se utilizan para determinar los niveles de agua y el movimiento de agua entre los cuerpos de agua del sistema. Estas estaciones de calibración o estaciones de aforo suelen incluir una línea de toma regulada por un grifo,

una sección de inmovilización y otra de flotación. La tubería de entrada podría colonizarse con mejillones, lo cual podría afectar la precisión de la estación de medición donde hay cambios frecuentes o repentinos en el flujo y los niveles. Para lugares donde los caudales y los niveles de agua cambian muy lentamente, es posible que no haya una reducción en la precisión, ya que una tubería obstruida aún permitiría que el agua se filtrara hacia el pozo de amortiguación. Sin embargo, los flotadores podrían tener suficientes mejillones unidos de manera que las lecturas de nivel se volverían poco confiables.

Cualquier instrumento que use agua cruda o entre en contacto con agua cruda podría facilitar el establecimiento de los mejillones. Si las líneas no tienen flujo, como las líneas de detección de presión, es probable que el establecimiento se produzca cerca del extremo del grifo de la línea donde hay oxígeno y nutrientes disponibles para los mejillones.

Cualquier instrumento en contacto directo con agua cruda, como medidores de nivel o medidores acústicos de flujo, tiene un riesgo alto de infestación. Algunos pozos de detección de nivel basados en flotadores también tienen instrumentación que no entra en contacto con aguas crudas como respaldo. El personal de operación de la instalación debe estar informado que las discrepancias en la lectura pueden deberse a mejillones en los flotadores.

Las estaciones de muestreo de agua deberán tener un flujo regular para fines de análisis, consecuentemente la tubería de admisión está particularmente en riesgo en este equipo.

Intercambiadores de calor

El mayor volumen de agua (hasta el 90% del total) que ingresa en plantas industriales y de generación de energía es para enfriamiento y transferencia de calor. El resto del volumen se utiliza para procesos de la planta distintos, como sistemas de aporte de vapor, limpieza, aire acondicionado, protección contra incendios y consumo humano. Todos los sistemas son vulnerables a las macroincrustaciones en mayor o menor grado.

Las cámaras de entrada y salida de los enfriadores están generalmente en riesgo de fijación de las velíferas a menos que estas partes de los componentes estén hechas de cobre o aleación de cobre. Lamentablemente, las aleaciones de cobre pueden acumular una biopelícula que generalmente no es deseable para el rendimiento del intercambiador de calor. Sin contar que, si se permite que se forme una biopelícula, los mejillones pueden adherirse a la ésta. Los mejillones así unidos son fáciles de quitar, pero si se dejan crecer las colonias pueden soltarse y taponear las tuberías.

Además, la cámara de admisión de un enfriador suele ser un área de captación para los mejillones y conchas vacías que logran encontrar su camino a lo largo de la tubería aguas arriba, por lo que el material de las conchas puede acumularse gradualmente en la cámara, bloqueando los tubos y provocando un rendimiento deficiente de los enfriadores. De tal manera que, si se detecta un rendimiento deficiente del enfriador, se debe informar al personal de mantenimiento que la acumulación de las conchas de los mejillones es una posible causa. Deben seguirse las recomendaciones del fabricante o los procedimientos operativos existentes para aislar la causa del rendimiento deficiente, inspeccionar el intercambiador de calor para detectar incrustaciones eventuales de mejillones y limpiar el intercambiador de calor (Fig. 30).

Como norma general, si las temperaturas en el agua de refrigeración son inferiores a 90 ° F (32.22 °C), el flujo de agua es inferior a 6 pies/s (183 cm/s) y los tubos no son de cobre, entonces los tubos del intercambiador de calor podrían convertirse en áreas de establecimiento para los mejillones.

Intercambiador de calor Casco-Tubo

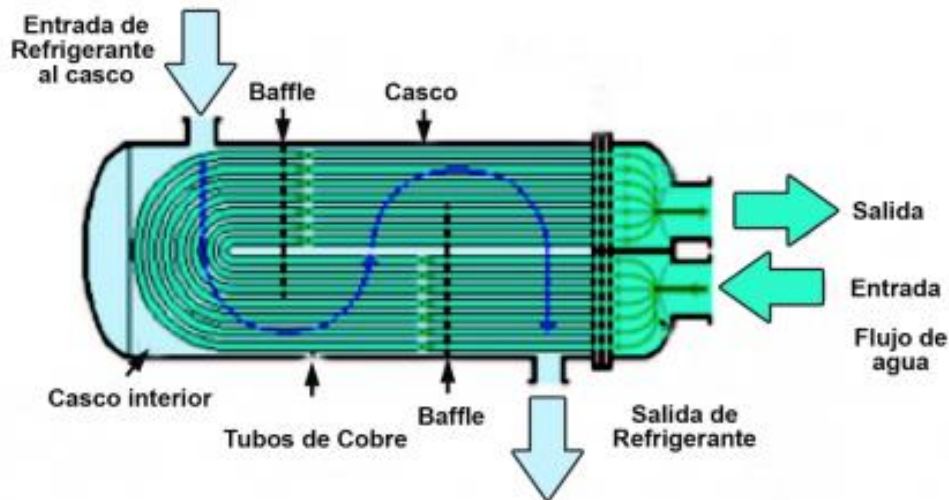


Figura 30. Estructura interna de un intercambiador de calor (Tomado de <https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&ved=2ahUKEwjWnt6Yk73jAhWIZM0KH3aDCUQjRx6BAgBEAU&url=http%3A%2F%2Fwww.climayoreo.com%2Fblog%2Ftipos-de-intercambiador-de-calor-para-enfriadora-de-l%25C3%25ADquido-casco-tubo-y-placas&psig=AOvVaw2E3F5oBkxUxE0lrjnWBw2p&ust=1563493952982535>)

Válvulas

El desarrollo de colonias densas pone en riesgo el correcto funcionamiento de las válvulas, en particular de aquellas válvulas que no funcionan con frecuencia. Por ejemplo, en una instalación, una válvula de mariposa de 4 pulgadas no se pudo cerrar porque el disco estaba completamente cubierto por mejillones. Incluso si una válvula se cierra, puede haber fugas como resultado de las conchas de mejillón atrapadas.

Por otra parte, las válvulas se colocan a menudo en serie y la cavidad entre cámaras puede tener una línea de ventilación y una línea de equilibrio de presión, por lo que se corre el riesgo de que cualquiera de estas o ambas puedan ser inutilizadas por la obstrucción de los mejillones.

Cedazos y Filtros

Los mejillones adultos que puedan introducirse en el sistema o que se hayan desprendido de ubicaciones aguas arriba continuarán moviéndose corriente abajo hasta que un filtro en la línea impida más movimiento. En consecuencia, en esos lugares, se pueden formar grandes agregados de mejillones e incluso cuando la infestación general es ligera los filtros pueden limitar el flujo al sistema corriente abajo y causar alteraciones inesperadas en la totalidad del sistema.

Incluso los filtros auto-limpiables pueden presentar riesgos. De aquí que sea importante comprobar el ciclo de trabajo del filtro. Si hay paros periódicos del sistema, los mejillones pueden comenzar a crecer en el lado corriente abajo del filtro y generar una fuente de mejillones que normalmente se esperaría que el filtro pudiera retener.

Cuando se realiza una inspección de campo, generalmente es una buena idea inspeccionar varios filtros (aunque sea de manera aleatoria) para detectar la presencia de mejillones y conchas vacías.

Materiales de construcción

Los mejillones se adhieren a casi cualquier material de construcción. Los materiales típicos como el concreto, el acero de carbono y el acero inoxidable son todos buenos sustratos de fijación para los mejillones. Otros materiales menos comunes, como el aluminio, la madera y los plásticos, también pueden servir como sustratos para su establecimiento.

Cuando se retiran los mejillones del acero y el aluminio, a menudo se dejan los hilos del biso. La interfaz metal/hilo del biso puede servir como un sitio para corrosión. En contraste, el cobre y el estaño resultan tóxicos para los mejillones, aunque el estaño no es muy común como material de construcción. Ocasionalmente los mejillones pueden encontrarse cubriendo material de cobre. Esto ocurre típicamente en áreas de bajo flujo donde se ha acumulado una película en el cobre, lo que permite que los mejillones se adhieran a la película y no al cobre. Los mejillones son generalmente fáciles de quitar de las superficies

de cobre donde logran asentarse debido a la biopelícula. El cobre debe mantenerse limpio, principalmente por el flujo, para que los mejillones queden expuestos a los iones de cobre.

A los mejillones se les dificulta establecerse en áreas donde hay limo cubriendo el material, la razón es que el limo se puede mover, ocasionando que los mejillones se desprendan. Además, el limo puede cubrir a los mejillones que se han fijado causando mortalidad.

Presas, embalses y acueductos

Existen muchas estructuras en América del Norte que suministran agua, proveen vías de navegación interior, regulan niveles de agua, controlan los flujos de inundaciones o suministran agua a usuarios industriales.

También se incluyen en esta sección los embalses, los estanques de retención, los estanques de recarga, los sifones, los diques y los canales.

Todas las presas tienen obras de salida. Estas cámaras de salida tienen un lado aguas arriba (presión del dique) y un lado aguas abajo (descarga). Las rejas para contener la basura y el túnel aguas arriba deben tenerse en especial consideración ya que generalmente resulta muy difícil drenar estas áreas. El túnel corriente abajo también puede estar en riesgo de establecimiento de los mejillones, pero generalmente tiene mayor facilidad de acceso para la limpieza. Las compuertas de presión deben ser consideradas, así como cualquier tubería entre las cámaras y líneas de ventilación.

Las estructuras que dependen de puertas móviles para regular el flujo de agua deben considerarse como susceptibles para el impacto de los dreisénidos, ya que los mejillones pueden colonizar el exterior y el interior de las puertas sumergidas, con lo que aumentaría su peso. Si los parámetros de diseño del equipo de elevación no pueden hacer frente a mucho peso adicional, las puertas podrían quedar inoperables. El sellado incorrecto también es una preocupación si las juntas alrededor de las puertas están colonizadas. Además, los desagües pequeños asociados con las puertas sumergibles pueden obstruirse al igual que los orificios de drenaje.

