



Variations and decline in oyster (*Crassostrea* spp.) production, southwest Cuba: Environmental factors and fishery management

Variaciones y disminución en la producción de ostión (*Crassostrea* spp.) al suroccidente de Cuba: Factores ambientales y manejo pesquero

Betanzos-Vega, A.¹, Mazón-Suástegui, J. M.², Tello-Cetina, J. A.³, Tordecillas-Guillén, J. L.⁴, Burelo-García, M.⁵

¹Centro de Investigaciones Pesqueras (CIP). Calle 246 y 5ta Ave, CP19100. Playa, La Habana, Cuba. ²Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR). Calle I.P.N. 195, Col. Playa Palo de Santa Rita Sur, CP-23096. La Paz, B.C.S., México. ³Instituto Tecnológico de Mérida (TecNM). Ave. Tecnológico s/n, CP-97118, Mérida, Yucatán, México. ⁴Centro Ostrícola Tecnológico de Tabasco (COTET). Carretera Costera del Golfo Magallanes-Paraiso s/n. Ejido San Rafael, CP-86500 Cárdenas, Tabasco, México. ⁵Universidad Juárez Autónoma de Tabasco; División de Ciencias Biológicas (UJAT-DCB). CP-86150, Villahermosa, Tabasco, México.

Cite this paper/Como citar este artículo: Betanzos-Vega, A., Mazón-Suástegui, J. M., Tello-Cetina, J. A., Tordecillas-Guillén, J. L., Burelo-García, M. (2020). Variations and decline in oyster (*Crassostrea* spp.) production, southwest Cuba: Environmental factors and fishery management. *Revista Bio Ciencias* 7, e957. doi: <https://doi.org/10.15741/revbio.07.e957>



ABSTRACT

Oyster production in southwest Cuba has been unstable since 1989, decreasing more than 50 %. This study assessed the environmental quality of oyster areas in that region and identified natural and anthropic factors related to its decline. Studies were performed in dry and rainy seasons to determine the hydrological quality of lagoons and estuaries with wild oyster banks south of Pinar del Río Province. Hydrodynamics of these aquatic systems was analyzed according to conservative flows and water renewal time. Interannual oyster production variability has been related to the annual dammed water volume and power dissipation index (PDI) of tropical cyclones. Thus, both factors impact oyster habitat and their production. Estuarine

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: March 09th 2020.

Accepted/Aceptado: October 19th 2020.

Available on line/Publicado: October 28th 2020.

*Corresponding Author:

José Manuel Mazón-Suástegui. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR). Calle I.P.N. 195, Col. Playa Palo de Santa Rita Sur, CP-23090. La Paz, B.C.S., México. E-mail: jamazon04@cibnor.mx

RESUMEN

La producción ostrícola al suroeste de Cuba es inestable y ha disminuido más del 50 % desde 1989. El objetivo de estudio fue evaluar la calidad ambiental de las zonas ostrícolas en esa región e identificar factores naturales y antrópicos relacionados con esa disminución. Se realizaron estudios en estación seca y lluviosa para determinar la calidad hidrológica de lagunas y estuarios con bancos silvestres de ostión, al sur de la provincia de Pinar del Río. Se analizó la hidrodinámica de estos sistemas acuáticos según flujos conservativos, y el tiempo de renovación de las aguas. La variabilidad interanual de la producción ostrícola se relacionó con el volumen anual de aguas represadas y con el índice de disipación de energía (PDI) de huracanes, ambos factores de impacto en el hábitat y en la producción ostrícola. Ocurren procesos estuarinos y antiestuarinos según temporada lluviosa o seca. El represamiento de los ríos tuvo una mayor incidencia ($r = -0.53$; $p < 0.05$) que los huracanes ($r = -0.19$; $p < 0.05$) en la variabilidad anual de la producción ostrícola. De cuatro sistemas acuáticos evaluados, tres de ellos sostienen

and anti-estuarine processes occur depending on the rainy or dry season. River damming had a higher incidence ($r = -0.53$; $p < 0.05$) than cyclones ($r = -0.19$; $p < 0.05$) in annual oyster production variability. Of the four aquatic systems assessed, three of them contributed to more than 90 % of production south of Pinar del Río and were suitable for oyster farming. Productivity in natural oyster areas was less than 1 t ha^{-1} but may exceed 30 t ha^{-1} if applicable oyster farming, with a potential of 100 t per year.

KEY WORDS

Lagoon hydrodynamics, Damming, Hurricanes, Oyster culture.

Introduction

Oyster production increases towards the south and east of the country, with higher productivity in the southeast of Cuba. To the west, the province of Pinar del Río had contributed 10 % to national oyster production -an annual average of 1112 t of shelled oysters from 2010-2017. Until 2018, the province took on all oyster production in the western region of Cuba (Mazón-Suástegui *et al.*, 2019).

In addition according to production statistics from La Coloma industrial fishing company (EPICOL) -parent company of the province of Pinar del Río Province- five fishing establishments in the province performed oyster farming activities. From 1960 to 1980, the company reported a total annual average production of 225 t with maxima exceeding 400 t, mainly from oyster farming. Three of those establishments are located in coastal towns in the northern part of the provinces (Arroyos de Mantua, Puerto Esperanza, and Morrillo) and two at its southern part (Cortés and Boca de Galafre).

EPICOL has justified the decrease in production because of the effect of hurricanes in oyster farming and salinity increase with the reduction of wild oyster biomass. Since 2016, fishery establishments located only in Morrillo (northeast of the province) and Boca de Galafre (southwest) have maintained a productive oyster activity by artisanal farming and wild collection, respectively. In addition to the current and scarce oyster production in Pinar del Río, the province has to

más del 90 % de la producción de ostión al sur de Pinar del Río, y son adecuados para ostricultura. La productividad en áreas naturales de ostiones fue menor a 1 t ha^{-1} pero puede superar las 30 t ha^{-1} si se aplica la ostricultura, con potencial de 100 t por año.

PALABRAS CLAVE

Hidrodinámica lagunar, represamiento, huracanes, ostricultura

Introducción

La producción de ostión se incrementa hacia el sur y el este del país, con mayor productividad al sureste de Cuba. Al occidente, la provincia de Pinar del Río aportó un 10 % de la producción nacional de ostión, media anual de 1112 t de ostión en su concha, durante 2010 – 2017, y hasta 2018 la provincia asumía toda la producción ostrícola de la región occidental de Cuba (Mazón-Suástegui *et al.*, 2019).

De acuerdo con estadísticas de producción de la empresa pesquera industrial de La Coloma (EPICOL), empresa pesquera matriz de la provincia de Pinar del Río, entre 1960 y 1980, la provincia reportó una producción total media anual de 225 t, con máximos superiores a las 400 t, procedente de cinco establecimientos pesqueros, y derivados principalmente del cultivo. Tres de esos establecimientos se ubican en poblados costeros al norte de la provincia (Arroyos de Mantua, Puerto Esperanza y Morrillo), y dos al sur de la misma (Cortés y Boca de Galafre).

La empresa EPICOL ha justificado la disminución de la producción por el efecto de huracanes y aumentos en la salinidad, con reducción de la biomasa de ostión silvestre. Desde 2016, solo los establecimientos pesqueros ubicados en Morrillo (al noreste de la provincia) y Boca de Galafre (al suroeste) mantienen una actividad productiva de ostión mediante el cultivo artesanal y la recolecta silvestre, respectivamente.

Adicional a la escasa producción actual de ostión en Pinar del Río, la provincia debe adaptarse a una potencial disminución de su producción ostrícola, debido a que por acuerdos oficiales de política administrativa (Ley No. 110), una fracción de su territorio pasó a ser parte de la provincia vecina de Artemisa (Gaceta Oficial No. 023, 2010). Esto implica un traslado administrativo, efectivo desde 2019,

adapt to a potential oyster production decrease. Due to official agreements of administrative policies (Ley No. 110), a fraction of its territory formed part of the neighboring Artemisa Province (Gaceta Oficial No. 023, 2010). This situation has implied an administrative transfer -effective since 2019- of Morrillo fishery establishment in the municipality of Bahía Honda. As a result of this production transfer, the current oyster production of Pinar del Río has decreased by 50 %. Consequently, the fishery Boca de Galafre, whose production has also reduced (76 %) with respect to the maximum reached in 1984 (153 t), must take up all the production of the province.

The natural bank areas that sustain oyster production of Boca de Galafre fishery are distributed along the southwest province of Pinar del Río. Different impact factors affecting marine species and coastal fisheries have been considered.

The freshwater sources (rivers or streams) that connect with the hydric systems assessed south of Pinar del Río are dammed or intermittent and dependent on precipitation; thus, freshwater supply has decreased progressively (CubAgua, 2017). According to Piñeiro (2006), damming in southwest Cuba started in 1971 and reached its maximum water reservoir capacity (830 h m³) in 1989. This situation caused a decrease of 80 % in river flow south of Pinar del Río Province, generating a gradual rise of salinity in the coastal lagoon systems starting from 1990. Salinity has had a direct effect on oyster substrate fixation, growth and differentiation (Palacios-Fest *et al.*, 1988; Villarroel *et al.*, 2004).

