

Toto-Málaga, D.L., M.C. Carmona-Islas & E. Carreón García. 2025. Variación Estacional de la Calidad del Agua de Arroyo Moreno, con Impacto en Arrecifes Coralinos del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, p. 187-206. In: A. Granados-Barba, L.D. Ortiz-Lozano & A.L. Gutiérrez-Velázquez (eds.). Nuevo Conocimiento sobre el Corredor Arrecifal del suroeste del Golfo de México: Integrando los Ambientes Costeros. Universidad Autónoma de Campeche. 540 p. ISBN 978-607-8907-34-2. doi 10.26359/EPOMEX02202507.

Variación Estacional de la Calidad del Agua de Arroyo Moreno, con Impacto en Arrecifes Coralinos del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano

*Damaris de la Luz Toto-Málaga,
Cynthia Carmona-Islas & Eulalia Carreón García*

Instituto Tecnológico de Boca del Río
Tecnológico Nacional de México,
Boca del Río, Veracruz

*Autor de correspondencia: ccarmona@bdelrio.tecnm.mx

Resumen

El arroyo Moreno confluye con el río Jamapa a poca distancia de la descarga de este último en el mar, en las inmediaciones del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV). Este arroyo recibe agua de diversas fuentes incluido un canal de aguas negras a cielo abierto. Se ha documentado afectaciones debidas a la descarga de aguas con mala calidad. En el presente trabajo se evalúa la calidad del agua del arroyo Moreno en diversos puntos de muestreo y en tres temporadas del año (secas, lluvias y nortes), y se analiza su posible impacto en los arrecifes coralinos del PNSAV. En los puntos de muestreo se midieron los parámetros fisicoquímicos de oxígeno disuelto (OD), temperatura, pH, sólidos disueltos totales (SDT), potencial de oxidación-reducción (POR) y salinidad, utilizando una sonda HANNA HI 9828. Asimismo, se realizó un análisis microbiológico del agua (coliformes fecales y totales) mediante la técnica del número más probable (NMP). En general, en la temporada de secas las temperaturas superaron los 30 °C, y la concentración de oxígeno disuelto fue baja, llegando a valores menores de 1 mg/L; en temporada de lluvias la concentración de oxígeno disuelto fue mayor (entre 2.9 y 6.01mg/L) y la temperatura menor (29.12 °C como valor máximo), mientras que en nortes, se registraron valores de salinidad elevados (hasta 22.74 ups) y de POR bajos (hasta -409.1 mV). Los valores de coliformes totales y fecales superaron en todas las temporadas y puntos de muestreo los límites establecidos por la NOM-001-SEMARNAT 2021 para cuerpos receptores de aguas residuales propiedad de la Nación. De acuerdo con el análisis realizado, el agua del arroyo Moreno impacta la salud de los corales del PNSAV.

Palabras clave: descargas de agua, río Jamapa, presiones antrópicas.

Abstract

Arroyo Moreno stream converges with the Jamapa River at a short distance from the river discharge into the sea near the Veracruz Reef System National Park (PNSAV). This stream receives water from various sources including an open sewage canal. Affectations due to the discharge of poor-quality water have been documented. In this work, the quality of water of the Arroyo Moreno is evaluated at various sampling points and in three seasons of the year (dry, rainy, and nortes), and its possible impact on the coral reefs of the PNSAV is analyzed. At the sampling points, physicochemical parameters dissolved oxygen (OD), temperature, pH, total dissolved solids (SDT), oxidation-reduction potential (POR), and salinity were measured using a HANNA HI 9828 probe. Microbiological analysis of water (fecal and total coliforms) was carried out using the most probable number (NMP) technique. In general, in the dry season temperatures exceeded 30°C, and the concentration of dissolved oxygen was low, reaching values less than 1 mg/L; in the rainy season the concentration of dissolved oxygen was higher (between 2.9 and 6.01 mg/L) and the temperature lower (29.12°C as a maximum value), and in nortes were recorded higher salinity values (up to 22.74 UPS) and low POR (up to -409.1 mV). The values of total and fecal coliforms exceeded the limits established by NOM-001-SEMARNAT 2021 for wastewater-receiving bodies owned by the Nation in all seasons and sampling points. According to the analysis carried out the water of Arroyo Moreno impacts the health of the PNSAV corals.

Palabras clave: Water discharges, Jamapa river, anthropic pressures.

Introducción

La contaminación del agua es uno de los principales retos a enfrentar para el manejo sustentable de recursos acuáticos en México, debido a que a lo largo del tiempo se ha descargado gran cantidad de desechos domésticos e industriales en ríos y lagos, generando un deterioro sin precedente de la calidad del agua; las estadísticas han demostrado que en México las aguas superficiales se encuentran en categorías que van de “contaminadas” a “excesivamente contaminadas” (Alcocer, 2007). La contaminación provocada por descargas de aguas residuales se entiende como la incorporación de materias extrañas al agua, es decir, productos químicos, residuos industriales y de otros tipos y de forma más común las aguas residuales domésticas; todos estos componentes deterioran la calidad del agua y afectan a los organismos y ecosistemas que dependen directamente de ella (Ávila *et al.*, 2018).

Los ambientes acuáticos costeros, están conectados con hábitats marinos debido a la transferencia de energía (nutrientes o recursos tróficos) principalmente a través de los ríos; en algunos casos esta interacción llega a ser negativa (Rodríguez, 2000). Específicamente en el caso de ecosistemas de manglar, se ha documentado la estrecha relación entre éstos y los arrecifes, a través del aporte de agua dulce y sedimentos que provienen del manglar, además de materia orgánica que sirve de alimento a diversos invertebrados del arrecife, incluidos los corales (Devlin & Brodie, 2005; Granek *et al.*, 2009; Briand *et al.*, 2015; Aké-Castillo & Rodríguez-Gómez, 2019). Aunado a lo anterior, los manglares sirven de refugio a larvas y juveniles

de organismos que pasan su vida adulta en los arrecifes (Cocheret de la Morinière *et al.*, 2002; Mumby *et al.*, 2004).

En el caso del PNSAV, esta relación se presenta con el manglar de Arroyo Moreno (Aké-Castillo *et al.*, 2016; Aké-Castillo & Rodríguez-Gómez, 2019). El principal medio de esta interacción es el agua, que une ambos ecosistemas y es a través de ella que se llevan a cabo los distintos intercambios de materia, con el flujo de agua dulce que descarga hacia el mar principalmente en temporada de lluvias, y con el ingreso de agua de mar cauce arriba en temporada de secas (Avendaño-Álvarez *et al.*, 2017; Perales-Valdivia *et al.*, 2018; González-Vázquez *et al.*, 2019; Salas-Monreal *et al.*, 2020 a,b).

Cabe destacar la importancia de la temporalidad en las condiciones del agua de ambos ecosistemas: En la temporada de lluvias cuando prevalece el flujo hacia el mar, el agua llega con partículas de sedimento, materia orgánica y microorganismos del arroyo Moreno, modificando los valores de las variables fisicoquímicas del agua en el río Jamapa y en el mar. En la temporada de secas, cuando la influencia del agua de mar en el río y en el arroyo es mayor, ésta se refleja principalmente en la salinidad. En temporada de “Nortes”, cuando el viento proviene del norte y noroeste, se presentan vientos de mayor intensidad que provocan la mezcla de la columna de agua y el consecuente debilitamiento de la estratificación de la salinidad (Riverón-Enzástiga *et al.*, 2016; Avendaño-Álvarez *et al.*, 2017; Perales-Valdivia *et al.*, 2018; González-Vázquez *et al.*, 2019; Salas-Monreal *et al.*, 2020b).

