

Manejo y aprovechamiento de recursos

Influencia de factores ambientales y antrópicos en la población de ostión *Crassostrea virginica* (Bivalvia: Ostreidae), en río Cauto, Cuba

Influence of environmental and anthropic factors in the oyster population of Crassostrea virginica (Bivalvia: Ostreidae), in Cauto River, Cuba

Abel Betanzos-Vega ^a, Gustavo Arencibia-Carballo ^a, Hever Latisnere-Barragán ^b
y José Manuel Mazón-Suástegui ^{b, *}

^a Centro de Investigaciones Pesqueras, Calle 246 Núm. 503 entre 5^a Ave. y Mar, reparto Barlovento, Municipio Playa, La Habana, Cuba

^b Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., Av. Instituto Politécnico Nacional 195, Col. Playa Palo de Santa Rita Sur, 23096 La Paz, Baja California Sur, México

*Autor para correspondencia: jmazon04@cibnor.mx (J.M. Mazón-Suástegui)

Recibido: 19 octubre 2018; aceptado: 30 agosto 2019

Resumen

En Cuba, el ostión de fondo (OF) *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791) aportó durante 2008-2013 más de 30% a la captura nacional de ostiones del género *Crassostrea*. De una biomasa inicial no explotada ($\geq 1,500$ t), la población del río Cauto se redujo a 277 t en 2014. El objetivo del presente estudio fue determinar los principales factores naturales y antrópicos que han afectado la calidad del hábitat y disminuido la población de *C. virginica* en el río Cauto. Se obtuvieron datos hidrológicos y biológicos poblacionales antes y después de un derrame accidental de aguas residuales de una industria azucarera de la región, que aunada a precipitaciones abundantes y aportes terrígenos fluviales, afectó drásticamente la calidad del agua registrándose valores de turbidez (> 8 FTU), oxígeno disuelto (< 3 mgO₂ L⁻¹), demanda química de oxígeno (DQO, > 11 mgO₂ L⁻¹) y salinidad (< 10 UPS), que redujeron la sobrevivencia ($< 40\%$) y la abundancia del OF (< 30 ostiones/m²). Se identificaron factores naturales y antrópicos que afectan al hábitat y a la población ostrícola. Se proponen valores de referencia indicadores de buena calidad fisicoquímica del agua en sitios donde existan bancos naturales de *C. virginica* o se pretenda realizar su cultivo.

Palabras clave: Ostión americano; Contaminación; Monitoreo ambiental; Cuba

Abstract

In Cuba, the "bottom oyster" (OF) *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791) contributed during 2008-2013 more than 30% to the national catch of oysters of the genus *Crassostrea*. From an initial non-exploited biomass ($\geq 1,500$ t), the Cauto River population was reduced to 277 t in 2014. The objective of this study was to determine the main natural and anthropic factors that have affected the quality of the habitat and decreased the population of *C. virginica*

in the Cauto River. Hydrological and biological-population data were obtained, before and after an accidental spill of residual waters from a sugar industry in the region, which together with abundant rainfall and terrigenous fluvial contributions drastically affected the quality of the water, registering values of turbidity (> 8 FTU), dissolved oxygen (< 3 mgO₂ L⁻¹), chemical oxygen demand (COD, > 11 mgO₂ L⁻¹) and salinity (< 10 UPS), which reduced survival ($< 40\%$) and abundance of OF (< 30 oysters/m²). Natural and anthropic factors that affect the habitat and the oyster population were identified. Indicative reference values of good physicochemical quality of the water are proposed in sites where natural banks of *C. virginica* exist, or if their cultivation is intended.

Keywords: American oyster; Contamination; Environmental monitoring; Cuba

Introducción

La cuenca del río Cauto (9,163 km²) es la de mayor extensión en Cuba; la longitud de su cauce principal es de 343 km y su densidad de drenaje se estima en 0.7 km/km² (Batista, 2002). En esta cuenca y en la de otros ríos tributarios se localizan 242 fuentes potenciales de contaminación, en su mayoría con una alta carga orgánica en sus residuales, procedentes de sectores urbanos y productivos (porcino, avícola), sobresaliendo la agroindustria azucarera con 11 empresas que generan efluentes. Aunque se han realizado importantes inversiones gubernamentales para disminuir la carga total contaminante que recibe el río Cauto, ésta ha sido calculada entre 1,039 y 3,283 t DBO_{Total}/año (Díaz-Fonseca et al., 2004).

A fin de cubrir la demanda hídrica del sector agropecuario, a partir del año 1967 se fomenta la construcción de presas en la cuenca del Cauto, habiéndose alcanzado en 1991 una capacidad máxima de 1,376.6 hm³ para embalse de aguas fluviales (CubAgua, 2015), lo que generó una fuerte intrusión salina río arriba (Pérez et al., 2003). Esta salinización del río contribuyó a una mayor distribución espacial de las poblaciones de ostión de mangle *Crassostrea rhizophorae* Guilding (1828) y de ostión americano *C. virginica* (Betanzos-Vega et al., 2016), pero también favoreció procesos de azolvamiento y deposición de sedimentos en la desembocadura del río, que han reducido el libre intercambio de aguas entre el río y el mar costero adyacente (Concepción-Villanueva et al., 2010; Díaz-Fonseca et al., 2004).

El "Delta del Cauto" es un área nacional protegida (ANP) con categoría de Refugio de Fauna y plan oficial de manejo, que cuenta con 12,540 ha marinas que incluyen parte del río y 6,500 ha de sistema lagunar (Gaceta Oficial, 2001). En esta ANP se realiza una importante actividad pesquera de ostión de mangle *C. rhizophorae* (OM), en una parte del río Cauto y lagunas adyacentes. En un tramo del río se realiza pesquería de *C. virginica*, denominado ostión de fondo (OF) en Cuba (Betanzos-Vega et al., 2016). De conformidad con la división territorial, las operaciones pesqueras en la cuenca del río Cauto se realizan por la

empresa pesquera industrial de Granma (EPIGRAN), con sede en la ciudad de Manzanillo. EPIGRAN registró bajas capturas de OF durante el primer trimestre de 2014, lo que motivó el inicio de un programa de monitoreo biológico y ambiental. En mayo de ese mismo año, la empresa detectó un evento de contaminación por desbordamiento de lagunas de oxidación de una empresa azucarera localizada en la zona de Guamo Embarcadero, cerca de las áreas de distribución de *C. virginica* y solicitó al Centro de Investigaciones Pesqueras de Cuba, una evaluación de la población ostrícola.

