

Parámetros reproductivos y distribución geográfica potencial de las áreas de anidación de *Grus canadensis nesiotés* (Aves, Gruidae) en Cuba: implicaciones para su conservación

Y. Ferrer–Sánchez, I. Ruiz Companioni, F. Abasolo–Pacheco, A. H. Plasencia–Vázquez, D. Denis Ávila & E. Rodríguez Piña

Ferrer–Sánchez, Y., Ruiz Companioni, I., Abasolo–Pacheco, F., Plasencia–Vázquez, A. H., Denis Ávila, D. & Rodríguez Piña, E., 2017. Parámetros reproductivos y distribución geográfica potencial de las áreas de anidación de *Grus canadensis nesiotés* (Aves, Gruidae) en Cuba: implicaciones para su conservación. *Animal Biodiversity and Conservation*, 40.2: 175–186.

Abstract

Reproductive parameters and potential geographical distribution of nesting areas of Grus canadensis nesiotés (Aves, Gruidae) in Cuba: conservation implications.— *Grus canadensis nesiotés* (Cuban sandhill crane) is an endemic and endangered subspecies from Cuba. Protection of wetland habitats is essential for survival of this species, but studies that could contribute to its management and conservation are lacking. In this study we recorded the reproductive parameters of *Grus canadensis nesiotés* in eight breeding seasons between 2005 and 2015 in a wetland of Cuba. We modeled and characterized the potential geographical distribution of the nesting areas, analyzing its representation within protected areas. Maximum entropy algorithm and habitat variables were used for modeling (100 m of pixel size). To characterize the potential distribution we calculated each land–use–vegetation within the potential distribution. We used the same procedure to determine the extent of the protected area. A hundred and fifty–one nests were located in marsh grasslands. These nests were simple platforms built on wet soil/water; the largest nests were observed in 2006. Seventy percent of nests had two eggs (1.7 eggs/nest) and 63.5% were successful with 1.6 chicks per successful nest. The potential nesting habitat is a narrow stretch (242 km²) located in the center of the wetland. The area with high probability of presence makes up 13.8% of the predicted distribution. Sixty percent of marsh grassland of the study area was included in the potential distribution, while the proportion of crops (1.2%) and pastures (2.1%) was low. Managed protected areas cover only 39.1% of the potential distribution of the nesting sites and 12% of the high probability areas. We propose three priority sites to study and monitor nesting of the subspecies. Species conservation actions should consider the potential geographical distribution of nesting sites both inside and outside the protected areas.

Key words: Cuban sandhill crane, Reproduction, Conservation, Ecological niche modeling

Resumen

Parámetros reproductivos y distribución geográfica potencial de las áreas de anidación de Grus canadensis nesiotés (Aves, Gruidae) en Cuba: implicaciones para su conservación.— *Grus canadensis nesiotés* (grulla cubana) es una subespecie endémica de Cuba que se encuentra en peligro de extinción. A pesar de estar directamente relacionada con los humedales, no existen estudios que contribuyan a su gestión y conservación. Por ello, se registraron parámetros reproductivos de la subespecie durante ocho temporadas reproductivas entre 2005 y 2015 en un humedal de Cuba; asimismo, se modeló y caracterizó la distribución geográfica potencial de las áreas de anidación, y se analizó su representación dentro de las áreas protegidas (AP). Para elaborar el modelo, se utilizaron el algoritmo de máxima entropía y variables de hábitat (100 m de tamaño de píxel). Para caracterizar la distribución potencial, se calculó la superficie ocupada por cada uso de suelo y tipo de vegetación dentro de dicha área de distribución. Se empleó el mismo procedimiento para calcular la superficie de la distribución que está protegida. Se localizaron 151 nidos en herbazales de ciénaga. Se trataba de plataformas simples sobre suelo húmedo o agua; los más grandes se observaron en 2006. El 70% de los nidos tuvieron dos huevos (1,7 huevos/nido) y el 63,5% fueron exitosos con 1,6 polluelos/nido

exitoso. El hábitat potencial de anidación es estrecho (242 km²) y se localiza en el centro del humedal. De la distribución prevista, la superficie con alta probabilidad de presencia es del 13,8%. El 60% del herbazal de ciénaga de la zona del estudio estaba comprendido dentro de la distribución potencial, mientras que la proporción de cultivos (1,2%) y pastizales (2,1%) era baja. Las AP gestionadas solo protegen el 39,1% de la distribución potencial de los sitios de anidación y el 12% de las zonas con alta probabilidad. Se proponen tres sitios prioritarios para estudiar la anidación de la subespecie y hacer un seguimiento de la misma. Las medidas de conservación de la subespecie deberían considerar la distribución geográfica potencial de los sitios de anidación dentro y fuera de las AP.

Palabras clave: Grulla cubana, Reproducción, Conservación, Modelación de nicho ecológico

Received: 4 I 16; Conditional acceptance: 3 III 16; Final acceptance: 9 III 17

Yarelys Ferrer-Sánchez & Fernando Abasolo-Pacheco, Univ. Técnica Estatal de Quevedo, Los Ríos, Ecuador.– Idael Ruiz Companioni & Eddy Rodríguez Piña, Empresa Nacional para la Protección de la Flora y la Fauna, La Habana, Cuba.– Alexis Herminio Plasencia-Vázquez, Centro de Investigaciones Históricas y Sociales (CIHS), Univ. Autónoma de Campeche, México.– Dennis Denis Ávila, Fac. de Biología, Univ. de la Habana, Cuba.

Corresponding author: Y. Ferrer-Sánchez. E-mail: yferrersanchez@gmail.com

Introducción

Los aspectos de la reproducción y el éxito reproductivo en las aves acuáticas pueden ser el reflejo de la productividad local, de la estructura trófica y de la perturbación humana (Kushlan, 1993). Se han realizado estudios ecológicos relacionados con este tema en la familia Gruidae, que abarcan desde estudios en poblaciones silvestres (p. ej., Depkin et al., 1994; Vladimirtseva, 2012) hasta experimentos en cautiverio para la cría y reintroducción en el medio (p. ej., Ellis et al., 2000). En particular, la mayoría de los estudios en este grupo se han llevado a cabo con *Grus canadensis*, que se distribuye fundamentalmente en Norteamérica con seis subespecies. Actualmente, todas las subespecies están en riesgo de extinción, si bien *Grus canadensis pulla* y *Grus canadensis nesiotés* son las más amenazadas (Johnsgard, 2008). Sin embargo, *G. canadensis* se mantiene en Preocupación Menor debido a los incrementos poblacionales de las subespecies migratorias y el uso de paisajes agrícolas como zonas de alimentación (Harris & Mirande, 2013).

En Cuba se han realizado pocos estudios sobre la subespecie endémica *G. c. nesiotés*. Las descripciones ecológicas y de uso de hábitat, que son aspectos importantes para la gestión de especies amenazadas, fueron estudiadas en la población del ecosistema de sabanas de arenas silíceas en Isla de la Juventud (Gálvez et al., 2005). Las restantes poblaciones se distribuyen en humedales relictos de las antiguas sabanas anegadas de Cuba (Gálvez & Chávez-Ramírez, 2010). Estas zonas han sido expuestas a fuertes cambios hidrológicos que afectan directamente a las grullas (Gálvez & Ferrer, 2012), pero se desconocen los aspectos ecológicos que relacionan a esta subespecie con su hábitat en estos sitios. Sin embargo, dentro de estos humedales los herbazales de ciénaga han sido identificados como sitios de anidación y alimentación de *G. c. nesiotés* (Ferrer et al., 2010).