Es relevante considerar la calidad del agua que se está descargando a los sistemas arrecifales, ya que pueden llegar a verse afectados (Devlin & Brodie, 2005). Existen diversos parámetros fisicoquímicos que, junto con análisis microbiológicos, permiten evaluar la calidad del agua; de acuerdo con Jiménez-Cisneros (2013) son: la temperatura, el oxígeno disuelto (OD), el pH, la cantidad de sólidos disueltos totales (SDT) y las condiciones de oxidación-reducción (POR). En el caso de los análisis microbiológicos, van dirigidos a determinar la presencia de microorganismos en ella; las poblaciones bacterianas en el agua difieren en número, calidad y composición de especie dependiendo, entre otros aspectos, de la procedencia del agua (Arcos *et al.*, 2005).

En el caso del flujo de agua del arroyo Moreno hacia el río Jamapa y luego al mar, hacia el PNSAV, se ha registrado en el río, en una zona a pocos metros aguas abajo de la conjunción con dicho arroyo, valores de algunas variables fisicoquímicas que denotan

condiciones del agua que pueden afectar a los corales (Salas-Monreal *et al.*, 2020a).

En la zona de manglar Arroyo Moreno, Veracruz, se han identificado problemas de contaminación en el Arroyo Moreno a causa de descargas de aguas residuales domésticas sin tratamiento, lo que ha alterado la calidad del agua; incluso, se ha demostrado la presencia de bacterias de origen fecal en altas concentraciones (Garibay, 2006; Aké-Castillo *et al.*, 2016; Peña, 2022). Esta agua llega al mar, a las inmediaciones del PNSAV.

A pesar de lo antes mencionado, no se habían realizado estudios recientes y detallados del agua del Arroyo Moreno; por ello, el objetivo del presente trabajo fue evaluar las variaciones temporales de la calidad del agua en diversos puntos del Arroyo Moreno, y analizar su posible efecto en los arrecifes coralinos del PNSAV, con la suposición de que la temporalidad tendrá efecto en los parámetros del agua y que si tiene un impacto en el PNSAV.

Métodos

El manglar de “Arroyo Moreno” fue declarado Área Natural Protegida (ANP) estatal en 1999, y en 2008 se le dio la categoría de Reserva Ecológica (Gaceta Oficial del Estado, 2008). La mayor parte de su área se encuentra comprendida en el municipio de Boca del Río, y la menor en el municipio de Medellín (Coordinación General del Medio Ambiente, 2006). Se estima que el manglar abarca 331 ha; presenta más de 300 especies vegetales entre las que destacan cuatro especies de mangle que están sujetas a pro-

tección especial, y se han registrado más de 300 especies de aves, de las cuales, 46 están en alguna categoría de riesgo; Asimismo, es un área de especies de importancia comercial (López-Portillo *et al.*, 2022). Desde su declaratoria como ANP ha recibido severas modificaciones hidráulicas debido a grandes obras como la construcción de la desembocadura de la termoeléctrica “Dos Bocas” de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), el Canal de aguas negras “La Zamorana”, y el Canal Bicentenario, cuyas aguas son descar-

gadas al Arroyo Moreno, el cual se desarrolla en forma de meandros y cuenta con amplias zonas de inundación (Coordinación General del Medio Ambiente, 2006). En la zona se presenta marea diurna mixta (López-Portillo *et al.*, 2022).

Para la determinación de los puntos de muestreo de agua, se realizó una revisión bibliográfica de documentos que analizan o describen el entorno del Arroyo Moreno (Coordinación General del Medio Ambiente, 2006; Méndez-Álvarez, 2013; López-Portillo *et al.*, 2022) y se realizó una visita prospectiva anotando las características observables en los márgenes del arroyo (vegetación, edificaciones, descargas y caminos de acceso). Adicionalmente, se revisaron visualmente imágenes de Google Earth para corroborar lo observado en campo, principalmente la extensión de las zonas de mangle a los lados del Arroyo Moreno.

Con esta información se decidió considerar cinco segmentos con características distintivas; en cada uno de esos segmentos se ubicó un punto de muestreo, cuando se observaba una descarga de agua dentro del segmento, se tomó la muestra próxima a ella, con la finalidad de obtener información de la calidad del agua que se estaba descargando a dicho arroyo, cuando no se observaba ninguna descarga, el punto de muestreo se ubicó en la parte media del recorrido del segmento; de esta manera los puntos de muestreo del dos al seis, representan las condiciones del agua de esos cinco segmentos. Los puntos de muestreo 1 y 7 se ubicaron, respectivamente, al inicio del Arroyo Moreno, cerca de su confluencia con el río Jamapa, a fin de determinar la calidad del agua que se está descargando del arroyo al río, y

al final del área de estudio de este trabajo, a fin de determinar la calidad del agua que está llegando al Arroyo Moreno desde aguas arriba.

El Punto 1 se ubicó cerca de la confluencia del Arroyo Moreno con el río Jamapa (19°06'01.78" N, 96°06'43.4" W); el Punto 2 (19°06'15.98" N, 96°06'48.35" W) se situó en la parte media del segmento en el cual, el margen del lado del municipio de Boca del Río, se encuentra bordeado por edificaciones; el Punto 3 (19°06'34.58" N, 96°07'03.46" W) se encuentra en un segmento en el que a pesar de estar bordeado por mangle en ambos márgenes, hay algunos espacios de acceso por tierra y una pequeña sección que queda fuera del polígono de esta ANP; el Punto 4 (19°06'49.89" N, 96°07'15.79" W) se ubicó en una zona bordeada por mangle denso y de aparente mayor altura que en las otras zonas; el Punto 5 (19°07'06.53" N 96°07'46.84" W), se situó en el lugar de descarga del canal de aguas negras a cielo abierto "la Zamorana"; el Punto 6 (19°06'41.97" N, 96°08'30.69" W) se tomó en el sitio de descarga de CFE en el Arroyo Moreno; y el Punto 7 (19°06'40.56" N, 96°08'34.69" W) se encuentra unos metros arroyo arriba del punto de descarga de CFE, estos dos últimos puntos ya quedan fuera del polígono del ANP. En el último muestreo (temporada de nortes), se tomó una muestra extra en el canal de La Zamorana, previo a su confluencia con el arroyo Moreno (19°07'08.046" N, 96°07'52.353" W), solo para verificar la calidad del agua que estaba llegando proveniente de este canal, una vez que se revisaron los resultados de los análisis microbiológicos de los muestreos previos. Por último, en el caso del sitio

de muestreo ubicado en el río Jamapa, se tomó unos metros río arriba de la confluencia del arroyo con el río ($19^{\circ}05'54.01''N$, $96^{\circ}06'36.61''W$), con la finalidad de verificar la calidad del agua que llega del río desde aguas arriba (figura 1).

La medición de parámetros fisicoquímicos y muestreos de agua para análisis microbiológicos (coliformes totales y fecales) se realizó en el agua superficial de los puntos de muestreo. Se llevaron a cabo tres muestreos, correspondientes a la transición entre las temporadas de secas y lluvias (28 de junio de 2022), la temporada de lluvias (27 de septiembre de 2022) y la de nortes (4 de enero de 2023). No fue posible realizar el

muestreo en la temporada de secas por cuestiones técnicas; sin embargo, dado que el muestreo del mes de junio corresponde a un mes de transición entre secas y lluvias (Avendaño-Álvarez *et al.*, 2017), se considera que podía reflejar condiciones similares a la temporada de secas.