La explotación comercial de OF en el río Cauto se inició en 2008 con base en la disponibilidad natural de una biomasa poblacional no explotada, superior a las 1,500 t y bancos ostrícolas con densidades superiores a 300 ostiones/m². La extracción de estos bancos naturales aportó hasta 2013, entre 25 y 30% de la captura anual nacional de ostiones del género *Crassostrea* (Betanzos-Vega et al., 2018). No obstante, a fines de 2014, la biomasa total disponible disminuyó a 277 t y la densidad media poblacional se redujo a 50 ostiones/m² (Betanzos-Vega et al., 2018). La drástica disminución en la captura de OF en el río Cauto (de 556 t de ostión en su concha en 2013, a 116 t en 2014), se explicó en función del agotamiento de la población debido a una sobrepesca (Betanzos-Vega et al., 2018). A partir de los elementos de juicio disponibles para la autoridad pesquera, el citado evento de contaminación ocurrido en 2014 debió incidir de forma aditiva al factor sobrepesca. La sinergia de ambos factores antrópicos condujo a la pesquería a un estatus de actividad no sostenible durante 2014, por lo que, de manera precautoria, la autoridad estableció una moratoria o veda de captura para OF, desde septiembre de 2014 hasta concluir 2016. Considerando estos antecedentes, el presente estudio tiene como objetivo, evaluar el escenario ambiental ocurrido durante 2014 en el río Cauto y su impacto en la población de OF (*C. virginica*), a fin de identificar los factores naturales y antrópicos que pueden afectar el hábitat de la especie, su pesquería y su potencial cultivo, en su principal área de distribución natural en Cuba.

Materiales y métodos

La zona de estudio (fig. 1) se ubicó en la provincia de Granma, al suroriente de Cuba, en un tramo de 50 km del río Cauto, dentro del Área Nacional Protegida Delta del Cauto, entre el poblado de Guamo Embarcadero (20°37.87' N, 77°2.39' O) y la desembocadura del río Cauto (20°32.92' N, 077°14.94' O) en el golfo de Guacanayabo. Según Betanzos-Vega et al. (2016), la población de OF (*C. virginica*) del río Cauto, se distribuye en hábitat submareal permanentemente sumergido, en un tramo de aproximadamente 30 km de ambiente ribereño-estuarino, entre el poblado de Guamo Embarcadero y la zona conocida como El Desvío, un canal que comunica al río con el sistema lagunar del Cauto. El OF se encuentra fijado preferentemente a sedimentos compactos. A partir de El Desvío y hasta la desembocadura del río (~ 20 km), el ambiente cambia al tipo estuarino-marino y es aquí donde se distribuye principalmente el ostión de mangle OM (*C. rhizophorae*). El OM se encuentra fijado preferentemente a las raíces del mangle rojo (*Rhizophora mangle* Linnaeus, 1753) en hábitat intermareal, quedando expuesto al agua y al aire de manera alternada.

Con ese antecedente, se realizaron muestreos de variables hidrológicas en 8 sitios (fig. 1), 5 de los cuales (1-5) se corresponden con las áreas de distribución de la población de OF que habita aguas arriba de El Desvío, y los otros 3 sitios de muestreo (6-8), se ubicaron entre

El Desvío y la desembocadura, un tramo en el que principalmente se distribuye una población de OM (fig. 1). Para los muestreos se seleccionaron 3 meses (junio, agosto, septiembre de 2014) que corresponden al periodo más lluvioso (mayo - octubre) y 3 meses (marzo y noviembre de 2014 y abril de 2015) del periodo menos lluvioso, que en Cuba se denomina “época de seca” (noviembre - abril).

A fin de determinar la influencia de las aguas marinas en las zonas ostrícolas del río, y teniendo en cuenta criterios antecedentes de distribución de las especies *C. rhizophorae* (OM) y *C. virginica* (OF) en ambientes con mayor influencia marina (salina) o estuarina (salobre), respectivamente (Betanzos-Vega et al., 2016; Lodeiros y Freites, 2008; Mazón-Suástegui et al., 2017; Palacios-Fest et al., 1988), se determinó en los 8 sitios la temperatura del agua (°C) y la salinidad (UPS). Tomando en cuenta los reportes previos de la empresa pesquera EPIGRAN, referentes a la afectación de la población de OF por efluentes industriales con alta carga orgánica, se realizó un mayor esfuerzo de muestreo en los 5 sitios correspondientes al hábitat de OF (*C. virginica*), agregando el registro de nuevos parámetros como pH, concentración de oxígeno disuelto ($\text{mgO}_2 \text{L}^{-1}$), demanda química de oxígeno (DQO) en $\text{mgO}_2 \text{L}^{-1}$ y turbidez (FTU).

Todas las variables se registraron en el nivel de fondo (1.5 a 5 m), en la interfase agua-sedimento, utilizando una sonda multiparamétrica HANNA HI 9828 y un turbidímetro HANNA HI 93703-11, ambos equipos con

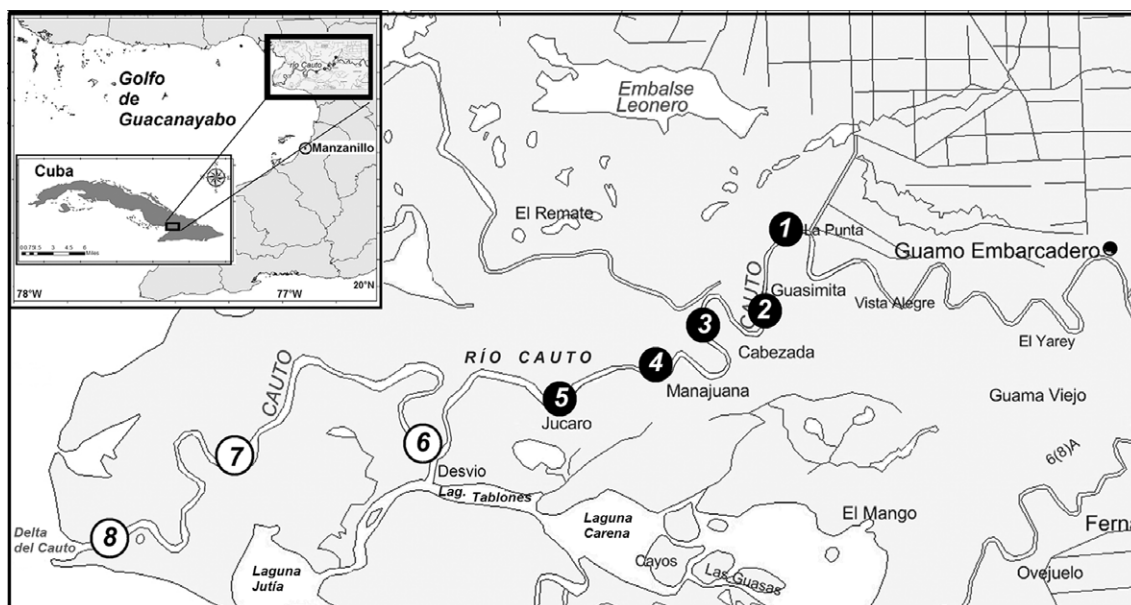


Figura 1. Área de estudio. Círculos en negro simbolizan los sitios de monitoreo en el banco de ostión de fondo (OF) *C. virginica* y los círculos blancos, los sitios de distribución de ostión de mangle (OM).