The increase in frequency and intensity of high-density hurricanes since 1996 has been pointed out as an additional impact for habitats and coastal fisheries in Pinar del Río when compared to the period 1970—1995 (Puga *et al.*, 2013). Hurricanes generate affectation in mangroves and coastal dynamics besides deforestation and erosion, which cause turbidity, larval oyster dispersion, destruction of natural larval fixation substrate, and affect aquaculture systems with high mortality (Arencibia & Betanzos-Vega, 2018).

Therefore, the aim of this study was to assess the environmental quality of the oyster farming zones south of Pinar del Río to determine if production variations were related to the increase of severe hurricane and storm intensity, and river damming. In conclusion, the potential exists to increase oyster production sustainably.

del establecimiento pesquero de Morrillo, del municipio de Bahía Honda, y como resultado de este traslado la producción actual de ostión en Pinar del Río ha disminuido un 50 %. En consecuencia, el establecimiento pesquero de Boca de Galafre, cuya producción también se ha reducido (76 %) con respecto al máximo alcanzado en 1984 (153 t), deberá asumir toda la producción de la provincia.

Las zonas de bancos naturales que sustentan la producción de ostión del establecimiento pesquero de Boca de Galafre, se distribuyen por el suroeste de la provincia de Pinar del Río. Para esta región se plantean diferentes factores de impacto que afectan los hábitats de especies marinas y las pesquerías costeras.

Las fuentes de agua fluvial (ríos o arroyos) que conectan con los sistemas hídricos evaluados al sur de Pinar del Río están represadas o son de tipo intermitente y dependiente de las precipitaciones, de manera que el aporte de agua dulce ha disminuido progresivamente (CubAgua, 2017). Según Piñeiro (2006) el represamiento en la región suroccidental de Cuba se inició en 1971 y alcanzó su máxima capacidad de embalse (830 Hm³) en 1989, con la disminución del 80 % del caudal de los ríos al sur de la provincia de Pinar del Río, generando un aumento escalonado de la salinidad en los sistemas lagunares costeros, a partir de 1990. La salinidad tiene un efecto directo sobre la fijación a sustrato, el crecimiento y diferenciación de las ostras (Palacios-Fest *et al.*, 1988; Villarroel *et al.*, 2004).

El incremento en frecuencia e intensidad de huracanes de alta intensidad desde 1996, con respecto al periodo 1970 – 1995, ha sido señalado como un impacto adicional para los hábitats y las pesquerías costeras en Pinar del Río (Puga *et al.*, 2013). Los huracanes generan afectación en manglares y en la dinámica costera; además de deforestación y erosión, ocasionan turbidez, dispersión de larvas de ostión, destrucción de sustratos naturales de fijación larvaria y afectación de sistemas acuícolas con altas mortalidades (Arencibia & Betanzos-Vega, 2018).

Por lo antes expuesto, el objetivo del presente estudio es evaluar la calidad ambiental de las zonas ostrícolas al sur de Pinar del Río, a fin de determinar si las variaciones en la producción de ostión tienen relación con el incremento del represamiento fluvial y la intensidad de huracanes y tormentas severas, y si existe potencial para aumentar la producción ostrícola de manera sostenible.

Material and Methods

The natural banks of the species known in Cuba as mangrove oyster *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828) and bottom oyster *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791) sustain the production of Boca de Galafre fishery establishment located south of Pinar del Río Province (Figure 1). This study assessed the areas where natural oyster banks are distributed (Figure 1, Table 1).

Material y Métodos

Los bancos naturales de las especies conocidas en Cuba como "ostión de mangle" *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828) y "ostión de fondo" *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791), que sustentan la producción ostrícola del establecimiento pesquero de Boca de Galafre, se localizan al sur de la provincia de Pinar del Río (Figura 1). Las áreas donde se distribuyen los bancos naturales han sido evaluadas durante el presente estudio (Figura 1, Tabla 1).

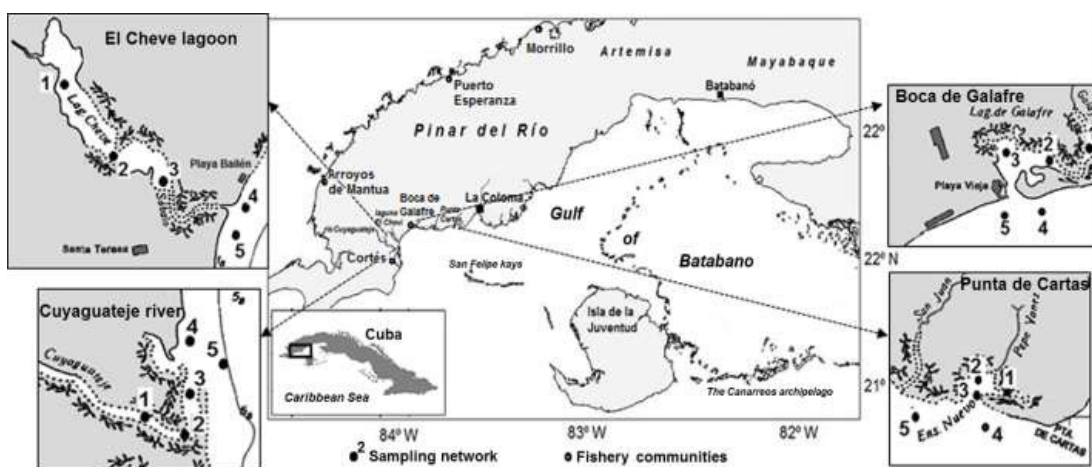


Figure 1. Study area located south of Pinar del Río province, Cuba.

It shows the lagoon bodies with natural oyster banks and sampling stations (1, 2, 3, 4 and 5) for hydrological purposes.

Figura 1. Zona de estudio localizada al sur de la provincia de Pinar del Río, Cuba.

Se muestran los cuerpos lagunares con bancos ostrícolas naturales y las estaciones de muestreo (1, 2, 3, 4 y 5) para fines hidrológicos.

Table 1.
Geographical location, extension (km²) and area (ha) with natural oyster banks, of each water system evaluated south of Pinar del Río, Cuba.

Tabla 1.
Localización geográfica, extensión (km²) y área (ha) con bancos naturales de ostión, de cada sistema hídrico evaluado al sur de Pinar del Río, Cuba.

Aquatic system	Geographical position	Extension (km ²)	Oysters area (ha)
Cuyaguaje river	22°05.044'N 083°58.306'W	5.2	19
El Cheve lagoon	22°07.791'N 083°59.525'W	2.2	61
Galafre lagoon	22°10.853'N 083°53.454'W	0.9	14
Punta Cartas lagoon	22°10.285'N 083°50.715'W	0.6	17

Two research cruises were performed in the four hydrographic systems, one in the dry season (April 2018) and the other one in the rainy season (September 2018) (Figure 1). The hydrological parameters were recorded at superficial and bottom levels and in different schedules (09:30 and 16:30 h) to search for greater perpendicular solar rays for relative water transparency (%) according to the Secchi disk depth visibility; water color was obtained according to Forel-Ule scale. Depth (m) was determined with a string marked every 10 cm and a weight at its end, measuring in different sections of each aquatic system to cover the largest possible area. Water temperature (C°), salinity (UPS), pH, and dissolved oxygen (DO) (mg L⁻¹) were measured with a multiparametric sound HANNA HI 9828 (Canada) with a precision of ± 0.01 units. Chemical oxygen demand (COD in mg L⁻¹) was calculated by the oxidation method with potassium permanganate in alkaline medium (FAO, 1975).

For the physical-chemical determinations, five points were sampled, three within each lagoon or estuary and two in the adjacent marine area, obtaining average values and their deviation standard (X ± DS) within and off each system. The samplings in each hydric system were performed with a motor boat at the moment of the tide flux or reflux starting by the external stations (4 and 5). In this region, the tide is usually irregular, semidiurnal with an average amplitude < 0.20 m (Rodríguez & Rodríguez, 1983).

In semi-closed aquatic systems, water exchange may be estimated by hydric balance according to the mass conservation principle since equilibrium should exist between inlet and outlet water volumes that determine the variations of the stored volume (Kjerfve *et al.* 1996). Water dynamics in each lagoon body was determined by conservative fluxes (hydric and salt balance) and hydric balance starting from the residual volume (V_R), taking as reference Gordon *et al.* (1996) equation:

$$V_R = V_{ET} - V_{ST} = -(V_P + V_O + V_S + V_{AR} - V_E)$$

Where:

V_R = residual volume; V_{ET} = total water inlet volume; V_{ST} = total water outlet volume; V_P = freshwater entrance to the lagoon body by precipitation; V_O = river flow volume; V_S = underground runoff volume; V_{AR} = industrial or

Se realizaron dos cruceros de investigación, en temporada seca (abril 2018) y de lluvia (septiembre 2018), en los cuatro sistemas hidrográficos (Figura 1). Se registraron los parámetros hidrológicos a nivel superficial y de fondo, y en diferentes horarios de muestreo, entre las 09:30 y 16:30 horas, buscando una mayor perpendicularidad de los rayos solares para las mediciones de transparencia relativa del agua (%) según profundidad de visibilidad del disco Secchi, y el color del agua según escala Forel-Ule. La profundidad (m) se determinó con un cordel (sondaleza) marcado cada 10 cm y con un peso en el extremo, midiendo en diferentes tramos de cada sistema acuático para cubrir la mayor área posible. La temperatura del agua (C°), salinidad (UPS), pH, y oxígeno disuelto (mg L⁻¹) se midieron con una sonda multiparamétrica HANNA HI 9828 con precisión de ±0.01 unidades. La demanda química de oxígeno (COD en mg L⁻¹) se calculó por el método de oxidación con permanganato de potasio en medio alcalino (FAO, 1975).

