

EVALUACIÓN DEL IMPACTO ECONÓMICO DE LAS POBLACIONES DE *PHALACROCORAX AURITUS* (AVES: PHALACROCORACIDAE) SOBRE LA PRODUCCIÓN DE LOS ESTANQUES CAMARONEROS EN CUBA A TRAVÉS DE UN MODELO BIOENERGÉTICO

Emerio A. CURBELO BENÍTEZ y Dennis DENIS ÁVILA*

Dpto. Biología Animal y Humana Facultad de Biología, Universidad de La Habana. 25 y J No. 455, Vedado.

* Autor para correspondencia: dda@fbio.uh.cu

RESUMEN: La Corúa de Mar (*Phalacrocorax auritus*) es un ave acuática depredadora, con altas necesidades energéticas, que se ha convertido en un potencial enemigo de la acuicultura a lo largo de todo su rango de distribución. En el presente trabajo se desarrolla un modelo matemático de dinámica de sistemas que permite estimar los efectos de poblaciones de tamaño variable de corúas sobre el cultivo del camarón, a partir de sus requerimientos energéticos básicos. El modelo global está compuesto por 30 componentes y se implementa en el programa STELLA. Se emplea la Tasa Metabólica de Campo (FMR) para estimar los requerimientos energéticos y el contenido energético de los camarones para evaluar el consumo. La FMR diaria fue, como promedio, de $1491,3 \pm 24,14$ kJ, sustentable con un consumo de $217,6 \pm 3,7$ g de camarones lo que equivale al 977 camarones de talla adulta durante el periodo de duración de un ciclo de cultivo. Las variables de mayor influencia relativa en el consumo individual fueron la densidad energética de los camarones y el peso promedio del ave. El modelo estimó que, en el peor escenario, una población de 400 individuos de corúas pueden producir pérdidas económicas superiores a 4435 USD. Los resultados fueron consistentes con los descritos en la literatura en otras regiones.

PALABRAS CLAVE: tasa metabólica, ecología energética, impacto económico, aves acuáticas, acuicultivo, camarones.

ABSTRACT: ASSESMENT OF ECONOMIC IMPACT OF POPULATIONS OF PHALACROCORAX AURITUS (AVES: PHALACROCORACIDAE) ON SHRIMP AQUACULTURE TANKS IN CUBA USING A BIOENERGETIC MODEL. Double-crested Cormorant (*Phalacrocorax auritus*) is a predator waterbird, with high energy demands, that has been escalated to a potential threat for aquaculture along its distribution range. In the current paper, we developed a mathematical model of system dynamics to assess the effects of variable sizes populations o cormorants on the commercial shrimp culture based on its basic energetic requirements. Global model was composed by 30 elements and it was implemented on

STELLA software. To estimate the energy demand we use the Field Metabolic Rate (FMR) and the energy content in shrimps to estimate consumption. Daily FMR average 1491.3 ± 24.14 kJ, that can be achieve with the consumption of 217.6 ± 3.7 g of shrimps, equivalent to 977 commercial sized shrimps during the complete period of culture. The variables with higher relative influence on individual consumption were energy density in shrimps and average weight of adult birds. The model estimate, in worst case scenario, that a population of 400 cormorants can produce losses over 4435 USD. All the results were consistent with previously reported in literature from other regions.

KEYWORDS: metabolic rate, energetic ecology, economic impact, waterbirds, aquaculture, shrimp.

INTRODUCCIÓN

La industria del cultivo de camarones es una de las ramas de la acuicultura de mayor importancia económica, por el valor comercial de estos crustáceos decápodos. Los camarones peneidos (Decapoda, Dendrobranchiata, Penaeoidea) se encuentran entre los productos marinos más importantes a nivel mundial y sus capturas en el ambiente natural están cerca del límite máximo sostenible (González y Ortiz, 2002) por lo que el cultivo intensivo en estanques artificiales ha sido la alternativa más eficiente para abastecer el mercado. La producción mundial de camarón de cultivo ha ido incrementando desde 100 000 toneladas a inicios de los años 80, hasta más de un 1,8 millones de toneladas en el 2005 (Rosenberry, 2005).

En Cuba, los recursos naturales de la plataforma marina están entre los de mayor importancia económica como renglón exportable. Las pesquerías cubanas, históricamente artesanales y de bajo desarrollo tecnológico, sufrieron un importante impulso con el triunfo de la revolución, que incrementó las capturas desde 20 000 t anuales hasta más de 210 000 t (Baisre, 2006). Sin embargo, a partir de 1990 comenzó un dramático decline, al parecer producto de los efectos negativos y acumulativos de impactos por

sobreexplotación. La captura de camarones, en la última década del siglo XX fue un 4,7% de la producción pesquera, y como alternativa a la extracción de las poblaciones naturales, desde 1986 comenzó a desarrollarse el cultivo de *Litopenaeus schmitti*, alcanzando un área total de 2168,3 ha de estanques de cultivo (Molleda, 2006). A principios del presente siglo, en respuesta a los altos costos de producción y el drástico descenso del precio en el mercado internacional, se sustituyó el cultivo de *L. schmitti* por el de *L. vannamei*, especie de características más favorables y mayor potencialidad de crecimiento. En el año 2005 se alcanzó una producción de 2 230 ton, con promedios de cosecha entre 1,2 – 1,5 ton/ha, pesos promedios desde 12,5 – 25,6 g e ingresos superiores a los 8,0 millones de USD por exportaciones (GEDECAM, 2005).

Esta actividad económica, sin embargo, implica marcados impactos ambientales (Borja, 2002) y conflictos con la fauna silvestre, sobre todo las aves acuáticas. Estas especies, ante la aparición de espacios con alimentos concentrados, asequibles y de alto valor nutritivo, cambian sus hábitos de forrajeo y se pueden convertir en plagas de los centros de acuicultura (Birnie-Gauvin *et al.*, 2017). Entre las especies de mayor impacto económico a esta actividad están las corúas o cormoranes (Phalacrocoracidae), de las cuales existen dos especies en Cuba: *Phalacrocorax auritus* y *P. olivaceus*. Ambas especies son gregarias y, aunque sus poblaciones fueron casi exterminadas a mediados del pasado siglo por la caza y la acumulación de contaminantes (Wires y Cuthbert, 2006) ya se han recuperado notablemente, alcanzando muy altas abundancias locales. Su recuperación estuvo asociada, no solo a las medidas de protección, sino al desarrollo paralelo de la industria de la acuicultura (Glahn *et al.*, 2002). En los estanques de cultivo de pez gato en Norteamérica las pérdidas económicas por la depredación de las corúas han sido estimadas en decenas de millones de dólares anuales (Stickley y Andrews, 1989). Si bien, no son las únicas especies que consumen camarones de manera natural y ni siquiera están entre las de mayor consumo (Fleury y Sherry, 1995) sus adaptaciones para el buceo las hace más eficientes en la captura en los estanques, donde la profundidad del agua limita a otras especies.