error de ± 0.01 . Con una botella Van Dorn de 4 L de capacidad, se tomaron muestras de agua (1 L) en los 5 sitios de monitoreo de OF. Las muestras fueron preservadas a 4 °C, en completa oscuridad y enviadas con inmediatez para análisis de DQO mediante el método de oxidación con permanganato de potasio en medio alcalino, para un contenido de cloruros mayor a 200 mg L⁻¹ (FAO, 1975). Adicionalmente, se obtuvieron datos sobre la capacidad de almacenamiento de aguas fluviales en millones de m³ (Hm³), en los embalses asociados a la cuenca del Cauto (CubAgua, 2015), y datos sobre la precipitación pluvial (mm) de la estación meteorológica de Manzanillo, ubicada entre la zona costera y los embalses.

Se realizaron muestreos biométrico-poblacionales de *C. virginica* (OF) en las estaciones de monitoreo 1 a 5 (fig. 1), aplicando el método de cuadrantes (Betanzos-Vega et al., 2018; Garrido et al., 2007) para la determinación de la abundancia de ostiones/m². Un marco cuadrado de acero (1 m²), fue lanzado 3 veces (réplicas) en cada estación de monitoreo y mediante buceo libre, se recolectaron manualmente todos los ostiones ubicados dentro del mismo. A bordo de la embarcación se contabilizaron los ostiones vivos y muertos, se midió longitud total de la concha (Lt, mm) en posición dorsal antero —posterior con un vernier de 0.05 mm de precisión. Con estos datos se determinó la talla media por meses muestreados y el porcentaje de ostiones adultos con un tamaño superior a la talla media de primera maduración sexual (40 mm) establecida para la especie por Galtsoff (1964).

Se determinó la sobrevivencia (%), como contraparte de la mortalidad que pudo ocurrir debido a afectaciones ambientales en la población natural, por meses y sitios muestreados. Se contabilizó la cantidad de ostiones con mortalidad reciente según los siguientes criterios: 1) ostiones fijados a sustrato o a otros ostiones con las valvas cerradas o entreabiertas y el animal muerto en su interior, y 2) ostiones fijados a sustrato o a otros ostiones, con las valvas entreabiertas o abiertas y restos del animal en su interior. Los ostiones con estas características fueron contados y sumados a los ostiones vivos (total de ostiones/m²). Igualmente, se determinó la sobrevivencia por meses y sitios de muestreo en su ambiente natural, calculando el porcentaje de ostiones vivos con respecto al total de ostiones (vivos + muertos recientes).

Referido a la estadística comparativa, se aplicó un Anova para determinar diferencias en temperatura y salinidad entre los meses muestreados y entre los hábitats de ostión de fondo (estaciones 1-5) y de ostión de mangle (estaciones 6-8). Estas variables se registraron en todas las estaciones (1 a 8). Para diferenciar entre las medias mensuales se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de LSD (*Less Significant Difference*) de Fisher. Respecto

a las variables abióticas (temperatura, salinidad, oxígeno, DQO, pH y turbidez) evaluadas en el hábitat de ostión de fondo (estaciones 1-5), las diferencias entre los periodos lluvioso y poco lluvioso se determinaron mediante otro Anova. En determinados análisis temporales, cuando los valores no presentaron una distribución normal (prueba-F) se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis, con salida gráfica de caja y bigotes (Zar, 1984).

Los parámetros abióticos indicadores de calidad fisicoquímica de las aguas (NC-25 y NC-27, 1999) que por su peso o contribución en las variaciones hidrológicas pudieron afectar la sobrevivencia del OF (*C. virginica*), se definieron a partir de un análisis de componentes principales (PCA por sus siglas en inglés), para $n = 30$ por cada parámetro. Entre esas variables abióticas y el porcentaje de ostiones vivos, se realizaron regresiones lineales simples, con salida gráfica de dispersión, para determinar su relación y conocer, según parámetros fisicoquímicos, cuáles valores incidieron en, o estuvieron asociados a una mayor o menor sobrevivencia poblacional. Para todos los análisis se utilizó el paquete estadístico Statgraphics Centurion XV (2007) con un valor de significancia $p = 0.05$. Los valores se expresan en función del promedio y la desviación estándar (media \pm DE).

Resultados

Se estudiaron las variables hidrológicas (temperatura y salinidad) en 8 sitios de muestreo a fin de caracterizar el componente termohalino de las zonas ostrícolas del río Cauto. Se encontraron diferencias estadísticas en la temperatura del agua entre los meses muestreados (Anova; $F_{(5, 40)} = 37.33$; $p = 0.01$), siendo mayor en marzo (24.65 ± 0.79 °C), con respecto al resto de los meses evaluados (entre 27.09 ± 0.69 °C y 28.78 ± 0.75 °C). También se registraron diferencias significativas (Anova; $F_{(1, 44)} = 5.53$; $p = 0.02$) entre el hábitat OF (estaciones 1-5), con temperatura media de 27.05 ± 1.57 °C y el hábitat OM (estaciones 6-8), con temperatura media de 28.14 ± 1.49 °C. Estas diferencias pudieron estar influenciadas por el ciclo diario de esta variable, debido a que los muestreos siempre se iniciaron en la mañana y en la estación 1. Los valores máximos de temperatura se registraron hacia la desembocadura del río (estaciones 7 y 8), con un máximo puntual (30.12 °C) en septiembre de 2014 (estación 8) y un mínimo puntual (23.35 °C) en marzo (estación 1). Durante el periodo de estudio se registró una temperatura media general del agua, de 27.47 ± 1.61 °C.

Entre los meses evaluados del periodo lluvioso (junio, agosto, septiembre) y del periodo poco lluvioso (marzo, noviembre, abril), la temperatura del agua mostró diferencias significativas (Anova; $F_{(1, 44)} = 14.69$;

$p = 0.00001$), con media de 28.24 ± 1.00 °C y 26.44 ± 1.75 °C respectivamente, esta última, fuertemente influenciada por los valores de marzo (invierno).

En relación a la salinidad, se encontraron diferencias significativas entre los 6 meses evaluados (Anova; $F_{(5,40)} = 4.59$; $p = 0.00001$). Durante los meses lluviosos (junio, agosto y septiembre de 2014), se registró una salinidad promedio menor (14.88 ± 9.17 UPS) a los meses poco lluviosos (marzo y noviembre de 2014 y abril de 2015) (26.71 ± 7.22 UPS), con diferencia significativa (Anova; $F_{(1,44)} = 23.33$; $p = 0.00001$), entre ambos periodos.