Para las determinaciones fisicoquímicas se muestrearon cinco puntos en cada cuerpo lagunar, tres dentro de cada laguna o estuario y dos en la zona marina adyacente, obteniendo valores promedio y su desviación estándar (X ± DS), dentro y fuera de cada sistema. Los muestreos en cada sistema hídrico, con embarcación a motor, se realizaron en momento de flujo o de reflujo de la marea, comenzando por las estaciones (4 y 5) exteriores. En esta región la marea es semidiurna irregular con amplitud media < 0.20 m (Rodríguez & Rodríguez, 1983).

En sistemas acuáticos semi-cerrados, el intercambio de aguas se puede estimar por balance hídrico y conforme al principio de conservación de masa, ya que debe existir un equilibrio entre volúmenes de entrada y de salida, que determinan las variaciones del volumen almacenado (Kjerfve *et al.* 1996). La dinámica de las aguas en cada cuerpo lagunar se determinó por flujos conservativos (balance hídrico y de sales) y el balance hídrico a partir del volumen residual (V_R), tomando como referencia la ecuación de Gordon *et al.* (1996):

Donde:

V_R = volumen residual; V_{ET} = volumen de entrada total de agua; V_{ST} = volumen de salida total de agua; V_P = volumen de agua dulce que entró al cuerpo lagunar por precipitación; V_O = volumen de caudal de los ríos; V_S = volumen por

domestic residual water volume; and V_E = freshwater outlet volume by evaporation from the lagoon body.

Considering that the highest freshwater contribution (> 90 %) to the lagoon and estuary bodies comes from rainfall and that the corresponding values to (V_o), (V_s) and (V_{AR}) are inexistent or have a minimum influence (Betanzos & Mazón-Suástegui, 2014), the previous basic formula was simplified in the following manner:

$$V_R = V_{ET} - V_{ST} = -(V_P - V_E)$$

Values were calculated according to the direct incidence of both variables on each hydric system evaluation, considering those in millimeters of precipitation and evaporation average of ten days preceding each sampling. Data were obtained from the evaporation and rainfall measurement network in the meteorological station of Isabel Rubio town located in the region of study and multiplied by the corresponding area (km^2) of each hydric system to obtain the final values in m^3/day ($\text{m}^3 \text{d}^{-1}$).

Water exchange between each one of the four hydric systems and the adjacent sea was calculated by salt balance and volume mixture (V_x), applying the conservation equation (Gordon *et al.*, 1996; Kjerfve *et al.*, 1996):

$$V_x = \frac{V_R S_R}{(S_1 - S_2)}$$

Where:

V_R is the residual water volume obtained and S_R is residual salinity: $S_R = ([S_1 + S_2]/2)$, which is no more than the average salinity within (S_1) and out of the lagoon body (S_2). This result allowed estimating the type of circulation (estuarine or anti-estuarine) in each evaluated period.

Water recharge or renovation (t) time in the system was calculated according to the formula of Gordon *et al.* (1996) and following the criteria of Sheldon & Alber (2006):

$$\tau = \frac{V_{system}}{(V_R + |V_x|)}$$

Where:

V_{system} is the water volume stored at the moment of assessing each hydric system with respect to area and depth. When the estuary was negative, the residual volume

escurrimiento subterráneo; V_{AR} = volumen de aguas residuales, domésticas o industriales, y V_E = Volumen de agua dulce que salió del cuerpo lagunar por evaporación.

Considerando que el mayor aporte fluvial (> 90 %) a los cuerpos lagunares y estuarios evaluados se produce por precipitación, y que los valores correspondientes a (V_o), (V_s) y (V_{AR}), son inexistentes o tienen una mínima influencia (Betanzos & Mazón-Suástegui, 2014), la fórmula básica previa se simplificó, quedando de la siguiente manera:

Los valores fueron calculados según la incidencia directa de ambas variables sobre cada sistema hídrico evaluado, considerando valores en milímetros de precipitación y evaporación, media de la decena (días) precedente a cada muestreo. Los datos fueron obtenidos de la red pluviométrica y evaporimétrica de la estación meteorológica del poblado de Isabel Rubio ubicada en la región de estudio, y se multiplicaron por el área (km^2) correspondiente a cada sistema hídrico para obtener los valores finales en $\text{m}^3/\text{día}$ ($\text{m}^3 \text{d}^{-1}$).

Para estimar el intercambio de aguas entre cada uno de los cuatro sistemas hídricos estudiados y el mar adyacente, se calculó por balance de sales el volumen de mezcla (V_x), aplicando la ecuación de conservación (Gordon *et al.*, 1996; Kjerfve *et al.*, 1996):

Donde:

V_R es el volumen residual obtenido, y S_R es la salinidad residual: $S_R = ([S_1 + S_2]/2)$, que no es más que el promedio de las salinidades dentro (S_1) y fuera del cuerpo lagunar (S_2). Resultado que permite estimar para cada cuerpo de agua el tipo de circulación (estuarina o antiestuarina) en cada periodo evaluado.

El tiempo de recambio o renovación (t) de agua en el sistema se calculó según la fórmula de Gordon *et al.* (1996) y según criterios de Sheldon & Alber (2006):

Donde:

V_{system} el volumen de agua almacenado en el momento evaluado para cada sistema hídrico, según área y profundidad. Cuando el estuario fue negativo se desestimó

was rejected (V_R) and the mixture volume (V_x was used (Sheldon & Alber, 2006).

With respect to productivity by area, although individual/ m^2 density was not determined, each water body was assessed with the support of the local oyster fishers. An estimation (ha) of all the areas with natural oyster banks was performed in each one of the four hydric systems: mangrove (*C. rhizophorae*) and American (*C. virginica*) oysters. For mangrove oyster, the extension was determined according to length and width (≈ 2.0 m) of the coastal strip whose border mangroves showed oysters fixed to roots and branches. To estimate bottom oyster areas, buoys or edges were placed in the areas where subtidal banks were distributed and the geographical position of each point was determined. In both cases a GPS 48 (12 channel receiver, GARMIN, Olathe, KS, U.S.A.) was used; for calculating the areas, the program MapInfo version 8 (community.mapinfo.com) was used. The average annual productivity ($kg\ ha^{-1}$) was estimated for each oyster zone based on capture data of each locality (capture assumed as an indicator of fishable biomass) and according to months sampled in the dry or rainy season.

From the company (EPICOL) statistics, historical data (1964 – 2018) of total shelled oyster annual production (t) for the southern region of Pinar del Río, as well as the average annual production by oyster areas and species from 2009 – 2018. Damming effect in oyster production was determined starting from annual water accumulation data in cubic hectometers (Hm^3) in basin dams of south Pinar del Río (CubAgua, 2017), which were compared with the total interannual oyster production variability in the region.

Tropical cyclone incidence that impacted the region (UNISYS, 2015) in oyster production (1964 – 2010) was established starting from the annual data series analysis of shelled oyster production (capture) and interannual variability of the power dissipation index (PDI) according to Enmanuel's (2006) methodology. This index shows the maximum wind power according to the sum of speed to the power of 3 and is used as a potential measurement of cyclonic destruction. Additionally, Pearson's correlation (95 %) probability was used to determine relationship or incidence levels between abiotic variables and those referred to production: oyster areas, capture (assumed as fishable biomass) and productivity per area.

el volumen residual (V_R) y se utilizó V_x , volumen de mezclado (Sheldon & Alber, 2006).

Relativo a la productividad por área, aunque no se determinó la densidad de individuos/ m^2 , se revisó cada cuerpo de agua evaluado con apoyo de los pescadores (ostioneros) locales. En cada uno de los cuatro sistemas hídricos se realizó una estimación (ha) de todas las áreas con bancos naturales de las especies explotadas: ostión de mangle (*C. rhizophorae*) ostión Americano (*C. virginica*). Para ostión de mangle se determinó la extensión, según longitud y anchura (≈ 2.0 m), de la franja litoral cuyos manglares de borde mostraron ostiones fijados a sus raíces y ramas. Para estimar el área con ostión de fondo, se colocaron balizas en los extremos o aristas de las áreas donde se distribuyen los bancos submareales y se determinó la posición geográfica de cada punto. En ambos casos se utilizó un GPS Garmin 48 de 12 canales, y para el cálculo del área, el programa MapInfo versión 8. La productividad promedio anual ($kg\ ha^{-1}$) para cada zona ostrícola se estimó con base en los datos de captura de cada localidad (asumida la captura como indicador de la biomasa pescable) y según meses muestreados en temporada seca o lluviosa.