La medición de parámetros fisicoquímicos se realizó en campo entre las 07:30 y las 9:00 h de la mañana, utilizando una sonda HANNA HI 9828. Con ella se midió: oxígeno disuelto (OD; mg/L), temperatura ($^{\circ}C$), pH, sólidos disueltos totales (SDT; ppm), potencial de oxidación-

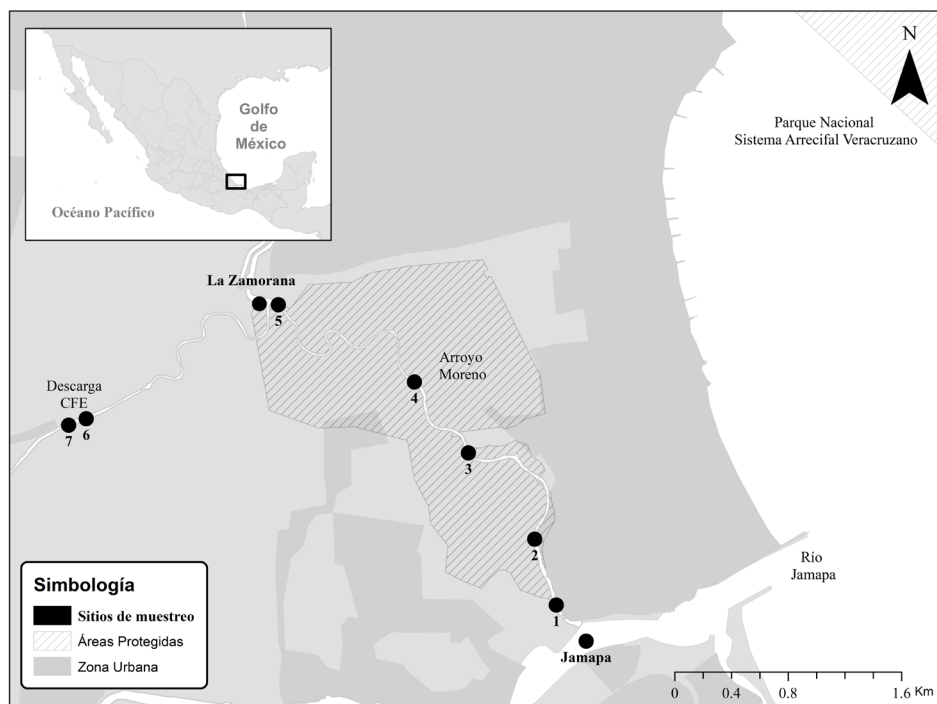


Figura 1. Puntos de muestreo en el área de estudio.

reducción (POR; mV) y salinidad (UPS). No se cuenta con los valores del tercer muestreo de SDT debido a que la sonda mostró problemas con la medición de este parámetro.

Para el análisis microbiológico, se siguió la técnica del Número más Probable (NMP), siguiendo las especificaciones de la NOM 210 SSAI 2014 (DOF, 2015) y de la NMX-AA-042-SCFI-2015 (DOF, 2016), para la toma de muestras y su posterior análisis.

Para la toma de muestras, se utilizaron bolsas de muestreo estériles de 118 mL marca Whirl-Pak; cada bolsa que se utilizó se introdujo a aproximadamente 30 cm bajo la superficie del agua, abriéndola debajo del agua, teniendo cuidado de que la boca de la bolsa quedara en sentido contrario al flujo de la corriente. Una vez que la muestra ocupó el volumen correspondiente se cerró la bolsa sin sacarla del agua, para posteriormente terminar de sellarla en el exterior. Las muestras se tomaron por la mañana, al mis-

mo tiempo que se medían los parámetros fisicoquímicos, y se trasladaron en una hielera conservándolas a $4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, hasta llegar al laboratorio de Microbiología del Instituto Tecnológico de Boca del Río, donde se colocaron en refrigeración a $4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ para su posterior procesamiento por la tarde del mismo día, teniendo cuidado de atemperarla antes del análisis.

Para el análisis de las muestras en laboratorio, se siguió la técnica del NMP, utilizando caldo lactosado para la prueba presuntiva, mediante tres diluciones de la muestra, caldo verde brillante bilis al 2 % para la prueba confirmativa de coliformes totales y caldo EC para la confirmativa de coliformes fecales. Se anotó el número de tubos con resultado positivo y se revisó en la tabla del número más probable que se encuentra en la NMX-AA-042-SCFI-2015 (DOF, 2016), la concentración correspondiente de coliformes.

Resultados

En el caso de los parámetros fisicoquímicos del agua se obtuvieron resultados que muestran variaciones entre los distintos puntos y temporadas de muestreo. En general, se puede observar que en el Arroyo Moreno las concentraciones de OD son bajas, las temperaturas elevadas y los valores de POR son marcadamente negativos.

Analizando los valores obtenidos para los distintos parámetros, se observó que los resultados de las mediciones llevadas a cabo en el mes de transición de secas a lluvias (junio), muestran un comportamiento diferente al que se presenta en el mes de lluvias, y

consideramos que de alguna manera si está reflejando las condiciones de las aguas en la temporada de secas, por lo que en adelante y con fines prácticos, se mencionarán los resultados observados en junio como temporada de secas.

Los valores de OD registrados en Arroyo Moreno mostraron en general menores concentraciones en el mes de secas que en lluvias y nortes, en los puntos de muestreo 2 a 4 los valores fueron menores de 1 mg/L (figura 2). A excepción del Punto 6 que se ubica en la zona donde descarga de CFE, y del Punto 7 en temporada de secas, en todos

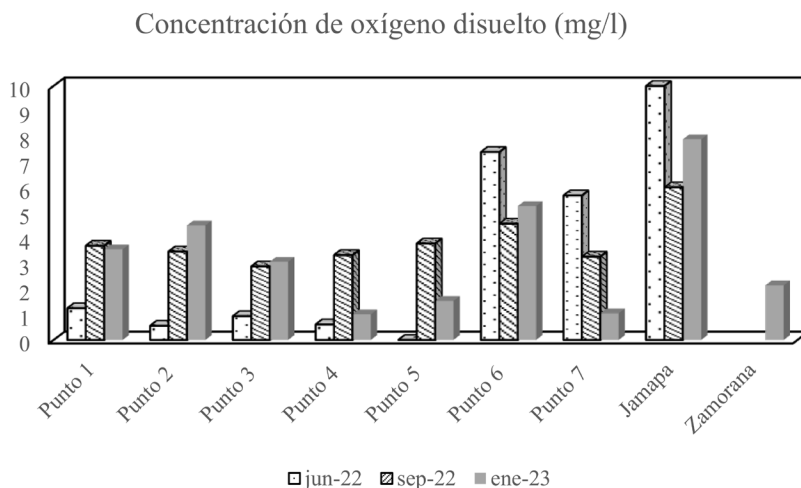


Figura 2. Valores de OD en los puntos y meses de muestreo.

los demás puntos y temporadas los valores de oxígeno disuelto del arroyo están por debajo de 5 mg/L. El sitio de muestreo que corresponde al río Jamapa obtuvo en las tres temporadas valores mayores a los registrados en el Arroyo Moreno, siempre por arriba de los 5 mg/L.

Con relación a la temperatura (figura 3), en la temporada de secas fue mayor en todos los puntos de muestreo, sobrepasando de 30 °C en el arroyo y llegando a más de 37 °C en los puntos 5 (zona de descargas de la Zamorana) y 7 (aguas arriba del punto de descarga de CFE); en el caso del río Jamapa la temperatura registrada fue de 27.76 °C. En la temporada de lluvias se observaron las temperaturas más bajas (entre 27.55 y 27.92 °C), a excepción de los puntos 5 (zona de descarga de la Zamorana) y 6 (zona de descarga de CFE) donde se registraron respectivamente, 28.02 y 29.12 °C; en el río Jamapa se registró 25.82 °C. Por último, en la temporada de nortes, se registraron en los puntos 1 a 4 valores entre 28.01 y 28.26 °C;

la temperatura más alta se registró en el Punto 6 (descarga de CFE; 30.21 °C), mientras que en los puntos 5 (zona de descarga de la Zamorana) y 7 (aguas arriba de la descarga de CFE) se registraron, respectivamente, 26.43 y 26.14 °C; en la Zamorana se registró la temperatura más baja (24.6 °C), y en el río Jamapa 25.82 °C.