Considerando la ubicación de las estaciones de muestreo y la distancia en km entre la desembocadura (0 km) y el poblado de Guamo Embarcadero situado río arriba a 50 km (fig. 2), justo donde termina el área de ostión de fondo, se observó una distribución horizontal diferenciada de ambas especies (OM y OF), con respecto a la salinidad. Aguas arriba de El Desvío (estaciones 1-5), donde se localiza el banco de ostión de fondo (OF), la salinidad fue 50% menor (15.01 ± 7.42 UPS) respecto a la salinidad (30.08 ± 4.92 UPS) de la zona de ostión de mangle (OM) ubicada entre El Desvío y la desembocadura (estaciones 6-8), con diferencias significativas (Anova; $F_{(1,44)} = 63.80$; $p = 0.00001$) entre ambas zonas. No obstante, en el gráfico de dispersión, en ambas zonas o hábitats se observan 2 conjuntos de datos de menor y mayor salinidad que responden respectivamente a los periodos de lluvia y de seca (fig. 2).

En el hábitat de OF (estaciones 1-5), predominaron (71%) los valores ≤ 20 UPS, sobre todo durante los meses muestreados del periodo lluvioso; mientras que en la zona donde habita el ostión de mangle, entre El Desvío y la desembocadura (estaciones 6-8), no se registraron salinidades menores a 20 UPS (fig. 2).

En este mismo hábitat de OF, el pH aumentó aguas abajo hacia El Desvío, con un valor promedio menor durante los meses lluviosos (7.94 ± 0.19) y mayor (8.04 ± 0.17) durante los meses poco lluviosos, pero sin diferencias significativas; $F_{(1,28)} = 2.31$; $p = 0.14$) entre ambos periodos. El oxígeno mostró una mayor concentración aguas abajo (estaciones 4 y 5) y de acuerdo con el análisis temporal, los valores mínimos se registraron en junio (2.3 ± 0.6 mgO₂ L⁻¹), agosto (2.8 ± 0.6 mgO₂ L⁻¹) y septiembre (3.1 ± 1.0 mgO₂ L⁻¹), que son meses lluviosos. Estos valores fueron estadísticamente diferentes (Anova; $F_{(1,28)} = 78.57$; $p = 0.00001$) a los del periodo poco lluvioso (marzo, abril y noviembre), entre 5.0 ± 0.7 mgO₂ L⁻¹ y 5.3 ± 0.8 mgO₂ L⁻¹. Esta variación mensual fue contraria a la DQO, que mostró valores promedio máximos (entre 8.5 ± 0.6 mgO₂ L⁻¹ y 12.8 ± 2.7 mgO₂ L⁻¹) en meses lluviosos y mínimos en meses poco lluviosos (entre 4.1 ± 0.1 mgO₂ L⁻¹ y 4.7 ± 0.5 mgO₂ L⁻¹), con diferencias significativas entre ambos periodos (Anova; $F_{(1,31)} = 53.98$; $p = 0.00001$). Ambas variables (oxígeno disuelto y DQO) mostraron una correlación (Pearson) elevada ($r = -0.89$), para 95% de probabilidad. La turbidez mostró sus máximos (> 7.5 FTU) en localidades río arriba (estaciones 1-3) con diferencias significativas

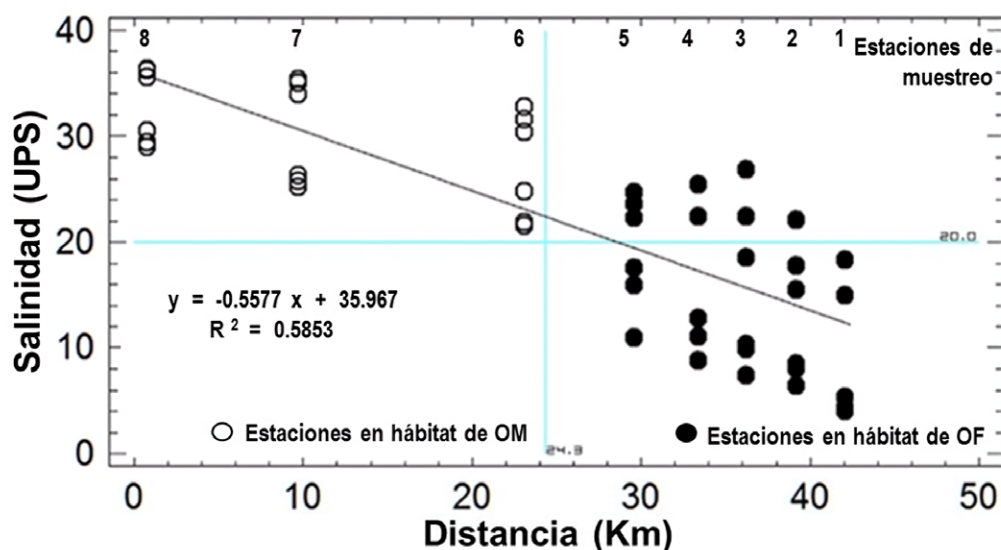


Figura 2. Distribución de la salinidad ($n = 47$), considerando la distancia (km) entre estaciones de muestreo con dominancia de OM (*C. rhizophorae*; mayor salinidad) o de OF (*C. virginica*; menor salinidad). El valor 0 en distancia (km) coincide con la desembocadura del río Cauto. La línea al centro y perpendicular al eje X muestra la ubicación del canal (El Desvío), que comunica al río con las lagunas del sistema lagunar del Cauto y separa las 2 áreas de distribución de OM y OF.

(Anova; $F_{(1, 31)} = 61.68$; $p = 0.00001$) entre el periodo lluvioso (promedio de 8.7 ± 1.5 FTU) y el poco lluvioso (5.5 ± 0.6 FTU).

A partir de los resultados del análisis de PCA, fue posible distinguir 3 componentes principales (PC1, PC2 y PC3) que representan “eigenvalores” ≥ 1.0 (tabla 1), que en su conjunto explican 99.52% de la variabilidad en los datos de los 6 parámetros abióticos evaluados en la zona de distribución de *C. virginica* (OF) (estaciones 1-5). Las variables abióticas de mayor variación fueron la salinidad, la DQO, la turbidez, y la concentración de oxígeno disuelto (fig. 3).