El desarrollo de numerosas medidas de manejo o control no ha logrado revertir esta situación (ver un resumen de estas en Mott y Boyd, 1995) y muchas veces contribuye a encarecer aún más el proceso productivo (Littauer, 1990). Por este motivo, numerosos estudios se han encaminado a evaluar la magnitud real del impacto de las aves en los cultivos (Glahn y Brugger, 1995; Glahn y Stickley, 1995). En Cuba, Acosta *et al.* (1990) aplicaron ecuaciones energéticas a la estimación del consumo de camarones de importancia económica en centros de acuicultura por tres especies de aves marinas, entre ellas las corúas, sin llegar a plantear un modelo estructurado. Sin embargo, en los últimos años los métodos de modelación se han desarrollado de manera exponencial y han aparecido numerosos programas que amplían las posibilidades de estos métodos y permiten la obtención de resultados más precisos, así como la simulación de distintos escenarios.

El objetivo del presente trabajo es obtener un modelo bioenergético que simule el proceso de extracción de camarones por una población de corúas en un centro de

cría artificial en las condiciones cubanas. Este modelo de dinámica de sistemas, desarrollado en el programa *STELLA* (*Structural Thinking Experimental Learning Laboratory with Animation*), posibilita la estimación económica de las pérdidas, y la evaluación de la importancia relativa de las distintas variables involucradas, permitiendo además la adecuación a otras condiciones locales y la simulación del efecto de medidas de control.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los modelos de dinámica de sistemas en *STELLA* se representan a través de un diagrama de flujo, a partir de cuatro componentes básicos: reservorios, flujos, variables auxiliares y conectores (Ouyang *et al.*, 2009). El modelo para evaluar el consumo de camarones por las corúas de mar comenzó con un reservorio que contenía el volumen inicial de camarones sembrados. Sin embargo, el consumo de los camarones por las corúas no comienza hasta pasados los primeros 10 a 12 días posteriores a la siembra, ya que en ese periodo los crustáceos aún están en tallas muy pequeñas como para ser identificados como presas potenciales, aunque alguna depredación ocasional pudiera aparecer. Luego de este periodo los camarones pasaban a formar parte del grupo de presas potenciales para las corúas, de donde son extraídos regularmente hasta el momento de la cosecha, cuando el reservorio se vacía totalmente. El consumo por las aves es controlado por los requerimientos energéticos, dados por su peso corporal y traducido a biomasa consumida según la densidad energética de esta última. Se tiene en cuenta la eficiencia de asimilación que produce consumos mayores a los realmente requeridos, dado que las excretas aún contienen hasta 15,3 Kj/g de energía no aprovechada (Brugger, 1993). La masa total consumida se expresa en número de presas consumidas a partir del peso promedio de los camarones. Todos los consumos diarios individuales se multiplicaban por los tamaños poblacionales y se acumulan a lo largo de todo el periodo de cultivo para estimar los consumos totales. El modelo final (Fig. 1) está compuesto por 30 componentes principales: 6 reservorios, 8 flujos y 16 variables auxiliares.

Los valores empleados para la calibración de este modelo fueron tomados de distintas fuentes bibliográficas (Tabla 1). Se utilizó la ecuación para el cálculo de la tasa metabólica de campo (FMR, por sus siglas en inglés) para aves pelecaniformes (Nagy *et al.*, 1999), con el cual se estimó el requerimiento energético diario de cada individuo, a partir de su peso:

$$FMR_{(kj/día)} = 4.54 * (PC)^{0.844}$$

... donde PC es el peso corporal (g)

La Tasa Metabólica de Campo representa una aproximación a la cantidad de energía total necesaria por el individuo en un día, en base a su peso corporal, y ha sido empleada en trabajos de modelación previos en este género (Ellis y Gabrielsen, 2002). Se asumió que estas aves cuando forrajeaban en los estanques de camarones basaban el 83 % de su dieta en estas presas (Acosta *et al.*, 1990) y tenían una eficiencia digestiva del 80% (Dunn, 1975). El valor calórico estimado de la biomasa de camarón fue tomado como de 4,509 kj/g (van Guilder y Seefelt, 2013). Como las