El pH mostró variaciones ligeras, en la temporada de secas varió entre 7.32 a 7.70, en lluvias de 7.20 a 8.18 y en nortes entre 7.5 y 8.24; sin embargo, no se observó ningún patrón de variación entre los distintos puntos de muestreo, por lo que no se ilustró gráficamente.

Con relación a los TDS, en temporada de secas, en los cuatro primeros puntos de muestreo se obtuvieron valores por encima de 600 ppm; el punto de muestreo con menor concentración fue el Punto 6 (160 ppm; punto de descarga de CFE). En temporada de lluvias, en casi la totalidad de puntos de muestreo del Arroyo Moreno las concentraciones de SDT estuvieron entre 305 y 366

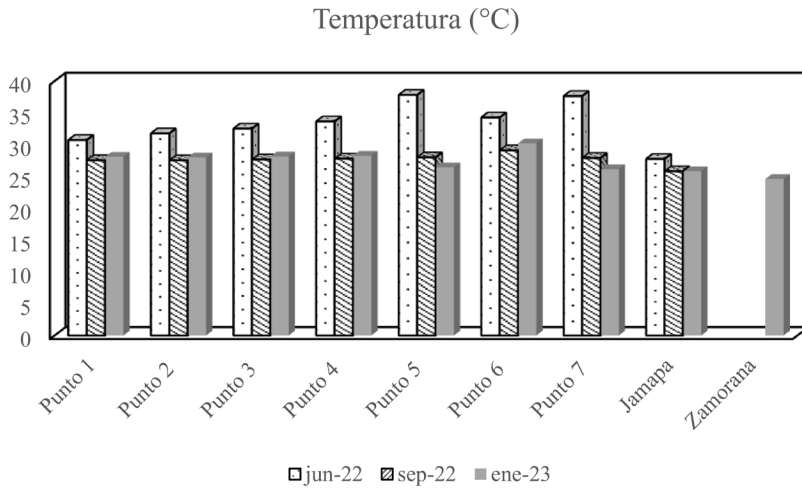


Figura 3. Valores de temperatura registradas en los puntos y meses de muestreo.

ppm, a excepción del Punto 6, que nuevamente fue el que mostró menor concentración (208 ppm); en el caso del río Jamapa, se obtuvo una concentración de 148 ppm (figura 4).

Comparando los valores de POR entre temporadas se puede observar que, en general, fueron más negativos en temporada de nortes (entre -97.8 y -409.1 mV), seguidos de la temporada de lluvias (-50.6 y -383 mV); y de la temporada de secas (-6.7 y -192.9) (figura 5). Con relación a los puntos de muestreo, los valores más negativos se observaron en los puntos 5 (zona de descarga de la Zamorana), 6 (punto de descarga de CFE) y 7 (aguas arriba del punto de descarga de CFE); de éstos, el Punto 7 fue el que mostró los valores más negativos en temporada de lluvias y de nortes (-383 y -409 mV, respectivamente). En el río Jamapa, se registraron los valores menos negativos para todas las temporadas (entre -6.7 y -97.8mV).

Finalmente, con respecto a la salinidad, en la temporada de lluvias se observó los

valores más bajos (entre 0.14 y 0.35 UPS), seguida de la temporada de secas (de 0.15 a 0.71 UPS), mientras que en temporada de nortes se observaron valores notoriamente más elevados (valores entre 3.6 y 22.74 UPS) (figura 6). Con relación a los puntos de muestreo, la mayor salinidad del arroyo Moreno se observó en los puntos más cercanos a su confluencia con el río Jamapa (y por consiguiente los más cercanos al mar). En el caso del río Jamapa, se observaron valores relativamente bajos de salinidad (entre 0.14 y 6.73 UPS).

En lo que respecta al análisis microbiológico, se obtuvieron resultados positivos en todos los tubos con muestras, y de acuerdo con la tabla del NMP, presente en la NMX-AA-042-SCFI-2015 (DOF, 2016), cuando todas las muestras presentan resultado positivo la concentración de coliformes fecales es ≥ 2400 NMP/100 mL y para coliformes totales ≥ 2400 NMP/100 mL.

Analizando el posible efecto de las descargas de agua del arroyo Moreno en los arre-

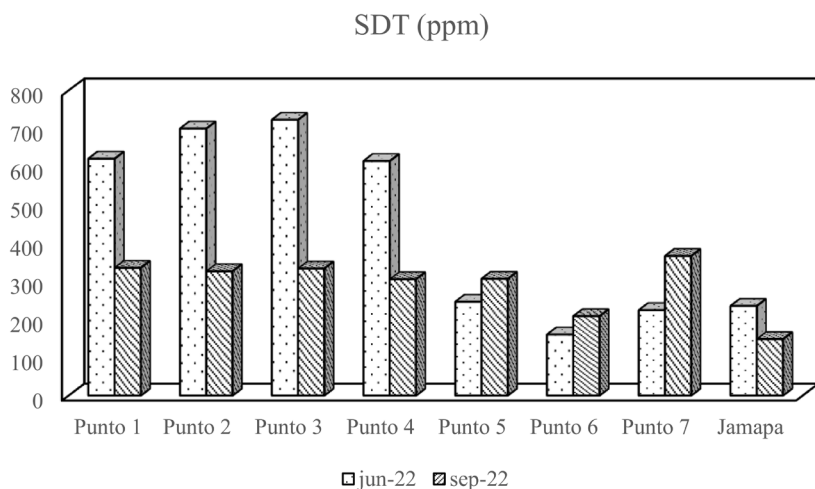


Figura 4. Valores de SDT registrados en los puntos y meses de muestreo.

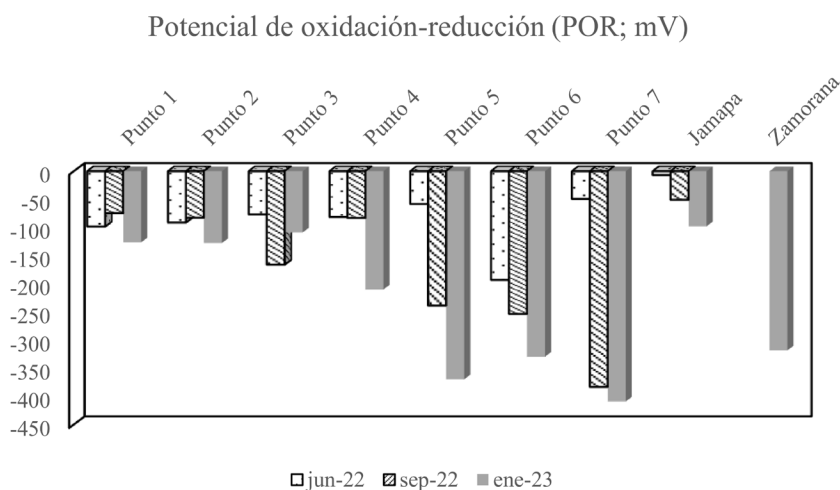


Figura 4. Valores del POR registrados en los puntos y meses de muestreo. Se debe de tene en cuenta que son valores negativos.

cifes coralinos del PNSAV, se realizó una revisión bibliográfica constatando que el agua de dicho arroyo descarga en el río Jamapa y estas aguas llegan a algunos de los arrecifes coralinos del PNSAV ocasionando afectacio-

nes a su salud debido a las bacterias presentes en ella (García-Fuentes, 2013; Colín-García *et al.*, 2016; Avendaño-Álvarez *et al.*, 2017; Salas-Monreal *et al.*, 2020b).