La sobrevivencia poblacional de *C. virginica* mostró diferencias significativas ($KW = 22.95$; $p = 0.00001$) entre meses, con drástica disminución en junio y agosto de 2014 (fig. 4a) respecto a marzo de 2014, único mes muestreado antes del evento de desbordamiento de residuales de una industria azucarera en mayo de 2014, cuya repercusión ($< 50\%$ de ostiones vivos/m²) se observó hasta septiembre 2014. La menor sobrevivencia (%) se registró en agosto

y no en junio, que fue el mes posterior al derrame de residuales y de máxima DQO promedio (fig. 4b). Entre junio y agosto se presentaron fuertes escurrimientos fluviales con grandes aportes terrígenos, corroborado con valores máximos de turbidez (fig. 4c) y mínimos de salinidad (fig. 4d), en el mes de agosto. Aunque las variables abióticas comenzaron a normalizarse a partir de noviembre, la sobrevivencia en términos de porcentaje de ostiones vivos no mostró una recuperación sino hasta abril de 2015 ($82 \pm 2.06\%$), homogéneo con marzo de 2014 ($83 \pm 2.08\%$).

Según análisis de regresión lineal (fig. 5), se observó una dependencia del máximo porcentaje de ostiones vivos ($\geq 80\%$) de valores de DQO inferiores a $4.5 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$ (fig. 5a) y de concentraciones de oxígeno disuelto superiores a $5 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$ (fig. 5b). La máxima sobrevivencia correspondió a valores relativamente bajos (≤ 5.58 FTU) de turbidez (fig. 5c) y a salinidades entre 18 y 32 UPS (fig. 5d).

La sobrevivencia para el OF en marzo de 2014 (82%) antes del evento de contaminación en mayo de 2014 y de 83% un año después (abril de 2015), sugiere una mortalidad natural $< 20\%$ en la población de OF del río Cauto. Según muestreo de junio de 2014, unos 25 días después del derrame de residuales azucareros, se registraron bajas concentraciones de oxígeno disuelto (1.41 a $2.69 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$) y máximos de DQO (15.59 - $18.08 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$), que incidieron en una sobrevivencia poblacional de 11 a 37%. El efecto remanente de la contaminación, aunado a los escurrimientos fluviales posteriores entre agosto y septiembre de 2014, que mostraron valores mínimos de salinidad (3.28 a 15.91 UPS) y valores máximos de turbidez (11.71 - 7.65 FTU), explican la sobrevivencia de 10 a 25% en agosto de ese año.

El impacto negativo en la sobrevivencia (%) se reflejó también en la estructura de la población de OF con una menor abundancia de ostiones vivos/m² en junio y agosto de 2014 (tabla 2). Además, la presencia de ostiones con una talla media mayor y menor desviación estándar

Tabla 1

Análisis de componentes principales (PCA). Eigenvalores, porcentaje de variación y variación acumulada para cada componente; eigenvectores para cada variable en los diferentes componentes.

Eigenvalores: componentes principales			
Número de componentes	Eigenvalor	Varianza (%)	Variación acumulada (%)
1	86.66	86.02	86.02
2	11.48	11.40	97.42
3	2.12	2.11	99.52
4	0.38	0.38	99.90
5	0.10	0.10	99.99
6	0.001	0.001	100.00

Eigenvectores: peso de los componentes			
Variables	PC1	PC2	PC3
Temperatura	-0.046	-0.148	0.958
Salinidad	0.869	0.452	0.146
Oxígeno	0.145	-0.079	-0.089
pH	0.011	-0.002	-0.008
DQO	-0.441	0.876	0.078
Turbidez	-0.163	0.006	0.215

Ecuación del primer componente principal (PC1):

$PC1 = -0.046 * \text{temperatura} + 0.869 * \text{salinidad} + 0.145 * \text{oxígeno} + 0.011 * \text{pH} - 0.441 * \text{DQO} - 0.163 * \text{turbidez}$

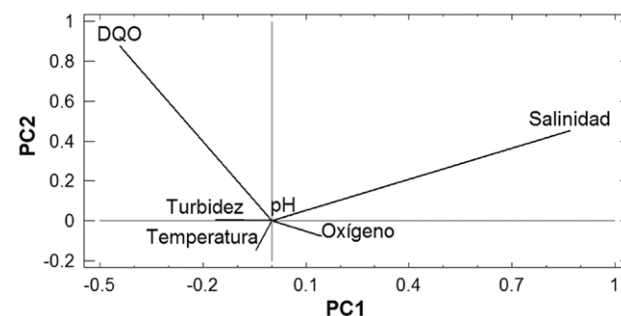


Figura 3. Gráfica de componentes principales. Análisis de PCA de las variables abióticas relacionadas con la tabla 1.

registrada en junio y agosto sugiere un incremento en la mortalidad de ejemplares jóvenes y preadultos. Un año después del evento de contaminación (abril de 2015), se

observó una recuperación de la población al registrarse la mayor abundancia de ostiones vivos/m² y una máxima sobrevivencia.

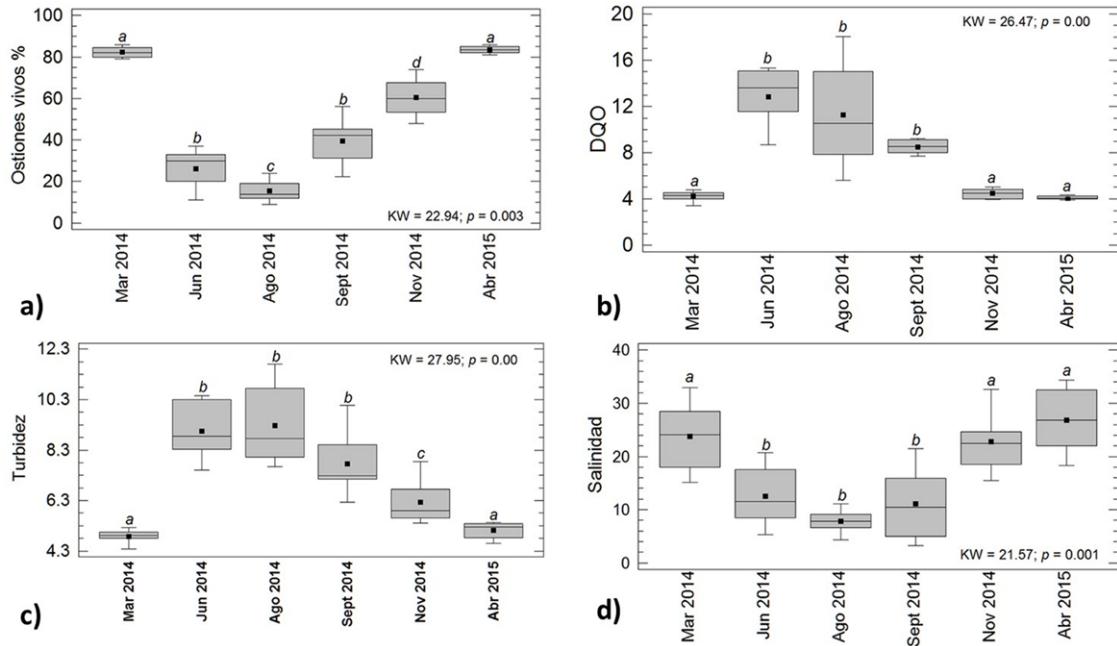


Figura 4. Variaciones en el porcentaje de ostiones vivos y en las variables abióticas durante los meses muestreados (marzo de 2014 a abril de 2015): porcentaje de ostiones vivos (a), demanda química de oxígeno (b), turbidez (c) y salinidad (d). Letras desiguales indican diferencias estadísticas significativas (Kruskal-Wallis; $p < 0.05$).