Los sistemas de medición de nivel generalmente requieren líneas de agua cruda de diámetro pequeño que se conectan al equipo del sensor. Por supuesto, estos podrían ser colonizados y afectar el rendimiento o el tiempo de respuesta de los medidores. Si se utilizan sistemas de medición tipo flotador, la acumulación de los mejillones en el flotador generará un error de lectura de nivel. Si se permite que los mejillones impacten completamente dichas estructuras, es posible que las represas no puedan controlar los niveles de agua según se requieran.

Los embalses suelen tener grandes fluctuaciones de nivel anualmente. Los cambios de nivel a veces se pueden utilizar para ayudar a controlar la infestación de los mejillones a través de la desecación durante los cambios normales de nivel. Las estructuras flotantes dentro de una presa deben identificarse, ya que cambiarán de nivel en conjunto con el nivel de la presa y podrían servir de inóculo cuando aumenten los niveles.

Todas las presas están equipadas con tubos de desagüe. Estos tubos de desagüe recolectarán el agua que pasa a través de la pared de la presa. Las velígeras de los mejillones pueden viajar con la filtración normal de la presa por los tubos de desagüe donde podrían establecerse y crecer. Aunque la ocurrencia de este tipo de establecimiento es rara, se ha documentado en las instalaciones de algunas presas.

Las presas incorporan tuberías de drenaje en los cimientos de levantamiento. En general, se espera que el agua en estas tuberías sea una filtración de agua subterránea por lo que no sería probable el transporte de los mejillones. Además, la filtración del yacimiento de la presa que se dirige a las tuberías pasa a través del material de la base de la presa, que normalmente asfixia a los mejillones. Sin embargo, es importante discutir el papel de estas tuberías con el personal de la presa y confirmar que el agua cruda no pueda llegar al drenaje.

Las estructuras de presas cuentan con un riguroso programa de inspección. En el improbable caso de que se acumulen suficientes mejillones para restringir el flujo de drenaje, el drenaje reducido deberá colectarse durante las inspecciones de rutina frecuentes por parte del personal de la represa. En este caso será importante que el

personal de la presa esté familiarizado con la manera en que se identifican los mejillones y cuáles podrían ser las consecuencias de su presencia.

A veces la filtración a través de la presa drena en un sumidero. Por lo que los sumideros podrían convertirse en un área de inspección ideal para verificar la presencia de mejillones. Los mejillones generalmente se establecen en las partes externas de las carcasas de las bombas sumergidas y en las paredes del sumidero a niveles por debajo del nivel del interruptor de apagado.



Figura 31. Acueductos del Río Colorado infestados de mejillón. Tomado de Stephen, 2013.

REFERENCIAS

- Ackerman, J. D.** 1999. Effect of velocity on the filter feeding of dreissenid mussels (*Dreissena polymorpha* and *Dreissena bugensis*): Implications for trophic dynamics. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 56: 1551-1561.
- Ackerman, J. D., Ethier, C. R., Allen D. G. & Spelt, J. K.** 1992. Investigation of zebra mussel adhesion strength using rotating discs. *J. Env. Eng.* 118: 708-724.
- Ackerman, J. D., Loewen, M. R. & Hamblin, P. F.** 2001. Benthic-pelagic coupling over a Zebra Mussel reef in western Lake Erie. *Limnol. Oceanogr.* 46: 892-904.
- Ackerman, J. D., Sim, B., Nichols, S. J. & Claudi, R.** 1994. A review of the early life history of zebra mussels (*Dreissena polymorpha*): Comparisons with marine bivalves. *Canadian Journal of Zoology.* 72: 1169-1179.
- Aiello-Lammens, M. E., Boria, R. A., Radosavljevic, A., Vilela, B. & Anderson, R. P.** 2015. spThin: an R package for spatial thinning of species occurrence records for use in ecological niche models. *Ecography.* 38 (5): 541-545.
- Aldridge, D. C. & McIvor, A. L.** 2003. Gill evacuation and release of glochidia by *Unio pictorum* and *Unio tumidus* under thermal and hypoxic stress. *J. Mollus. Studies.* 69: 51-59.
- Aldridge, D. C., Elliott, P. & Moggridge, G. D.** 2004. The recent and rapid spread of the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) in Great Britain. *Biological Conservation.* 119 (2): 253-261.
- Alexander, J. E., Jr. Thorp, J. H. & Fell, R. D.** 2004. Turbidity and temperature effects on oxygen consumption in the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*). *Can. J. Fish Aquat. Sci.* 51: 179-184.
- Almeida, D., Ribeiro, F., Leunda, P. M., Vilizzi, L. & Copp, G. H.** 2013. Effectiveness of FISK, an invasiveness screening tool for non-native freshwater fishes, to perform risk identification assessments in the Iberian Peninsula. *Risk Anal.* 33: 1404-1413.
- Arnott, D. L. & Vanni, M. J.** 1996. Nitrogen and phosphorus recycling by the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) in the western basin of Lake Erie. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53 (3): 646-659 DOI: 10.1139/cjfas-53-3-646.
- Arzul, I. & Carnegie, R. B.** 2015. New Perspective On The *Haplosporidian* Parasites Of Molluscs, *Journal of Invertebrate Pathology.* 131: 32-42 DOI: 10.1016/j.jip.2015.07.014.
- Astane, I., Gosling, E., Wilson, J. & Powell, E.** 2005. Genetic variability and phylogeography of the invasive zebra mussel, *Dreissena polymorpha* (Pallas). *Molecular Ecology.* 14: 1655-1666.
- Baker, P., Baker, S. & Mann, R.** 1993. Criteria for predicting zebra mussel invasions in the Mid-Atlantic region. Virginia Sea Grant's Marine Advisory Program. Baker, S. M. & Hornbach, D. J. (1997). Acute physiological effects of zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) infestation on two unionid mussels, *Actiononaias ligamentina* and *Amblema plicata*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences.* 54 (3): 512-519.
- Bartley, D. M., McIntire, H. & Volkoff, M.** 2008. Draft guidelines to reduce the risk of quagga/zebra mussels in California aquaculture. Workshop Report California Department of Fish and Game
- Benson, A. J., Raikow, D., Larson, J., Fusaro, A., Bogdanoff, A. K. & Elgin, A.** 2019a. *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771): U.S. Geological Survey, Nonindigenous Aquatic Species Database, Gainesville, FL. Fecha de actualización: 18 de junio del 2019. <https://nas.er.usgs.gov/queries/FactSheet.aspx?speciesID=5>.
- Benson, A. J., Richerson, M. M., Maynard, E., Larson, J., Fusaro, A., Bogdanoff, A. K., Neilson, M. E. & Ashley Elgin.** 2019b. *Dreissena rostriformis bugensis* (Andrusov, 1897): U.S. Geological Survey, Nonindigenous Aquatic Species Database, Gainesville, FL. Fecha de actualización: 18 de junio 2019 <https://nas.er.usgs.gov/queries/FactSheet.aspx?speciesID=95>
- Benson, A., Westbrook, R. & Bladwin, W.** 2010. Zebra mussel and quagga mussel. DRAFT. Aquatic Invasions! A Menace to the West. Species Guide, Oregon Grant Sea. US Geological Survey. 11 p.

- Berber, S., Ateş, S. & Acar, S.** 2018. First observation of the zebra mussel (*Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771)) on the narrow-clawed crayfish inhabiting in some water sources of Turkey. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 35 (1): 55-61 DOI:10.12714/egejfas.2018.35.1.10.
- Beyer, J., Moy, P. & De Stasio, B.** 2011. Acute upper thermal limits of three aquatic invasive invertebrates: hot water treatment to prevent upstream transport of invasive species. *Environ. Manage.* 47: 67–76.
- Bially, A. & MacIsaac, H. J.** 2000. Fouling mussels (*Dreissena* spp.) colonize soft sediments in Lake Erie and facilitate benthic invertebrates. *Freshw. Biol.* 43: 85-9.
- Bódis, E., Tóth, B. & Sousa, R.** 2014 Impact of *Dreissena* fouling on the physiological condition of native and invasive bivalves: interspecific and temporal variations. *Biol Invasions*. 16: 1373–1386.
- Boeckman, C. J. & Bidwell, J. R.** 2014. Density, growth, and reproduction of zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) in two Oklahoma reservoirs. In: Nalepa TF, Schloesser DW (eds) Quagga and zebra mussels: biology, impacts, and control. CRC Press, Boca Raton. 369–382 p.
- Boelman, S. F., Neilson, F. M., Dardeau, E. A., Jr. & Cross, T.** 1997. Zebra Mussel (*Dreissena Polymorpha*) Control Handbook for Facility Operators. Misc. Paper EL-97-1. Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station. Print.
- Bogan, A. E.** 1993. Freshwater bivalve extinctions (Mollusca: Unionoida): a search for causes. *American Zoologist*. 33 (6): 599-609.
- Bosso, L., De Conno, C. & Russo, D.** 2017. Modelling the risk posed by the zebra mussel *Dreissena polymorpha*: Italy as a case study. *Environmental Management*. 60(2): 304-313.
- Bowers, R. W. & Szalay, F. A.** 2007. Fisher predation of zebra mussels attached to *Quadrula quadrula* (Bivalvia: Unionidae) and benthic molluscs in a great lakes coastal wetland. *Wetlands*. 27 (1): 203-208.
- Bowers, R., Sudomir, J. C., Kershner, M. W. & de Szalay, F. A.** 2005. The effects of predation and unionid burrowing on bivalve communities in a Laurentian Great Lake coastal wetland. *Hydrobiologia*. 545: 93–102.
- Britton, D. K.** 2007. Western Quagga Mussels. U.S. Fish & Wildlife Service. Bruner, K. A., Fisher, S. W. & Landrum, P. F. 1994. The role of the zebra mussel, *Dreissena polymorpha*, in contaminant cycling: II. Zebra mussel contaminant accumulation from algae and suspended particles, and transfer to the benthic invertebrate, *Gammarus fasciatus*. *Journal of Great Lakes Research*. 20 (4): 735-750.
- Bruesewitz, D. A., Tank, J. L., Bernot, M. J., Richardson, W. B. & Strauss, E. A.** 2006. Seasonal effects of the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) on sediment denitrification rates in Pool 8 of the Upper Mississippi River. *Can. J Fish. Aquat. Sci.* 63 (5): 957–969 DOI: 10.1139/F06-002.
- Burlakova, L. E., Karatayev, A. L. & Molloy, D. P.** 1998. Field and Laboratory Studies of Zebra Mussel (*Dreissena polymorpha*) Infection by the Ciliate *Conchophthirus acuminatus* in the Republic of Belarus. *Journal of Invertebrate Pathology*. 71: 251–257.
- Burlakova, L. E., Karatayev, A. Y. & Karatayev, V. A.** 2012. Invasive mussels induce community changes by increasing habitat complexity. *Hydrobiologia*. 685 (1): 121-134.
- Burlakova, L. E., Karatayev, A. Y. & Padilla, D. K.** 2000. The impact of *Dreissena polymorpha* (Pallas) invasion on unionid bivalves. *International Review of Hydrobiology*. 85 (56): 529-541.
- Burlakova, L. E., Tulumello, B. L., Karatayev, A. Y., Krebs, R. A., Schloesser, D. W., Paterson, W. L., Griffith, T. A., Scott, M. W., Crail, T. & Zanatta, D. T.** 2018. Competitive replacement of invasive congeners may relax impact on native species: Interactions among zebra, quagga, and native unionid mussels. *Plos one*. 9(12): e114926 DOI: 10.1371/journal.phone.0114926
- Burreson, E. M. & Ford, S. E.** 2004. A review of recent information on the Haplosporidia, with special reference to *Haplosporidium nelsoni* (MSX disease). *Aquat. Living Resour.* 17: 499-517.