En los humedales, los parámetros reproductivos de las grullas podrían utilizarse como indicadores biológicos de calidad, debido a la sensibilidad de estas aves ante las molestias humanas (Wang et al., 2011), a los cambios hidrológicos y a la acumulación de contaminantes (Frederick & Powell, 1994). No obstante, no existen estudios específicos que contribuyan a las estrategias de gestión para la conservación de las grullas y de los humedales, que se reducen y degradan como consecuencia de las modificaciones antrópicas. Por estas razones, en el presente estudio se caracterizaron elementos de la ecología reproductiva de *G. c. nesiotés* como el sitio de anidación, el período reproductivo, las dimensiones de los nidos y los huevos, el tamaño de nidada, la productividad y el éxito reproductivo en un humedal de Cuba, que cuenta con la segunda población más numerosa. Además, se modeló y caracterizó la distribución geográfica potencial de las áreas de anidación de la subespecie, y se analizó la representación de esta distribución dentro del sistema nacional de áreas protegidas. Los resultados pueden servir de referencia para el estudio de otras nueve poblaciones presentes en humedales de Cuba, expuestas a mayores fuentes de perturbación y deterioro genético.

Material y métodos

El estudio se realizó en la región septentrional de Ciego de Ávila (4.999 km²; 22° 2' 3,21" N; 78° 30' 42,95" O), en Cuba, entre 2005 y 2015. Esta zona incluye el Sitio Ramsar Gran Humedal del Norte de Ciego de Ávila. Se trata de una llanura baja, lacunopalustre acumulativa y parcialmente cenagosa. El régimen de inundación es permanente y poco variable, con un mayor régimen de precipitaciones en mayo y junio (> 200 mm cada mes).

Las formaciones vegetales más representativas son los manglares, los bosques semidecíduos mesófilos, los bosques siempreverdes, los herbazales de ciénaga, la vegetación secundaria y los matorrales indiferenciados. En particular, los herbazales de ciénaga ocupan aproximadamente 285 km² de la superficie y han sido relacionados con las grullas en Cuba (Ferrer & Ruiz, 2009; Ferrer et al., 2010). Se caracterizan por la presencia de especies del estrato herbáceo como *Thypha domingensis*, *Cladium jamaicense*, *Cyperus* spp. y *Erianthus giganteus*. Las afectaciones principales de este hábitat están relacionadas con el cambio del régimen hídrico debido a la canalización y desecación de parte del humedal con fines agrícolas. Ha habido cambios en la estructura y la composición de la vegetación herbácea, así como pérdida y degradación de una parte de los herbazales, actualmente transformados en cultivos de caña de azúcar y pastizales.

Muestreo y caracterización de nidos

Para localizar los nidos de esta población de grullas, cuya población se calcula asciende a 102 individuos (Gálvez & Chávez-Ramírez, 2010), se muestrearon los hábitats descritos como sitios de anidación y alimentación de la especie (herbazales de ciénaga [285 km²], lagunas someras interiores y pastizales [1.025 km²]; Ferrer et al., 2010) a pie y desde torres de observación. El muestreo se realizó anualmente desde mediados de febrero hasta finales de junio, según la etapa reproductiva descrita para la subespecie por Gálvez et al. (2005). El esfuerzo de muestreo fue equivalente entre años en relación con la duración, pero no con la zona muestreada. Cada año se muestreaba la misma zona donde se habían localizado nidos en años anteriores y además se incluían nuevas zonas aisladas. Se siguieron individuos entre 300 y 700 m que vocalizaban cuando hacían el relevo para incubar los huevos. Se consideraron pruebas de ocupación del territorio la presencia de grullas emparejadas o comprometidas con la defensa del territorio, la presencia de parejas con afinidad al nido, el relevo y la presencia de huevos o polluelos. Estos lugares se registraron con coordenadas geográficas (latitud/longitud; Datum WGS84).

Los nidos se visitaron de 08:00 a 11:00 h y de 16:00 a 18:00 h para evitar causar estrés térmico a los huevos. Se registró la fecha de localización; las fechas de inicio de puesta y de eclosión y el número de huevos y polluelos; el material de construcción; los diámetros internos menor y mayor (DIME, DIMA); los

diámetros externos menor y mayor (DEME, DEMA); la altura; la profundidad del agua en los alrededores; la distancia entre nidos activos simultáneos (distancia media entre todos los pares posibles de nidos activos a la vez) y a fuentes de agua, dormitorios y arbustos próximos. Al final de la etapa se hizo un seguimiento del número de parejas con polluelos. No pudo analizarse el motivo de la pérdida de huevos. Se midieron las dimensiones de los huevos: diámetros mayor y menor y peso, y se calculó el volumen (Hoyt, 1979). En caso de encontrar el nido en una fase avanzada de incubación, la fecha de inicio o de puesta del primer huevo se estimó restándole 30 días a la fecha de eclosión (Williams & Phillips, 1972; Layne, 1983).

Gestión de datos

Durante 2008, 2009 y 2010 se localizaron 11, 8 y 17 nidos de grullas, respectivamente; no obstante, no fue posible medir los nidos ni obtener las dimensiones de los huevos por problemas logísticos. Los nidos se consideraron exitosos si se observaba al menos un polluelo o si, en la fecha estimada de eclosión de los huevos, contenían fragmentos de cáscaras con las membranas separadas. Se calculó la duración del período de puesta e incubación de los huevos. Se calcularon los siguientes índices de éxito reproductivo: huevos/nido, polluelos/huevo, polluelos/nido, polluelos/nido exitoso y porcentaje de nidos con huevos, nidos con dos huevos, nidos con huevos eclosionados, huevos eclosionados y nidos exitosos.

Se calcularon el valor medio, los intervalos de confianza, el mínimo y el máximo y el error estándar de cada variable. A todos los datos se les realizaron las pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov) y homogeneidad de varianzas (Levene) para analizar el cumplimiento de las premisas de las pruebas paramétricas. Para comparar las dimensiones de los nidos entre años se usó un ANOVA seguido de un análisis *post hoc* Tukey HSD, dado el cumplimiento de las premisas mencionadas (DIME: K-S $d = 0,95$, $p = 0,08$; $F = 1,06$, $p = 0,40$; DIMA: K-S $d = 0,99$, $p = 0,66$; $F = 0,99$, $p = 0,45$; DEME: K-S $d = 0,07$, $p > 0,20$; $F = 1,11$, $p = 0,40$; DEMA: K-S $d = 0,09$, $p = 0,08$; $F = 2,08$, $p = 0,06$; altura: K-S $d = 0,13$, $p = 0,09$; $F = 2,01$, $p = 0,12$). Los porcentajes se compararon entre años mediante la prueba de diferencias (diferencias entre proporciones). La duración de la incubación y las dimensiones de los huevos se compararon entre años mediante la prueba de Kruskal-Wallis (KW), ya que estos datos no cumplieron el supuesto de normalidad (duración incubación: K-S $d = 0,18$, $p < 0,001$; largo: K-S $d = 0,178$, $p = 0,007$; ancho: K-S $d = 0,174$, $p = 0,009$; peso: K-S $d = 0,103$, $p = 0,001$) ni en su forma original ni aplicándoles distintas transformaciones (p. ej., ln, raíz cuadrada, lg_{10} , exponencial). Todos los análisis se realizaron con un nivel de significación de 0,05 y las pruebas estadísticas se verificaron como pruebas de dos colas en el programa Statistica 8.0. (Statsoft, Tulsa, OK).