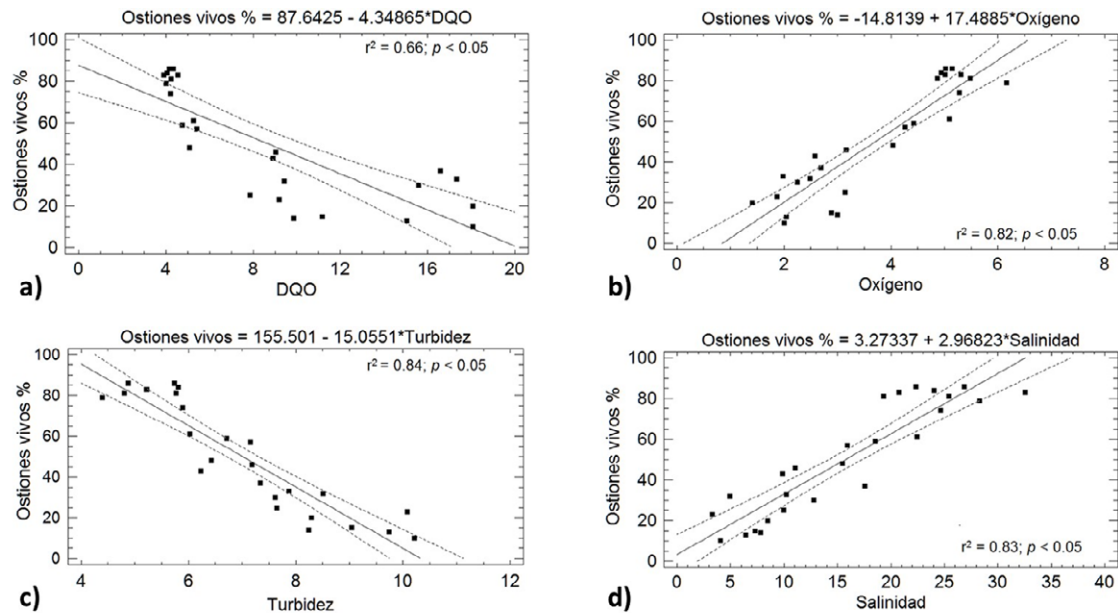


Figura 5. Relación (lineal) entre el porcentaje de ostiones vivos y las variables abióticas durante los meses muestreados (marzo de 2014 a abril de 2015): demanda química de oxígeno (a), oxígeno disuelto (b), turbidez (c) y salinidad (d). Se muestra el coeficiente de correlación (r^2), la tendencia y los límites de confianza.

Tabla 2

Parámetros poblacionales por meses y años muestreados.

Meses	Núm. de organismos	Talla media (mm) ± DS	% Ostiones adultos (≥ 40 mm)	Ostiones/m ²
Mar-14	412	47.3±18.1	42	73
Jun-14	116	50.2±6.2	57	29
Ago-14	97	48.7±5.6	54	24
Sep-14	132	40.8±8.8	38	33
Nov-14	180	42.6±10.3	41	50
Abr-15	340	45.9±13.6	48	85

Discusión

El ostión americano *C. virginica* (OF) se encuentra en condiciones adecuadas para sus procesos de nutrición, crecimiento y reproducción, a temperaturas de 10 a 32 °C, con un intervalo óptimo para el desove y fijación masiva de larvas de 20 a 30 °C (Galtsoff, 1964; Palacios-Fest et al., 1988; Shumway, 1996). Por esta razón, se considera que la fluctuación térmica registrada en toda la zona de estudio del río Cauto, con valores mínimo y máximo de 23.65 y 30.12 °C, y valor máximo de 29.48 °C para los sitios naturales de distribución de OF, no constituyeron un factor de riesgo para la especie. Los mismos autores señalan que la especie habita de forma satisfactoria en cuerpos de agua con salinidades de 12 a 32 UPS y su intervalo óptimo fue establecido entre 15 y 30 UPS.

Betanzos-Vega et al. (2016) reportan salinidades medias de entre 15.42 y 34.01 UPS para las zonas en explotación comercial de OF en Cuba, pero en junio, agosto y septiembre de 2014 se registraron en el río Cauto valores puntuales entre 3.28 y 17.56 UPS, con mínimos mensuales en agosto de 4.05 a 8.95 UPS. Estos valores, sostenidos durante varios días, pueden provocar una parcial contracción del músculo aductor, con disminución de la corriente de agua a través de las branquias e interrupción de las funciones de respiración y alimentación (Palacios-Fest et al., 1988; Shumway, 1996). Esto se hace más evidente en periodos de intenso flujo de aguas fluviales con transporte excesivo de material terrígeno en suspensión (Vera y Aldana, 2000) y durante el presente estudio se corroboró en los valores de turbidez (> 8 FTU) registrados en junio y agosto, indicativos de mala calidad para aguas marinas de uso pesquero (Betanzos-Vega et al., 2013).

Los valores de salinidad (≥ 20 UPS) registrados en el tramo inferior del río (estaciones 6-8), incluso durante los meses de lluvia significativa, además del efecto del represamiento (CubAgua, 2015; Pérez et al., 2003), indicaron que el canal (El Desvío) que comunica al río

con las lagunas adyacentes, funcionó como frontera hidrológica al desviar aguas de menor salinidad hacia lagunas adyacentes, reduciendo su influencia hacia la desembocadura.

Los niveles bajos (< 2 mgO₂ L⁻¹) y prolongados de oxígeno disuelto son letales para el ostión *Crassostrea* spp; un rango de 4 a 9.5 mgO₂ L⁻¹ se considera óptimo para su desarrollo (Palacios-Fest et al., 1988). La DQO (> 11 mgO₂ L⁻¹), en junio y agosto de 2014 y coincidiendo con valores de oxígeno inferiores a 3 mgO₂ L⁻¹, evidencia un déficit de oxígeno. Según Perigó et al. (2004) los vertidos de residuales crudos de la industria azucarera generan condiciones de hipoxia y anoxia debido a exceso de sólidos y a la alta carga contaminante, mayormente orgánica, con DBO₅ por encima de 500 mgO₂ L⁻¹ y valores extremos de hasta 70,000 mgO₂ L⁻¹, además de elevadas concentraciones de amonio. En los incrementos de DQO y DBO₅, influye además la capacidad de autodepuración del cuerpo de agua, que en el río Cauto se ve disminuida debido al alto nivel de represamiento (1,376.6 hm³ de capacidad de embalse).