- Bykova, O., Laursen, A., Bostan, V., Bautista, J. & McCarthy, L.** 2006. Do zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) alter lake water chemistry in a way that favours *Microcystis* growth? *Sci. Total, Environ.* 371 (13): 362–372 DOI: 10.1016/j.scitotenv.2006.08.022. PMID: 17011023.
- CABI.** 2018. *Dreissena rostriformis bugensis* (quagga mussel). En: Invasive Species Compendium. Wallingford, UK: CAB International. Consultado en junio del 2019 en: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/107770>
- Caraco, N. F., Cole, J. J., Raymond, P. A., Strayer, D. L., Pace, M. L., Findlay, S. E. & Fischer, D. T.** 1997. Zebra mussel invasion in a large, turbid river: phytoplankton response to increased grazing. *Ecology.* 78 (2): 588-602.
- Carlton, J. T.** 1993. Dispersal Mechanisms of the Zebra Mussel (*Dreissena polymorpha*). IN: Zebra Mussels: Biology, Impacts, and Control. Lewis Publishers, Boca Raton, FL. 1993. append. NOAA Oregon Sea Grant. 677-692 p.
- Casper, A. F. & Johnson, L. E.** 2010. Contrasting shell/tissue characteristics of *Dreissena polymorpha* and *Dreissena bugensis* in relation to environmental heterogeneity in the St. Lawrence River. *J Great Lakes Res.* 36: 184–189.
- Cia-Abaurre, I.** 2008. Ecología del mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*) en el tramo inferior de río Ebro. Problemática y posibilidades de control. Tesis Doctoral publicada por el Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Serie temática Naturaleza y Parques Naturales. ISBN: 978-84-9014-737-8.
- Cianfanelli S., Lori, E. & Bodon, M.** 2007. Chapter 5. Non-indigenous freshwater molluscs and their distribution in Italy. In: Biological invaders in inland waters: profiles, distribution, and threats, (Francesca Gherardi, ed.), Invading Nature - Springer Series in Invasion Ecology. 103-121 p.
- CILA.** 2019. Comisión Internacional de Límites y Aguas entre México y Estados Unidos. Secretaría de Relaciones Exteriores. México. Consultado en julio del 2019 <https://cila.sre.gob.mx/cilanorte/>
- Claudi, R. & Mackie, G. L.** 1994. Practical manual for zebra mussel monitoring and control. Boca Raton (US), CRC Press. 1-251 p.
- Claudi, R. & Prescott, T.** 2009. Assessment of the Potential Impact of Invasive Mussels to Water and Power System Facilities and Structures and Recommendations for Control - Willow Creek Reservoir, Granby Reservoir, Shadow Mountain Reservoir, Grand Lake, and Lake Estes, Colorado-Big Thompson Project. Prepared for: Eastern Colorado Area Office, Bureau of Reclamation. March 6, 2009. Contract Number: 09PG810044
- Clemen, R. T. & Reilly, T.** 2001. Making hard decisions with decision tools. Buxbury Thomas Learning, Pacific Grove, CA.
- Cohen, A. N. & Weinstein, A.** 1998. The Potential Distribution and Abundance of Zebra Mussels in California. A report for CALFED and the California Urban Water Agencies. San Francisco Estuary Institute, Oakland, CA.
- Cohen, A. N.** 2005. A Review of Zebra Mussels' Environmental Requirements. A report for the California Department of Water Resources, Sacramento CA. San Francisco Estuary Institute, Oakland, CA.
- Cope, W. G., Bartsch, M. R. & Hightower, J. E.** 2006. Population dynamics of zebra mussels *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) during the initial invasion of the Upper Mississippi River, USA. *Journal of molluscan studies.* 72(2): 179-188.
- Copp, G. H., Vilizzi, L., Tidbury, H., Stebbing, P. D., Trakan, A. S., Miossec, L. & Gouilletquer, P.** 2016. Development of a generic decision-support tool for identifying potentially invasive aquatic taxa: AS-ISK. *Management of Biological Invasions.* 7 (4): 343-350.
- Cotner, J. B., Gardner, W. S., Johnson, J. R., Sada, R. H., Cavaletto, J. F. & Heath, R.T.** 1995. Effects of Zebra Mussels (*Dreissena polymorpha*) on bacterioplankton: evidence for both size-selective consumption and growth stimulation. *J. Great Lakes Res.* 21: 517-528.

- Daeschlein, G., Fenske, C., Scholz, S., Dahlke, S., Jünger, M. & Kramer, A.** 2015. Filtration effects of zebra mussels on pathogens and total bacterial burden in the Odra Lagoon (South Baltic). *Water Science & Technology*. 71 (9): 1354 – 1360.
- Dalton, L. B. & Cottrill, S.** 2013. Quagga and Zebra mussel risk via veliger transfer by overland hauled boats. *Management of Biological Invasion*. 4 (2):129-133.
- Darrigran, G.** 2002. Potential impact of filter-feeding invaders on temperate inland freshwater environments. *Biological invasions*. 4 (1): 145-156.
- Dauids, C. & Kraak, M. H. S.** 1993. Trematode parasites of the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*). In: T. F. Nalepa and D. W. Schlosser (editors), Zebra Mussels: Biology, Impacts, and Control. Lewis ubl., Boca Raton, FL. 749-759 p.
- De Ventura, L., Sarpe, D., Kopp, K. & Jokela, J.** 2016. Variability in phenotypic tolerance to low oxygen in invasive populations of quagga and zebra mussels. *Aquatic Invasions*. 11 (3): 267-276.
- Dean, D. M.** 1994. Investigations of biodeposition by *Dreissena polymorpha* and settling velocities of faeces and pseudofaeces. M.Sc. diss., University of Guelph, Guelph, Ontario.
- Dioniso-Pires, L. M., Karlsson, K. M., Meriluoto, J., Kardinal, E., Vlisser, P. M., Siewertsen, K., Van Donk, E. & Ibelings, B. W.** 2004. Assimilation and depuration of microcystin-LR by the zebra mussel, *Dreissena polymorpha*. *Aquatic Toxicology* 69: 385-396 DOI: 10.1016/j.aquatox.2004.06.004.
- Drake, J. M. & Bossenbroek, J. M.** 2004. The potential distribution of zebra mussels in the United States. *BioScience*. 54 (10): 931-941.
- Duran, C., Lanao, M., Anadón, A. & Touyá V.** 2010. Strategy of management of the zebra mussel invasion in the Ebro River basin. *Aquatic Invasions*. 5: 309–316.
- Effler, S. W., Brooks, C. M., Whitehead, K., Wagner, B., Doerr, S. M., Perkins, M. & Canale, R. P.** 1996. Impact of zebra mussel invasion on river water quality. *Water Environment Research*. 68 (2): 205-214.
- Ekrodt, L. E., Mastellar, E. C., Shaffer, J. C. & Steele L. M.** 1993. The byssus of the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*): Morphology, byssal thread formation, and detachment. In T. F. Nalepa and D. W. Schoesser (eds.), Zebra mussels: Biology, impacts, and control. Lewis/ CRC Press, Inc., Boca Raton, FL. 239-264 p.
- Elderkin, C. L. & Klerks, P. L.** 2005. Variation in thermal tolerance among three Mississippi River populations of the zebra mussel, *Dreissena polymorpha*. *J Shellfish Research*. 24: 221–226.
- Ellis, S. & MacIsaac, H. J.** 2009. Salinity tolerance of Great Lakes invaders. *Freshwater Biology*. 54: 77-89.
- Fahnenstiel, G. L., Bridgeman, T. B., Lang, G. A., McCormick, M. J. & Nalepa, T.F.** 1995a. Phytoplankton productivity in Saginaw Bay, Lake Huron: Effects of Zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) colonization. *J. Great Lakes Res.* 21: 465-475.
- Fahnenstiel, G. L., Lang, G. A., Nalepa, T. F. & Johengen, T. H.** 1995b. Effects of Zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) colonization on water quality parameters in Saginaw Bay, Lake Huron. *J. Great Lakes Res.* 21: 435-448.
- Fenske, C.** 2002. The ecological importance of mussels, their effect on water quality and their possible use for coastal zone management. In: Baltic Coastal Ecosystems: Structure, Function and Coastal Zone Management (G. Schernewski & U. Schiewer, eds). Springer, Berlin. 53–64 p.
- Fick, S. E. & Hijmans, R. J.** 2017. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. 37 (12): 4302-4315.
- Fitzsimons, J. D., Brown, S. B., Honeyfield, D. C. & Hnath, J. G.** 1999. A review of early mortality syndrome in Great Lakes salmonids and its relationship with thiamine. *Ambio*. 28: 9–15.