Se considera que, aunque existe un elevado riesgo de que este estudio incurra en la pseudoreplicación

de algunos datos debido a la fidelidad de las parejas de grullas a los mismos territorios de anidación año tras año, los resultados aquí presentados son muy valiosos para describir la ecología reproductiva de una subespecie endémica, rara, con distribución restringida y amenazada. Este riesgo de pseudoreplicación es inevitable si los individuos no pueden ser identificados. Se asumió el riesgo porque en los estudios de especies amenazadas, con poblaciones tan escasas, el efecto de esta asunción estadística es menor que el costo de la pérdida de datos (principio precautorio).

Modelación de nicho ecológico

A partir del mapa de uso de suelo-vegetación obtenido para la zona del estudio (véase Ferrer-Sánchez & Rodríguez-Estrella, 2015) se calcularon parámetros con la extensión *Patch analyst* en ArcView 3.2 (ESRI Inc., Redlands, CA) que describían la estructura espacial del paisaje y que se relacionan con aspectos ecológicos de *G. c. nesiotés* para la selección de hábitat (p. ej., Gálvez et al., 2005). Para elaborar un modelo de la distribución potencial del área de anidación de *G. c. nesiotés*, se seleccionaron la variable categórica uso de suelo-vegetación (tipos de cobertura vegetal y modificada: herbazal de ciénaga, bosque, manglar, laguna, vegetación costera, maleza, pastizal, cultivos y zona urbana) y las variables continuas (superficie de herbazal de ciénaga, de cultivos, de pastizales, de bosques y lagunas; índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI); distancia a cultivos, a pastizales, a fuentes de agua y a zonas urbanas). Para esta selección se tuvieron en cuenta aspectos ecológicos de la especie que se habían descrito previamente (p. ej., Gálvez et al., 2005; Ferrer et al., 2010).

Para obtener el NDVI se usaron 11 imágenes de los satélites Landsat 5 Thematic Mapper y Landsat 7 sensor Enhanced Thematic Mapper, Lat/Lon-Datum WGS84, con resolución espacial de 30 m y con fechas comprendidas entre marzo y mayo de los años 2005 al 2015, que cubren la zona del estudio. De cada imagen de NDVI anual se extrajo la información espectral de 380 parcelas cuadradas de tres píxeles de lado. El valor medio de cada parcela fue comparado entre años con un ANOVA. Como no existieron diferencias significativas entre los años para este conjunto de imágenes, se decidió usar el NDVI de la imagen del 12 de abril de 2012 en el estudio, ya que contenía el menor porcentaje de nubosidad. Teniendo en cuenta el tamaño medio de los fragmentos más pequeños en los que pudo observarse una grulla, se cambió la resolución espacial a 100 m. Los mapas de distancia se obtuvieron con las extensiones 'Nearest features' y 'Drainage/Lineament/Road/Density' en ArcView 3.2.

Con estas variables se elaboraron modelos de nicho ecológico. Se utilizó el algoritmo de máxima entropía (Maxent 3.3.k; Phillips et al., 2006) porque trabaja exclusivamente con datos de presencia, además de por su fiabilidad y buen rendimiento (Elith et al., 2011). Los modelos se elaboraron con 75 localidades de nidos espacialmente independientes. No se utilizaron coordenadas duplicadas para ninguno de los registros de

presencia y todos eran espacialmente únicos, es decir, que cada uno estaba incluido en un píxel diferente. Se usó el 75% de los registros de presencia como datos de entrenamiento y el 25% como datos de prueba (Franklin, 2009). Se calcularon 100 réplicas para evitar la incertidumbre asociada a la elaboración del modelo. De los 100 modelos resultantes se seleccionó el que reflejaba la mayor cantidad de superficie con probabilidad relativa de presencia de nidos, atendiendo al estado de la población de la subespecie para evitar que quedara fuera área importante. La partición de los registros para entrenamiento y validación fue aleatoria en cada réplica y se utilizó el *bootstrap* como método de remuestreo. La salida de MaxEnt se convirtió en un mapa de presencia/ausencia usando como línea de corte el método *minimum training presence*. Este método utiliza como umbral de corte la adecuación asociada al menor registro de presencia adecuado de los datos de entrenamiento, y es uno de los más utilizados y que da mejores resultados (Liu et al., 2005). Posteriormente, sobre toda el área con presencia según el umbral de corte, se clasificó la probabilidad relativa de presencia en baja, media y alta con intervalos iguales de probabilidad de 0,256 entre el umbral de corte (0,083) y la máxima probabilidad observada (0,851).

La contribución relativa de las variables a la predicción del modelo fue analizada por el método Jackknife y por la estimación del porcentaje de contribución relativa. Para determinar la contribución relativa (%) de cada variable ambiental al modelo, en cada iteración del algoritmo de entrenamiento se añade el aumento en la ganancia regularizada a la contribución de la variable correspondiente (Phillips et al., 2006). Al final del proceso de entrenamiento del modelo, los valores de contribución de cada variable ambiental se convierten en porcentajes. Se consideró que las variables que contribuían más al modelo eran las que al sumar su contribución, o de forma independiente, alcanzaban el 50% de la contribución relativa.

La capacidad predictiva del modelo se evaluó con la curva ROC (AUC; Phillips et al., 2006). Este método presenta diversos problemas, por ejemplo, que otorga el mismo peso a los errores de omisión y comisión (Lobo et al., 2008). Por tanto, se usó además la modificación ROC parcial en el programa Tool for Partial-ROC V. 1.0. (Barve, 2008). Se consideró un error de omisión < 5% (Peterson et al., 2008). Para caracterizar el área de distribución, se superpuso el mapa categorizado resultante con la capa de uso de suelo-vegetación y se cortó esta última siguiendo los límites de presencia. Se calculó la superficie de cada uso de suelo-vegetación contenido dentro de la distribución geográfica potencial. El mismo procedimiento se empleó para determinar la superficie (km²) con presencia predicha contenida dentro de los límites de áreas protegidas (AP) del humedal, que poseen administración oficial. Con este análisis se quería evaluar la factibilidad de proponer sitios de seguimiento de la anidación de la especie en zonas sin protección jurídica, así como la posible extensión de los límites de las AP para la conservación de *G. c. nesiotés*. Se usó ArcView 3.2 (ESRI Inc., Redlands, CA) para estos análisis.

Resultados

El período reproductivo de *G. c. nesiotés* se extendió desde finales de febrero (construcción de nidos y conducta reproductiva) hasta junio (eclosión de huevos), con un pico de máxima productividad de nidos durante la segunda quincena de marzo (17,20%, n = 93), abril (40,86%) y hasta finales de mayo (41,94%). Entre finales de febrero e inicios de marzo se observó que las parejas realizaban conductas reproductivas como cortejo y apareamiento, se pintaban las plumas con fango, se aislaban de los bandos de grullas y defendían sus territorios de anidación. La fecha más temprana de puesta de huevos fue el 6 de marzo de 2006 y 2007 y la más tardía, el 20 de mayo de 2011. La fecha de eclosión de huevos más tardía fue el 20 de junio de 2011. El período de puesta fue de 2,3 días y la duración media de la incubación se situó en $29,42 \pm 0,20$ días (26–33) sin diferencias entre años (KW, $H_{(8, 60)} = 7,35$; $p = 0,49$). Se localizaron 151 nidos en total cuya media fue de $13,73 \pm 1,25$ nidos/año (8–20), y 115 fueron estudiados completamente (fig. 1). Las principales zonas de anidación fueron herbazales de ciénaga con fragmentos de bosque, en algunos casos asociados a fuentes de agua. Los nidos fueron plataformas simples sobre el estrato herbáceo construidas con material disponible en los alrededores. El 97% de los nidos contenía *C. jamaicense* como material de construcción, pero el 41% de estos también contenían hojas de *Cyperus* spp. Los nidos más grandes fueron construidos durante 2006 y difirieron de los construidos en 2011, 2014 y 2015 (tabla 1). La altura de los nidos fue de $4,31 \pm 0,47$ cm (0–12,40) con los mayores valores registrados en 2006 ($7,97 \pm 2,03$; 2,62–12,4), que difirieron respecto a los de 2007 ($2,87 \pm 0,54$; 0,54–6,6) y 2012 ($2,4 \pm 1,03$; 0,1–5,0) ($F = 5,03$; $p = 0,003$; $N = 38$). Más del 50% de los nidos se encontró sobre el suelo húmedo, pero el 5,30% ($N = 151$) estaba rodeado de agua con una profundidad de $5,75 \pm 0,54$ cm (3,9–7,9).