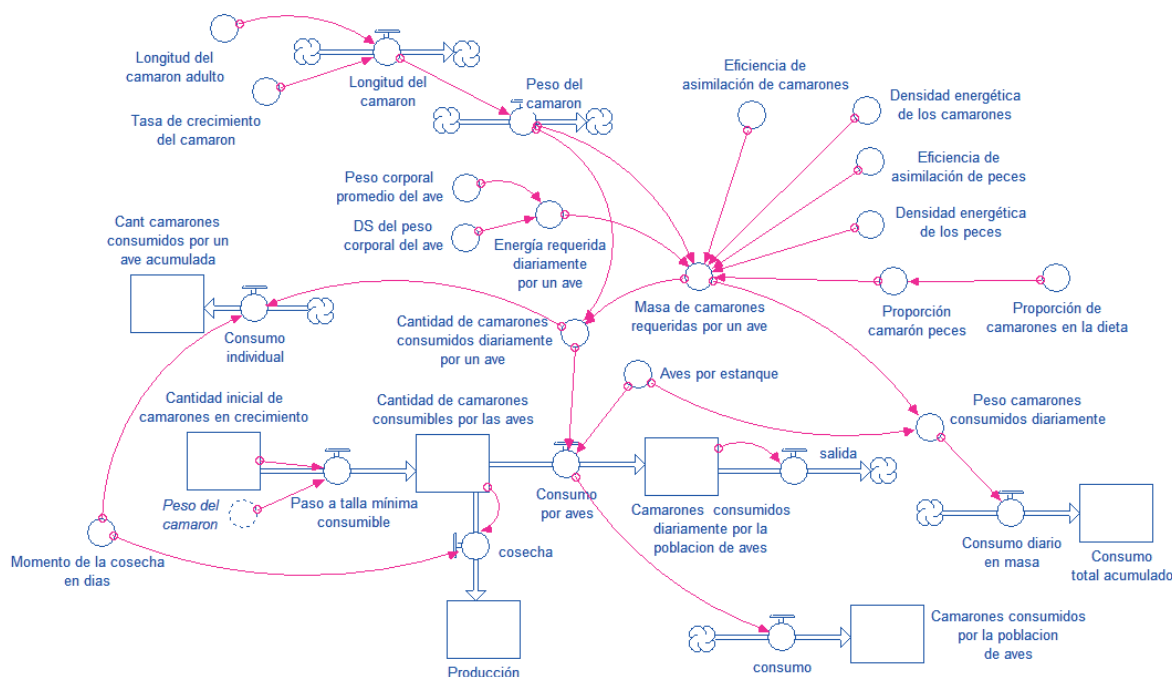


FIGURA 1. Diagrama de flujo que representa el modelo bioenergético implementado en el programa STELLA, para evaluar el consumo de camarones por las poblaciones de *Phalacrocorax auritus* (Aves: Phalacrocoracidae) en los estanques de cultivo.

FIGURE 1. Flow diagram representing the bioenergetic model implemented on STELLA software, to assess shrimp consumption by populations of *Phalacrocorax auritus* (Aves: Phalacrocoracidae) in aquaculture tanks.

aves no se alimentan exclusivamente de camarones, sino que incluyen peces en una proporción dada, se estimó la proporción consumida teniendo en cuenta las diferencias en contenidos energéticos y tasas de asimilación de cada presa.

El modelo incluyó varios elementos con variabilidad simulada: las desviaciones estándares del peso corporal y la variación aleatoria del número de aves por estanque, entre 30 y 60 individuos. Los demás parámetros, aunque tienen diferencias en los estimados dados en la literatura, se asumieron constantes en un valor para todo el periodo de la simulación. Dada que esta variabilidad se transmite a los resultados finales, para describir el comportamiento de las variables de salida se desarrollaron 40 simulaciones de los 120 días, y se tomaron los valores promedio.

Luego de calibrado el modelo se desarrolló un análisis de sensibilidad con las variables peso corporal promedio del ave, eficiencias de asimilación, y densidades energéticas de camarones y peces, proporción de camarones en la dieta y tamaño medio de los camarones adultos. Para ello se empleó el método de las perturbaciones, consistente en fijar todos los elementos del modelo y permitir solo la variación de una variable a la vez, en saltos del 10% de su valor, para estimar la variación que ello producía en el estimado final del consumo, evaluada por el coeficiente de variación de la serie de resultados.

RESULTADOS

La tasa metabólica de campo, estimada a partir del peso medio de las corúas en Cuba fue, como promedio diario de $1491,3 \pm 24,14$ kJ. El resultado del modelo brindó un

estimado de consumo de $217,6 \pm 3,7$ g de camarones por cada individuo de Corúa diariamente (Tabla 1), variando en el 95% de los casos entre 213,9 g y 221,3 g, lo cual equivale al 22,6% del peso adulto.

El consumo individual diario estimado representa, durante el tiempo que dura el ciclo de cultivo, un consumo total de 977 ± 17 camarones por cada individuo de *Phalacrocorax auritus* (intervalo de confianza entre 972 y 983). La extracción total de camarones por parte de las aves desde un estanque de cultivo del camarón dependerá, por tanto, del tamaño de las poblaciones de corúas de forma directa y lineal (Fig. 2).

Por supuesto, la dieta de las corúas no contiene una proporción constante de camarones, y en dependencia de la accesibilidad de otras fuentes de alimentación estas variarán las proporciones de cada artículo alimentario. En condiciones naturales, los peces son las presas naturales más utilizadas, por lo que la alimentación de esta ave puede variar desde una dieta casi exclusivamente piscívora hasta el predominio de los camarones, que se observa en los estanques de cultivo, donde esta presa alcanza altas densidades (Fig. 3). Aunque no fue el objetivo de este modelo, de estos resultados se puede inferir que el consumo de peces también puede llegar a ser sustancial, lo cual afecta las empresas de piscicultura.

El análisis de sensibilidad conducido en el modelo empleando el método de perturbaciones mostró que la variable de mayor influencia relativa en el consumo individual es la densidad energética de los camarones, seguida del peso promedio del ave (Fig. 4). Cambios del 10% en estas variables producen los mayores coeficientes

TABLE 1. Componentes principales del modelo bioenergético de STELLA implementado para evaluar el consumo de camarones por las poblaciones de *Phalacrocorax auritus* (Aves: Phalacrocoracidae) en los estanques camaroneros.

TABLE 1. Main components of the bioenergetic STELLA model to assess shrimp consumption by *Phalacrocorax auritus* (Aves: Phalacrocoracidae) populations in growing tanks.

Componente	Tipo de componente	Valor, ecuación o definición	Fuente
Camarones consumidos totales	Reservorio	Inicial=0	Variable de salida
Consumo diario por aves	Flujo	(Aves-estanque)*(Camarones diarios consumidos por ave)	Variable intermedia
Cantidad de camarones consumidos por ave	Var. Auxiliar		Variable intermedia
Talla mínima consumible *	Flujo	7 g	Acosta <i>et al.</i> , 1990
Momento de la cosecha *	Flujo	Vaciado total, en tiempo 120 días	
Cantidad inicial de camarones en crecimiento *	Reservorio	66 000	Esparza-Leal <i>et al.</i> , 2009
Cantidad de camarones consumibles	Reservorio	Inicial=0	Variable intermedia
Tiempo de crecimiento.*	Var. Auxiliar	40 días	Esparza-Leal <i>et al.</i> 2009
Aves por estanque *	Var. Auxiliar	Aleatorio (100 - 200)	Acosta <i>et al.</i> 1990
Camarones consumidos por ave	Var. Auxiliar		Variable intermedia
Requerimiento energético diario por ave	Var. Auxiliar	$4.54 * (\text{Peso del ave})^{0.844}$	Variable intermedia
Energía por camarón	Var. Auxiliar	Peso * Densidad energética	Variable intermedia
Densidad energética de los camarones *	Var. Auxiliar	4,509 kJ/g	van Guilder y Seefelt, 2013
Densidad energética de los peces*	Var. Auxiliar	5,42 kJ/g	Ridgway, 2010
DS peso corporal ave *	Var. Auxiliar	172,2 g	Jiménez <i>et al.</i> 2014
Eficiencia de asimilación	Var. Auxiliar	0,80	Dunn, 1975
Peso corporal promedio del ave *	Var. Auxiliar	964,9 g	Jiménez <i>et al.</i> 2014
Peso diario del camarón	Flujo	$(0.000002 * \text{Longitud_del_camaron}^3,2728)$	Arzola <i>et al.</i> , 2008
Crecimiento en longitud del camarón	Flujo	$\text{Longitud_adulto} * (1 - \text{EXP}(-\text{Tasa_de_crecimiento} * (\text{Tiempo} - 0)))$	Arzola <i>et al.</i> , 2008
Longitud del camarón adulto *	Var. Auxiliar	155 mm	Arzola <i>et al.</i> , 2008
Tasa de crecimiento del camarón*	Var. Auxiliar	0,08	Arzola <i>et al.</i> , 2008