Los procesos de biodegradación de la materia orgánica provocan el agotamiento del oxígeno disuelto y el desarrollo de condiciones sépticas, incrementando la concentración de sulfuros y de otros productos asociados al ciclo del nitrógeno, dando origen a una eutrofización (Montalvo-Estévez et al., 2014; Perigó et al., 2004). Los valores mayores a 2 mgO₂ L⁻¹ de DQO en aguas marinas son indicativos de contaminación por materia orgánica (Arencibia-Carballo et al., 2016; Montalvo-Estévez et al., 2008). No obstante, los valores de DQO entre 3 y 5 mgO₂ L⁻¹ resultan normales en cuerpos de agua costeros debido a la alta producción primaria y a la materia orgánica de origen antrópico (Montalvo-Estévez et al., 2014).

Los antecedentes de disminución de la abundancia del OF en el río Cauto (de 288 ostiones/m² en noviembre de 2011 a 150 ostiones/m² en diciembre de 2013) se explicaron en una sobreextracción pesquera máxima y

no sostenible en el año 2013 (556 t) con respecto a una captura máxima sostenible (327 t) (Betanzos-Vega et al., 2018). Esta situación pudiera ser responsable, de manera aditiva con otros factores naturales o antrópicos, de la baja abundancia ostrícola registrada en marzo de 2014 (73 ostiones/m²). Sin embargo, la variación de la abundancia desde junio 2014 (29 ostiones/m²) hasta > 50 ostiones/m² a partir de noviembre 2014, indican que el evento de contaminación (mayo 2014) y la posterior incidencia de escurrimientos fluviales con salinidades inferiores al rango óptimo de la especie —y una alta turbidez— actuaron en sinergia y de manera negativa con el factor sobrepesca. Esto se corroboró, además, con la disminución registrada en la sobrevivencia posterior al evento de contaminación (< 40%), la cual se incrementó después, recuperándose los niveles anteriores (> 80%) a partir de abril de 2015. Los muestreos posteriores —diciembre de 2016, al término de la moratoria de captura para OF— señalan una abundancia > 100 ostiones/m² (Betanzos-Vega et al., 2018).

El mayor porcentaje de ostiones vivos ($\geq 80\%$), reportado en marzo 2014 (antes del evento de contaminación) y 1 año después (abril de 2015), coincidió con valores de temperatura del agua (25 a 29 °C), salinidad mesohalina (18 a 30 UPS), pH (7.97 a 8.10), turbidez (< 5.6 FTU) y oxígeno disuelto (≥ 5 mg L⁻¹) y DQO (< 4.5 mg L⁻¹) que se proponen como indicadores de buena calidad fisicoquímica de las aguas para los bancos naturales de OF (*C. virginica*) y en lo general, como valores de referencia derivados de trabajos de selección de sitios para el cultivo de la especie (Mazón-Suástegui, 2018).

Considerando los resultados obtenidos, se identificaron como principales factores naturales de riesgo para la población de ostión *C. virginica* del río Cauto, las fuertes y sostenidas precipitaciones o sequías extremas que puedan incidir en valores de salinidad fuera del rango óptimo de la especie, la cual influye en la distribución y la dinámica poblacional de los moluscos ostreidos (Mazón-Suástegui et al., 2017; Shumway, 1996). A estos eventos ambientales, cuya ocurrencia se ha incrementado debido a las variaciones del clima y que aun siendo previsible son inevitables, se suman la sobrepesca no sostenible y la contaminación por residuales agroindustriales y domésticos como factores antropogénicos, sobre los cuales sí es posible incidir mediante una buena planeación y ejecución de planes de desarrollo más armónicos con la naturaleza y sus recursos renovables (Betanzos-Vega et al., 2018; Izaguirre y Celeiro, 2003).

Un riesgo adicional en materia de salud pública es que los ostiones, al ser organismos filtradores, concentran los contaminantes a niveles mucho más altos que los de las aguas circundantes (Arencibia-Carballo et al., 2016) y aunque pueden sobrevivir a la contaminación

por bacterias y virus, al consumirse mayormente crudos presentan un alto riesgo para la salud humana, sobre todo ante el incremento de materia orgánica en coincidencia con altas temperaturas del agua (Cáceres-Martínez y Vásquez-Yeomans, 2014). Por ello, es imprescindible incluir en los planes de desarrollo, un programa de monitoreo de las zonas ostrícolas, estudios de calidad higiénico-sanitaria en el agua y en los ostiones antes de su recolecta o cosecha.

Los resultados obtenidos a partir del presente estudio indican la necesidad de incrementar la vigilancia del entorno para la detección oportuna de actividades incompatibles con un medio ambiente saludable y una extracción pesquera sostenible, habilitando o rehabilitando los sistemas de tratamiento de aguas residuales del sector agroindustrial y doméstico. Es igualmente importante potenciar una gobernanza que integre a todos los usuarios de la cuenca hidrográfica del río Cauto, con objetivos específicos de manejo dirigidos a su uso y protección.

Agradecimientos

A la empresa pesquera industrial de Granma, Cuba (EPIGRAN), en especial al personal técnico asesor de los Buró de Captura. Al Fondo Sectorial de Investigación para la Educación (México), proyectos CB-Conacyt 258282 y PROINNOVA-Conacyt 241777, desarrollados en CIBNOR, S.C..

Referencias

- Arencibia-Carballo, G., Betanzos-Vega, A., Morales, J. M. y Mazón-Suástegui, J. M. (2016). Calidad de la zona ostrícola del estero-laguna de Buey, Manzanillo, Cuba. *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras*, 33, 30–36.
- Batista, J. L. (2002). Utilización actual de los recursos hídricos y calidad ambiental. *Revista Internacional de Geomática y Ciencias de la Tierra, Mapping*, 76, 88–94.
- Betanzos-Vega, A., Capetillo, N., Lopeztegui, A. y Martínez-Daranas, B. (2013). Variación espaciotemporal de la turbidez y calidad en cuerpos de agua marina de uso pesquero, región norcentral de Cuba, 2008–2010. *Serie Oceanológica*, 12, 24–35.
- Betanzos-Vega, A., Lodeiros, C., Espinosa-Sáez, J. y Mazón-Suástegui, J. M. (2016). Identificación de la ostra americana *Crassostrea virginica* como recurso natural en las Antillas Mayores: Cuba. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87, 1342–1347. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.09.005>
- Betanzos-Vega, A., Mazón-Suástegui, J. M., Puga, R., Avilés-Quevedo, M. A. y Formoso, M. (2018). Status of the American oyster *Crassostrea virginica* (Mollusca: Ostreidae) resource in Cauto river, Cuba. *Revista Bio Ciencias*, 5, 17. <https://doi.org/10.15741/revbio.05.2018.06>