- Fokin SI., Giamberini L., Molloy D. P. & bij de Vaate A.** 2003. Bacterial endocytobionts within endosymbiotic ciliates in *Dreissena polymorpha* (Lamellibranchia: Mollusca). *Acta Protozool* 42:31–39.
- French, J. R. P. III.** 1993. How well can fishes prey on zebra mussels in eastern North America, *Fisheries* 18 (6): 13-19.
- Frischer, M. E., Nierzwicki-Bauer, S. A., Parsons, R. H., Vathanodorn, K. & Waitkus, K.R.** 2000. Interactions between Zebra Mussels (*Dreissena polymorpha*) and microbial communities. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 57: 591-599.
- Gallardo, B. & Aldridge, D. C.** 2013. Evaluating the combined threat of climate change and biological invasions on endangered species. *Biological Conservation*. 160: 225-233.
- Garner, J. T. & McGregor, S. W.** 2001. Current status of freshwater mussels (Unionidae, Margaritiferidae) in the Muscle Shoals area of Tennessee River in Alabama (Muscle Shoals revisited again). *American Malacological Bulletin*. 16 (12): 155-170.
- Gillis, P. L. & Mackie, G. L.** 1994. The impact of *Dreissena polymorpha* on populations of Unionidae in Lake St. Clair. *Can. J. Zool.* 72: 1260-1271.
- Goedkoop, W., Sonesten, L., Ahlgren, G. & Boberg, M.** 2000. Fatty acids in profundal benthic invertebrates and their major food resources in Lake Erken, Sweden: seasonal variation and trophic indications. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 57 (11): 2267-2279.
- Gómez-Ruiz, E. P. & Lacher, T. E.** 2017. Modelling the potential geographic distribution of an endangered pollination corridor in Mexico and the United States. *Diversity and Distributions*. 23(1): 67-78.
- Gormley, A. M., Forsyth, D. M., Griffioen, P., Lindeman, M., Ramsey, D. S., Scroggie, M. P. & Woodford, L.** 2011. Using presence-only and presence–absence data to estimate the current and potential distributions of established invasive species. *Journal of Applied Ecology*. 48(1): 25-34.
- Gregg, R., Feifel, K., Kershner, J. & Hitt, J.** 2012. The state of climate change adaptation in the Great Lakes region. General report. Bainbridge Island, WA: EcoAdapt.
- Griebeler, E. M. & Seitz, A.** 2007. Effects of increasing temperatures on population dynamics of the zebra mussel *Dreissena polymorpha*: implications from an individual-based model. *Oecologia*. 151: 530–543.
- Griffiths, R. W.** 1993. Effects of Zebra Mussels (*Dreissena polymorpha*) on the Benthic Fauna of Lake St. Clair. IN: Zebra Mussels: Biology, Impacts, and Control. Lewis Publishers, Boca Raton, FL. 1993. 415-437 p.
- Gu, J. & Mitchell, R.** 2002. Indigenous microflora and opportunistic pathogens of the freshwater zebra mussel, *Dreissena polymorpha*. *Hydrobiologia*. 474: 81–90.
- Haag, W. R., Berg, D. J., Garton, D. W. & Farris, J. L.** 1993. Reduced survival and fitness in native bivalves in response to fouling by the introduced zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) in western Lake Erie. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 50 (1): 13-19.
- Hannon, E. R., Kinsella, J. M., Calhoun, D. M., Joseph, M. B. & Johnson P. T. J.** 2016. Endohelminths in bird hosts from northern California and an analysis of the role of life history traits on parasite richness. *Journal of Parasitology*. 102 (2): 199-207.
- Hartmann, J. & Moosdorf, N.** 2012. Global Lithological Map Database v1.0 (gridded to 0.5° spatial resolution). PANGAEA. <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.788537>
- Hellmann, J. J., Byers, J. E., Bierwagen, B. G. & Dukes, J. S.** 2008. Five potential consequences of climate change for invasive species. *Conserv. Biol.* 22: 534–543.
- Herbert, P. D. N., Wilson, C. C., Murdoch, M. H. & Lazar, R.** 1991. Demography and ecological impacts of the invading mollusc *Dreissena polymorpha*. *Can. J. Zool.* 69: 405-409.

- Herbert, P. D., Muncaster, B. W. & Mackie, G. L.** 1989. Ecological and genetic studies on *Dreissena polymorpha* (Pallas): a new mollusc in the Great Lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 46 (9): 1587-1591.
- Hernández, 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: 773–85.
- Higgins S. N. & Vander Zanden, M. J.** 2010. What difference a species makes: a meta-analysis of dreissenid mussel impacts on freshwater ecosystems. *Ecological Monographs*. 80: 179–196 DOI: 10.1890/09-1249.1.
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P.G. & Jarvis, A.** 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. 25: 1965-1978.
- Hijmans, R. J., van Etten, J., Cheng, J., Mattiuzzi, M., Sumner, M., Greenberg, J. A., Lamigueiro, O. P., Bevan, A., Racine, E. B. & Shortridge, A.** 2015. Package 'raster'. R package. 244 p. <https://cran.r-project.org/package=raster/raster.pdf>
- Hijmans, R. J., Phillips, S., Leathwick, J., Elith, J. & Hijmans, M. R. J.** 2017. Package 'dismo'. *Circles*. 9 (1): 1-68
- Honeyfield, D., Fitzsimons, J. D., Brown, S. B., Marcquenski, S. V. & McDonald, G.** 1998. Introduction: early life stage disorders in fishes of the Great Lakes and the Baltic. In: McDonald, G., Fitzsimons, J.D., Honeyfield, D.C. (eds.) Early life stage mortality syndrome in fishes of the Great Lakes and the Baltic Sea. American Fisheries Society Symposium, 21. Bethesda, Maryland. 1–7 p.
- Horgan, M. J. & Mills, E. L.** 1997. Clearance rates and filtering activity of zebra mussel (*Dreissena polymorpha*): implications for freshwater lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*. 54 (2): 249–255.
- Idaho Aquatic Nuisance Species Taskforce.** 2009. Estimated Potential Economic Impact of Zebra and Quagga Mussel Introduction into Idaho. 2 p.
- IPCC (International Panel on Climate Change).** 2014. Climate change 2004: impacts, adaptations and vulnerability. UNEP, WHO
- Jarvis, P., Dow, J., Dermott, R. & Bonnell, R.** 2000. Zebra (*Dreissena polymorpha*) and quagga mussel (*Dreissena bugensis*) distribution and density in Lake Erie, 1992-1998. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2304-2046 p.
- Jilek, J., Yee, A., Sookhai, A. & Lande, J.** 2009. The effect of climate change on *Dreissena polymorpha*, a multiregional invasive species in North America. Descargado de DEEP BLUE. <https://deepblue.lib.umich.edu/handle/2027.42/64578>
- Jiménez-Valverde, A., Peterson, A. T., Soberón, J., Overton, J. M., Aragón, P. & Lobo, J. M.** 2011. Use of niche models in invasive species risk assessments. *Biological Invasions*. 13(12): 2785-2797.
- Johnson, L., E. & Carlton, J. T.** 1993. Counter-productive public policy: the 'Noah Fallacy' and other mussels myths. *Dreissena polymorpha. Information Review*. 3: 2-4.
- Jones, J. W., Hallerman, E. M. & Neves, R. J.** 2006. Genetic management guidelines for captive propagation of freshwater mussels (Unionoidea). *Journal of Shellfish Research*. 25 (2): 527-535.
- Karatayev, A. Y., Burlakova L. E., Molloy D. P. & Mastitsky S. E.** 2007. *Dreissena polymorpha* and *Conchophthirus acuminatus*: what can we learn from host-commensal relationships. *Journal of Shellfish Research*. 26: 1153-1160
- Karatayev, A. Y., Burlakova, L. E. & Padilla, D. K.** 1997. The effects of *Dreissena polymorpha* (Pallas) invasion on aquatic communities in Eastern Europe. *Journal of Shellfish Research*. 16: 187-203.
- Karatayev, A. Y., Burlakova, L. E., Molloy, D. P. & Volkova L. K.** 2000 Endosymbionts of *Dreissena polymorpha* (Pallas) in Belarus. *Int Rev Hydrobiol*. 85: 543–559.