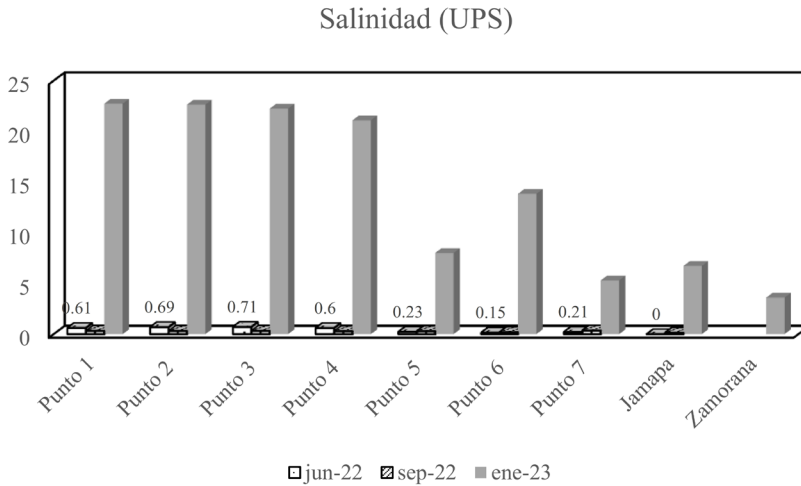


Figura 6. Valores de Salinidad registrada en los puntos y meses de muestreo. Los valores en etiquetas corresponden al mes de junio (transición de secas a lluvias).

Discusión

Con relación al OD, de acuerdo con Chapman & Kimstach (1996), valores de OD menores de 5 mg/L pueden afectar adversamente el funcionamiento y supervivencia de comunidades biológicas y por debajo de 2 mg/L pueden provocar la muerte de algunos organismos, incluidos los corales (Avendaño-Álvarez *et al.*, 2017). La temporada de lluvias fue la única en la que se obtuvieron valores superiores a 2 mg/L para todos los puntos de muestreo, lo cual concuerda con lo afirmado con Barceló-Quintal *et al.* (2012) que mencionan que la relación de efecto de lluvias sobre el OD tiene un efecto positivo. Las concentraciones de OD observadas en los puntos de muestreo del arroyo Moreno, fluctuaron entre 0.56 y 7.4 mg/L en la temporada de secas, entre 2.9 y 4.58 en lluvias, y entre 1.01 y 5.27 mg/L en nortes; en temporada de secas los cuatro puntos de

muestreo más cercanos al río Jamapa tuvieron valores entre 0.56 y 1.25 mg/L. Estos resultados son similares a lo observado por Avendaño-Álvarez *et al.* (2017) en la zona de descarga del río Jamapa, donde reportan la menor concentración de OD a fines del mes de junio (el mes del primer muestreo), y la mayor en la temporada de lluvias; de acuerdo con estos autores las condiciones de hipoxia observadas pueden ser reflejo de una elevada concentración bacteriana. En este estudio, en todos los puntos y en todas las temporadas de muestreo, se obtuvo una concentración muy elevada (≥ 2400 NMP/100 ml) tanto de coliformes totales como de coliformes fecales, por lo que se considera que las bajas concentraciones de OD pueden ser respuesta a la elevada cantidad de bacterias presentes. También, las descargas ricas en materia orgánica y nutrientes pueden disminuir la

concentración de OD por el incremento en la actividad microbiana durante la degradación de la materia orgánica (Chapman & Kimstach, 1996); ésta, también sería una razón de los valores bajos de OD ya que algunos trabajos (Garibay, 2006; López-Portillo *et al.*, 2022; Peña, 2022) han reportado la descarga de aguas doméstica sin tratamiento al arroyo. En los valores obtenidos en el arroyo Moreno, únicamente el punto de descarga de CFE mostró concentraciones elevadas de OD, probablemente por la cascada que se forma y que favorece la oxigenación del agua.

En el caso de la temperatura, en la temporada de secas, las temperaturas registradas son superiores a 30 °C, mientras que en las otras temporadas (lluvias y nortes) las temperaturas del agua del arroyo Moreno fueron menores (pero por encima de los 26 °C); esto podría ser reflejo de la temperatura atmosférica que en junio (temporada de secas) oscila alrededor de los 32 °C. En las temporadas de lluvias y de nortes el Punto 6, ubicado en la descarga de CFE, fue el que mostró mayor temperatura (en nortes por encima de 30 °C), probablemente por provenir de un canal poco profundo o por ser descargas de agua proveniente de una termoeléctrica. De acuerdo con lo observado por Salas-Monreal *et al.* (2020b), las descargas de agua de Arroyo Moreno hacia el río Jamapa superan los 25 °C, llegando a identificar sus aguas en la parte norte del estuario que forma el río Jamapa antes de descargar hacia el mar. Las descargas de agua con temperatura elevada podrían exacerbar los efectos provocados por esta variable en momentos en los que en el mar también se registran temperaturas elevadas.

El potencial de hidrógeno (pH) influye en los procesos químicos y biológicos de un cuerpo de agua. En aguas no contaminadas su valor es controlado principalmente por el balance entre el CO² y los iones carbonato y bicarbonato, el pH en la mayoría de las aguas en la naturaleza varía entre 6 y 8.5 (Chapman & Kimstach, 1996). En todas las temporadas y puntos de muestreo del arroyo Moreno y el río Jamapa, los valores de pH se encontraron dentro del intervalo de valores esperados para aguas en la naturaleza.

En el caso de los SDT, la Comisión Nacional del agua (CONAGUA), en la Ley Federal de Derechos en materia de aguas nacionales no especifica un límite definido de SDT para protección a la vida acuática en aguas costeras y estuarios u otro tipo de humedales (CONAGUA, 2023); sin embargo, se sabe que se trata de moléculas o iones que se encuentran disueltos en el agua y que pueden provenir de materia orgánica en descomposición, metales y compuestos químicos y que pueden modificar las propiedades físicas del agua, e incluso pueden provocar su toxicidad (Jiménez-Cisneros, 2013). Los valores altos de SDT pueden originarse por escorrentía procedente de agricultura, aportes de agua urbanos, lixiviación de contaminantes del suelo y de plantas de tratamiento de aguas residuales, y tener efecto negativo en la penetración de la luz en el agua (Amador-Álvarez *et al.*, 2019) y, aunque por ley no se especifique un límite, el agua con elevada turbiedad que se descargue a zonas arrecifales puede provocar afectaciones a los corales. En la temporada de lluvias se observaron valores de SDT más bajos que en temporada de secas, probablemente debido al efecto de dilución debido al aporte de agua de lluvia.

Los valores de SDT fueron menores en el Punto 6 (descarga de CFE), lo cual indicaría que este aporte de agua no contiene tantos sólidos disueltos.

En lo que respecta al POR, en todos los muestreos se obtuvieron valores negativos, lo cual denota condiciones reductoras; de acuerdo con Chapman & Kimstach (1996) el oxígeno, el hierro y el azufre, así como algunos sistemas orgánicos, tienen influencia en el POR de tal manera que, cuando aumenta el OD aumenta el valor de POR y, en presencia de sulfuro de hidrógeno, disminuye su valor volviéndose negativo, por lo que los valores obtenidos podrían ser reflejo del bajo valor de OD y la posible presencia de sulfuro de hidrógeno. Peira (2014) menciona que en aguas donde haya cargas residuales y que contenga alta carga de materia orgánica, el medio será claramente reductor y mostrará valores de POR muy negativos. En el caso de arroyo Moreno, los resultados del análisis microbiológico indican la presencia de descargas de aguas residuales, por lo que ésta podría ser la razón por la que los valores de POR son muy negativos.