De la estadística empresarial (EPICOL) se obtuvieron datos históricos (1964 – 2018) de la producción total anual de ostión en su concha (t) para la región sur de Pinar del Río, y por zonas ostrícolas y especies la producción promedio anual del periodo 2009 – 2018. El efecto del represamiento fluvial en la producción ostrícola se determinó a partir de datos de acumulados anuales de agua embalsada en hectómetros cúbicos (Hm^3), en las represas de las cuencas al sur de Pinar del Río (CubAgua, 2017), y se confrontaron con la variabilidad interanual de la producción total de ostión en la región.

La incidencia de los ciclones tropicales que impactaron la región (UNISYS, 2015) en la producción ostrícola (1964 – 2010), se estableció a partir del análisis de la serie de datos de producción (captura) anual de ostión en concha y la variabilidad interanual del Índice de Disipación de Energía (PDI = *Power Dissipation Index*, por sus siglas en inglés), según la metodología de Enmanuel (2006). Este índice muestra el poder de los vientos máximos según la sumatoria de las velocidades al cubo, y se utiliza como medida de destructividad potencial de un huracán. Adicionalmente, se realizaron correlaciones (Pearson), 95 % de probabilidad, para determinar niveles de relación o de incidencia entre variables abióticas y las referidas a la producción: áreas ostrícolas, captura (asumida como biomasa pescable), y productividad por área.

Results and Discussion

In April (dry month) and September (rainy month) 2018, water temperature fluctuated from 27.8-29.5 °C with maximum values usually in September. The exception was recorded in El Cheve lagoon with maxima in April (Table 2). Although September is a month of maximum precipitation in Cuba, salinity in the lagoon water bodies did not show a strong influence in precipitation contribution with an average minimum of 32.6 UPS in the Cuyaguajeje river delta in 2018. The maximum average (40 UPS in El Cheve in April 2018) was recorded previously in April and May, months of maximum evaporation in Cuba (Betanzos & Mazón-Suástegui, 2014). Average salinity was greater than 36 UPS in Galafre lagoon both in dry and rainy seasons, which implied a relative tendency to become hypersaline.

Prolonged exposure of *C. rhizophorae* and *C. virginica* to salinities greater than 37 and 34 UPS, respectively, has a bearing in filtration and gonad formation rate, which hinders larvae to reach the fixation stage and affects relative population abundance (Madrigal *et al.*, 1985; Palacios-Fest *et al.*, 1988). Nonetheless, the relatively high salinity values recorded in dry (April) season were considered permissible in short-time periods for native oysters adapted to such variation (as *C. virginica*) if average annual salinity was lower than 34 UPS (Mazón-Suástegui, 2018).

Resultados y Discusión

En abril (mes de seca) y septiembre (mes de lluvia) de 2018, la temperatura del agua fluctuó entre 27.8 y 29.5 °C, con valores máximos por lo general en septiembre. La excepción se registró en la laguna El Cheve, con máximos en abril (Tabla 2). Aunque septiembre es un mes de máxima precipitación en Cuba, durante 2018 la salinidad en los cuerpos lagunares evaluados no mostró una fuerte influencia por aporte fluvial, con mínimo promedio de 32.6 UPS en el delta del río Cuyaguajeje. El máximo promedio en abril 2018 (40 UPS) en laguna El Cheve, ha sido registrado con anterioridad en abril y mayo, meses de máxima evaporación en Cuba (Betanzos & Mazón-Suástegui, 2014). En laguna de Galafre la salinidad media fue mayor de 36 UPS tanto en época seca como lluviosa, lo cual indica una propensión relativa a la hipersalinidad.

La exposición prolongada de *C. rhizophorae* y *C. virginica* a salinidades mayores de 37 y 34 UPS respectivamente, incide en su tasa de filtración y formación de gónada, impide que las larvas lleguen al estadio de fijación y afecta la abundancia poblacional relativa (Madrigal *et al.*, 1985; Palacios-Fest *et al.*, 1988). Sin embargo, los valores de salinidad relativamente altos registrados en temporada seca (abril) se consideran permisibles por cortos periodos para ostiones nativos adaptados a esas variaciones (como *C. virginica*), si la salinidad media anual es inferior a 34 UPS (Mazón-Suástegui, 2018).

Table 2.
Average values and standard deviation (\pm SD), of physical-chemical parameters evaluated in aquatic systems south of Pinar del Río, Cuba, with natural oyster banks, in dry (April) and rainy (September) conditions.

Tabla 2.
Valores promedio y desviación estándar (\pm DE), de parámetros fisicoquímicos evaluados en sistemas acuáticos al sur de Pinar del Río, Cuba, con bancos ostrícolas naturales, en temporada seca (abril) y lluviosa (septiembre).

Parameters	Cuyaguajeje river		El Cheve lagoon		Galafre lagoon		Pta Cartas lagoon	
	Dry	Rain	Dry	Rain	Dry	Rain	Dry	Rain
Depth	1.2 \pm 0.5	1.3 \pm 0.4	1.8 \pm 0.9	1.9 \pm 0.8	0.7 \pm 0.3	0.7 \pm 0.3	0.8 \pm 0.5	0.8 \pm 0.4
Temperature	27.8 \pm 0.2	28.7 \pm 0.1	29.5 \pm 0.2	28.7 \pm 0.1	28.0 \pm 0.1	29.3 \pm 0.1	27.9 \pm 0.1	28.8 \pm 0.1
Salinity	35.7 \pm 1.2	32.6 \pm 1.1	40.2 \pm 1.6	33.7 \pm 1.5	38.8 \pm 1.1	36.1 \pm 1.4	37.2 \pm 0.5	34.8 \pm 0.4
pH	7.9 \pm 0.1	7.7 \pm 0.1	8.3 \pm 0.2	7.7 \pm 0.2	8.2 \pm 0.1	7.9 \pm 0.1	8.2 \pm 0.1	7.8 \pm 0.2
Oxygen	4.9 \pm 0.4	5.3 \pm 0.2	4.1 \pm 0.3	4.7 \pm 0.4	4.8 \pm 0.2	5.0 \pm 0.3	5.2 \pm 0.1	5.0 \pm 0.3
COD	3.1 \pm 1.1	3.7 \pm 1.3	5.1 \pm 1.8	4.7 \pm 1.4	3.2 \pm 0.6	3.8 \pm 1.1	2.6 \pm 0.7	3.1 \pm 0.5
Transparency	58 \pm 12	47 \pm 5.0	48 \pm 19	50 \pm 7	50 \pm 5	40 \pm 6	60 \pm 10	55 \pm 8

The average minimum chemical oxygen demand (COD) concentration values (4.1 and 4.7 mg L⁻¹) per month and areas were recorded in El Cheve lagoon (Table 2), which agreed with the average maximum (4.7 and 5.1 mg L⁻¹) values. COD values > 2 mg L⁻¹ in marine waters were associated with organic contamination. Values from 1-5 mg L⁻¹ are commonly found in lagoons and estuaries due to the natural and anthropic contribution of organic matter (Montalvo et al., 2008), which could explain the minimum and maximum COD values recorded in El Cheve lagoon. However, in this type of aquatic systems of high phytoplanktonic productivity, oyster survival could go beyond 80 % with COD values up to 4.5 mg L⁻¹ (Betanzos-Vega et al. 2020).

A contamination process indicator is constituted by water transparency and DO concentration. In this type of coastal lagoons, self-depuration is not always guaranteed, so a deficit (COD) could be generated due to biodegradation processes (Montalvo et al., 2008). On the other hand, average values of temperature, pH, DO and relative water transparency (40 – 60 %) of each evaluated site covered the minimum environmental requirements for oysters *Crassostrea* spp according to ecological criteria (Madrigal et al., 1985; Palacios-Fest et al., 1988; Villarroel et al., 2004; Mazón-Suástegui, 2018; Betanzos-Vega et al., 2020).

Water color in the four aquatic systems assessed varied from green to greenish-yellow in the dry and rainy season, respectively, which is indicative of a high phytoplanktonic density (González-Sansón, 1994; Montalvo et al., 2008), an essential factor for the development and reproduction of phytophage organisms as oysters. In general, the best water quality for both species *C. virginica* and *C. rhizophorae* was recorded in rainy season (September) although salinity was an important variable difficult to monitor.

In April 2018 (dry season) a deficit of freshwater was recorded in the four hydric systems due to lower precipitation (V_p) than evaporation (V_E) (Table 3). The volume of daily mix (V_x) was relatively high in the lagoon systems (> 120 x 10³ m³ day⁻¹) and with a positive residual (V_R) value. This result is indicative of inverse flux from the sea to the lagoons to compensate volume loss in the lagoon bodies caused by the high evaporation in April. Additionally, a unidirectional flux occurred by

Los valores mínimos promedio en la concentración de oxígeno disuelto (4.1 y 4.7 mg L⁻¹), por meses y zonas, se registraron en laguna El Cheve (Tabla 2), siendo coincidentes con los valores máximos promedio de COD (4.7 y 5.1 mg L⁻¹). Valores > 2 mg L⁻¹ de COD en aguas marinas se asocian a contaminación orgánica. En lagunas y estuarios es común encontrar valores de 1 a 5 mg L⁻¹ de COD debido a los aportes naturales y antrópicos de materia orgánica (Montalvo et al., 2008). Esto pudiera explicar los valores mínimos de oxígeno y máximos de COD registrados en laguna El Cheve. Sin embargo, en este tipo de sistemas acuáticos de alta productividad fitoplanctónica, la sobrevivencia del ostión puede superar el 80 % con valores COD de hasta 4.5 mg L⁻¹ (Betanzos-Vega et al. 2020).