Los nidos activos simultáneamente estuvieron separados por una distancia de $1.305,80 \pm 106$ m (332,71–2.812,60) entre sí. Las menores distancias se observaron en 2007 ($1.159,20 \pm 162,62$ m) sin diferencias significativas entre años ($p = 0,22$). Además, estuvieron a $157,63 \pm 22,11$ m de arbustos (*Anona glabra* y *Conocarpus erecta*, fundamentalmente), a $465,01 \pm 91,0$ m de fuentes de agua y a $283,34 \pm 91,21$ m de los dormitorios del ave que no incubaba durante la noche.

El 97,7% de los nidos tuvieron huevos ($\pm 2,2$; 80–100) y el 70,3% tuvieron dos huevos ($\pm 4,3$; 45,5–90), con un tamaño de nidada de $1,7 \pm 0,04$ (1,5–1,9) huevos/nido. El 60,2% de los huevos eclosionó ($\pm 9,9$; 31,3–76,9) para un 63,5% de nidos exitosos ($\pm 9,7$; 36,4–80) con $1,1 \pm 0,2$ (0,5–1,3) polluelos/nido, $1,6 \pm 0,1$ (1,3–1,8) polluelos/nido exitoso y $0,9 \pm 0,3$ (0,3–1,6) polluelos/huevo. Los valores más bajos para estos índices se obtuvieron en 2007 y no fueron diferentes estadísticamente del resto de los años.

Los huevos midieron $91,6 \pm 0,6$ mm (58,3–101,5) de diámetro mayor, $57,5 \pm 0,5$ mm (22,5–72) de diá-

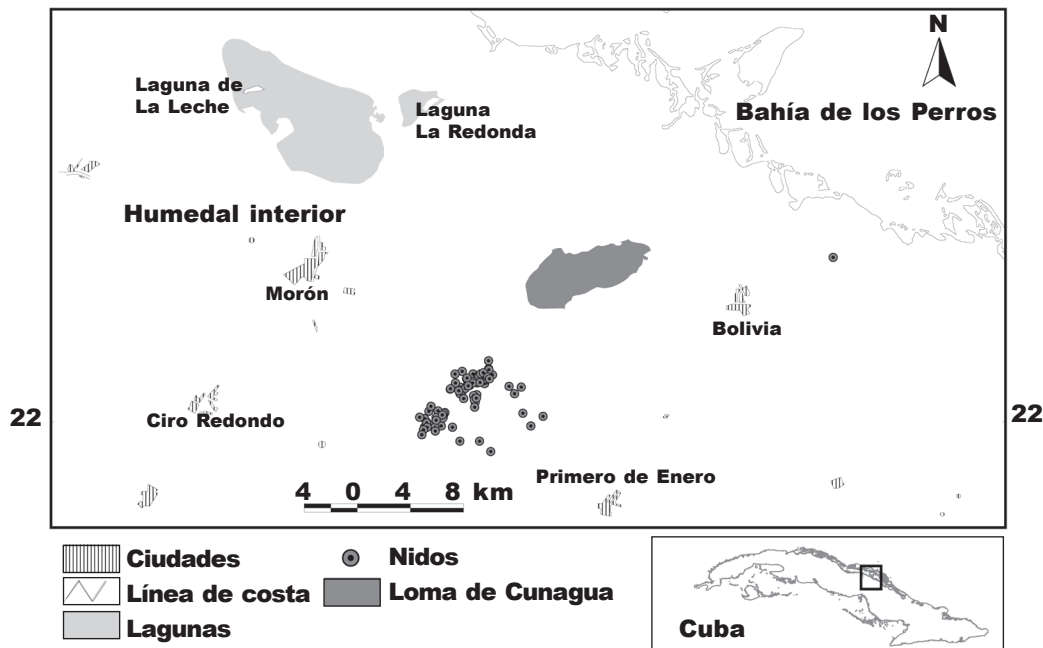


Fig. 1. Localización de nidos de *Grus canadensis nesiototes* durante 2005–2015 en la región central de Cuba.

Fig. 1. Location of *Grus canadensis nesiototes* nests during 2005–2015 in the central region of Cuba.

metro menor y pesaron $168,4 \pm 2,3$ g (40–240), con un volumen de $158,1 \pm 4,9$ mm³ (148,0–168,2). El diámetro mayor de los huevos fue diferente entre 2009 y 2015 ($KW H_{(8, 124)} = 19,9$; $p < 0,01$), el diámetro menor entre 2011 y 2013, 2014 y 2015 ($KW H_{(8, 124)} = 40,9$; $p < 0,001$), y el peso tuvo diferencias entre todos los años ($KW H_{(8, 133)} = 54,9$; $p < 0,001$), con excepción del 2005 (fig. 2).

Distribución geográfica potencial de las áreas de anidación

El hábitat potencial de anidación estuvo distribuido hacia el centro del humedal, concentrado fundamentalmente en las zonas húmedas de herbazales de ciénaga (fig. 3). El modelo predijo una superficie pequeña de 242 km². El área con alta probabilidad de distribución potencial fue de alrededor del 13,8% de la superficie predicha, mientras que el área con baja probabilidad representó el 72,7%. El modelo tuvo una buena capacidad discriminadora con los datos de entrenamiento $AUC = 0,99 \pm 0,001$ y de prueba $AUC = 0,99 \pm 0,01$, $AUCratio = 1,3 \pm 0,1$, $p < 0,05$. Se predijo que el 96% de los sitios con nidos tendrían alta probabilidad de presencia. No hubo errores de omisión para los datos de entrenamiento y la tasa de omisión para los de prueba fue de 0,2. Reducir mucho la probabilidad de errores de omisión incrementa la de obtener errores de comisión.

La suma de las variables uso de suelo-vegetación, superficie de herbazal de ciénaga y distancia a cultivos ascendió al 90% de la contribución relativa al modelo

y las dos últimas tuvieron un 86,8% de importancia en la permutación para predecir las áreas con distribución potencial (tabla 2). Además, estas tres variables tuvieron los mayores valores de ganancia regularizada para el Jackknife de la ganancia del entrenamiento, de prueba y del AUC. El herbazal de ciénaga es el tipo de vegetación que más influyó en la probabilidad de distribución del área de anidación. Asimismo, si se encuentra a 2 km de cultivos la probabilidad de presencia de nidos será mayor (fig. 4). Distancias mayores o menores disminuyeron esta probabilidad. La relación entre la superficie de herbazal de ciénaga y la probabilidad de distribución de nidos se comportó de forma parecida, con valores intermedios que aumentaron al máximo esta probabilidad (fig. 4).