- Karatayev, A. Y., Burlakova, L. E., Molloy, D. P., Volkova, L. K. & Volosyuk, V. V. 2002a. Field and laboratory studies of Ophryoglena sp. (Ciliata: Ophryoglenidae) infection in zebra mussels, *Dreissena polymorpha* (Bivalvia: Dreissenidae). *J Invertebr Pathol.* 79:80–85.
- Karatayev, A. Y., Burlakova, L. E., Pennuto, C., Ciborowski, J., Karatayev, V.A., Juetten, P. & Clapsdell, M. 2014. Twenty five years of changes in *Dreissena* spp. populations in Lake Erie. *J. Great Lakes Res.* 40: 550–559.
- Karatayev, A. Y., Mastitsky, S. E., Burlakova, L. E., Molloy, D. P. & Vezhnovets, G. G. 2003. Seasonal dynamics of endosymbiotic ciliates and nematodes in *Dreissena polymorpha*. *J Invertebr Pathol.* 83: 73–82.
- Kirk, J. P., Killgore, K. J. & Sanders, L. G. 2001. Potential of North American molluscivorous fish to control dreissenid mussels. *Zebra mussel research program.* 1 (1): 1-4.
- Klerk, P. L., Fraleigh P. C. & Lawniczak, J. E. 1996. Effects of zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) on seston levels and sediment deposition in western Lake Erie. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53: 2284-2291.
- Kotta, J. & Møhlenberg, F. 2002. Grazing impact of *Mytilus edulis* L. and *Dreissena polymorpha* (Pallas) in the Gulf of Riga, Baltic Sea estimated from biodeposition rates of algal pigments. In *Annales Zoologici Fennici*. Finnish Zoological and Botanical Publishing Board. 151-160 p.
- Koutnik, M. & Padilla, D. K. 1994. Predicting the spatial distribution of *Dreissena polymorpha* (zebra mussel) among inland lakes of Wisconsin: modeling with a GIS. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 51: 1189-1196.
- Lancioni, T. & Gai, E. 2007. The zebra mussel *Dreissena polymorpha*: reproduction and competition with the sponge *Ephydatia fluviatilis*. In *Biological invaders in inland waters: Profiles, distribution, and threats*. Springer Netherlands. 597-611 p.
- Laruelle, F., Molloy, D. P. & Roitman, V. A. 2002. Histological analysis of trematodes in *Dreissena polymorpha*: their location, pathogenicity, and distinguishing morphological characteristics. *Journal of Parasitology.* 88 (5): 856-863.
- Lauringson, V., Märlton, E., Kotta, J., Kangur, K., Orav-Kotta, H. & Kotta, I. 2007. Environmental factors influencing the biodeposition of the suspension feeding bivalve *Dreissena polymorpha* (Pallas): comparison of brackish and freshwater populations. *Estuarine, Coastal and Shelf Science.* 75 (4): 459–467.
- Lavrentyev, P. J., Gardner, W. S. & Yang, L. 2000. Effects of the zebra mussel on nitrogen dynamics and the microbial community at the sediment-water interface. *Aquat. Microb. Ecol.* 21: 187-194.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA). 2018. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Estados Unidos Mexicanos. 135 pp. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148_050618.pdf
- Lopes-Lima, M., Burlakova, L. E., Karatayev, A. Y., Mehler, K., Seddon, M. & Sousa, R. 2018. Conservation of freshwater bivalves at the global scale: diversity, threats and research needs. *Hydrobiologia*, 810: 1-14.
- Lowe, S., Browne M., Boudjelas S. & De Poorter M. 2000. 100 of the World's Worst Invasive Alien Species. A selection from the Global Invasive Species. Published by The Invasive Species Specialist Group (ISSG) a specialist group of the Species Survival Commission (SSC) of the World Conservation Union (IUCN), First published as special list-out in *Aliens* 12, December 2000. Updated and reprinted version: November 2004. 12 p.
- Lucy, F. E., Burlakova, L. E., Karatayev, A. Y., Mastitsky, S. E. & Zanatta, D. T. 2014. Zebra mussel impacts on unionids: a synthesis of trends in North America and Europe. In: Nalepa TF, Schloesser DW, editors. *Quagga and Zebra Mussels: Biology, Impacts, and Control*. Boca Raton, FL: CRC Press. 623–646 p.

- Ludyanskiy, M. L., McDonald, D. & Macneill, D.** 1993. Impact of the Zebra Mussel, a bivalve invader *Dreissena polymorpha* is rapidly colonizing hard surfaces throughout waterways of the United States and Canada. *BioScience*. 43: 533-544.
- MacIsaac H. J., Bandoni S. A., Colautti R. I., van Overdijk C. D. A. & Admundsen K.** 2002. Economic Impacts of Invasive Nonindigenous Species in Canada: a Case Study Approach. A report to the Office of the Auditor General of Canada. 185 p.
- MacIsaac, H. J.** 1996. Potential abiotic and biotic impacts of zebra mussels on the inland waters of North America. *American Zoologist*. 36 (3): 287-299.
- Mackie, G. L. & Schloesser, D. W.** 1996 Comparative Biology of Zebra Mussels in Europe and North America: An Overview. *American Zoologist*. 244-258.
- Mackie, G. L.** 1999. Ballast water introductions of mollusca. En: Claudi, R. y Leach, J. H. Nonindigenous freshwater organisms. Vectors, Biology, and Impacts. Boca Raton, Florida. 219-254 p.
- Mackie, G. L., Gibbons, W. N., Muncaster, B. W. & Gray, I. M.** 1989. The zebra mussel, *Dreissena polymorpha*: a synthesis of European experiences and a preview for North America. Ontario Ministry of Environment.
- Madon, S. P., Schneider, D. W., Stoeckel, J. A. & Sparks, R. E.** 1998. Effects of inorganic sediment and food concentrations on energetic processes of the zebra mussel, *Dreissena polymorpha*: implications for growth in turbid rivers. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 55: 401-413.
- Manly, B. F. J.** 2006. Randomization, bootstrap and Monte Carlo methods in Biology, 3rd ed. Chapman & Hall, London, UK. 480 pp.
- Marsden, J. E., Spidle, A. P. & May, B.** 1996. Review of genetic studies of *Dreissena* spp. *American Zoologist*. 36 (3): 259-27.
- Marsden, J. E., Spidle, A. P. & May, B.** 1996. Review of genetic studies of *Dreissena* spp. *Am. Zool.* 36: 259-270.
- Martel, A.** 1993. Dispersal and recruitment of zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) in a nearshore area in west-central Lake Erie: the significance of postmetamorphic drifting. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 50 (1): 3-12.
- Matthews, J., Van der Velde, G., Collas, F. P. L., Koopman, K. R., Bij de Vaate. & Leuven, R. S. E. W.** 2014. Rapid range expansion of the invasive quagga mussel in relation to zebra mussel presence in The Netherlands and Western Europe. *Biol Invasions*. DOI 10.1007/s10530-013-0498-8.
- McMahon R. F.** 1991. Mollusca: Bivalva 315-40. In: Ecology and classification of North American Freshwater Invertebrates (Eds. J. H. Th **Stepien, C. A., Hubers, A. N. & Skidmore, J. L.** 1999. Diagnostic genetic markers and evolutionary relationships among invasive dreissenoid and corbiculoid bivalves in North America: phylogenetic signal from mitochondrial 16S rDNA. *Mol. Phylogenet.* 13: 31-49 DOI 10.1006/mpv. 1999.0666.
- McMahon, R. F. & Tsou, J. L.** 1990. Impact of European Zebra Mussel Infestation to the Electric Power Industry. *Proc. Am. Power Conf.* 52: 988-997.
- McMahon, R. F.** 1996. The physiological ecology of the zebra mussel, *Dreissena polymorpha*, in North America and Europe. *American zoologist*. 36 (3): 339-363.
- Mendoza-Alfaro, R. & Álvarez-Torres, P.** 2012. Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem: Resources at risk from climate change. pp 135-169. En: Frontline Observations on Climate Change and Sustainability of Large Marine Ecosystems K. Sherman and G. McGovern (eds.). GEF Secretariat Global Environment Facility, Washington, USA.
- Mercado-Juarez, I.** 2014. Plaga en la potabilizadora de la CESPT. Periódico Zeta. Publicado el 9 de julio, 2014, <http://zetatijuana.com/2014/07/plaga-en-potabilizadora-de-la-cespt/>
- Merow, C., Smith, M. J. & Silander Jr, J. A.** 2013. A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*. 36 (10): 1058-1069.

- Miller, A. C., Gordon, R. M., Daniele, R. J. & Diller, L.** 1992. Stress, appraisal, and coping in mothers of disabled and nondisabled children. *Journal of Pediatric Psychology*. 17 (5): 587-605.
- Miller, E. B. & Watzin, M. C.** 2007. The effects of zebra mussels on the lower planktonic foodweb in Lake Champlain. *J. Great. Lakes Res.* 33: 407–420.
- Miller, R. R., Minckley, W. L. & Norris, S. M.** 2009. Peces dulceacuícolas de México. (Ed.) México. Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. ISBN: 978-607-7607-20-5. 606 p.
- Mills, D. N., Chadwick, M. A. & Francis, R. A.** 2017. Impacto f invasive quagga mussel (*Dreissena rostriformis bugensis*, Bivalva: Dreissenidae) on the macroinvertebrate community structure of UK river. *Aquatic invasions*. 12 (4): 509-521 DOI: 10.3391/ai2017.12.4.08
- Mills, E. L., Rosenberg, G., Spidle, A. P., Ludyanskiy, M., Pligin, Y. & May, B.** 1996. A review of the biology and ecology of the quagga mussel (*Dreissena bugensis*), a second species of freshwater dreissenid introduced to North America. *American Zoologist*. 36 (3): 271-286.
- Minchin, D., Maguire, C. & Rosell, R.** 2003. The zebra mussel (*Dreissena polymorpha* Pallas) invades Ireland: human mediated vector san the potential for rapid intranational dispersal. Biology and environment: proceedings of the royal irish academy. 103 (1): 23-30.
- Minguez, L. & Giambérini, L.** 2012. Seasonal dynamics of zebra mussel parasite populations. *Aquatic biology*. 15: 145-151.
- Mingyang, L., Yunwei, J., Kumar, S. & Stohlgren, T. J.** 2008. Modeling potential habitats for alien species *Dreissena polymorpha* in Continental USA. *Acta Ecologica Sinica*. 28 (9): 4253-4258.
- Molloy, D. P., Giambérini, L., Stokes, N. A., Burreson, E. M. & Ovcharenko, M. A.** 2012. Haplosporidium raabei (Haplosporidia): a parasite of zebra mussels, *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771). *Parasitology*. 139: 463-477.
- Molloy, D. P., Karatayev, A. Y., Burlakova, L. E., Kurandina, D. P. & Laruelle, F.** 1997. Natural enemies of zebra mussels: predators, parasites, and ecological competitors. *Reviews in Fisheries Science*. 5 (1): 27-97.
- Molloy, D. P., Lynn, D. H. & Giambérini, L.** 2005. Ophryoglena hemophaga n. sp. (Ciliophora: Ophryoglenidae): a parasite of the digestive gland of zebra mussels *Dreissena polymorpha*. *Diseases of Aquatic Organisms*. 65: 237-243.
- Mooij, W. M., Hülsmann, S., De Senerpont Domis, L. N., Nolet, B. A., Bodelier, P. L. E., Boers, P. C. M., Pires, L. M. D., Gons, H. J., Ibelings, B. W., Noordhuis, R., Portielje, R., Wolfstein, K. & Lammens, E. H. R. R.** 2005. The impact of climate change on lakes in the Netherlands: a review. *Aquatic Ecology*. 39: 381–400
- Morse, J. T.** 2009a. Thermal tolerance, physiological condition, and population genetics of dreissenid mussels (*Dreissena polymorpha* and *D. rostriformis bugensis*) relative to their invasion of waters in the Western United States. Dissertation, University of Texas at Arlington.
- Morton, B.** 1989. Life-history characteristics and sexual strategy of *Mytilopsis sallei* (Bivalvia: Dreissenacea), introduced into Hong Kong. *Journal of Zoology*. 219 (3): 469-485.
- Morton, B.** 1993. The anatomy of *Dreissena polymorpha* and the evolution and success of the heteromyarian form in the Dreissenoida. In T. F. Nalepa and D. W. Schloesser (eds.) Zebra mussels: Biology, impacts, and control, pp. 185—216. Lewis/ CRC Press, Inc., Boca Raton, FL. 810 p.
- Mosteo, R., Goñi, P., Miguel, N., Abadías, J., Valero, P. & Ormad, M. P.** 2016. Bioaccumulation of pathogenic bacteria and amoeba by zebra mussels and their presence in watercourses. *Environ Sci Pollut Res*. 23: 1833-1840 DOI: 10.1007/s11356-015-5418-2.
- Müller, J., Wöll, S., Fuchs, U. & Seitz, A.** 2001. Genetic interchange of *Dreissena polymorpha* populations across a canal. *Heredity*. 86: 103–109.