Un indicador de procesos de contaminación lo constituye la transparencia de las aguas y la concentración de oxígeno disuelto, que en este tipo de lagunas costeras no siempre es el adecuado para garantizar su autodepuración, pudiendo generarse un déficit (COD) debido a procesos de biodegradación (Montalvo et al., 2008). Sin embargo, los valores promedio de temperatura, pH, oxígeno disuelto y transparencia relativa del agua (entre 40 y 60 %) de cada sitio evaluado cubren los requerimientos ambientales mínimos para ostiones del género *Crassostrea* spp según criterios ecológicos (Madrigal et al., 1985; Palacios-Fest et al., 1988; Villarroel et al., 2004; Mazón-Suástegui, 2018; Betanzos-Vega et al., 2020).

En los cuatro sistemas acuáticos, el color de agua varió del verde al amarillo-verdoso en temporada seca y lluviosa respectivamente. Este color es indicativo de una alta densidad fitoplanctónica (González-Sansón, 1994; Montalvo et al., 2008), factor esencial para el desarrollo, reproducción y crecimiento de fitófagos como el ostión. En general, la mejor calidad de las aguas para ambas especies *C. virginica* y *C. rhizophorae* se registró en temporada lluviosa (septiembre), aunque la salinidad es una variable importante a monitorear.

En abril de 2018 (seca) se registró un déficit de agua dulce en los cuatro sistemas hídricos, debido a una menor precipitación (V_p) que evaporación (V_E) (Tabla 3). El volumen de mezcla diario (V_x) fue relativamente alto en los sistemas lagunares (> 120 x 10³ m³ día⁻¹) y con volumen residual (V_R) positivo, indicativo de flujo inverso, del mar hacia las lagunas, para compensar las pérdidas de volumen en los cuerpos lagunares ocasionadas por la alta evaporación de abril. Adicionalmente, ocurrió un flujo unidireccional por

gravitational or advective salt balance ($S_1 > S_2$) toward the lagoons due to lower salinity /density in the adjacent sea (S_2), which generated an anti-estuarine circulation and greater water or time resistance for recharge (Table 3).

In September 2018 (rainy season), the negative residual volume (V_R) confirmed an estuarine circulation pattern (Table 3) with lower salinity in the coastal lagoons (S_1) than in the adjacent sea (S_2), which increased water exchange and renovation by salt balance (Kjerfve *et al.*, 1996). Nonetheless, Galafre and Punta Cartas lagoons recorded a semi-estuarine circulation in September (rain). This situation was likely caused by the scarce difference between salinity within (S_1) and out of (S_2) both systems and closer V_R to 0 (Table 3), which originated a neutral or stationary state with poor water exchange.

A hydrodynamic pattern was distinguished in the four hydric systems assessed, in which estuarine or anti-estuarine processes predominated, according to the difference between freshwater inlet volume by precipitation and outlet by evaporation. This scheme corroborated what Betanzos & Mazón-Suástegui (2014) described for El Cheve lagoon when they expressed predominance of anti-estuarine or semi-estuarine fluxes that favored oyster development and distribution from

balance de sales ($S_1 > S_2$) de tipo gravitacional o advectivo, hacia las lagunas, debido a una menor salinidad/densidad en el mar adyacente (S_2), lo que generó una circulación antiestuarina y una mayor residencia de las aguas o tiempo para su recambio (Tabla 3).

En septiembre de 2018 (lluvia), el signo negativo del volumen residual (V_R) confirmó un patrón de circulación estuarino (Tabla 3), con menor salinidad en las lagunas costeras (S_1) que en el mar adyacente (S_2), lo cual incrementa el intercambio y renovación de las aguas por balance de sales (Kjerfve *et al.*, 1996). Sin embargo, en lagunas de Galafre y Punta Cartas se registró una circulación semiestuarina en septiembre (lluvia) por la escasa diferencia entre la salinidad dentro (S_1) y fuera (S_2) de ambos sistemas y un V_R cercano a 0 (Tabla 3), que originó un estado neutro o estacionario con pobre intercambio de aguas.

En los cuatro sistemas hídricos evaluados se distingue un patrón hidrodinámico, predominando procesos estuarinos o antiestuarinos según diferencia entre el volumen de entrada de agua dulce por precipitación y la salida por evaporación. Este esquema corrobora lo descrito por Betanzos & Mazón-Suástegui (2014) para la laguna El Cheve, al expresar un predominio de flujos antiestuarinos de noviembre a mayo, por déficit de precipitaciones y alta

Table 3.
Water input volumes by precipitation (V_p) and output by evaporation (V_E),
Residual volume (V_R) and mix (V_X) expressed in $10^3 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$.

Tabla 3.
Volúmenes de entrada de agua por precipitación (V_p) y salida por evaporación (V_E),
Volumen residual (V_R) y de mezclado (V_X), expresados en $10^3 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$.

Aquatic systems	Period	V_p	V_E	V_R	V_X	$V_R S_R$	(t day)	Circulation
Cuyaguaje	Dry	6.2	13.3	5.03	-365.6	18.3	33	Antiestuarine
	Rain	15.3	10.7	-6.3	100.9	-21.2	12	Estuarine
El Cheve	Dry	3.2	16.2	13.0	325	52	90	Antiestuarine
	Rain	14.9	11.4	-3.5	55.4	-12.8	28	Estuarine
Galafre	Dry	1.9	4.4	2.5	120	9.6	56	Antiestuarine
	Rain	2.6	2.9	0.3	-7.7	1.1	39	Semi-estuarine
Punta Cartas	Dry	2.9	3.0	10.1	335	36.9	41	Antiestuarine
	Rain	4.9	3.8	-1.3	-40.5	-4.46	33	Semi-estuarine

Salt balance between the lagoon body (S_1) and the adjacent coastal sea (S_2), according to the volume of residual salt ($V_R S_R$), expressed in $10^3 \text{ g m}^3 \text{ day}^{-1}$. Water replacement time (t) and type of circulation estimated.

Balance de sales entre el cuerpo lagunar (S_1) y el mar costero adyacente (S_2), según volumen de sal residual ($V_R S_R$), expresados en $10^3 \text{ g m}^3 \text{ día}^{-1}$. Tiempo de recambio (t) de las aguas y tipo de circulación estimada.

June to October (months of maximum precipitation and minimum evaporation). This result allows warning about greater or lower oyster farming scenarios associated to variation and intensity of both meteorological variables.

According to production data (2009 – 2018) per oyster farming areas south of Pinar del Río, an annual average of 6 t of bottom oyster (*C. virginica*) was extracted in the basin of Cuyaguaje, estimating a productivity of 316 kg ha⁻¹ as annual average in natural banks. In El Cheve lagoon, 28 t (annual capture of *C. virginica*) were obtained with a productivity of 459 kg ha⁻¹. In the lagoons Galafre and Punta Cartas (1 t and 2 t annual capture, respectively); productivity per mangrove area with wild oyster banks (*C. rhizophorae*) was estimated in 71 and 118 kg ha⁻¹, respectively. Total average annual production for the region was 37.5 t of shelled oyster with greater productivity in El Cheve lagoon and the estuary river Cuyaguaje, where bottom oyster *C. virginica* predominated with greater size and yield in meat (Betanzos-Vega et al., 2018).

The maximum wild oyster annual capture corresponded to El Cheve lagoon despite having recorded the maximum salinity values in dry season and least favorable in dissolved oxygen (DO) and COD. In Galafre lagoon, lower salinity fluctuation was recorded between dry and rainy season, with the maximum average value (37.45 UPS), as well as a poor presence of Galafre river (Season 1) and without presence in the lagoon.

According to the correlation between abiotic variables and those referred to production (Table 4), at greater salinity and time for water recharge, lower productivity per area was achieved, and inverse but with lower correlation coefficient was the relationship between DO concentration and production referents. This result suggested that the oxygen deficit was likely due to a consumption consequence since its relationship with COD seemed to indicate it. No significant ($p < 0.05$) statistical relationship was found with the other hydrological variables assessed. Nevertheless, average salinity -in both dry and rainy seasons in the four hydric systems assessed ($n = 8$) showed a significantly proportional correlation with time (days) of water residence ($r = 0.88$; $p = 0.002$).

The average annual production south of Pinar del Río was 66 t of shelled oyster from 1962 to 1988 with a

evaporación, y flujos estuarinos o semiestuarinos que facilitan el desarrollo y distribución del ostión, de junio a octubre (meses de máxima precipitación y mínima evaporación). Este resultado permite advertir escenarios de mayor o menor productividad ostrícola, asociados a la variación e intensidad de ambas variables meteorológicas.

