



Densidad poblacional y factores de riesgo del cardenal rojo (*Cardinalis cardinalis saturatus*) de la Isla de Cozumel, México

Population density and risk factors for the Northern Cardinal (*Cardinalis cardinalis saturatus*) on Cozumel Island, Mexico

Jonathan Morales-Contreras^{1,2} , Ubaldo Márquez-Luna^{3*} , Anahí Guzmán-Saucedo⁴ , Citlalli Irais Cruz-Mugartegui⁵ , Luis-Bernardo Vázquez^{1*}

¹ Grupo de Investigación en Ecología, Paisaje y Sustentabilidad. El Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México

²Ayototl A. C., Nezahualcóyotl, México

³Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa, Ciudad de México, México

⁴Universidad Autónoma Metropolitana, Coyoacán. Ciudad de México, México

⁵El Colegio de la Frontera Sur. Campeche, Campeche, México

* Autor de correspondencia: lbvazquez@ecosur.mx, jonathan_contr@hotmail.com

Resumen

El cardenal rojo de Cozumel (*Cardinalis cardinalis saturatus*) es un ave endémica insular, la cual ha sido poco estudiada, las características sobre su estado poblacional y biología básica se desconocen. En 2017 y 2019 evaluamos: (i) la densidad y tamaño poblacional del cardenal rojo de Cozumel con el muestreo de distancias en trayectos lineales, (ii) la asociación del ave con cuerpos de agua y asentamientos humanos, y (iii) si las actividades de la cacería de esta ave y la tala sobre los senderos inciden en la probabilidad de presencia del cardenal rojo de Cozumel. Estimamos una densidad de 0.1686 ± 0.0452 individuos/ha y un tamaño poblacional de aproximadamente 5693 individuos para las selvas de la Isla de Cozumel. No encontramos relación del ave con los cuerpos de agua y asentamientos humanos. Sin embargo, encontramos que la probabilidad de registrar al cardenal rojo de Cozumel es mayor en senderos donde no se registró actividades asociadas a la cacería de esta ave (0.28 probabilidad) y en senderos con presencia de tala de árboles (0.25 probabilidad). Recomendamos que el cardenal rojo de Cozumel sea incluido dentro de la lista del gobierno mexicano de especies en riesgo (NOM-059) como “Amenazado”, con base en su vulnerabilidad biológica, distribución restringida y actividades antropogénicas que afectan a su población y hábitat.

Palabras clave: abundancia, especie amenazada, estado de conservación, muestreo de distancias, paseriforme, cacería.

Abstract

The Northern Cardinal (*Cardinalis cardinalis saturatus*) is a poorly studied island endemic bird, its population status and basic biology remain unknown. In 2017 and 2019 we evaluated: (i) the density and population size of the Northern Cardinal in Cozumel Island by distance sampling using line transects, (ii) the association of the species with water bodies and human settlements, and (iii) whether activities

INFORMACIÓN SOBRE EL ARTÍCULO

Recibido:

23 enero 2022

Aceptado:

26 julio 2022

Editora Asociada:

Katherine Renton

Contribución de cada uno de los autores:

Idea original y diseño del estudio: JMC, UML, CIC. Investigación en campo: JMC, UML, AGS, LBV, CIC. Análisis de datos: JMC, UML, AGS, LBV, CIC. Redacción del artículo: JMC, UML, AGS, LBV. Revisión del manuscrito y respuestas a revisores: JMC, UML, LBV, CIC. Todos los autores revisaron y acordaron la versión publicada del manuscrito.

Cómo citar este documento:

Morales-Contreras, J, Márquez-Luna, U, Guzmán-Saucedo, A, Cruz-Mugartegui, CI, Vázquez, L-B. 2022. Densidad poblacional y factores de riesgo del cardenal rojo (*Cardinalis cardinalis saturatus*) de la Isla de Cozumel, México.. Huitzil Revista Mexicana de Ornitología 23(2): e-639. DOI: <https://doi.org/10.28947/hrmo.2022.23.2.644>

of capture of this bird and logging on transects influence the probability of presence of the Northern Cardinal. We estimate a density of 0.1686 ± 0.0452 individuals/ha and a population size of approximately 5693 individuals for the forests of Cozumel Island. We found no relationship between the species and water bodies and human settlements. However, we found that the probability of registering the Northern Cardinal was higher on transects where no activities associated with hunting were recorded (0.28 probability) and on transects with signs of logging (0.25 probability). We recommend that the Northern Cardinal (*C. c. saturatus*) on Cozumel Island should be included in the Mexican government's list of species at risk (NOM-059) as "Threatened", based on its biological vulnerability, restricted distribution, and anthropogenic activities that affect its population and habitat.

Keywords: abundance, conservation status, Passeriforme, threatened species, distance sampling, hunting.



Esta obra está bajo una licencia
de Creative Commons Reconocimiento No Comer-
cial-Sin Obra Derivada 4.0 Internacional.