- Muscarella, R., Galante, P. J., Soley-Guardia, M., Boria, R. A., Kass, J. M., Uriarte, M. & Anderson, R. P.** 2014. ENM eval: An R package for conducting spatially independent evaluations and estimating optimal model complexity for Maxent ecological niche models. *Methods in Ecology and Evolution*. 5 (11): 1198-1205.
- Nalepa, T.F.** 2010. An overview of the spread, distribution, and ecological impacts of the quagga mussel, *Dreissena rostriformis bugensis*, with possible implications to the Colorado River system. In: Melis et al. (eds.), Proceedings, Colorado River Basin Science and Resource Management Symposium, Scottsdale, AZ, November 18-20, 2008. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010-5135.113-121 p.
- Neumann, D. & Jenner. H. A.** 1992. The zebra mussel *Dreissena polymorpha*: Ecology, biological monitoring and first applications in water quality management. VCH publishers, Deerfield Beach, FL.
- Ng., M.** 2016. The effects of thermal acclimation on feeding rates and thermal tolerance in the invasive zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) in Lake Champlain, VT, USA. *UVM Honors College Senior Theses*. 111pp. <https://scholarworks.uvm.edu/hcoltheses/111>
- Nichols, S. J. & Black, M.G.** 1994. Identification of larvae: the Zebra Mussel (*Dreissena polymorpha*), Quagga Mussel (*Dreissena rostriformis bugensis*), and Asian clam (*Corbicula fluminea*). *Can. J. Zool.* 72: 406-417.
- O'Neill Jr, C.R.** 1996. National zebra mussel information clearinghouse infrastructure economic impact survey – 1995. *Dreissena!* 7 (2): 15.
- Office of Technology Assessment. U.S. Congress (OTA).** 1993. Harmful Non-Indigenous Species in the United States. OTA Publication OTA-F-565. US Government Printing Office, Washington DC: Availability. http://www.wws.princeton.edu:80/~ota/disk1/1993/9325_n.html.
- Olson, B.S.J.** 2016. Dispersal of zebra mussels, *Dreissena polymorpha*, downstream of an invaded reservoir. Tesis de maestría, Universidad del Estado de Texas, San Marcos, Texas, Estados Unidos.
- Orlova, M. I.** 2002. *Dreissena (D.) polymorpha*: evolutionary origin and biological peculiarities as prerequisites of invasion process. En: Leppäkoski, E., Gollasch, S. & Olenin, S. (eds) *Invasive aquatic species of Europe—distribution, impact and management*, Kluwer, Dordrecht, pp 127–134.
- Orlova, M.I., Therriault, T.W., Antonov, P.I. & Shcherbina, G.K.** 2005. Invasion ecology of *Quagga* Mussels (*Dreissena rostriformis bugensis*): a review of evolutionary and phylogenetic impacts. *Aquat. Ecol.* 39: 401-418.
- orp and AP. Covich). Academic Press Inc., New York.
- Palau, A., Cia, I., Fargas., D., Bardina M. & Massuti S.** 2004: Resultados preliminares sobre ecología básica y distribución del mejillón cebra en el embalse de Riba-roja (Río Ebro)". Endesa. Madrid. 43 p.
- Palos Ladeiro M., Aubert D., Villena I., Geffard A. & Bigot A.** 2014. Bioaccumulation of human waterborne protozoa by zebra mussel (*Dreissena polymorpha*): interest for water biomonitoring. *Water Res.* 48: 148–155.
- Pathy, D. A.** 1994. The life history and demography of zebra mussel, *Dreissena polymorpha*, populations in Lake St. Clair, Lake Erie, and Lake Ontario. M.Sc. Thesis, University of Guelph, Guelph, Ontario.
- Pejchar, L. & Mooney, H. A.** 2009. Invasive species, ecosystem services and human well-being. *Trends in ecology and evolution*. 24 (9): 497-504.
- Peribáñez, M. A., Elrío, M. L., Gracia, M. J., de Luco, D. F., Castillo, J. A., Lucientes, J. & Cia, I.** 2006. *Phyllodistomum folium* (Trematoda Gorgoderidae) infecting zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) in the Ebro River, Spain. *Parasitology International*. 55 (2): 143-145.

- Peterson, A. T., Papeş, M. & Soberón, J.** 2008. Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecological modelling*. 213(1): 63-72.
- Petkeviciūtė, R., Stunzenas, V., Staneviciute, G. & Zhokhov, A. E.** 2015. European Phyllodistomum (Digenea, Gorgoderidae) and phylogenetic affinities of Cercaria duplicata based on rDNA and karyotypes. *Zoologica Scripta*. 44: 191–202.
- Peyer, S. M., Hermanson, J. C. & Lee, C. E.** 2010. Developmental plasticity of shell morphology in Quagga Mussels from shallow and deep-water habitats in the Great Lakes. *J. Exp. Biol.* 213: 2602-2609.
- Peyer, S. M., McCarthy, A. J. & Lee, C. E.** 2009. Zebra mussel anchor byssal threads faster and tighter than quagga mussels in flow. *The Journal of Experimental Biology*. 212: 2027-2036.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P. & Schapire, R. E.** 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*. 190 (3-4): 231-259.
- Pimentel, D., Lach, L., Zuniga, R. & Morrison, D.** 2000. Environmental and economic costs of nonindigenous species in the United States. *BioScience*. 50 (1): 53-65.
- PNUD México (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo).** 2019. Reporte de los aspectos biológicos, ecológicos y la invasión del mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*) y quagga (*D. bugensis*). Proyecto 083999 “Aumentar las Capacidades Nacionales para el Manejo de las Especies Exóticas Invasoras (EEI) a través de la Implementación de la Estrategia Nacional de EEI”. Mendoza, R., Luna, S., Rojo-Ramos, I., Sánchez, F., Medina-Arellano, E. Laboratorio de Ecofisiología, U.A.N.L., San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México. 168 pp.
- 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.
- Raikow, D. F., Sarnelle, O., Wilson, A. E. & Hamilton, S. K.** 2004. Dominance of the noxious cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* in low-nutrient lakes is associated with exotic zebra mussels. *Limnol. Oceanogr.* 49 (2): 482–487.
- Rajagopal, S., Pollux, B. J. A., Peters, J. L., Cremers, G., Moon-van der Staay, S. Y., van Alen, T., Eygensteyn, J., van Hoek, A., Palau, A., de Vaate, A. & van der Velde, G.** 2009. Origin of Spanish invasion by the zebra mussel, *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) revealed by amplified fragment length polymorphism (AFLP) fingerprinting. *Biol. Invasion*. 11: 2147-2159.
- Ram, J. L. & McMahon, R. F.** 1996. Introduction: the biology, ecology, and physiology of zebra mussels. *American Zoologist*. 239-243.
- Reeders, H. H., Bij de Vaate, A. & Noordhuis, R.** 1993. Potential of the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) for water quality management. En: Nalepa T. F. y Schlosser D. W. (editors), *Zebra Mussels: Biology, Impacts, and Controls*, (Lewis Publishers), pp. 439–451.
- Reshetnikov, A. N. & Ficetola, G. F.** 2011. Potential range of the invasive fish roach (*Perccottus glenii*) in the Holarctic. *Biological Invasions*. 13 (12): 2967–2980.
- Ricciardi, A. & MacIsaac, H. J.** 2000. Recent mass invasion of the North American Great Lakes by Ponto–Caspian species. *Trends in Ecology & Evolution*. 15 (2): 62-65.
- Ricciardi, A., Neves, R. J. & Rasmussen, J. B.** 1998. Impending extinctions of North American freshwater mussels (Unionoida) following the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) invasion. *Journal of Animal Ecology*. 67 (4): 613-619.
- Ricciardi, A., Serrouya, R. & Whoriskey, F. G.** 1995a. Aerial exposure tolerance of zebra and quagga mussels (Bivalvia: Dreissenidae): implications for overland dispersal. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 52 (3): 470-477.
- Ricciardi, A., Whoriskey, F. G. & Rasmussen, J. B.** 1997. The role of the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) in structuring macroinvertebrate communities on hard substrata. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 54 (11): 2596-2608.