Según datos de producción (2009 – 2018) por áreas ostrícolas al sur de Pinar del Río, se extrajeron en promedio unas 6 t anuales de ostión de fondo (*C. virginica*) en la cuenca del Cuyaguaje, estimándose una productividad de 316 kg ha⁻¹ como promedio anual en bancos naturales. En laguna El Cheve se obtuvieron unas 28 t anuales (*C. virginica*), con una productividad de 459 kg ha⁻¹. En laguna de Galafre (1 t de captura anual) y en Punta Cartas (2 t), la productividad por área de manglar con bancos silvestres de ostión de mangle (*C. rhizophorae*) se estimó en 71 y 118 kg ha⁻¹ respectivamente. La producción media anual total para la región fue de 37.5 t de ostión en su concha, con mayor productividad en laguna El Cheve y el río-estuario Cuyaguaje, donde predomina el ostión de fondo *C. virginica*, con mayor talla y rendimiento en carne (Betanzos-Vega et al., 2018).

La máxima captura anual de ostión silvestre correspondió a El Cheve, a pesar de haberse registrado ahí los valores máximos de salinidad en temporada seca, y los menos favorables en oxígeno disuelto (DO) y COD. En laguna de Galafre se registró la menor fluctuación de salinidad entre temporadas seca y lluviosa, con el máximo valor promedio (37.45 UPS), así como una pobre presencia de ostiones, limitada a un área del río Galafre (Estación 1), y sin presencia en la laguna.

Según correlación entre variables abióticas y las referentes a la producción (Tabla 4), a mayor salinidad y tiempo para el recambio de las aguas, fue menor la productividad por área. También inversa, aunque con menor coeficiente de correlación, fue la relación entre la concentración de oxígeno disuelto y los referentes de producción. Esto sugiere un déficit de oxígeno probablemente a consecuencia del consumo, como parece indicar su relación con la COD. No hubo relación estadística significativa ($p < 0.05$) con las demás variables hidrológicas evaluadas; aunque la salinidad promedio en temporada seca y lluviosa en los cuatro sistemas hídricos evaluados ($n=8$), mostró una correlación proporcional significativa con el tiempo (días) de residencia de las aguas ($r = 0.88$; $p = 0.002$).

Durante el periodo 1962 a 1988, la producción ostrícola promedio anual al sur de Pinar del Río fue de 66 t de ostión

Table 4.
Pearson's correlation between abiotic variables and oyster production south of Pinar del Río in the four zones evaluated during dry and rainy (n = 8) seasons.

Tabla 4.
Correlación (Pearson) entre variables abióticas y producción ostrícola al sur de Pinar del Río, en cuatro zonas evaluadas durante meses secos y lluviosos (n=8).

Parameters	Salinity (PSU)	Oxygen (mg L ⁻¹)	COD (mg L ⁻¹)	Water renewal time (day)
Oyster area (ha)	*	r = -0.36 p = 0.0285	r = 0.49 p = 0.0133	*
Fishing biomass (t)	*	r = -0.48 p = 0.0390	r = 0.57 p = 0.0349	*
Productivity (kg ha ⁻¹)	r = -0.69 p = 0.0420	r = -0.53 p = 0.0392	r = 0.55 p = 0.0331	r = -0.77 p = 0.0349

Correlation coefficient (*r*) and *p*-value according to 95.0 % confidence level are shown. No significant statistical relationship (*) was found.

Se muestra el coeficiente de correlación (*r*) y el valor-*p* según nivel de confianza del 95.0 %. Sin relación estadística significativa (*).

maximum of 153 t in 1984. However, the average annual production decreased to 30 t, which agrees with the moment (1989) in which the freshwater reservoir reached a maximum in its capacity for this region (Figure 2). The correlation between capture and annual water reservoir capacity was inverse and statistically significant ($r = -0.53$; $p = 0.0376$), which suggested that

en su concha, con un máximo de 153 t en 1984, pero de 1989 a 2018 disminuyó a 30 t promedio anual. Esta disminución coincide con el momento (1989) en que se alcanzó un máximo en la capacidad de embalse de aguas fluviales para esa región (Figura 2). La correlación entre captura y capacidad de agua embalsada anual fue inversa y estadísticamente significativa ($r = -0.53$; $p = 0.0376$), lo cual sugiere que el represamiento ha

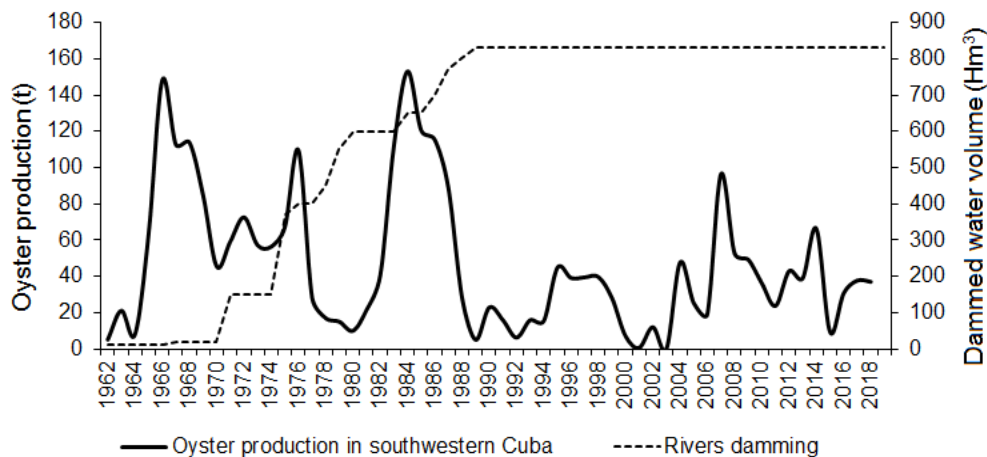


Figure 2. Interannual variability of river water reservoir capacity (damming) and oyster production south of Pinar del Río, Cuba.

Figura 2. Variabilidad interanual de la capacidad de embalse de aguas fluviales (represamiento) y de la producción ostrícola al sur de Pinar del Río, Cuba.

damming has had an influence on oyster production variation. This result confirmed that damming was an additional cause to the decreasing tendency in coastal fisheries in Cuba due to less nutrient contribution to the coastal zone and reduction of the trophic levels related (Baisre & Arboleya, 2006; Piñeiro 2006).

With respect to the effect of hurricane incidence, oyster production and cyclonic activity reflected in PDI showed an inverse correlation though weak ($r = -0.08$; $p = 0.0214$) in its interannual variability. The period of the greatest oyster production recorded for 23 years in southwest Cuba (1965 – 1988) agreed with a period of 26 years (1965 – 1995) of low cyclonic frequency and intensity. However, from 1989 – 1995 this period recorded the stage with less oyster production, which coincided with the years of less cyclonic activity. Starting from 1996, greater cyclonic frequency and intensity was recorded in the region with maximum values in PDI from 2002 – 2010 (Figure 3), which agreed with an increase in oyster production from 2004 – 2008. Figure 3 shows a lower oyster production one year after the incidence of cyclonic disturbances; correlated with this gap, the relationship is still relatively weak ($r = -0.19$; $p = 0.0312$). This situation implies that cyclonic effects require further study considering other natural

tenido una influencia en la variación de la producción ostrícola. Esto confirma que el represamiento es una causa adicional de la tendencia decreciente en las pesquerías costeras de Cuba, debido a un menor aporte de nutrientes a la zona costera y a la reducción de los niveles tróficos relacionados (Baisre & Arboleya, 2006; Piñeiro 2006).

En relación al efecto de la incidencia de los huracanes, la producción ostrícola y la actividad ciclónica reflejada en PDI, mostraron una correlación inversa, aunque débil ($r = -0.08$; $p = 0.0214$), en su variabilidad interanual. El periodo de mayor producción ostrícola registrado durante 23 años al suroccidente de Cuba (1965 – 1988), coincidió con un periodo de 26 años (1965 – 1995) de baja frecuencia e intensidad ciclónica. Sin embargo, durante el periodo 1989 – 1995 se registró la etapa de menor producción de ostión, en coincidencia con años de poca actividad ciclónica. A partir de 1996 se registró una mayor frecuencia e intensidad de ciclones en la región, con valores máximos en PDI entre 2002 y 2010 (Figura 3), que coincide con un incremento de la producción de ostión durante 2004 – 2008. La figura 3 muestra una menor producción de ostión un año después de la incidencia de perturbaciones ciclónicas; correlacionada con este desfase, la relación sigue siendo relativamente débil ($r = -0.19$; $p = 0.0312$). Esto evidencia que el efecto de los huracanes es un tema que requiere mayor estudio, y la

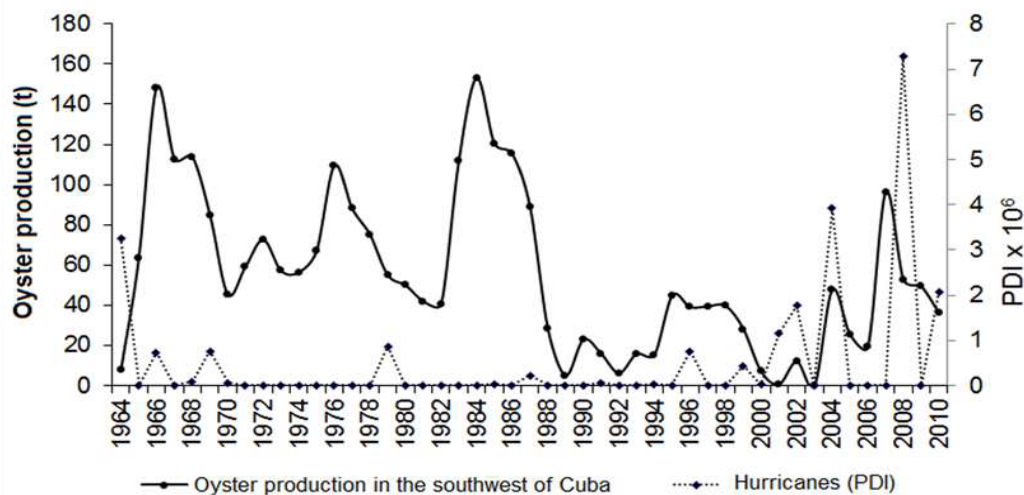


Figure 3. Annual variation in oyster production and power dissipation index (PDI) by effect of hurricanes, in the southern region of Pinar del Río, Cuba.