Torres *et al.* (2023) caracterizaron la variación de parámetros fisicoquímicos en el agua de zonas de manglar de tres lagunas costeras de Sonora, los valores del POR registrados en el agua superficial de estos sitios fluctuaron entre -140.6 ± 24.3 y -238.5 ± 32.4 mV. Los valores de POR registrados en arroyo Moreno fluctuaron entre -49 y -409.1 mV, los valores más negativos se registraron durante la temporada de lluvias y de nortes en los puntos 5 (-238.6 y -369.7 mV respectivamente; cerca de la descarga de la Zamorana), 6 (-253.5 y -329.5 mV, respectivamente; descarga de CFE) y 7 (-383 y -409.1 mV respectivamen-

te; aguas arriba de la descarga de CFE). Estos últimos valores podrían estar indicando descargas de aguas residuales arroyo arriba del punto de descarga de aguas de CFE.

En relación con la salinidad, se observaron valores más elevados en el muestreo de enero (temporada de nortes). De acuerdo con el calendario de mareas, en la fecha y hora en la que se llevó a cabo el muestreo, había marea viva y se encontraba pasando de bajamar a pleamar; de acuerdo con Salas-Monreal *et al.* (2020b), esto podría favorecer la entrada de agua del mar al Arroyo Moreno. Los puntos de muestreo en los que se observaron los mayores valores de salinidad fueron los más cercanos a la zona de descarga de dicho arroyo con el río que, a su vez, son los más cercanos al mar. Aunado a lo anterior en temporada de nortes, los vientos pueden favorecer la mezcla vertical del agua (Perales-Valdivia *et al.*, 2018). De acuerdo con algunos autores (Perales-Valdivia *et al.*, 2018; Salas-Monreal *et al.*, 2020b) el río Jamapa es un estuario de cuña salina, y la mezcla provocada por el viento podría provocar elevados valores de salinidad en las aguas superficiales. Por último, cabe mencionar que el arroyo Moreno es más somero que el río Jamapa, lo que facilita su mezcla.

En el caso de la determinación de coliformes totales y fecales, el control negativo no presentó formación de gas, lo cual indica un correcto procesamiento de las muestras. La NOM-001-SEMARNAT-2021 (DOF, 2022) establece que para arroyos, ríos, canales y drenes, el límite permisible para la coliforme fecal *Escherichia coli* es de 500 NMP/100 mL y la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS, 2015) de 200 NMP/100 mL para coliformes fecales y to-

tales. En el Arroyo Moreno, los valores de coliformes totales y fecales fueron de ≥ 2400 NMP/100 mL, los cuales superan los límites establecidos en la NOM-001-SEMARNAT 2021.

Impacto de la Calidad del Agua en los Arrecifes Coralinos del PNSAV

La determinación de coliformes totales y fecales se utiliza como indicador de descargas de aguas residuales que reciben aportes de excretas humanas, tanto orina como materia fecal. Este tipo de agua contiene diversos microorganismos provenientes de los desechos humanos cuyo vector de transmisión es el agua, ya que se sigue utilizando a los cuerpos de agua como sitios de descarga de aguas residuales. Los efectos de esta contaminación microbiológica se reflejan en la salud humana y en la calidad de los ecosistemas, incluidos los del ambiente marino (Barrera-Escorcia & Wong-Chang, 2005).

Baross *et al.* (1975) observaron que las bacterias provenientes de aguas residuales tienen la capacidad de crecer en condiciones oceánicas. Las descargas continuas de aguas residuales en aguas costeras pueden contaminar con microorganismos patógenos humanos a la fauna que se encuentra ahí. Se ha reportado que los microorganismos patógenos provenientes de descargas de aguas residuales, que reciben excretas humanas y de otros animales, al llegar al ambiente marino enferman a los peces que se alimentan ahí y que muchas veces son a su vez nuestro alimento (Matches *et al.*, 1974). Además de peces, estos microorganismos provocan enfermedades y mortalidad parcial en corales como *Acropora palmata* (cuerno de alce), considerando esta situación como zoonosis

inversa (Norat-Ramírez *et al.*, 2011; Sutherland *et al.*, 2011).

En el caso del PNSAV, de acuerdo con Avendaño-Álvarez *et al.* (2017), en el área de influencia de la descarga del río Jamapa que llega al PNSAV se han detectado concentraciones de oxígeno disuelto que indican condiciones de hipoxia, las cuales pueden deberse a elevadas concentraciones bacterianas, y afectar negativamente a los corales. Las descargas del Jamapa afectan la parte central del PNSAV con un aporte medio anual de $66 \text{ m}^3/\text{s}$ (Colín-García *et al.*, 2016; Marín-Hernández *et al.*, 2021) el cual incluye el agua proveniente del arroyo Moreno, último afluente del río antes de su desembocadura en el mar, con una descarga de $\sim 10 \text{ m}^3/\text{s}$ en su unión con el río Jamapa (Salas-Monreal *et al.*, 2020b). Esta agua invariablemente descarga al mar a las inmediaciones del PNSAV y es redistribuida por olas y corrientes.

Aunado a lo anterior, de acuerdo con los valores registrados por Sánchez-Sánchez (2022) de coliformes fecales y metales pesados, hay descargas de agua de drenaje proveniente de los asentamientos humanos ubicados a todo lo largo de la cuenca del río Jamapa con impacto en su calidad del agua y con una mayor concentración cerca de su desembocadura hacia el mar. Esto significa que tanto el río Jamapa como el Arroyo Moreno contienen aguas residuales que descargan al PNSAV.

Es relevante considerar que, en trabajos previos, se ha comprobado que las descargas de aguas residuales provenientes de la zona costera de la ciudad de Veracruz afectan los tejidos de arrecifes coralinos del PNSAV (Colín-García *et al.*, 2016), diversas enfermedades provocadas por bacterias en los

corales de este sistema arrecifal muestran relación con las fuentes costeras urbanas de contaminación bacteriana, incluida la zona de descarga del río Jamapa (García-Fuentes, 2013).

La concentración de coliformes totales y fecales, obtenida en las muestras del Arroyo Moreno y en el río Jamapa, alertan sobre este tipo de descargas en cuerpos de agua que desembocan en las inmediaciones del PNSAV afectando a los corales de este sistema arrecifal.

Considerando la mala calidad del agua que está llegando continuamente a este ecosistema, sería relevante un monitoreo constante

del agua, no solo en la parte marina cercana al PNSAV, sino también en los cuerpos de agua que descargan en sus inmediaciones ya que, de acuerdo con Araujo *et al.* (2015), se ha observado una alta vulnerabilidad en arrecifes coralinos que se ubican en zonas cercanas a desarrollos urbanos. La influencia de las descargas del río, que traen sedimentos, turbidez, bajas concentraciones de oxígeno y ocasionan variaciones de salinidad provocan la existencia de zonas inapropiadas para la fijación y desarrollo de larvas de coral y podrían explicar la ausencia de corales en el mar en la zona de descarga del río Jamapa (Avendaño-Álvarez *et al.*, 2017).

Conclusiones

La calidad del agua del arroyo Moreno muestra variaciones con la estacionalidad, notándose condiciones acentuadas: En la temporada de secas (junio) disminuye el oxígeno disuelto y se incrementan la temperatura y los sólidos disueltos totales. En la temporada de lluvias, con el aporte de aguas, aumenta el oxígeno disuelto, y disminuyen la temperatura y los sólidos disueltos totales. En la temporada de nortes los valores de salinidad del agua superficial son más elevados como consecuencia de la mezcla del agua.

La concentración de coliformes fecales rebasó los límites establecidos en todas las temporadas del año y en todos los puntos de muestreo, reflejo de una descarga constante, de más de una fuente, de aguas residuales con contaminación fecal que afecta negativamente la calidad del agua del Arroyo Moreno y del río Jamapa que, a su vez, descargan sus aguas hacia las inmediaciones del PNSAV.