El ambiente natural ocupó el 80,1% de la distribución geográfica potencial. El 59,8% del herbazal de ciénaga de la zona del estudio estuvo representado dentro de la distribución geográfica potencial, y los menores porcentajes de vegetación natural correspondieron a los bosques semidecídulo mesófilo con humedad fluctuante (15,1% del total en la zona del estudio), los bosques siempreverde de ciénaga típicos (16,2%) y los matorrales indiferenciados (2,8%) (fig. 5). Respecto al total en la zona del estudio, un bajo porcentaje de ambientes modificados como los cultivos (1,2%) y los pastizales (2,1%) estuvo representado dentro de la distribución potencial.

El 65,6% del área de anidación potencial de *G. c. nesiototes* estaba protegido. Sin embargo, solo se protegía el 12% de las zonas con alta probabilidad. El 53% restante correspondió a zonas con media

Tabla 1. Dimensiones de los nidos de *Grus canadensis nesiotés* en la región central de Cuba durante ocho temporadas reproductivas entre 2005 y 2015. Las letras diferentes denotan diferencias significativas (Tukey HSD): LC. Límite de confianza 95%; EE. Error estándar; tamaño de la muestra entre paréntesis.

Table 1. Dimensions of *Grus canadensis nesiotés* nests in the central region of Cuba over eight reproductive seasons between 2005 and 2015. The different letters denote significant differences (Tukey HSD): LC. 95% confidence limit; EE. Standard error; sample size in brackets.

Variables (cm)	Temporada reproductiva (tamaño de muestra)								Total (115)
	2005 (10)	2006 (8)	2007 (12)	2011 (20)	2012 (15)	2013 (17)	2014 (15)	2015 (18)	
Diámetro externo									
Mayor									
Media	65,4 ^{ab}	80,5 ^a	61,8 ^{ab}	54,1 ^b	62,2 ^{ab}	59,7 ^{ab}	53,6 ^b	65,1 ^{ab}	61,5
LC	59,5–71,2	44,7–116,3	55,8–67,9	48,4–59,9	52,3–72,1	51,3–68,1	45,8–61,5	59,7–70,4	26–108
EE	2,6	11,3	2,8	2,9	4,9	4,2	3,9	2,7	1,4
Menor									
Media	58,6 ^a	64,8 ^a	52,9 ^a	41,3 ^b	50,2 ^{ab}	51,5 ^{ab}	36,9 ^b	50,2 ^{ab}	49,5
LC	53,3–63,9	39,8–89,7	47,2–58,6	36,8–45,8	40,1–60,3	37,6–65,4	27,4–46,3	46,6–53,9	16–83
EE	2,3	7,8	2,6	2,1	3,7	5,4	4,0	1,7	1,3
Diámetro interno									
Mayor									
Media	40,8 ^{ab}	49,0 ^a	23,5 ^d	25,3 ^d	29,0 ^{cd}	24,4 ^d	24,9 ^d	36,1 ^{bc}	30,9
LC	36,0–45,6	33,8–64,2	20,4–26,7	22,8–27,7	21,7–36,3	16,9–31,9	19,4–30,3	32,2–39,9	15–59
EE	2,1	4,8	1,4	1,1	2,6	2,7	2,2	1,8	1,1
Menor									
Media	33,4 ^b	46,0 ^a	20,4 ^c	20,7 ^c	23,8 ^c	24,0 ^c	18,1 ^c	22,3 ^c	24,3
LC	29,1–37,7	33,6–58,4	17,9–22,8	18,2–23,1	17,8–29,8	17,6–30,4	13,3–22,9	19,7–24,9	9–55
EE	1,9	3,9	1,1	1,1	2,2	2,3	1,9	1,2	0,9

y baja probabilidad de distribución. El 95% de los nidos se encontraron en AP. Sin embargo, solo dos (Venero 22° 01' 53.54" N y 78° 30' 46.53" W; y Loma de Cunagua 22° 05' 38.50" N y 78° 27' 48.44" W) de las cuatro AP existentes tienen administración jurídica y llevan a cabo actividades para la conservación de diferentes especies. Estas áreas protegían el 39,1% del área de anidación potencial y el 12% de las zonas de alta probabilidad de presencia (fig. 3). A partir de ello se identificaron tres sitios prioritarios para el estudio y seguimiento de la anidación de la especie en el extremo noreste del humedal (22° 08' 22.81" N y 78° 23' 23.11" W; 22° 06' 35.90" N y 78° 19' 11.36" W; 22° 06' 32.06" N y 78° 16' 07.02" W; fig. 3), donde ha habido anidación confirmada.

Discusión

En este estudio se identificaron aspectos importantes sobre la ecología reproductiva de *G. c. nesiotés* en

un humedal de Cuba, que contribuyen a la gestión y conservación de esta subespecie. En estos sitios se encontraron plataformas simples sobre el estrato herbáceo que tienden a ser exitosas en un alto porcentaje (63,5). Sin embargo, solamente se protege el 12% de las zonas con alta probabilidad de presencia de estos nidos.

Las áreas de anidación de *G. c. nesiotés* en herbazales de ciénaga se asemejan a las descritas para *G. canadensis* en Norteamérica (Baker et al., 1995). Probablemente, los arbustos dispersos en la proximidad de algunos nidos se relacionen con la presencia de agua en circulación. Este comportamiento de anidación es diferente del observado en la población de Isla de la Juventud, donde el mayor porcentaje de nidos se ubica en sabanas semicerradas por los arbustos (Gálvez et al., 2005). La diferencia entre poblaciones está determinada por las variaciones geomorfológicas de los ecosistemas que utilizan y ambos deben tenerse en cuenta por su importancia para la reproducción de la subespecie en Cuba.

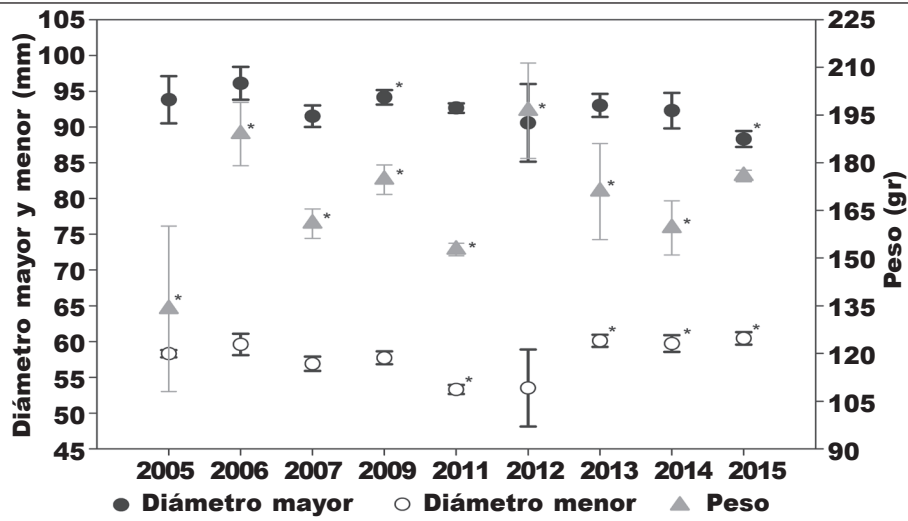


Fig. 2. Diferencias en las dimensiones de los huevos de *Grus canadensis nesiotae* en el período 2005–2015. Se muestran el valor medio y el error estándar: * Diferencias significativas entre los años.