Figura 3. Variación anual de la producción ostrícola y del índice de disipación de energía (PDI) por efecto de huracanes, en la región sur de Pinar del Río, Cuba.

and anthropic factors to explain the variation in oyster production south of Pinar del Río.

The productivity of wild banks per area estimated for each assessed locality was $< 1 \text{ t ha}^{-1}$. According to Cuban methodology, in the artisanal mangrove oyster *C. rhizophorae* rearing an oyster farm of 250 m^2 (0.14 ha) of culture-effective area with 1000 traditional mangrove branch collectors may contribute to harvest a minimum annual average of 1200 kg oyster (Nikolic *et al.*, 1976). According to the artisanal rearing methodology of the Mexican states bordering the Gulf of Mexico for bottom oyster *C. virginica*, the use of “pearl oyster” collectors allows a high larval oyster fixation and yield ($> 3 \text{ kg}$) per collector (Palacios-Fest *et al.*, 1988; Mazón-Suástegui, 2018). This situation allows estimating rearing more than 30 t ha^{-1} , as long as the rearing sites comply with other environmental requirements of both species. A precautionary approach should be followed in wild adult oyster capture to increase natural population in size and reproductive age, which contributes with larvae and seeds for artisanal rearing. The collectors close to wild banks with an average density of $\geq 1 \text{ kg/m}^2$ should be located to guarantee a greater availability of natural oyster larval settlement (Frías & Rodríguez, 1991).

El Cheve lagoon contributed with more than 80 % of annual oyster production south of Pinar del Río in 2018, and 80 – 90 % from 2009 to 2018. According to Betanzos & Mazón-Suástegui (2014), its wild oyster load capacity is estimated in 70 t of shelled oyster and could be higher if technological oyster farming is introduced. With the exception of Galafre lagoon, the rest of the assessed hydric systems (Cuyaguaje and Puntas Cartas) may also increase their production by oyster farming. However, it would be on a lower scale due to its low average depth ($< 1 \text{ m}$) and few areas with 1.5 - 3 m in depth to build pile oyster farms, which are traditional in Cuba.

From 2019, with the transfer of the fishery establishment of Morrillo to Artemisa Province, oyster production in Pinar del Río depends on the strategy of the fishing entity Boca de Galafre, which should increase the fishing effort on the natural banks of oysters to meet the quotas or annual commercial goals (100 t) of the province. This situation may produce an irreversible unbalance between extractable biomass (adults) and

necesidad de considerar otros factores, tanto naturales como antrópicos, para explicar las variaciones en la producción ostrícola al sur de Pinar del Río.

La productividad de los bancos silvestres por área estimada para cada localidad evaluada fue $< 1 \text{ t ha}^{-1}$. En el cultivo artesanal de ostión de mangle *C. rhizophorae*, según metodología cubana, una granja de 250 m^2 (0.14 ha) de área efectiva en cultivo, con 1000 colectores tradicionales de ramas de mangle, puede aportar en cosecha un mínimo promedio anual de 1200 kg de ostión (Nikolic *et al.*, 1976). Para ostión de fondo *C. virginica*, el uso de colectores de “concha madre” de ostión, según metodología de cultivo artesanal en los estados mexicanos del golfo de México, permite una alta fijación de larvas y rendimiento ($> 3 \text{ kg}$) por colector (Palacios-Fest *et al.*, 1988; Mazón-Suástegui, 2018). Esto permite estimar por ostricultura más de 30 t ha^{-1} , siempre que los sitios de cultivo cumplan con los requerimientos ambientales de ambas especies. Se recomienda un enfoque precautorio en la captura de ostión adulto silvestre para incrementar la población natural con talla y edad reproductiva, que aporta larvas y semillas para el cultivo artesanal. Es conveniente ubicar los colectores cerca de bancos silvestres con una densidad promedio $\geq 1 \text{ kg/m}^2$ para garantizar una mayor disponibilidad de larvas para fijación natural (Frías & Rodríguez, 1991).

La laguna El Cheve aportó más del 80 % de la producción anual de ostión al sur de la provincia de Pinar del Río en 2018, y 80 – 90 % durante el periodo 2009 – 2018. Según Betanzos & Mazón-Suástegui (2014), su capacidad de carga ostrícola silvestre se estima en 70 t de ostión en su concha, y puede ser superior si se introduce la ostricultura. Con excepción de laguna Galafre, el resto de los sistemas hídricos evaluados (Cuyaguaje y Puntas Cartas), también pueden incrementar su producción mediante ostricultura, pero en una escala menor por su baja profundidad media ($< 1 \text{ m}$) y pocas áreas con 1.5 a 3 m de profundidad, para construir las granjas ostrícolas de pilotes, que son tradicionales en Cuba.

A partir de 2019, con el traspaso del establecimiento pesquero de Morrillo a la provincia Artemisa, la producción de ostión en la provincia de Pinar del Río depende de la estrategia del establecimiento pesquero de Boca de Galafre, que deberá incrementar el esfuerzo pesquero sobre los bancos naturales de las zonas evaluadas, para alcanzar las cuotas o metas comerciales habituales (100 t anuales) de la provincia. Esto puede producir un desbalance irreversible entre la biomasa extraíble (adultos)

recruitment (juveniles) due to the potential decrease of population spawning (Urbano *et al.*, 2005).

The most viable option and with the least environmental impact is technological oyster farming that has proven efficiency north of this province by increasing (63 %) in Morrillo the production per culture from 25 t annually (2009 – 2013) to more than 66 t in 2017 and 2018. Therefore, ecosystem oyster farming south of Pinar del Río may possibly offer a potential of 100 t annually by selecting the ideal sites for seed collection and the areas with the best rearing conditions, which would allow defining sowing and harvesting periods.

Conclusions

Independently of the environmental factors -though predictable- they are not controllable, such as hurricanes, works on damming rivers -essential for the development of the country- oyster fishery management south of Pinar del Río, which is not perceived sustainable with the current circumstances. Production depends greatly on collecting (fishing) wild oysters and not farming oysters. A closed season for natural mangrove oyster *C. rhizophorae* does not apply and no specific quotas are assigned for extraction, according to the fishable biomass, which has a bearing also in productivity per area.

Artisanal farming is considered feasible in El Cheve and Punta Cartas lagoons and the inner part of Cuyaguaje river mouth; it is not feasible for Galafre lagoon due to its low depth and average salinity with hypersaline tendency, reflected in the low presence of wild oyster.

Despite transferring the fishery establishment to the neighboring province of Artemisa, the southern region of Pinar del Río may reach the annual goal production of 100 t of oyster for all the province, as long as oyster farming is implemented. This situation does not discard a possible increase in productivity in other regions north of the province with background tradition in oyster farming.

Acknowledgments

The authors are grateful for the support of the industrial fishing company of La Coloma (EPICOL) and

y el reclutamiento (juveniles), debido a la disminución del potencial de desove poblacional (Urbano *et al.*, 2005).

La opción más viable y con menor impacto ambiental, es la ostricultura que ha probado su eficiencia al norte de esa provincia, al incrementar (63 %) en Morrillo la producción por cultivo, de 25 t anuales (2009 – 2013), a más de 66 t en 2017 y 2018. Por ello, es posible asumir que la ostricultura ecosistémica al sur de Pinar del Río ofrecería una potencialidad de 100 t anuales mediante la selección de sitios idóneos para la colecta de semillas y las zonas con mejores condiciones para engorde, permitiendo definir los periodos óptimos para siembra y cosecha.

Conclusiones

Independientemente de los factores ambientales, que aun siendo previsible no son controlables, el manejo de la pesquería de ostión al sur de Pinar del Río no se percibe sostenible en las circunstancias actuales, ya que la producción depende exclusivamente de la recolecta (pesca) de ostiones silvestres y no de la ostricultura. No se aplica una veda para los bancos naturales de ostión de mangle *C. rhizophorae* y no se asignan cuotas específicas de extracción según biomasa pescable, todo lo cual influye también en la productividad por área.

Se considera factible el cultivo artesanal en las lagunas El Cheve y Punta Cartas, y al interior de la desembocadura del río Cuyaguaje. Esto no resulta viable para laguna de Galafre debido a su baja profundidad y salinidad promedio con tendencia hipersalina, que se refleja en poca presencia de ostión silvestre.