Consideraciones finales

Considerando que se ha demostrado, a través de diversos estudios, que el agua que descarga el río Jamapa tiene un efecto sobre la salud de los corales del PNSAV, y que las descargas de agua con este tipo de contaminación afectan directamente a sus colonias, resulta relevante un monitoreo hidrológico

constante de los cuerpos de agua costeros y en la parte marina cercana al PNSAV, ya que ello ayudaría a revertir esta situación, sobre todo en las circunstancias actuales de vulnerabilidad en las que estos ecosistemas se encuentran ante las condiciones climáticas.

Agradecimientos

Este trabajo fue posible gracias al Proyecto TecNM I4325.22-P. Mi mas sincero agrade-

cimiento a el editor y los revisores de este trabajo.”

Literatura citada

- Aké-Castillo, J., C. Rodríguez-Gómez & A. Buendía, 2016. Arroyo Moreno: un manglar en la ciudad. *La Ciencia y el hombre*, vol. XXIX(1):10-15. <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/48553/115-CYL-090816.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Aké-Castillo, J. & C. Rodríguez-Gómez, 2019. El corredor arrecifal del suroeste del Golfo de México y los sistemas de manglar de Veracruz. pp 301-316. In: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, C. González-Gándara & D. Salas-Monreal (eds.). Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche. México. 376 pp. <https://epomex.uacam.mx/view/download?file=14/CASGM2019.pdf&tipo=paginas>
- Alcocer, J., 2007. El agua epicontinental de México. *Revista Ciencia*, 66:26-35. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/58_3/PDF/05-548.pdf
- Amado-Álvarez, J., P. Pérez-Cutillas, L. Alatorre-Cejudo & O. Ramírez-Valle, 2019. Análisis multiespectral para la estimación de la turbidez como indicador del agua en embalses del estado de Chihuahua, México. *Revista Geográfica de América Central*, 62:49-77. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/issue/view/1029>
- Araujo, G.H., K. Gorchach-Lira, D. Medeiros & C. Sassi, 2015. Physicochemical and bacteriological seawater quality and sustainability of Cabo Bronco (Brazil) coral reef. *PanAmerican Journal of Aquatic Sciences*, 10(2):94-104. https://panamjas.org/artigos.php?id_publica=210
- Arcos, P.M., N. Ávila, T. Estupiñán & P. Gómez, 2005. Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *NOVA*, 116(3):69-79. <https://revistas.unicolmayor.edu.co/index.php/nova/issue/view/5>

- Avendaño-Álvarez, O., D. Salas-Monreal, M. Marín-Hernández, D. Salas-de-León & A. Monreal-Gómez, 2017. Annual hydrological variation and hypoxic zone in a tropical coral reef system. *Regional Studies in Marine Science*, 9:145-155. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352485516302821>
- Ávila G., H. Pablos & M. Pelayo, 2018. Estudio sobre la protección de ríos, lagos y acuíferos desde la perspectiva de los derechos humanos. UNAM, México. 313 pp. https://www.cndh.org.mx/sites/all/doc/Informes/Especiales/ESTUDIO_RIOS_LAGOS_ACUIFEROS.pdf
- Barceló-Quintal, I., E. López-Galván, H. Solís-Correa, E. Domínguez-Mariani & S. Gómez-Salazar, 2012. Water quality assessment of Jose Antonio Alzate dam, the Lerma River and its tributaries in the State of Mexico, Mexico. *Journal of Environmental Protection*, 3:878-888. <https://www.scirp.org/journal/home?issueid=2010>
- Baross, J., F.J. Hanus & R.Y. Morita, 1975. Survival of human enteric and other sewage microorganisms under simulated deep-sea conditions. *Applied Microbiology*, 30(2):309-318. <https://journals.asm.org/doi/abs/10.1128/am.30.2.309-318.1975>
- Barrera-Escorcia, G. & I. Wong-Chang, 2005. Contaminación por microorganismos en Zonas Costeras. pp. 475-486. In: A.V. Botello, J. Rendón-Von Osten, G. Gold-Bouchot & C. Agraz-Hernández (eds.). Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. 2a Edición. Universidad Autónoma de Campeche, UNAM, Instituto Nacional de Ecología. 696 pp. <https://epomex.uacam.mx/view/download?file=14/Golfo%20de%20Me%CC%81xico%20Contaminaci%C3%B3n%20e%20Impacto%20Ambiental%20Diagn%C3%B3stico%20y%20Tendencias%20.pdf&tipo=paginas>
- Briand, M.J., X. Bonnet, C. Goiran, G. Guillou & Y. Letoumeur, 2015. Sources of organic matter in a complex coral reef lagoon: Identification from isotopic signatures ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$). *PLoS ONE*, 10(7):e0131555. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0131555>
- Chapman, D. & V. Kimstach, 1996. Selection of water quality variables. Chapter 3. Pp. 74-133. In: Chapman, D. (ed.). Water quality assessments -A guide to use of biota, sediments, and water in environmental monitoring. Second edition. UNESCO/WHO/UNEP. University Press. Cambridge, Great Britain. 609 pp. https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/41850/0419216006_eng.pdf?sequence=1
- Cocheret de la Morinière, E., B. Pollux, I. Nagelkerken & G. van der Velde, 2002. Post-settlement life cycle migration patterns and habitat preference of coral reef fish that use seagrass and mangrove habitats as nurseries. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 55:309-321. <https://repository.uibn.ru.nl/bitstream/handle/2066/126675/126675.pdf>
- Colín-García, N.A., J.E. Campos, J.L. Tello-Musi & J.E. Arias-González, 2016. Influence of sediments and tungsten traces on the skeletal structure of Pseudodiploria: a reef building scleractinian coral from the Veracruz Reef System National Park, México. *Revista de Biología Tropical*, 64(3):1077-1089. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/issue/view/2147>
- Comisión Federal para la Protección contra Riesgo Sanitarios (COFEPRIS), 2015. Manual operativo para vigilancia de agua de contacto primario en playas y cuerpos de agua dulce. Secretaría de Salud, CDMX. 26 pp. <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/gob-mx/playas/pdf/lineamientos.pdf>
- Comisión Nacional del agua (CONAGUA), 2023. Ley federal de derechos. Disposiciones aplicables en materia de aguas naciona-