* Valores que pueden ser modificados desde la interfase del modelo

TABLE 2. Masa y cantidad de camarones totales consumidos por un ejemplar de Corúa de Mar (*Phalacrocorax auritus*) (Aves: Phalacrocoracidae) durante 120 días en un estanque de cultivo en Cuba, obtenida a partir de la simulación con un modelo bioenergético.

TABLE 2. Mass and number of total consumed shrimps by an individual Double-crested Cormorant (*Phalacrocorax auritus*) (Aves: Phalacrocoracidae) during 120 days in an aquaculture pond in Cuba, obtained from a simulation with the bioenergetics model.

Variable	Media	Intervalo de confianza	Desviación estándar
Masa consumida diariamente (g)	217,6	216,4 - 218,8	3,75
Masa de peces consumida diariamente por un ave (g)	54,4	54,1 - 54,7	0,94
Cantidad camarones consumidos totales por un ave	977,3	971,8 - 982,8	17,19
Masa de camarones consumidos por una población de 45 corúas durante todo el ciclo de cultivo (kg)	1061,02	24,95 - 39,11	30,46

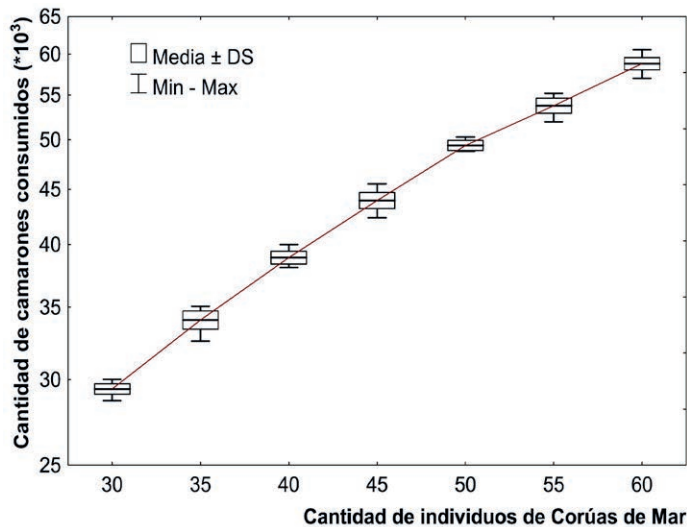


FIGURA 2. Relación entre la cantidad de corúas de mar (*Phalacrocorax auritus*) (Aves: Phalacrocoracidae) visitando un estanque de cultivo de camarones y la cantidad total de estos que son consumidos durante el ciclo de cultivo.

FIGURE 2. Relationship among numbers of Double-crested Cormorant (*Phalacrocorax auritus*) (Aves: Phalacrocoracidae) and total consumption during growth cycle in a shrimp aquaculture pond.

de variación tanto en la masa total consumida como en las cantidades de camarones consumidos. La densidad energética de los camarones puede depender del tipo de alimentación que reciben y variar localmente, pero no existen estimados locales de este parámetro y en la literatura existe una amplia variabilidad en los estimados que se reportan. Los pesos promedios de los individuos de esta especie tienen también una variabilidad geográfica muy amplia, desde 500 g hasta casi 4 kg, pero en este caso fueron empleados los valores reportados para las poblaciones cubanas.

DISCUSIÓN

La tasa metabólica de campo estimada en el presente trabajo para las poblaciones cubanas de corúas inferior a otros estimados de la literatura. Goktepe *et al.* (2012) estimaron para corúas de 1,6 kg de peso corporal, valores de FMR que variaban entre años desde 1500 a 3000 kj/día. En animales mayores, de 3 kg, el consumo aumentaba hasta más de 4500 kj/día.

La proporción del consumo estimado por este modelo en relación al peso corporal de los adultos, coincide con los resultados de Hatch y Weseloh (1999) quienes también reportaron consumos diarios para *Phalacrocorax auritus* en el rango del 20–25% del peso adulto. Según Madejian y Gabrey (1995) en corúas de 1,6 kg de peso el consumo diario estuvo entre 358 g - 523 g, lo cual representaba