- Cáceres-Martínez, J. y Vásquez-Yeomans, R. (2014). *Manual de buenas prácticas para el cultivo de moluscos bivalvos*. Panamá: OIRSA-OSPEPESCA.
- Concepción-Villanueva, J., Arencibia-Carballo, G., Carballo, O., Sánchez, F., Capetillo-Piñar, N., Hernández, T. et al. (2010). Estado ambiental de la zona costera Manzanillo-desembocadura del río Cauto. *Memorias VI Taller Internacional CONyMA*, La Habana, Cuba, 1 - 5 de marzo de 2010. Recuperado el 05 de junio, 2018 de: <http://www.oceandocs.org>
- CubAgua. (2015). Gestión integrada del agua. *Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos*. Recuperado el 12 de enero, 2016 de: <http://www.hidro.cu/recursoshidricos.html>
- Díaz-Fonseca, E., Álvarez-Betancourt, A. y Lay-Recio, D. (2004). Diagnóstico ambiental de la cuenca hidrográfica del río Cauto. Programa de rehabilitación y sus impactos. *Revista Electrónica Granma Ciencia*, 8, 1–5.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (1975). *Manual of methods in aquatic environmental research part I. Methods for detection and monitoring of water pollution*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Papers, 137.
- Gaceta Oficial. (2001). Acuerdo 4262/2001 de fecha 14-12-01 del Consejo de Estado y de Ministros: Áreas Protegidas de la República de Cuba. *Gaceta Oficial de la República de Cuba (88)*, Ordinaria. La Habana, Cuba: Ministerio de Justicia.
- Galtsoff, P. S. (1964). The American Oyster *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791). *Fishery Bulletin of the Fish and Wildlife Service*, 64, 21–82. <https://doi.org/10.4319/lo.1966.11.2.0312>
- Garrido, M. A., Sánchez, M. A. J. y Félix, T. F. J. (2007). Descripción de la pesquería del ostión del Golfo *Crassostrea virginica* en la laguna Mecoacán del Estado de Tabasco, México. *Kuxulkab*, 13, 5–10.
- Izaguirre, I. y Celeiro, M. (2003). Análisis y evaluación de sequía en la cuenca del río Cauto. *Revista Electrónica de la Agencia de Medio Ambiente*, 5, 1–24.
- Lodeiros, C. y Freitas, L. (2008). Estado actual y perspectivas del cultivo de moluscos bivalvos en Venezuela. En A. Lovatelli, A. Fariás e I. Uriarte (Eds.), *Estado actual del cultivo y manejo de moluscos bivalvos y su proyección futura: factores que afectan su sustentabilidad en América Latina* (pp. 135–150). Taller Técnico Regional de la FAO. FAO Actas de Pesca y Acuicultura, Núm. 12. Puerto Montt, Chile.
- Mazón-Suástegui, J. M. (2018). Bioecología y manejo acuícola-pesquero de moluscos del género *Crassostrea*: caso ostión americano *C. virginica* (Gmelin, 1791). En A. Betanzos-Vega, J. M. Mazón-Suástegui y G. Arencibia-Carballo (Eds.), *La ostricultura: una alternativa de desarrollo pesquero para comunidades costeras en Cuba* (pp. 25–41). Campeche: EPOMEX, Universidad Autónoma de Campeche.
- Mazón-Suástegui, J. M., Rivero-Suárez, S. E., Betanzos-Vega, A., Saucedo, P. E., Rodríguez-Jaramillo, C. y Acosta-Salmón, H. (2017). Potential of sites in northern Cuba for developing an industry of the native mangrove oyster (*Crassostrea rhizophorae*). *Latin American Journal Aquatic Research*, 45, 218–222. <https://doi.org/10.3856/vol45-issue1-fulltext-24>
- Montalvo-Estévez, J. F., García-Ramil, I. A., Almeida-Rodríguez, M., Betanzos-Vega, A. y García-García, N. (2014). Modelación de la eutroficación e índice de calidad del agua en algunas bahías del archipiélago Sabana Camagüey. *Tecnología Química*, 34, 184–196.
- Montalvo-Estévez, J. F., García-Ramil, I. A., Loza, S., Esponda S. C., César, M. E., González-de Zaya, R. et al. (2008). Oxígeno disuelto y materia orgánica en cuerpos de aguas interiores del Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba. *Serie Oceanológica*, 4, 71–84.
- NC-25. (1999). Norma Cubana 25: Sistema de Normas para la Protección del Medio Ambiente. Hidrosfera. Especificaciones y procedimientos para la evaluación de los objetos hídricos de uso pesquero. ICS, 65.150. Recuperado de: <http://www.nconline.cubaindustria.cu>
- NC-27. (1999). Norma Cubana 27: Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones. ICS, 13.060.30. Recuperado de: <http://www.nconline.cubaindustria.cu>
- Palacios-Fest, M. R., Mazón-Suástegui, J. M., García-Sandoval, S., Diego-Peralta, M., Estrada-Ortega, J. C., Altamirano-Saucedo, A. A. et al. (1988). *Manual técnico para la operación de los centros acuícolas productores de ostión*. Ciudad de México: Sepesca.
- Pérez, I. E., Arencibia, G., Capetillo, N. e Isla, M. (2003). Influencia del cultivo de camarón blanco (*Litopenaeus schmitti*) sobre ecosistemas costeros. *Revista Fopcana*, 2, 11–20.
- Perigó, E., Montalvo-Estévez, J. F., Cano, M., Martínez, C., Niévares, A. y Pérez, D. M. (2004). Principales fuentes contaminantes en la ecorregión norcentral de Cuba (Archipiélago Sabana - Camagüey). Impactos y respuestas. *Contribución a la Educación y la Protección Ambiental*, 5, 14–26.
- Shumway, S. (1996). Natural environmental factors. En V. S. Kennedy, R. I. E. Newell y A. F. Eble (Eds.), *The eastern oyster Crassostrea virginica* (pp. 467–513). College Park, MD: University of Maryland Sea Grant Publications.
- Statgraphics Centurión XV. (2007). Edition Multilingual. Version 15.2.05. Stat Point, Inc. Disponible en: www.statgraphics.com
- Vera, D. A. y Aldana, D. (2000). Crecimiento y sobrevivencia de semillas de ostión *Crassostrea virginica* en una granja camarónica en Yucatán, México. *Revista de Biología Tropical*, 48, 1–17. <https://doi.org/10.15517/rbt.v48i1>
- Zar, J. (1984). *Biostatistical analysis*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, Inc. <http://dx.doi.org/10.22201/ie.20074484e.1998.3.1.59>