Aun con el traslado del establecimiento pesquero de Morrillo a la vecina provincia de Artemisa, la región sur de Pinar del Río puede alcanzar la producción meta anual de 100 t de ostión para toda la provincia, siempre y cuando se implemente la ostricultura. Esto no descarta posibles incrementos productivos en otras regiones al norte de la provincia con tradición antecedente en el cultivo de ostión.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo de la empresa pesquera industrial de La Coloma (EPICOL) y del Centro de

Centro de Investigaciones Pesqueras (CIP), Cuba, as well as Fondo Sectorial de Investigación para la Educación (México) and the Proinnova CONACYT / PEASA 241777 project, under the responsibility of JMMS (CIBNOR) and JLTG (COTET). To Diana Fischer for translating the manuscript into English.

Investigaciones Pesqueras (CIP) de Cuba, así como del Fondo Sectorial de Investigación para la Educación (México), proyecto Proinnova CONACYT / PEASA 241777, bajo la responsabilidad de JMMS (CIBNOR) y JLTG (COTET). A Diana Fischer por la traducción del manuscrito al idioma Inglés.

References

- Arencibia, G. & Betanzos-Vega, A. (2018). Principales factores de impacto en la actividad ostrícola. En Betanzos Vega, A., Mazón Suástegui, J. M. and Arcencibia Carballo, G. (Eds.), *La Ostricultura: una alternativa de desarrollo pesquero para comunidades costeras en Cuba*. Universidad Autónoma de Campeche, México. <https://www.redicomar.com/wp-content/uploads/2018/11/OSTR-Cuba-1.pdf>
- Baisre, J. A. & Arbolea, Z. (2006). Going against the flows: Effects of river damming in Cuban fisheries. *Fisheries Research*, 81(2-3): 283-292. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2006.04.019>
- Betanzos, A. & Mazón-Suástegui, J. M. (2014). Hidrodinámica y producción de ostión de la laguna El Cheve, sur de Pinar del Río, Cuba. *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras*, 31(1): 45-55.
- Betanzos-Vega, A., Capetillo-Piñar, N., Latisnere-Barragán, H., Ortiz-Cornejo, N. L. and Mazón-Suástegui, J. M. (2018). Oyster production and meat yield in *Crassostrea* spp (Bivalvia: Ostreidae) in Pinar del Río, Cuba. *Revista Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 5(15): 501-510 <http://doi.org/10.19136/era.a5n15.1241>
- Betanzos-Vega, A., Arcencibia-Carballo, G., Latisnere-Barragán, H. and Mazón-Suástegui, J. M. (2020). Influencia de factores ambientales y antrópicos en la población de ostión *Crassostrea virginica* (Bivalvia: Ostreidae), en río Cauto, Cuba. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 91 (2020): e912843. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2020.91.2843>
- CubAgua. (2017). Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH). Gestión Integrada del agua. <http://www.hidro.cu.CubAgua>.
- Emmanuel, K. (2006). Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature*, 436: 686-688. <http://doi.org/10.1038/nature03906>
- FAO (1975). Manual of Methods in Aquatic Environmental Research part-1. Methods for detection and monitoring of water pollution. FAO fisheries technical paper. Rome, 137: 237p.
- Frías, J. A. & Rodríguez, J. (1991). Oyster culture in Cuba: Current state, techniques and industry organization. In Newkirk, G. F. and Field, B. A. (Eds). *Oyster culture in the Caribbean*. Proceeding of a Workshop. Kingston, Jamaica. Mollusc Culture Network, Halifax, Canada, pp. 51-74. www.fao.org/docrep/field/003/ab487s/AB487S07.htm
- Gaceta Oficial No. 023. (2010). Ley No. 110 de la División Político-Administrativa. Gaceta Oficial de la República de Cuba No. 023. Extraordinaria 2 de septiembre de 2010, Ministerio de Justicia, La Habana, Cuba, pp. 139-140 <http://www.gacetaoficial.cu>
- González-Sansón, G. (1994). El caso Cuba. En: de La Lanza-Espino, G., Salaya, J. J. and Varsi, E. (eds.). Manejo y aprovechamiento acuícola de lagunas costeras en América Latina y el Caribe. Documento preparado por el Proyecto GCP/RLA/102/ITA "Apoyo a las Actividades Regionales de Acuicultura en América Latina y el Caribe" - AQUILA II.FAO, México, D.F., febrero de 1994.
- Gordon, D. C. Jr., Boudreau, P. R., Mann, K. H., Ong, J. E., Silvert, W. L., Smith, S. V, Wattayakorn, G., Wulff, F. and Yanagi, T. (1996). LOICZ biogeochemical modelling guidelines (96 pp.). *LOICZ Reports and Studies*, No 5. Texel: The Netherlands.
- Kjerfve, B., Schettini, C. A. F., Knoppers, B., Lessa, G. and Ferreira, H. O. (1996). Hydrology and salt balance in a large hypersaline coastal lagoon: Lagoa de Araruama, Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 42: 701-725. <https://pdfs.semanticscholar.org/b3e7/3f9318a9b19d91dbc3f75f9e8991b06d213a.pdf>
- Madrigal Castro, E., Pacheco Urpí, O., Zamora Madriz, E., Quesada Quesada, R. and Alfaro Montoya, J. (1985). Tasa de filtración del ostión de manglar (*Crassostrea rhizophorae*, Guilding, 1828), a diferentes salinidades y temperatura. *Revista de Biología Tropical*, 33: 77-79 <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/24510/24708>

- Mazón-Suástegui, J. M. (2018). Bioecología y manejo acuícola-pesquero de moluscos del género *Crassostrea*: Caso ostión americano *C. virginica* (Gmelin, 1791). En Betanzos-Vega, A., Mazón-Suástegui, J. M. & Arencibia-Carballo, G. (Eds.). La Ostricultura: una alternativa de desarrollo pesquero para comunidades costeras en Cuba. Universidad Autónoma de Campeche. Campeche, México, pp. 25-41. <https://www.redicomar.com/wp-content/uploads/2018/11/OSTR-Cuba-1.pdf>
- Mazón-Suástegui, J. M., Tripp-Quezada, A. and Betanzos-Vega, A. (2019). Diagnóstico de la producción de ostión (Bivalvia: Ostreidae) en Cuba, ventajas de *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791) para la ostricultura. *Revista de Investigaciones Marinas*, 39(2): 105-118. <http://www.cim.uh.cu/rim/Centro>
- Montalvo, J. F., García, I., Loza, S., Esponda, S. C., César, M. E., González de Zaya, R. and Hernández, I. (2008). Oxígeno disuelto y materia orgánica en cuerpos de aguas interiores del Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba. *Serie Oceanológica*, 4: 71-84.
- Nikolic, M., Bosch, A. C. and Alfonso, S. J. (1976). A system for farming the mangrove oyster *Crassostrea rhizophorae*, Guilding (1828). *Aquaculture*, 9: 1-18. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(76\)90044-2](https://doi.org/10.1016/0044-8486(76)90044-2)
- Palacios-Fest, M. R., Mazón-Suástegui, J. M., García-Sandoval, S., Diego-Peralta, M., Estrada-Ortega, J. C., Altamirano-Saucedo, A. A. and Pérez-Flores, J. (1988). Manual Técnico para la Operación de los Centros Acuícolas Productores de Ostión. SEPESCA. 324.
- Piñero, R. (2006). Influencia del aporte fluvial en la zona marino costera suroccidental del Golfo de Batabanó, Cuba. *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras*, 24(1): 28-31.
- Puga, R., Piñero, R., Alzugaray, R., Cobas, L. S., de León, M. E. and Morales, O. (2013). Integrating anthropogenic and climatic factors in the assessment of the Caribbean spiny lobster (*Panulirus argus*) in Cuba: Implications for fishery management. *International Journal of Marine Science*, 3(6): 36-45 <https://doi.org/10.5376/ijms.2013.03.0006>
- Rodríguez, J. P. & Rodríguez, J. E. (1983). Las mareas en las costas cubanas. Reporte de Investigación del Instituto de Oceanología, 6: 1-37.
- Sheldon, J. E. & Alber, M. (2006). The calculation of estuarine turnover times using freshwater fraction and tidal prism models: A critical evaluation. *Estuarine and Coasts*, 29: 133-146.
- UNISYS. (2015). Atlantic Tropical Storm Tracking by Year. <http://weather.unisys.com/hurricane/atlantic>
- Urbano, T., Lodeiros, C., De Donato, M., Acosta, V., Arrieche, D., Núñez, M. and Himmelman, J. (2005). Crecimiento y supervivencia de los mejillones *Perna perna*, *Perna viridis* y de un morfotipo indefinido bajo cultivo suspendido. *Ciencias Marinas*, 31(2): 517-528.
- Villarroel, E., Buitrago E. and Lodeiros, C. (2004). Identificación de factores ambientales que afectan al crecimiento y la supervivencia de *Crassostrea Rhizophorae* (Mollusca: Bivalvia) bajo condiciones de cultivo suspendido en el Golfo de Cariaco, Venezuela. *Revista Científica*, 14(1): 28-35.