Fig. 2. Differences in egg size of *Grus canadensis nesiotae* in the 2005–2015 period. Mean and standard error are shown: * Significant differences between years.

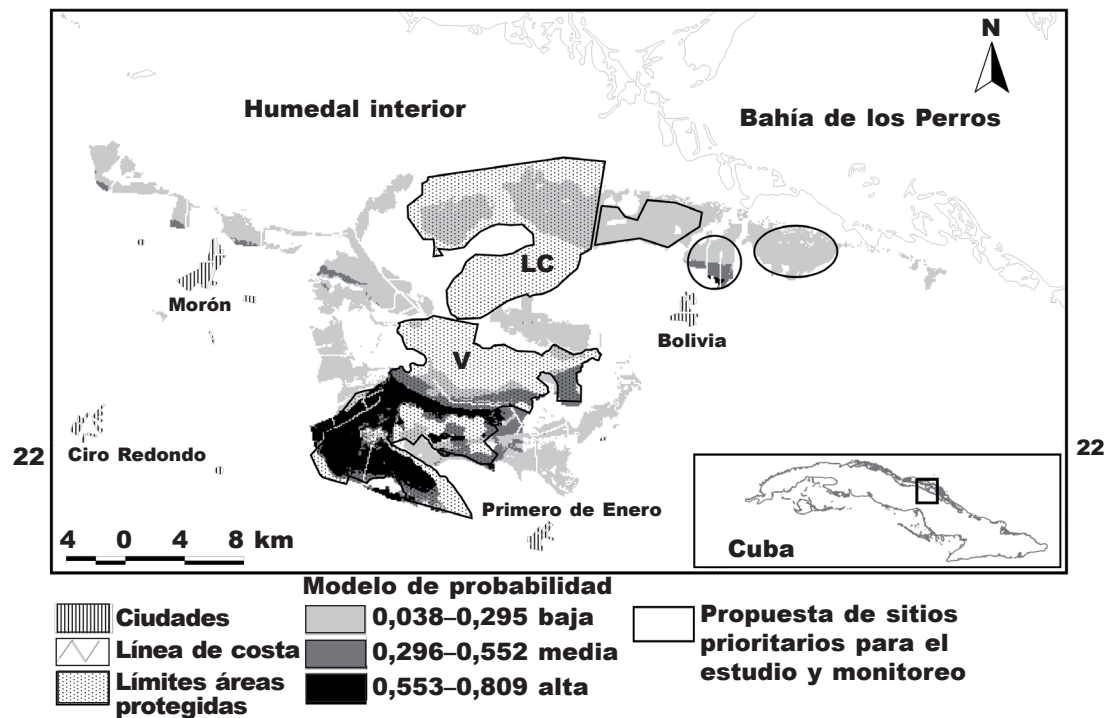


Fig. 3. Distribución geográfica potencial de las áreas de anidación de *Grus canadensis nesiotae* en la región central de Cuba. Áreas protegidas con administración: LC. Refugio de Fauna Loma de Cunagua; V. Refugio de fauna El Venero

Fig. 3. Potential geographical distribution of nesting areas of *Grus canadensis nesiotae* in the central region of Cuba. Government Protected Areas: LC. Fauna Loma de Cunagua Refuge; V. El Venero Refuge.

Tabla 2. Contribución relativa e importancia de la permutación de las variables ambientales al modelo de distribución geográfica potencial de las áreas de anidación de *Grus canadensis* nesiotas en la región central de Cuba: PC. Porcentaje de contribución; IP. Importancia de la permutación.

Table 2. Relative contribution and importance of permutation of environmental variables in the model of potential geographical distribution of *Grus canadensis* nesiotas in the central region of Cuba: PC. Contribution rate; IP. Importance of permutation.

Variable	PC	IP
Uso de suelo-vegetación	37,3	0
Superficie herbazal ciénaga	35,1	33,3
Distancia cultivos	17,6	53,5
Distancia fuentes de agua	7,2	5,5
NDVI	1,8	0,8
Superficie cultivos	0,6	2,2
Superficie pastizal	0,3	0,2
Distancia pastizal	0,1	3,5
Distancia urbano	0,1	0,4
Superficie bosque	0	0,5

A pesar de que las grullas son especies acuáticas, existen variaciones dentro de este grupo definidas por las zonas geográficas y tipos de ecosistemas. En relación con *G. canadensis*, se observa la construcción de nidos sobre el agua en extensos humedales y sobre el suelo seco en herbazales (Littlefield, 2001) y sabanas de arenas silíceas (Gálvez et al., 2005). Las dos variantes (agua y suelo) se registraron en este estudio. Aunque existan áreas inundadas dentro del humedal, el uso de zonas húmedas puede estar relacionado con el comportamiento territorial de las parejas, sobre todo si tuvieron éxito en la etapa reproductiva precedente.

El período de anidación observado coincide con los registros de Gálvez et al. (2005) y se encuentra dentro del intervalo que proponen Bennet & Bennet (1990) y Dwyer & Tanner (1992) para *G. c. pratensis*. La cronología de anidación en *G. c. pratensis*, *G. c. pulla* y *G. c. nesiotas* está estrechamente relacionada con la época de lluvias y el nivel de agua en los humedales (Bennet & Bennet, 1990; Gálvez et al., 2005). En la zona del estudio, el inicio de la anidación se retrasó en los años en que hubo sequía intensa y la localización de la mayoría de los nidos se extendió hasta junio. Por el mismo motivo se produjo un retraso cronológico de la anidación de *G. c. pratensis* en los humedales de Florida (Folk, 2014).

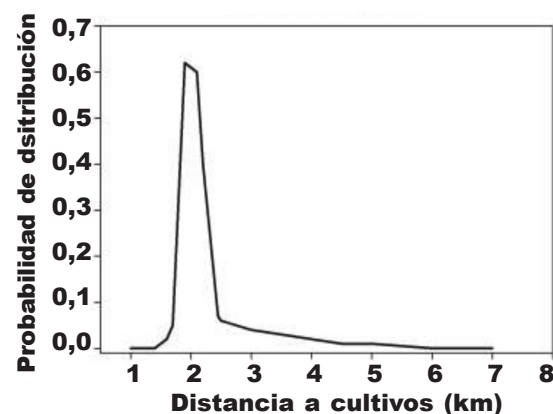
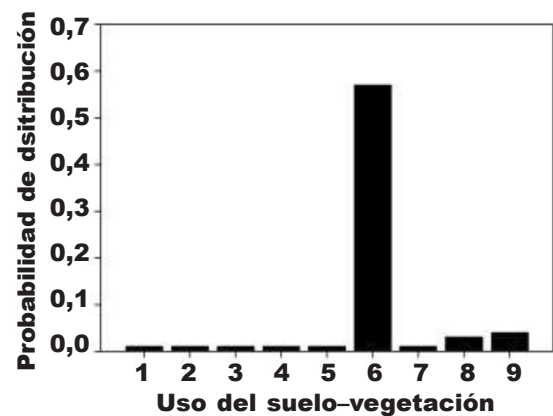
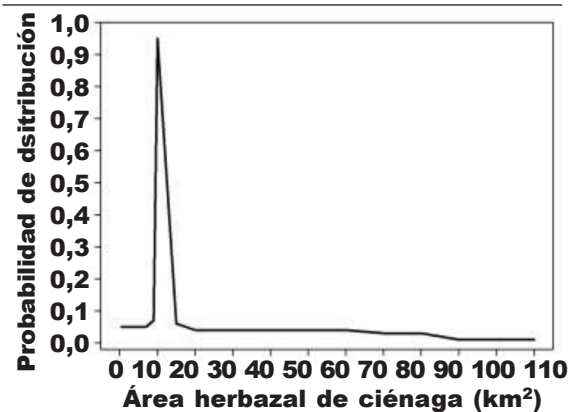


Fig. 4. Curvas de respuesta de las variables con la mayor contribución a las predicciones de MaxEnt. Modelo de nidos de *Gus canadensis* nesiotas en la región central de Cuba. Uso de suelo-vegetación: 1. Urbano; 2. Bosque; 3. Laguna; 4. Manglar; 5. Vegetación costera; 6. Herbazal de ciénaga; 7. Maleza; 8. Cultivos y 9. Pastizal.