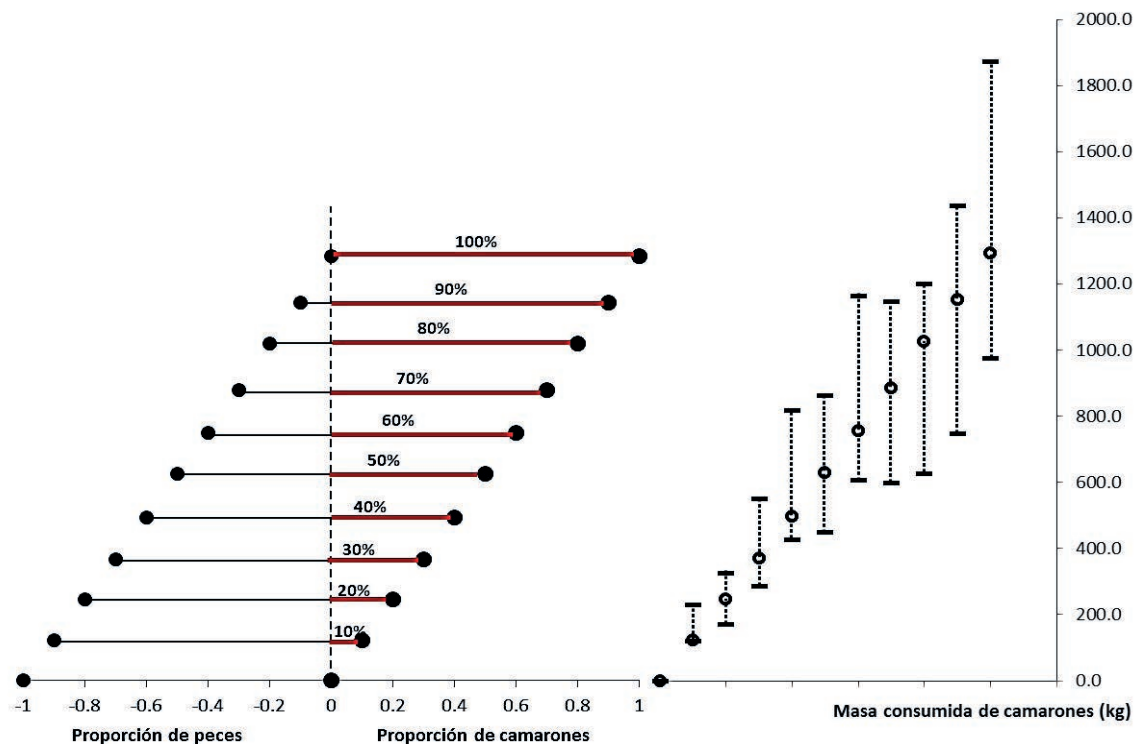


FIGURA 3. Relación entre la proporción de camarones en la dieta y la magnitud de su consumo en peso por las corúas de mar (*Phalacrocorax auritus*) (Aves: Phalacrocoracidae) en un estanque de cultivo. Las líneas punteadas verticales representan los límites de confianza al 95%.

FIGURE 3. Relationship among shrimp proportion in diet and mass consumption in Double-crested Cormorant (*Phalacrocorax auritus*) (Aves: Phalacrocoracidae) in an aquaculture pond. Vertical dotted lines represent confidence intervals at 95% of confidence.

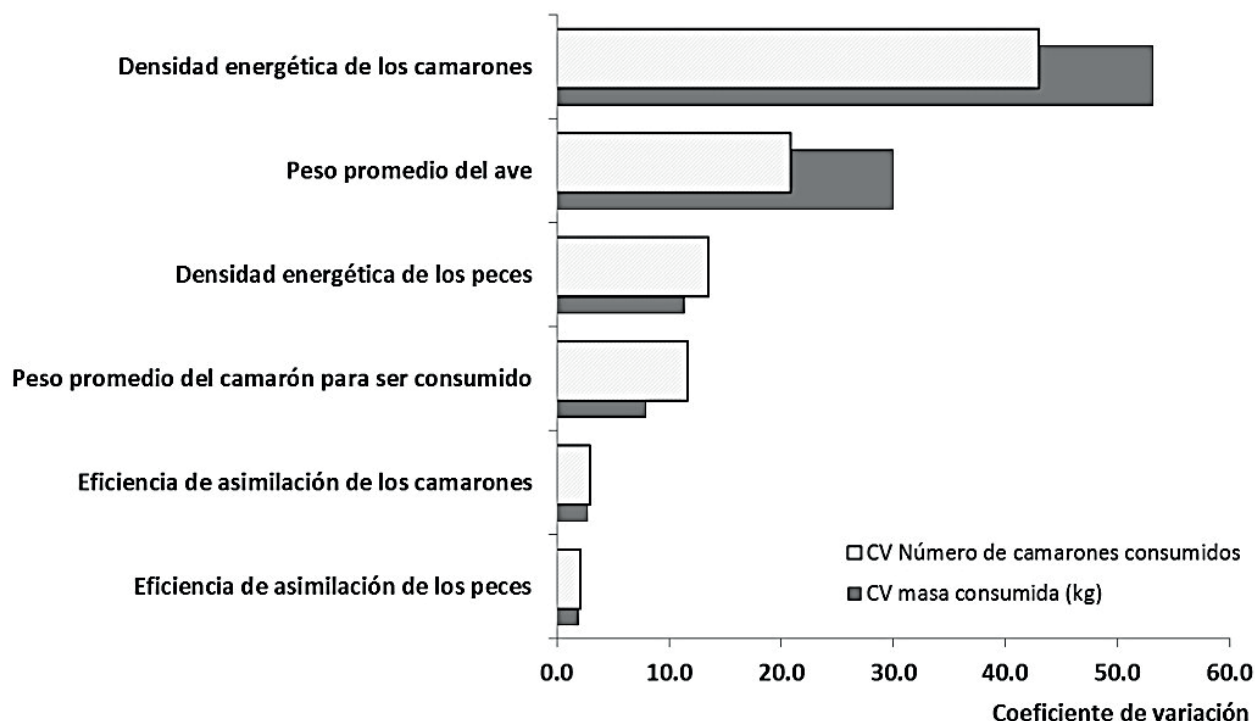


FIGURA 4. Resultado del análisis de sensibilidad del modelo bioenergético propuesto para evaluar los consumos de camarones en los estanques de acuicultura por las Corúas de Mar (*Phalacrocorax auritus*) (Aves: Phalacrocoracidae) en Cuba.

FIGURE 4. Results of the sensitivity analysis of the bioenergetic model designed to assess shrimp consumption in aquaculture facilities by Double-crested Cormorants (*Phalacrocorax auritus*) (Aves: Phalacrocoracidae) in Cuba.

también entre el 22 y 33% del peso corporal. Los estimados calculados por estos autores con otros tres pesos corporales rindieron resultados proporcionales relativamente similares.

Este resultado, sin embargo, es ligeramente inferior a los consumos promedios estimados a partir de estudios empíricos de crecimiento en *P. auritus* en los que se han reportado consumos de 327 g/día (Fowle, 1997) y 333 g/día (Rudstam *et al.*, 2004). En *P. carbosinensis*, Platteeuw *et al.* (1995) determinaron un consumo medio de 357 g/día (rango: 300–415 g/día) durante un periodo de 30 días. Otros modelos bioenergéticos también han rendido estimados del consumo diario de alimentos ligeramente superiores, por ejemplo, de 338 g/día (Ellis y Gabrielsen, 2002), 332 g/día (Kendeigh *et al.*, 1977) o 346 g/día (Grémillet *et al.*, 2003). La consistencia entre los resultados de los modelos de Ellis y Gabrielsen (2002) con los de experimentos de respirometría (Enstipp *et al.*, 2006), demuestran el valor de aproximación de estos modelos bioenergéticos.