- les y sus bienes públicos inherentes para el ejercicio fiscal 2023. SEMARNAT, CDMX, México. 283 pp. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/831228/LEY_FEDERAL_DE_DERECHOS_2023.pdf
- Coordinación General del Medio Ambiente, 2006. Programa de manejo Área natural protegida “Arroyo Moreno” Boca del Río-Medellín de Bravo, Ver. Serie: “Protejamos nuestro ambiente”. Vol 10. Secretaría de desarrollo Social y medio ambiente, Xalapa, Veracruz. 103 p.
- Devlin, M.J. & J. Brodie, 2005. Terrestrial discharge into the Great Barrier Reef Lagoon: nutrient behavior in coastal waters. *Marine Pollution Bulletin*, 51:9-22. <https://www.sciencedirect.com/journal/marine-pollution-bulletin/vol/51/issue/1>.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), (26/06/2015). Norma Oficial Mexicana NOM-210-SSA1-2014, Productos y servicios. Métodos de prueba microbiológicos. Determinación de microorganismos indicadores. Determinación de microorganismos patógenos. Secretaría de Gobernación. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5398468&fecha=26/06/2015#gsc.tab=0
- Diario Oficial de la Federación (DOF), (18 de abril del 2016). Norma Mexicana NMX-AA-042-SCFI-2015 Análisis de agua - Enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (Termotolerantes) y *Escherichia coli* – Método del número más probable en tubos múltiples (Cancela a la NMX-AA-42-1987). Secretaría de Gobernación. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166147/nmx-aa-042-scfi-2015.pdf>
- Diario Oficial de la Federación (DOF), (11 de marzo del 2022). Norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la Nación. Secretaría de Gobernación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0
- Gaceta Oficial (22 de agosto de 2008). Decreto que reforma el diverso de fecha 25 de noviembre de 1999 por el que se declara área natural protegida, como zona sujeta a conservación ecológica, el lugar conocido como Arroyo Moreno, municipio de Boca del Río, Veracruz. Núm. Ext. 274. Xalapa, Veracruz. https://transparencia.sev.gob.mx/fraccionii/07EG_Descentralizados/36Decreto_UPH.pdf
- García Fuentes, J.L., 2013. Diagnóstico microbiológico en corales del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Tesis Maestría. Instituto Tecnológico de Boca del Río, Tecnológico Nacional de México, Boca del Río, Veracruz, México. 85 pp.
- Garibay, P.L., 2006. Desarrollo comunitario: Bases para las propuestas de conservación y manejo del manglar Arroyo Moreno. Tesis Maestría. Facultad de Ciencias químicas, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz. 142 pp. <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/42101/GaribayPardoLeticia.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- González-Vázquez, J.A., R. Hernández-Vivar, C. Rojas-Serna & J. Del-Valle-Morales, 2019. Diagnóstico de la circulación del agua en un estuario: Caso de estudio del río Jamapa y las lagunas de Mandinga, Veracruz, México. *Ciencias Marinas*, 45(1):1-16. <https://www.cienciasmarinas.com.mx/index.php/cmarias/issue/view/184>
- Granek, E.F., J. Compton & D. Phillips, 2009. Mangrove-exported nutrient incorporation by sessile coral reef invertebrates. *Ecosystems*, 12:462-472. <https://link.springer.com/journal/10021>
- Jiménez-Cisneros, B.E., 2013. La contaminación ambiental en México: Causas, efectos y tecnología apropiada. Limusa. CDMX, México. 925 pp.
- López-Portillo, J., L. Gómez, A.L. Lara-Domínguez, A. Ávila-Ángeles, A. Vázquez-Lule, J.A. Alcántara-Maya, E. Villeda-Chávez & T. Ro-

- dríguez-Zúñiga, 2022. Caracterización del sitio de manglar GM30 Arroyo Moreno. In: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Actualización con datos a 2020. Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidad de rehabilitación ecológica. CONABIO. México, CDMX. <https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/15045.pdf>
- Marín-Hernández, M., G. Athié, C. Enríquez, D. Salas-Monreal & R. Sanay, 2021. Efecto del viento sobre el estuario del río Jamapa, Veracruz. Primer congreso internacional CEMIE-Océano, 24 al 26 de agosto de 2021. <https://cemieoceano.mx/congresos/PDF/053.%20EFECTO%20DEL%20VIENTO%20SOBRE%20EL%20ESTUARIO%20DEL%20R%C3%ADO%20JAMAPA,%20VERACRUZ.pdf>
- Matches, J.R., J. Liston & D. Curran, 1974. Clostridium perfringens in the Environment. *Applied Microbiology*, 28(4):655-660. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/issues/5981/>
- Méndez-Álvarez, J.C., 2013. Análisis del estado actual de conservación del área natural protegida Arroyo Moreno, (Boca del río, Veracruz), bajo un enfoque de intervención ecológica. Tesis Maestría. Centro de investigaciones tropicales, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz. 88 pp. <https://cdigital.uv.mx/handle/123456789/46384>
- Mumby, P.J., A. Edwars, E. Arias-González, K. Lindeman, P. Blackwell, A. Gall, M. Gorczynska, A. Harborne, C. Pescod, H. Renken, C. Wabnitz & G. Llewellyn, 2004. Mangroves enhance the biomass of coral reef fish communities in the Caribbean. *Nature*, 427(6974):533-536. <https://eprints.white-rose.ac.uk/105/1/blackwellpg1.pdf>
- Norat-Ramírez, J., P. Méndez-Lázaro, E. Hernández-Delgado & L. Cordero-Rivera, 2011. El impacto de los pozos sépticos en la calidad de agua y los arrecifes de coral en la reserva marina de Tres Palmas (Rincón-Puerto Rico). IX Congreso regional para Norteamérica y el Caribe sobre Ingeniería sanitaria y ambiental-Región I de AIDIS. Retos ambientales y oportunidades en Norte América y el Caribe. 16-18 de noviembre de 2011. San Juan, Puerto Rico.
- Peira, A.G., 2014. Aplicación de la oxidación avanzada en la desinfección de aguas residuales. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 35(3):60-72. <https://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/issue/view/25>
- Peña, D.L., 2022. Inteligencia artificial para la identificación de fuentes puntuales de contaminación en Arroyo Moreno, Veracruz. Tesis Maestría. Instituto Tecnológico de Boca del Río, Tecnológico Nacional de México, Boca del Río, Veracruz. 67 pp. <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/bitstream/TecNM/6602/1/Pe%C3%B1aDorantesLuisAntonio-2022.pdf>
- Perales-Valdivia, H., R. Sanay-González & A. Valle-Levinson, 2018. Effects of tides, wind, and river discharge on the salt intrusion in a microtidal tropical estuary. *Regional Studies in Marine Science*, 24:400-410. <https://www.sciencedirect.com/journal/regional-studies-in-marine-science/vol/24/suppl/C>
- Riverón-Enzástiga, M., N. Carbajal & D. Salas-Monreal, 2016. Tropical coral reef system hydrodynamics in the western Gulf of Mexico. *Scientia Marina*, 80(2):237-246. <https://scientiamarina.revistas.csic.es/index.php/scientiamarina/issue/view/110>
- Rodríguez, S., 2000. Transferencia de recursos alimentarios entre diferentes ambientes del ecosistema marino. *Revista Chilena de Historia Natural*, 73:199-207. <https://www.scielo.cl/pdf/rchnat/v73n1/art17.pdf>
- Salas-Monreal, D., A. Díaz-Hernández, J. Aké-Castillo, A. Granados-Barba & M. Riverón-Enzástiga, 2020a. Variación anual de los parámetros hidrográficos en la confluencia del río Jamapa y Arroyo Moreno, México. *Intropica*, 15(1):59-65. <https://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/intropica/article/view/3402>

- Salas-Monreal, D., M.L. Riverón-Enzástiga, J.J. Salas-Pérez, R. Bernal-Ramírez, M. Marín-Hernández & A. Granados-Barba, 2020b. Bathymetric flow rectification in a tropical micro-tidal estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 235:106562. <https://www.sciencedirect.com/journal/estuarine-coastal-and-shelf-science/vol/235/suppl/C>
- Sánchez-Sánchez, J.F., 2022. Calidad del agua en la cuenca del río Jamapa, Veracruz. Tesis Maestría. Posgrado de Hidrociencias, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México. 125 pp.
- Sutherland, K.P., S. Shaban, J.L. Joyner, J.W. Porter & E.K. Lipp, 2011. Human pathogen shown to cause disease in the threatened eelhorn coral *Acropora palmata*. *PLoS ONE*, 6(8):1-7. <https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0023468&type=printable>
- Torres, J.R., Z.M. Sánchez-Mejía, F. Choix, H. Lorenzo-Márquez, A. Alcudia-Aguilar & R. Barrios-Calderón, 2023. Variación fisicoquímica en agua y sedimento del manglar en tres lagunas costeras del Golfo de California. Áreas Naturales Protegidas *Scripta*, 9(3):61-83. http://areas-naturales-protegidas.org/scripta/e_contenido.php