Fig. 4. Response curves of the variables with the highest contribution to the predictions of MaxEnt. *Grus canadensis* nesiotas nest model in the central region of Cuba. Land use-vegetation: 1. Urban; 2. Forest; 3. Lagoon; 4. Mangrove; 5. Coastal vegetation; 6. Swamp grassland; 7. Scrub; 8. Farming land; and 9. Cattle pasture.

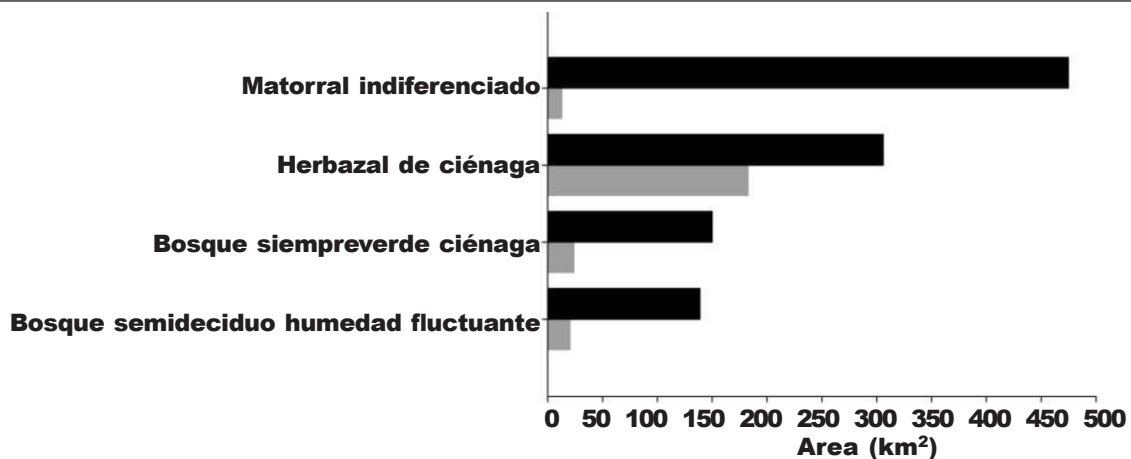


Fig. 5. Extensión de los tipos de vegetación natural (barras grises) que componen la distribución geográfica potencial del área de anidación de *Grus canadensis nesiototes* respecto a su extensión en la zona del estudio (barras negras).

Fig. 5. Extension of the natural vegetation types (gray bars) that compose the potential geographical distribution of nesting areas of *Grus canadensis nesiototes* in relation to the extension in the study area (black bars).

Un aspecto que puede verse influido por el sitio de localización de los nidos (agua y suelo) y la abundancia de precipitaciones es la dimensión de los nidos. Los que figuran en este estudio fueron mayores que los que se construyeron en lugares secos y lejanos de fuentes de agua, que no necesitan tamaños grandes para evitar inundaciones (Gálvez et al., 2005). Las medidas observadas están en el intervalo de dimensiones registradas para *G. c. pratensis* en Loxahatchee (Thompson, 1970).

En general, el tamaño de nidada de la subespecie cubana es similar al referido por Nesbitt (1988) para *G. c. pratensis*. Registraron otros valores mayores Thompson (1970) (1,84 huevos/nido), Walkinshaw (1981) (1,94 huevos/nido) y Nesbitt et al. (2001) (1,8 huevos/nido). El valor de los índices reproductivos varía entre poblaciones y subespecies en función de la disponibilidad de alimentos y el tipo de ecosistema. La dimensión de los huevos puede variar de forma parecida. Estos registros en *G. c. nesiototes* fueron similares a los registrados para *G. c. pratensis* (Littelfield, 2001), pero las variaciones entre años pueden relacionarse con la variabilidad de precipitaciones antes de la época reproductiva, que determinan la disponibilidad de alimentos.

Por otra parte, la influencia de la superficie de herbazales y la distancia a cultivos en la probabilidad de presencia de los nidos de *G. c. nesiototes* concuerda con los aspectos ecológicos de la especie. En todas las poblaciones de la especie nominal se ha documentado el uso de paisajes agrícolas y pastizales como zonas de alimentación (Krapu et al., 2014). De igual forma, en la zona del estudio se registran mensualmente individuos, tríos y grupos de grullas alimentándose en herbazales, pastizales y cultivos

(Ferrer & Ruiz, 2009). A pesar de las largas distancias que puede recorrer esta especie, la proximidad a cultivos durante la etapa de anidación podría estar relacionada con la obligación de los individuos de relevarse (dos veces en el día) para incubar los huevos (Nesbitt, 1988).

La selección de fragmentos de herbazales de tamaños intermedios para la anidación podría relacionarse con la pequeña extensión de estos hábitats en la zona del estudio y con la capacidad de carga. Los fragmentos más grandes se encuentran hacia la zona costera, donde existen otras amenazas (p. ej., ganado introducido que ha provocado sobrepastoreo) y cambios en la estructura del estrato herbáceo debido a la influencia marina. Los fragmentos más pequeños están próximos a bosques y otros ambientes con depredadores potenciales de huevos y polluelos. La población no es grande (102 individuos; Gálvez & Chávez-Ramírez, 2010) y, por tanto, los individuos no tienen que desplazarse a humedales más pequeños y expuestos para anidar, como ha ocurrido con *G. canadensis* en Norteamérica (Harris & Mirande, 2013).

Esta información tiene implicaciones para la conservación de *G. c. nesiototes* en los humedales. Los administradores de AP pueden gestionar los hábitats (p. ej., incendios controlados) para obtener las condiciones óptimas para la anidación. Según los resultados, estas zonas de herbazales de ciénaga dentro de las AP deben permanecer como áreas de conservación estricta, y debe prestarse especial atención en la época de reproducción de la subespecie, pues son las únicas zonas utilizadas para la anidación y cría de polluelos. La dependencia de los humedales hace a las grullas vulnerables ante el inminente cambio

climático (Chávez–Ramírez & Wehtje, 2012), que conlleva variaciones de la cantidad e intensidad de las precipitaciones y el aumento de las temperaturas y del nivel del mar. Estos posibles cambios afectarán a la calidad de los humedales y disminuirán su disponibilidad (p. ej., Johnson et al., 2005; Day et al., 2008). Por ello, a la hora de planificar la gestión de la especie, es necesario que las medidas de conservación que se emprendan en el humedal en el presente y el futuro tengan en cuenta los sitios en los que se indique que existe probabilidad de distribución de zonas de anidación, dentro y fuera de las AP, así como las variables que influyen en esta probabilidad de distribución.