El modelo desarrollado podría estar subestimando el consumo total, al no incluir explícitamente los requerimientos de las corúas para su reproducción, aunque la fórmula del FMR fue obtenida a partir de conjuntos de aves en condiciones reproductivas (Fort *et al.*, 2011) pero en el modelo no se tienen en cuenta los gastos potenciales para la alimentación de la cría. Hatch y Weseloh (1999) reportan un aumento del consumo de 106 g/día para estas aves en el periodo reproductivo. Para Price y Nickum (1995) la depredación en los estanques será tan alta como sea el requerimiento energético de las

nidadas. En la temporada de cría, alrededor del 26% de los individuos son juveniles flotantes, el resto se incorpora a la reproducción. Las corúas casi siempre tienen de dos a tres pichones por pareja, que se alimentan durante las primeras cuatro semanas de vida. El peso de la cantidad de alimento ingerido por cada pichón se incrementa de forma sigmoidea con la edad hasta estabilizarse alrededor del 16% de su peso. En la dieta de *P. olivaceus*, Morrison *et al.* (1977) describieron, en regúrgitos de 40–50 juveniles, solo un 1,7% de camarones del género *Penaeus* (2,2% del peso) con longitudes entre 18 – 197 mm. King (1989) posteriormente reportó resultados similares para otra colonia. Sin embargo, esta subestimación posible se puede compensar con el hecho de que los modelos alométricos bioenergéticos en aves marinas se ha descrito que tienden a sobreestimar los consumos cuando son comparados con otros métodos de análisis como el agua doblemente marcada, los modelos termodinámicos o los métodos de presupuesto tiempo – energía (Fort *et al.*, 2011).

La alta variabilidad de los estimados que aparecen en la literatura responde a tres factores fundamentales, las diferencias geográficas en masas corporales de las aves, el empleo de distintas constantes de eficiencia de asimilación, y la utilización de diversas densidades energéticas de las presas. El peso corporal registrado en las poblaciones cubanas de *P. auritus* tiende a ser considerablemente menor al registrado en localidades del norte del continente, donde se han desarrollado la mayoría de los modelos bioenergéticos de la literatura. Una muestra de 40 hembras en Alabama promedio 1,84 kg de masa corporal, mientras que en Mississippi fue de 2,11

kg (n=26). Los machos en Alabama (n=37) promediaron 2,16 kg y en Mississippi (n=46) fueron de 2,43 kg (Glahn *et al.*, 1996).

En relación a las eficiencias de asimilación diferentes estudios han usado valores de 79% (Kahl, 1964), 77% (Keller y Visser, 1999), 80% (Hilton *et al.*, 2000), 85% (Diana *et al.*, 2006) y 77,6% (Goktepe *et al.*, 2012). Las densidades energéticas de las presas de las aves también han mostrado amplia variación, incluyendo el uso de estimados de peso seco (ej.: 10,534 kJ/g por Cummins, 1967) y de peso húmedo (1,077 kcal/g por Cummins y Wuycheck, 1971 y van Guilder y Seefelt, 2013). El empleo de diferentes enfoques para la estimación del consumo también adiciona variabilidad, numerosos autores emplean la Tasa Metabólica Basal, o el Metabolismo de Existencia (ver un resumen de estos resultados en Ridgway, 2010).

Un valor único absoluto de extracción de camarones es imposible de estimar ya que depende linealmente del tamaño de las poblaciones de corúas, pero las intensidades de afectación de los estanques de las camaronerías cubanas por poblaciones de corúas de mar son muy variables, y no han sido evaluadas apropiadamente. Acosta *et al.* (1990) estimaron poblaciones de alrededor de 400 individuos en las camaronerías de Tunas de Zaza, Sancti Spiritus, Cuba, que abarca un área de 314 ha subdivididas en 38 estanques.

Aunque hay poca información sobre el rango de vuelo alrededor de las colonias para estas especies, en colonias de Texas Morrison *et al.* (1977) describieron que la mayoría de los adultos de *P. olivaceus* volaba alrededor de 2 km hasta un área de forrajeo beneficiosa. Por esa razón, las facilidades de cultivo de los camarones con mayores afectaciones probablemente sean las que estén a menos de estas distancias desde las colonias de reproducción en los humedales naturales aledaños.

Los cormoranes que invernan en las granjas de pez gato en el sudeste de los EUA producen pérdidas de cerca de 25 millones por la depredación y por los gastos de manejo asociados (Glahn *et al.*, 2002).

Las variables identificadas como más sensibles en el proceso modelado en el presente estudio coinciden con las citadas por Goktepe *et al.*, (2012) como parámetros más importantes en el modelo de Madenjian y Gabrey (1995). El modelo de Madenjian y Gabrey predijo que cada corúa, con una dieta de peces, consumía entre 358 - 541 g/día, en dependencia de su peso corporal. Llama la atención que ninguna de las variables que mayor influencia tienen en el consumo pueden ser manejadas activamente por el ser humano con fines de disminuir el impacto negativo de esta especie, por tanto, las medidas deben enfocarse en las variables poblacionales.

Asumiendo que los camarones finales se cosechan con un rango de talla individual entre 12,5 g y 14 g, el precio en el mercado internacional oscila alrededor de 4,18 USD/kg. De esta manera, una biomasa perdida del cultivo a causa del consumo de las aves ascendente a más de 1000 kg implica pérdidas económicas superiores a los 4435 USD por cada estanque. Esta situación extrema, es muy poco

probable que aparezca en la realidad, ya que un escenario en el cual todos los estanques de una camaronería estuviesen ocupados simultáneamente por esta máxima cantidad de corúas impediría la producción al punto que hubiera hecho económicamente inviable esta actividad. Lo más usual es que las corúas, bien se dispersen en pequeñas cantidades por varios estanques o que se concentren en uno o muy pocos.