- Riessen, H. P., Ferro, T. A. & Kamman, R. A. 1993. Distribution of zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) veligers in eastern Lake Erie during the first year of colonization. In T. F. Nalepa and D. W. Schloesser (eds.), Zebra mussels: Biology, impacts, and control. Lewis/CRC Press, Inc., Boca Raton, FL. 143-152 p.
- Robarts, R. D. & Zohary, T. 1987. Temperature effects on photosynthetic capacity, respiration and growth rates of bloom-forming cyanobacteria. *New Zealand J. Mar. Freshw. Res.* 21: 391–399.
- Roditi, H. A., Fisher, N. S. & Sañudo-Wilhelmy, S. A. 2000. Uptake of dissolved organic carbon and trace elements by zebra mussels. *Nature*. 407 (6800): 78–80.
- 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*. 1: 338–41.
- Rosaen, A. L., Grover, E. A. & Spencer, C. W. 2012. The costs of aquatic invasive species to Great Lakes states. Anderson Economical Group, East Lansing, MI. 51p.
- Rosenberg, G. & Ludyanskiy, M. L. 1994. A nomenclatural review of *Dreissena* (Bivalvia: Dreissenidae), with identification of the quagga mussel as *Dreissena bugensis*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 5 (7): 1474-1484.
- Sala, O. E., Chapin, F. S., Armesto, J. J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., HuberSanwald, E., Huenneke, L. F., Jackson, R. B., Kinzig, A., Leemans, R., Lodge, D. M., Mooney, H. A., Oesterheld, M., Poff, N. L., Sykes, M. T., Walker, B. H., Walker, M. & Wall, D. H. 2000. Biodiversity – global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*. 287: 1770–1774.
- Sarnelle, O., Knoll, L. B., Hamilton, S. K., Scheele, C. E. H., Wilson, A. E. & Rose, J. B. 2005. Invasion by the exotic mussel (*Dreissena polymorpha*) causes an increase in cyanobacterial toxin in lakes with low to moderate nutrients. Proceedings of the 48th annual conference of great lakes research. International Association for Great Lakes Research.
- Schäfer, S., Hamer, B., Treursic, B., Möhlenkamp, C., Spira, D., Korlevic, M., Reifferscheid, G. & Claus, E. 2012. Comparison of bioaccumulation and biomarker responses in *Dreissena polymorpha* and *D. bugensis* after exposure to resuspended sediments. *Arch Environ. Contam. Toxicol.* 62: 614-627.
- Schloesser, D. W., Nalepa, T. F. & Mackie, G. L. 1996. Zebra mussel infestation of Unionid bivalves (Unionidae) in North America. *American Zoologist*. 36: 300-310.
- Selegan, J. P. W., Kusserow, R., Patel, R., Heidtke, T. M. & Ram, J. L. 2001. Using zebra mussels to monitor *Escherichia coli* in environmental waters. *Journal of Environmental Quality*. 30 (1): 171–179.
- Sherman, J. J., Murray, B. A., Woolnough, D. A., Zanatta, D. T. & Uzarski, D. G. 2013. Assessment of remnant unionid assemblages in a selection of Great Lakes coastal wetlands. *J Great Lakes Res.* 39: 201–210.
- Simonović, P., Tosic, A., Vassilev, M., Apostolou, A., Mrdak, D., Ristovska, M., Kostov, V., Nikolic, V., Skraba, D., Vilizzi, L. & Copp, G. H. 2013. Risk assessment of non-native fishes in the Balkans Region using FISK, the invasiveness screening tool for non-native freshwater fishes. *Mediterr. Mar. Sci.* 14: 369–376.
- Sistema de Información Geográfica de Protección al Ambiente (SIGPA). 2019. Disponible en <http://www.spabc.gob.mx/servicios/sigpa/>
- Smith, B. R., Aldridge, D. C. & Tanentzap, A. J. 2018. Mussels can both outweigh and interact with the effects of terrestrial to freshwater resource subsidies on littoral benthic communities. *Science of the Total Environment*. 622-623 p.
- Sorba, E. A. & Williamson, D. A. 1997. Zebra Mussel Colonization Potential in Manitoba, Canada. Water Quality Management Section, Manitoba Environment, Report No. 97-07.

- Spidle, A. P., Marsden, J. E., & May, B. 1994.** Identification of the Great Lakes quagga mussel as *Dreissena bugensis* from the Dnieper River, Ukraine, on the basis of allozyme variation. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 51 (7): 1485-1489.
- Spidle, A. P., May, B. & Mills, E. L. 1995.** Limits to tolerance of temperature and salinity in the quagga mussel (*Dreissena bugensis*) and the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 52 (10): 2108-2119.
- Stepien, C. A., Hubers, A. N. & Skidmore, J. L. 1999.** Diagnostic genetic markers and evolutionary relationships among invasive dreissenoid and corbiculoid bivalves in North America: phylogenetic signal from mitochondrial 16S rDNA. *Mol. Phylogenet.* 13: 31-49 D OI 10.1006/mpv. 1999.0666.
- Stepien, C. A., Taylor, C. D. & Dabrowska, K. A. 2002.** Genetic variability and phylogeographical patterns of nonindigenous species invasion: a comparison of exotic vs. native zebra and quagga mussel populations. *Journal of Evolutionary Biology*. 15: 314-328.
- Stoeckmann, A. M. & Garton, D. W. 2001.** Flexible energy allocation in zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) in response to different environmental conditions. *J. North Am. Benthol. Soc.* 20: 486-500.
- Straile, D. 2000.** Meteorological forcing of plankton dynamics in a large and deep continental European lake. *Oecologia*. 122: 44-50.
- Strayer, D. L. & Malcom, H. M. 2006.** Long-term demography of a zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) population. *Freshwat Biol.* 51 (1): 117-130.
- Strayer, D. L. & Malcom, H. M. 2007** Effects of zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) on native bivalves: the beginning of the end or the end of the beginning? *J.N. Am Benthol Soc* 26: 111-122.
- Strayer, D. L. & Smith, L. C. 1993.** Distribution of the Zebra Mussel (*Dreissena polymorpha*) in Estuaries and Brackish Waters. IN: *Zebra Mussels: Biology, Impacts, and Control*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL. 1993. 715-727 p.
- Strayer, D. L. & Smith, L. C. 1996.** Relationships between zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) and unionid clams during the early stages of the zebra mussel invasion of the Hudson River. *Freshw Biol.* 36: 771-779.
- Strayer, D. L. 2009.** Twenty years of zebra mussels: lessons from the mollusk that made headlines. *Front Ecol Environ* 7(3): 135-141.
- Strayer, D. L., Caraco, N. F., Cole, J. J., Findlay, S. & Pace, M. L. 1999.** Transformation of freshwater ecosystems by bivalves. *BioScience*. 49: 19-27.
- Strayer, D. L., Downing, J. A., Haag, W. R., King, T. L., Layzer, J. B., Newton, T. J. & Nichols, S. J. 2004.** Changing perspectives on pearly mussels, North America's most imperiled animals. *BioScience*. 54 (5): 429-439.
- Stumpf P., Failing K., Papp, T., Nazir, J., Bohm, R. & Marschang R. E. 2010.** Accumulation of a low pathogenic avian influenza virus in zebra mussels (*Dreissena polymorpha*). *Avian Diseases* 54: 1183-1190.
- Stybel, N., Fenske, C. & Schernewski, G. 2009.** Mussel cultivation to improve water quality in the Szczecin lagoon. *J. Coast. Res.* 56: 1459-1463.
- Summers, R. B. Thorp, J. H., Alexander, J. E. & Fell, R. D. 1996.** Respiratory adjustment of dreissenid mussels (*Dreissena polymorpha* and *Dreissena bugensis*) in response to chronic turbidity. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53: 1626-1631.
- Taskinen, J. & Valtonen, E. T. 1995.** Age-, size-, and sex-specific infection of *Anodonta piscinalis* (Bivalvia: Unionidae) with *Rhipidocotyle fennica* (Digenea: Bucephalidae) and its influence on host reproduction. *Canadian Journal of Zoology*. 73: 887-897.
- Therriault, T. W., Docker, M. F., Orlova, M. I., Heath, D. D. & MacIsaac, H. J. 2004.** Molecular resolution of the family Dreissenidae (Mollusca: Bivalvia) with emphasis on Ponto-Caspian

- species, including first report of *Mytilopsis leucophaeata* in the Black Sea basin. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 30 (3): 479-489.
- Therriault, T. W., Weise, A. M., Higgins, S. N., Guo, Y. & Duhaime, J.** 2012. Risk assessment for three dreissenid mussels (*Dreissena polymorpha*, *Dreissena rostriformis bugensis*, and *Mytilopsis leucophaeata*) in Canadian Fresh water Ecosystems. Canadian Science Advisory Secretariat.
- Thomas, C. D., Cameron, A., Green, R. E., Bakkenes, M., Beaumont, L. J., Collingham, Y. C., Erasmus, B. F. N., de Siqueira, M. F., Grainger, A., Hannah, L., Hughes, L., Huntley, B., van Jaarsveld, A. S., Midgley, G. F., Miles, L., Ortega-Huerta, M. A., Peterson, A. T., Phillips, O. L. & Williams, S. E.** 2004. Extinction risk from climate change. *Nature*. 427: 145–148.
- Thomas, R. & Kane, A.** 2008. Environmental Law Institute; and Bierwagen, Britta G., "Effects of Climate Change on Aquatic Invasive Species and Implications for Management and Research". U.S. Environmental Protection Agency Papers. 51pp. <http://digitalcommons.unl.edu/usepapapers/51>
- Thorp, J. H., DeLong, M. D. & Casper, A. F.** 1998b. *In situ* experiments on predatory regulation of a bivalve mollusc (*Dreissena polymorpha*) in the Mississippi and Ohio Rivers. *Freshwater Biology*. 39: 649-661.
- Travina, O. V., Besspalaya, Y. V., Aksenova, O. V., Shevchenko, A. R. & Sokolova, S. E.** 2019. Infection of *Dreissena polymorpha* (Bivalvia: Dreissenidae) with *Phyllodistomum micrcotyle* (Digenea: Gorgoderidae) in the Norther Dvina River Basin, Northern Russia. *Biharean biologist*. 13 (1): 49-51.
- Troy, C. D., Ahmed, S., Hawley, N. & Goodwell, A.** 2012. Cross-shelf thermal variability in southern Lake Michigan during the stratified periods. *J. Geophys. Res. Oceans*. 117: 1–16.
- Turner, C. B.** 2010. Influence of zebra (*Dreissena polymorpha*) and quagga (*Dreissena rostriformis*) mussel invasions on benthic nutrient and oxygen dynamics. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 67: 1899-1908 DOI: 10.1139/F10-107.
- Tyner, E. H., Bootsma, H. A. & Lafrancois, B. M.** 2015. Dreissenid metabolism and ecosystem-scale effects as revealed by oxygen consumption. *Journal of Great Lakes Research*. 41 (3): 27-37.
- US Department of Interior, Bureau of Reclamation.** 2019. Management Options for Quagga & Zebra Mussel Infestations. USGS 3pp. Consultado en julio del 2019 <https://www.usbr.gov/mussels/docs/MusselManagementOptions.pdf>.
- Van Benschoten, J. E., Jensen, J. N., Lewis, D. & Brady, T. J.** 1993. Chemical oxidants for controlling Zebra mussels (*Dreissena polymorpha*): A synthesis of recent laboratory and field studies. In: Zebra mussels-biology, impacts and control (Eds. T.F. Nalepa and D.W. Schloesser). Lewis Publ. Boca Raton. 599-621 p.
- van der Leeden, F., Troise, F. L. & Todd, D. K.** 1990. *The Water Encyclopedia*. Second Edition. Chelsea F.C., MI: Lewis Publishers, p. 196.
- van der Velde, G., Rajagopal, S. & bij de Vaate, A.** 2010. From zebra mussels to quagga mussels: an introduction to the Dreissenidae. En: van der Velde, G., Rajagopal, S. & bij de Vaate, A. (eds.). *The zebra mussel in Europe*. Backhuys Publishers, Leiden Margraft Publishers, Weikersheim. 1 – 10 p.
- Vanderploeg, H. A., Liebig, J. R., Carmichael, W. W., Agy, M. A., Johengen, T. H., Fahnenstiel, G. L. & Nalepa, T. F.** 2001. Zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) selective filtration promoted toxic *Microcystis* blooms in Saginaw Bay (Lake Huron) and Lake Erie. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58: 1208–1221.
- Vanderploeg, H. A., Liebig, J. R., Carmichael, W. W., Agy, M. A., Johengen, T. H., Fahnenstiel, G. L. & Nalepa, T. F.** 2001. Zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) selective filtration promoted toxic *Microcystis* blooms in Saginaw Bay (Lake Huron) and Lake Erie. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 58 (6): 1208-1221.