Agradecimientos

Se agradece al equipo técnico de El Venero el apoyo en el trabajo de campo y a la Empresa Nacional para la Protección de la Flora y la Fauna. A tres revisores anónimos sus comentarios y sugerencias para mejorar la versión inicial del manuscrito.

Referencias

- Baker, B. W., Cade, B. S., Mangus, W. L. & McMillen, J. L., 1995. Spatial analysis of sandhill crane nesting habitat. *The Journal of Wildlife Management*, 59: 752–758.
- Barve, N., 2008. *Tool for partial-ROC*, ver 1.0. Biodiversity Institute, Lawrence, KS.
- Bennett, A. J. & Bennett, L. A., 1990. Productivity of Florida sandhill cranes in the Okefenokee Swamp, Georgia. *Journal of Field Ornithology*, 61: 224–231.
- Chávez–Ramírez, F. & Wehtje, W., 2012. Potential Impact of Climate Change Scenarios on Whooping Crane Life History. *Wetlands*, 32: 11–20.
- Day, J. W., Christian, R. R., Boesch, D. M., Yáñez–Arancibia, A., Morris, J., Twilley, R. R., Naylor, L., Schaffner, L. & Stevenson, C., 2008. Consequences of climate change on the ecogeomorphology of coastal wetlands. *Estuaries and Coasts*, 31: 477–491.
- Depkin, F. C., Brandt, L. A. & Mazzotti, F. J., 1994. Nest sites of Florida sandhill cranes in Southwestern Florida. *Florida Field Naturalist*, 22: 39–47.
- Dwyer, N. C. & Tanner, G. W., 1992. Nesting success in Florida sandhill cranes. *Wilson Bulletin*, 104: 22–31.
- Eliith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. & Yates, C. J., 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distribution*, 17: 43–57.
- Ellis, D. H., Gee, G. F., Hereford, S. G., Olsen, G. H., Chisolm, T. D., Nicolich, J. M., Sullivan, K. A., Thomas, N. J., Nagendran, M. & Hatfield, J. S., 2000. Post–release survival of hand–reared and parent–reared Mississippi sandhill cranes. *The Condor*, 102: 104–112.
- Ferrer, Y. & Ruiz, I., 2009. Patrón de actividad diurna de la Grulla Cubana (*Grus canadensis nesiotés* Gundlach, 1875) en el refugio de fauna El Venero, Cuba. *Mesoamericana*, 13: 6–12.
- Ferrer Sánchez, Y., Denis Ávila, D. & Ruiz Companioni, I., 2010. Caracterización y selección del sitio de anidación de la Grulla Cubana (*Grus canadensis nesiotés*) en el herbazal del refugio de fauna El Venero, Cuba. *Animal Biodiversity and Conservation*, 33.1: 1–11.
- Ferrer–Sánchez, Y. & Rodríguez–Estrella, R., 2015. Man–made environments relationships with island raptors: endemics do not cope with habitat changes, the case of the island of Cuba. *Biodiversity and Conservation*, 24: 407–425.
- Folk, M. J., 2014. Late–season nesting by Florida sandhill cranes (*Grus canadensis pratensis*). *Florida Field Naturalist*, 42: 66–69.
- Franklin, J., 2009. *Mapping species distributions: spatial inference and prediction*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Frederick, P. C. & Powell, G. V., 1994. Nutrient transport by wading birds in the Everglades. En: *Everglades: The ecosystem and its restoration*: págs. 571–584 (S. M. Davis & J. C. Ogden, Eds.). CRC Press, Florida.
- Gálvez, X., Berovides, V. & Chávez–Ramírez, F., 2005. Nesting ecology and productivity of the Cuban sandhill crane on the Isle of Youth, Cuba. *Proceeding of the North American Crane Workshop*, 9: 225–236.
- Gálvez, X. & Chávez–Ramírez, F., 2010. Distribution, abundance, and status of Cuban sandhill cranes (*Grus canadensis nesiotés*). *The Wilson Journal of Ornithology*, 122: 556–562.
- Gálvez, X. & Ferrer, Y., 2012. *Grus canadensis nesiotés*. En: *Libro rojo de los vertebrados de Cuba*: 219–220 (H. González Alonso, L. Rodríguez Shettino, A. Rodríguez, C. A. Mancina & I. García Ramos, Eds.). Editorial Academia, La Habana.
- Harris, J. & Mirande, C., 2013. A global overview of cranes: status, threats and conservation priorities. *Chinese Birds*, 4: 189–209.
- Hoyt, D., 1979. Practical methods of estimating volume and fresh weight of bird eggs. *The Auk*, 103: 613–617.
- Johnsgard, P. A., 2008. Cranes of the World in 2008: A Supplement to Crane Music. *Papers in Ornithology*, paper 45, <http://digitalcommons.unl.edu/biosciornithology/45> [Accessed on February 2017].
- Johnson, W. C., Millett, B. V., Gilmanov, T., Voldseth, R. A., Guntenspergen, G. R. & Naugle, D. E., 2005. Vulnerability of northern prairie wetlands to climate change. *BioScience*, 55: 863–872.
- Krapu, G. L., Brandt, D. A., Kinzel, P. J. & Pearse, A. T., 2014. Spring migration ecology of the mid–continent sandhill crane population with an emphasis on use of the Central Platte River Valley, Nebraska. *Wildlife Monographs*, 189: 1–41.
- Kushlan, J. A., 1993. Colonial waterbirds as bioindicators of environmental change. *Colonial Waterbirds*, 16: 223–251.
- Layne, J. N., 1983. Productivity of sandhill cranes in South Central Florida. *Journal of Wildlife Management*, 47: 178–185.
- Littlefield, C. D., 2001. Sandhill crane nest and egg

- characteristic at Malheur National Wildlife Refuge, Oregon. *Proceeding of the North American Crane Workshop*, 8: 40–44.
- Liu, C., Berry, P. M., Dawson, T. P. & Pearson, R. G., 2005. Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography*, 28: 385–393.
- Lobo, J. M., Jiménez-Valverde, A. & Real, R., 2008. AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography*, 17: 145–151.
- Nesbitt, S. A., 1988. Nesting, re-nesting, and manipulating nesting of Florida sandhill cranes. *Journal of Wildlife Management*, 52: 758–763.
- Nesbitt, S. A., Folk, M. J., Schwikert, S. T. & Schmidt, J. A., 2001. Aspects of reproduction and pair bonds in Florida sandhill cranes. *Proceeding of the North American Crane Workshop*, 8: 31–35.
- Peterson, A. T., Papes, M. & Soberón, J., 2008. Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecological Modelling*, 213: 63–72.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P. & Schapire, R. E., 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190: 231–259.
- Thompson, R. L., 1970. Florida sandhill crane nesting on Loxahatchee National Wildlife Refuge. *The Auk*, 87: 492–502.
- Vladimirtseva, M., 2012. Ecological features of tundra cranes in north-eastern Siberia (Aves, Gruidae). *Biodiversity Journal*, 3: 49–54.
- Walkinshaw, L. H., 1981. The sandhill cranes. En: *Crane research around the world*: págs. 151–162 (J. C. Lewis & H. Masatomi, Eds.). ICF, Wisconsin.
- Wang, Z., Li, Z., Beauchamp, G. & Jiang, Z., 2011. Flock size and human disturbance affect vigilance of endangered red-crowned cranes (*Grus japonensis*). *Biological Conservation*, 144: 101–105.
- Williams, L. E., Jr. & Phillips, R. W., 1972. North Florida sandhill crane populations. *The Auk*, 89: 541–548.
-