Debe tenerse en cuenta que las corúas no son las únicas especies de aves que afectan al cultivo del camarón. Acosta *et al.* (1990) analizan también los consumos de los galleguitos (*Larus atricilla*) y de las corúas de agua dulce (*Phalacrocorax olivaceus*). Fleury y Sherry (1995) resumen el por ciento de camarones y de otros crustáceos en la dieta de 16 especies de aves zancudas en EUA. El consumo por el Guanaba Real se encontró que fue de un 74-97% de estos crustáceos, el Coco Blanco (52- 72%), Guanabá de la Florida (22%), Garza azul (11-73%), Garza de Vientre Blanco (2-20%) entre otros. Investigaciones realizadas en colonias reproductivas de zancudas en la ciénaga de Birama, ubicadas junto a los estanques de cultivo de CALISUR, se detectaron camarones como presas ocasionales del Guanaba de la Florida, el Guanabá Real, el Garzón y la Garza de Rizos, pero en proporciones bajas (por ejemplo, solo el 9,5% de las presas en 25 regúrgitos de Garza de Rizos fueron camarones) (Denis y Jiménez, 2009).

Las corúas también tienen efectos beneficiosos. Al igual que otras especies de aves, controlan la densidad de población de sus presas y contribuyen a mantener el equilibrio entre la densidad y la capacidad del ecosistema. Una superpoblación en las poblaciones naturales de presas pudiera conducir a epizootias o alteraciones en los ciclos tróficos, afectando así a otras especies. También son importantes eslabones en el flujo de energía de estos ecosistemas movilizandolos grandes cantidades de elementos químicos y nutrientes entre los subsistemas acuáticos y terrestres, además de que con su rápido metabolismo transforman una proporción apreciable de la producción secundaria en nutrientes asimilable por las plantas.

Las elevadas magnitudes de consumo estimadas por el modelo presentado son consistentes con lo registrado para muchas poblaciones de aves acuáticas a lo largo del mundo. Duerr *et al.* (2012) estimaron entre 322 - 425 toneladas anuales el consumo de peces por las aves en *Young Island* y hasta 899 - 1 086 toneladas en las Islas *Four Brothers*. Esto ratifica el importante papel de estas poblaciones en el flujo de energía de los ecosistemas de humedales y su valor conservacionista para garantizar la estabilidad de estos.

REFERENCIAS

- Acosta M., L. Mugica y G. Álvares. 1999. Ecología trófica de las principales especies de aves que afectan el cultivo del camarón blanco en Tunas de Zaza, Sancti Spiritus, Cuba. *Revista Biología* 13 (2): 79-155.
- Arzola, J. F.; L. M. Flores, A. Izabal y Y. Gutiérrez. 2008. Crecimiento de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) en un estanque rústico a baja salinidad. *Revista AquaTIC* 28: 8-15
- Baisre, J. A. 2006. Cuban fisheries management regime:

- current state and future prospects. [Inédito]. UNU-Fisheries Training Programme. Final Project 2006. 33 pp.
- Birnie-Gauvin K., K. S. Peiman, D. Raubenheimer, S. J. Cooke. 2017. Nutritional physiology and ecology of wildlife in a changing world. *Conservation Physiology* 5(1): cox030; doi:10.1093/conphys/cox030
- Borja, A. 2002. Los impactos ambientales de la acuicultura y la sostenibilidad de esta actividad. *Boletín del Instituto Español de Oceanografía* 18 (1-18): 41-49
- Brugger, K. E. 1993. Digestibility of three fish species by Double-Crested Cormorants. *The Condor* 95:25-32
- Cummings, K. y J. C. Wuycheck. 1971. Caloric equivalents for investigations in ecological energetics. *Mitteilungen - Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 18: 1-51
- Cummins, K. W. 1967. *Caloric equivalents for studies in ecological energetics*. Pymatuning Laboratory of Ecology. University of Pittsburgh Pittsburgh, Pennsylvania 15213, Second Edition.
- Denis, D. y A. Jiménez. 2009. Nestling diet in five species of herons and egrets in Birama swamp, Cuba. *Journal of Caribbean Ornithology* 22: 26-31
- Diana, J. S., S. Maruca, B. Low. 2006. Do increasing cormorant populations threaten sportfishes in the Great Lakes? A case study in Lake Huron. *Journal of Great Lakes Research* 32, 306-320
- Duerr, A. E., D. E. Capen, T.M. Donovan. 2012. Energetic considerations for managing double-crested cormorants on Lake Champlain. *Journal of Great Lakes Research* 38 (Supplement 1), 131-140
- Dunn, E. H. 1975. Caloric intake of Nestling Double-crested cormorants. *The Auk* 92: 553-565
- Ellis, H. I. y G. W. Gabrielsen. 2002. Energetics of free-ranging seabirds. Pp: 359-407. En: *Biology of Marine Birds* (E. A. Schrieber y J. Burger, Eds.). CRC Press, LLC, Boca Raton, Florida
- Enstipp, M. R., D. Grémillet y D.R. Jones. 2006. The effects of depth, temperature and food ingestion on the foraging energetics of a diving endotherm, the double-crested cormorant (*Phalacrocorax auritus*). *Journal of Experimental Biology* 209, 845-859
- Esparza-Leal, H. M.; J. T. Ponce-Palafox; E. A. Aragon-Noriega; J. L. Arredondo-Figueroa, M. García-Ulloa y W. Valenzuela-Quíñonez. 2009. Growth and performance of the whiteleg shrimp *Penaeus vannamei* (Boone) cultured in low-salinity water with different stocking densities and acclimation times. *Aquaculture Research* 1-6. doi:10.1111/j.1365-2109.2009.02367.x
- Fleury, B. E. y T. W. Sherry. 1995. Long-term population trends of colonial wading birds in the southern united states: the impact of Crayfish aquaculture on Louisiana populations. *The Auk* 112 (3): 613 - 632
- Fort, J.; W.P. Porter y D. Grémillet. 2011. Energetic modelling: A comparison of the different approaches used in seabirds. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A* 158: 358-365
- Fowle, M. R. 1997. Population dynamics, food habits, and bioenergetics of Double-crested Cormorants in Lake Champlain. [Inédito]. Tesis de Maestría, Universidad de Vermont, Burlington, Vermont.
- GEDECAM. 2005. Informe Anual de Producción. Ministerio de la Industria Pesquera, Grupo Empresarial para el Desarrollo del Cultivo de Camarón en Cuba. [Inédito]. Documento de Archivo. 25 pp.
- Glahn J. F.; May, A.; Bruce, K.; Reinhold, D. 1996. Censusing double-crested cormorants (*Phalacrocorax auritus*) at their winter roosts in the delta region of Mississippi. *Colonial Waterbirds* 19: 73-81
- Glahn, J. F. y Jr, A. R. Stickley. 1995. Wintering double-crested cormorants in the delta region of Mississippi: population levels and their impact on the catfish industry. *Colonial Waterbirds* 137-142
- Glahn, J. F. y K. E. Brugger. 1995. The impact of Double-crested Cormorants on the Mississippi Delta catfish industry: a bioenergetics model. *Colonial Waterbirds* 18 (Spec. Publ. 1): 168-175
- Glahn, J. F., S. J. Werner, T. Hanson, y C. R. Engle. 2002. Cormorant depredation losses and their prevention at catfish farms: economic considerations. Pp. 138-146 En: *Human conflicts with wildlife: economic considerations* (Clark, L. et al. Eds.). Proceedings of the Third NWRC Special Symposium. National Wildlife Research Center, Fort Collins, Colorado, USA.
- Göktepev, Ö., P. Hundt, W. Porter y D. Pereira 2012. Comparing Bioenergetics Models of Double-Crested Cormorant (*Phalacrocorax auritus*) Fish Consumption. *Waterbirds* 35(sp1): 91 - 102
- González, A.A. y P. Ortiz (2002): Relación estacional entre el clima y la abundancia relativa del camarón rosado *Farfantepenaeus notialis* en el Golfo de Ana María, Cuba. *Revista de Investigaciones Marinas* 23 (2): 97-104
- Grémillet D., G. Wright, A. Launders, D. N. Carss y S. Wanless. 2003. Modelling the daily food requirements of wintering Great Cormorants: A bioenergetics tool for wildlife management. *Journal of Applied Ecology* 40: 266 - 277
- Hatch, J.J. y D.V.C. Weseloh. 1999. Double-crested cormorant (*Phalacrocorax auritus*). *The Birds of North America* 441: 1-36
- Hilton, G.M., R.W. Furness y D. C. Houston. 2000. A comparative study of digestion in North Atlantic seabirds. *Journal of Avian Biology* 31: 36-46
- Jiménez, A.; I. García-Lau, A. González, L. Mugica y M. Acosta. 2014. Valores de masa corporal de 183 especies de aves cubanas. *Revista Cubana de Ciencias Biológicas* 3(1): 22-42
- Kahl, M.P. 1964. Food ecology of the Wood Stork (*Mycteria americana*) in Florida. *Ecological Monograph* 34: 97-117
- Kendeigh, S. C., V. R. Dol'nik y V. M. Gavrilov. 1977. Avian energetics. Pp. 127-204. En: *Granivorous birds in ecosystems* (J. Pinowski y S. C. Kendeigh, Eds.). Cambridge Univ. Press, New York.
- King, K. A. 1989. Food habits and organochlorine contaminants in the diet of Olivaceous Cormorants in Galveston Bay, Texas. *Southwestern Naturalist* 34: 338-343
- Littauer, G. 1990. Avian predators: Frightening techniques for reducing bird damage at aquaculture facilities. *Southern Regional Aquaculture Center* (401): 4.
- Madenjian, C.P. y S. W. Gabrey. 1995. Waterbird predation of fish in western Lake Erie; a bioenergetics model application. *Condor* 97: 141-153
- Mollada, M. I. 2006. Manejo sostenible del cultivo de camarón en Cuba. Estudio de caso: camarónera CALISUR, provincia Granma. [Inédito]. Tesis de Maestría. Centro de investigaciones pesqueras, Cuba.
- Morrison, M. L., E. Shanley Jr. y R. D. Slack. 1977. The