- Vanni, M. J.** 2002. Nutrient cycling by animals in freshwater ecosystems. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 33: 311-370.
- Vaughn, C. C. & Taylor, C. M.** 1999. Impoundments and the decline of freshwater mussels: a case study of an extinction gradient. *Conservation Biology*.13 (4): 912-920.
- Voroshilova, I. S., Artamonova, V. S., Makhrov, A. A. & Slynko, Y. V.** 2010. Natural Hybridization of Two Mussel Species *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) and *Dreissena bugensis* (Andrusov, 1897). *Biol. Bull.* 37: 542–547.
- Wakida-Kusunoki, A. T., Wakida, F. T., Leon-Sandoval, D., & Mario, J.** 2015. First record of quagga mussel *Dreissena rostriformis bugensis* (Andrusov, 1897) (Bivalvia, Dreissenidae) from Mexico. *BiolInvasions Record.* 4 (1): 31-36.
- Warren, M. L. & Haag, W. R.** 2005. Spatio-temporal patterns of the decline of freshwater mussels in the Little South Fork Cumberland River, USA. *Biodiversity and Conservation.* 14 (6): 1383-1400.
- Warren, D. L., Matzke, N. J., & Iglesias, T. L.** 2019. Evaluating presence-only species distribution models with discrimination accuracy is uninformative for many applications. *Journal of Biogeography*. DOI: 10.1111/jbi.13705
- Wenger, S. J., & Olden, J. D.** 2012. Assessing transferability of ecological models: an underappreciated aspect of statistical validation. *Methods in Ecology and Evolution.* 3 (2): 260-267.
- Whittier, T. R., Ringold, P. L., Herlihy, A. T. & Pierson, S. M.** 2008. A calcium-based invasion risk assessment for zebra and quagga mussels (*Dreissena* spp). *Frontiers in Ecology and the Environment.* 6 (4): 180-184.
- Winters A., Marsh L T. & Faisal M.** 2010. Bacterial Assemblages Associated with Zebra Mussel (*Dreissena polymorpha*) Populations in the Laurentian Great Lakes Basin (USA). *Journal of Selfish.* 29 (4): 985-988.
- Winters, A. D., Marsh, T. L. & Faisal, M.** 2011. Heterogeneity of bacterial communities within the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) in the Laurentian Great Lakes Basin. *Journal of Great Lakes Research.*37 (2): 318-324.
- Wolgamood, M., Hnath, J. G., Brown, S. B., Moore, K., Marcquenski, S. V., Honeyfield, D. C., Hinterkopf, J. P., Fitzsimons, J. D. & Tillitt, D. E.** 2005. Temporal and spatial variation of early mortality syndrome in salmonids from Lakes Michigan and Huron. *J. Aquat. Anim. Health.* 17 (1): 65–76.
- Wong, W. H., Levinton, J. S., Twining, B. S. & Fisher, N. S.** 2003. Assimilation of micro-and mesozooplankton by Zebra Mussels: A demonstration of the food web link between zooplankton and benthic suspension feeders. *Limnol. Oceanogr.* 48: 308-312.
- Wright, D. A., Setzler-Hamilton, E. M., Magee, J. A., Kennedy, V. S. & McIninch, S. P.** 1996. Effect of salinity and temperature on survival and development of young zebra (*Dreissena polymorpha*) and quagga (*Dreissena bugensis*) mussels. *Estuaries.* 19 (3): 619-628.
- Zdun, V. I., Kiselene, V. K., Karatayev, A. Y. & Makarova, G. E.** 1994. Parasites. In: Starobogatov, J.I.(Ed.), *Freshwater Zebra Mussel Dreissena polymorpha* (Pall.) (Bivalvia, Dreissenidae). Systematics, Ecology, Practical Meaning. Nauka Press, Moscow, in Russian. 196–205 p.

ANEXO A

Géneros y especies de uniónidos para los cuales se encontraron registros georreferenciados en México (GBIF; www.gbif.org).		
Familia	Género	Especie
Unionidae		
	Actinonaias	
		<i>Actinonaias computata</i>
		<i>Actinonaias coyensis</i>
		<i>Actinonaias ligamentina</i>
		<i>Actinonaias medellina</i>
		<i>Actinonaias moctezumensis</i>
		<i>Actinonaias sapotalensis</i>
		<i>Actinonaias signata</i>
		<i>Actinonaias undivaga</i>
	Amblema	
	Anodonta	
		<i>Anodonta californiensis</i>
		<i>Anodonta impura</i>
	Anodontites	
		<i>Anodontites cylindracea</i>
		<i>Anodontites tehuantepecensis</i>
		<i>Anodontites trapesialis</i>
	Barynaias	
		<i>Barynaias caldwellii</i>
		<i>Barynaias opacata</i>
		<i>Barynaias plexus</i>
		<i>Barynaias sallei</i>
	Carunculina	
	Cyclonaias	
		<i>Cyclonaias aurea</i>
	Cyrtonaias	
		<i>Cyrtonaias berlandierii</i>
		<i>Cyrtonaias saladoensis</i>
		<i>Cyrtonaias tampicoensis</i>
		<i>Cyrtonaias umbrosa</i>
	Delphinonaias	
		<i>Delphinonaias delphinulus</i>
	Diplodon	
	Disconaias	
		<i>Disconaias discus</i>
		<i>Disconaias fimbriata</i>

		<i>Disconaias novileonis</i>
		<i>Disconaias panacoensis</i>
		<i>Disconaias purpurata</i>
	Elliptio	
		<i>Elliptio jayensis</i>
	Elliptoideus	
		<i>Elliptoideus sloatianus</i>
	Frierersonia	
		<i>Frierersonia iridella</i>
	Lampsilis	
		<i>Lampsilis discus</i>
		<i>Lampsilis radiata</i>
		<i>Lampsilis teres</i>
	Leoparreysia	
		<i>Leoparreysia olivacea</i>
	Leptodea	
		<i>Leptodea ochracea</i>
	Megalonaias	
		<i>Megalonaias nervosa</i>
		<i>Megalonaias nickliniana</i>
	Nephritica	
		<i>Nephritica poeyana</i>
	Nephronaias	
		<i>Nephronaias aeruginosa</i>
		<i>Nephronaias aztecorum</i>
		<i>Nephronaias calamitarum</i>
		<i>Nephronaias championi</i>
		<i>Nephronaias copanensis</i>
		<i>Nephronaias goascoranensis</i>
		<i>Nephronaias ravistella</i>
		<i>Nephronaias tabascoensis</i>
		<i>Nephronaias yzabalensis</i>
	Pachynaias	
		<i>Pachynaias rugososulcata</i>
		<i>Pachynaias spheniopsis</i>
	Popenaias	
		<i>Popenaias metallica</i>
		<i>Popenaias popeii</i>
		<i>Popenaias tehuantepecensis</i>
	Potamilus	
		<i>Potamilus alatus</i>

		<i>Potamilus metnecktayi</i>
		<i>Potamilus purpuratus</i>
		<i>Potamilus rovirosai</i>
	Psoroniaias	
		<i>Psoroniaias distincta</i>
		<i>Psoroniaias herrerae</i>
		<i>Psoroniaias kuxensis</i>
	Psorula	
	Ptychobranhus	
	Pyganodon	
		<i>Pyganodon grandis</i>
	Quadrula	
		<i>Quadrula apiculata</i>
		<i>Quadrula couchiana</i>
		<i>Quadrula quadrula</i>
	Radiatula	
		<i>Radiatula bonneaudii</i>
	Sphenoniaias	
		<i>Sphenoniaias liebmanni</i>
		<i>Sphenoniaias taumilapana</i>
	Toxolasma	
		<i>Toxolasma parvum</i>
		<i>Toxolasma texasiense</i>
	Truncilla	
		<i>Truncilla cognata</i>
	Unio	
	Uniomerus	
		<i>Uniomerus tetralasmus</i>
	Utterbackia	
		<i>Utterbackia imbecillis</i>
	Villosa	