- food of nestling Olivaceous Cormorants. *Southwestern Naturalist* 22: 321-326
- Mott, D. F., y F. L. Boyd. 1995. A review of techniques for preventing cormorant depredations at aquaculture facilities in the southeastern United States. *Colonial Waterbirds* 18(Especial Publicación 1): 176-180
- Nagy, K. A., I. A. Girard y T. K. Brown. 1999. Energetics of free-ranging mammals, reptiles, and birds. *Annual Review of Nutrition* 19:247- 277
- Ouyang Y.; Z. Jia En, L. Dian, L. Guo-Dong. 2009. ASTELLA model for the estimation of atrazine runoff, baching, adsorption and degradation from an agricultural land. *Journal of Soils and Sediments* 10: 263 - 271
- Platteeuw, M., K. Koffigberg y W. Dubbeldam. 1995. Growth of cormorant *Phalacrocorax carbo sinensis* chicks in relation to brood size, age ranking and parental fishing effort. *Ardea* 83: 235-245
- Price I. M. y J. G. Nickum. 1995. Aquaculture and Birds: The Context for Controversy. *Colonial Waterbirds* 18: 33-45
- Ridgway, M. S. 2010. A review of estimates of daily energy expenditure and food intake in cormorants (*Phalacrocorax* spp.). *Journal of Great Lakes Research* 36: 93-99
- Rosenberry, R. 2005. *World Shrimp Farming 2005*. USA. California, San Diego, An Annual Report publisher by Shrimp News International. 270 pp.
- Rudstam L. G., A. J. Van De Valk, C. M. Adams, J. T. Coleman, J. L. Forney y M. E. Richmond. 2004. Cormorant predation and the population dynamics of Walleye and Yellow Perch in Oneida Lake. *Ecological Applications* 14: 149-163
- Stickley A.R. y K.J. Andrews. 1989. Survey Of Mississippi Catfish Armers On Means, Effort, And Costs To Repel Fish-Eating Birds From Ponds. Fourth Eastern Wildlife Damage Control Conference. *Ponencia* 39: 105-109
- Van Guilder, M.A. y N.E. Seefelt. 2013. Double-crested cormorant (*Phalacrocorax auritus*) chick bioenergetics following round goby (*Neogobius melanostomus*) invasion and implementation of cormorant population control. *Journal of Great Lakes Research* 39: 153-161
- Wires, L. R. y F. J. Cuthbert. 2006. Historic populations of the Double-crested Cormorant (*Phalacrocorax auritus*): Implications for conservation and management in the 21st century. *Waterbirds* 29: 9-37

Recibido: el 27 de noviembre de 2017, aceptado: 6 de junio de 2018; editor asociado: Carlos A. Mancina