Introducción

El cardenal rojo (*Cardinalis cardinalis*) es un ave de gran importancia ecológica por depredar, dispersar y controlar la propagación de semillas, a su vez actúa como regulador de poblaciones de insectos ya que constituyen parte importante de su dieta (Halkin et al. 2021). Además de ser un ave que brinda servicios ecosistémicos regulatorios y de aprovisionamiento (Patankar et al. 2021), esta especie tiene gran importancia cultural a lo largo de su distribución pues representa un vínculo crucial entre la naturaleza y la humanidad (Halkin et al. 2021)

La distribución geográfica del cardenal rojo abarca desde el sureste de Canadá hasta el Norte de Centroamérica (Halkin et al. 2021). A lo largo de su distribución esta especie ocupa una gran variedad de hábitats como matorrales, pastizales, campos de cultivo, bosques riparios, manglares, e incluso puede estar presente en ambientes modificados por el hombre como ciudades (Halkin et al. 2021). En México son reconocidas seis subespecies con base en análisis de ADN mitocondrial y modelos de nicho ecológico (Smith et al. 2011): en el noreste del país se distribuye *C. c. cardinalis*; al noroeste *C. c. igneus*; en la parte de la costa del Pacífico (Güerrero, Oaxaca y Chiapas) se reconoce a *C. c. carneus* y en el sureste *C. c. coccineus*; mientras que a escala insular se reconocen dos subespecies, en las islas Marías a *C. c. mariae* y en la Isla de Cozumel *C. c. saturatus*.

El cardenal rojo de Cozumel (*Cardinalis cardinalis saturatus*) se distribuye en un área de gran im-

portancia para la conservación de aves (MacKinon 2017), comparte hábitat con otras aves endémicas como *Toxostoma guttatum*, *Vireo bairdi*, *Cynanthus forficatus* y *Crax rubra griscomi* (Cuarón 2009). La población de esta ave endémica podría encontrarse en una situación vulnerable por su restringida distribución, donde las condiciones bioclimáticas y biogeográficas son únicas. Además, el cardenal rojo de Cozumel se enfrenta a fenómenos naturales como huracanes e inundaciones (Perdomo-Velázquez et al. 2017), así como factores antropogénicos como la introducción de especies exóticas, cacería, fragmentación del hábitat y transformación del paisaje, los cuales podrían tener influencia sobre su población, tal y como ocurre con otras especies de la isla (Martínez-Morales y Cuarón 1999; Romero-Nájera et al. 2006; Palafox-Muñoz y Collantes-Chávez 2009; Morales-Contreras et al. 2020, 2022). Aunado a esto, su tamaño poblacional actual se desconoce, así como muchas de sus características biológicas y amenazas. Por lo anterior, se vuelve necesario conocer parámetros como el tamaño poblacional y densidad del cardenal rojo de Cozumel para proponer estrategias de conservación (Mandujano-Rodríguez 2011).

Se reporta que el ámbito hogareño de cardenal rojo es menor a 20 hectáreas y rara vez se mueve más allá de su territorio de origen (< 1 km; Fitch 1958; Dow 1969). Bajo este contexto, y considerando que existen reportes que sugieren que la abundancia del cardenal rojo de Cozumel dentro de la isla podría verse afectada por presiones naturales (huracanes y tormentas tropicales; Perdomo-Velázquez et al. 2017) esperamos que el cardenal rojo de Cozumel 1) tenga un tamaño poblacional

reducido en comparación con sus congéneres continentales. Existen reportes de que indican que varias especies de fauna se agregan en los cenotes y/o aguadas de la isla (Palacios-Aldana 2017; Martínez-Morales 1999) y que su tamaño poblacional se ha incrementado en los ambientes urbanos en comparación con las áreas que conservan vegetación nativa (Sauer et al. 2013). 2) Debido a lo anterior, esperamos que esta ave se encuentre asociada con los cuerpos de agua y los asentamientos humanos. Finalmente, hay registro de las presiones antropogénicas persistentes dentro de la isla (cacería, tala y comercio ilegal; González-Herrera et al. 2018) que podrían incidir negativamente sobre la población del cardenal rojo de Cozumel. 3) Con base en lo anterior, esperamos que la probabilidad de registrar el cardenal sea mayor en sitios donde no se presenten estas actividades.

En el presente estudio pusimos a prueba estos supuestos, mediante los siguientes objetivos: (1) conocer la densidad y tamaño poblacional del cardenal rojo de Cozumel, (2) identificar si la presencia de este paseriforme está asociada a cuerpos de agua y asentamientos humanos, (3) evaluar si la probabilidad de incidencia está asociada a la distancia de los asentamientos humanos y a la presencia de actividades de cacería y tala en dichos senderos. Este estudio pretende aportar información sobre la densidad y tamaño poblacional del cardenal rojo de Cozumel y su relación con diversos factores para determinar si la población de esta ave se encuentra en riesgo.

Métodos

Área de estudio

La Isla de Cozumel (Figura 1) se localiza a menos de 20 km al noreste de la península de Yu-

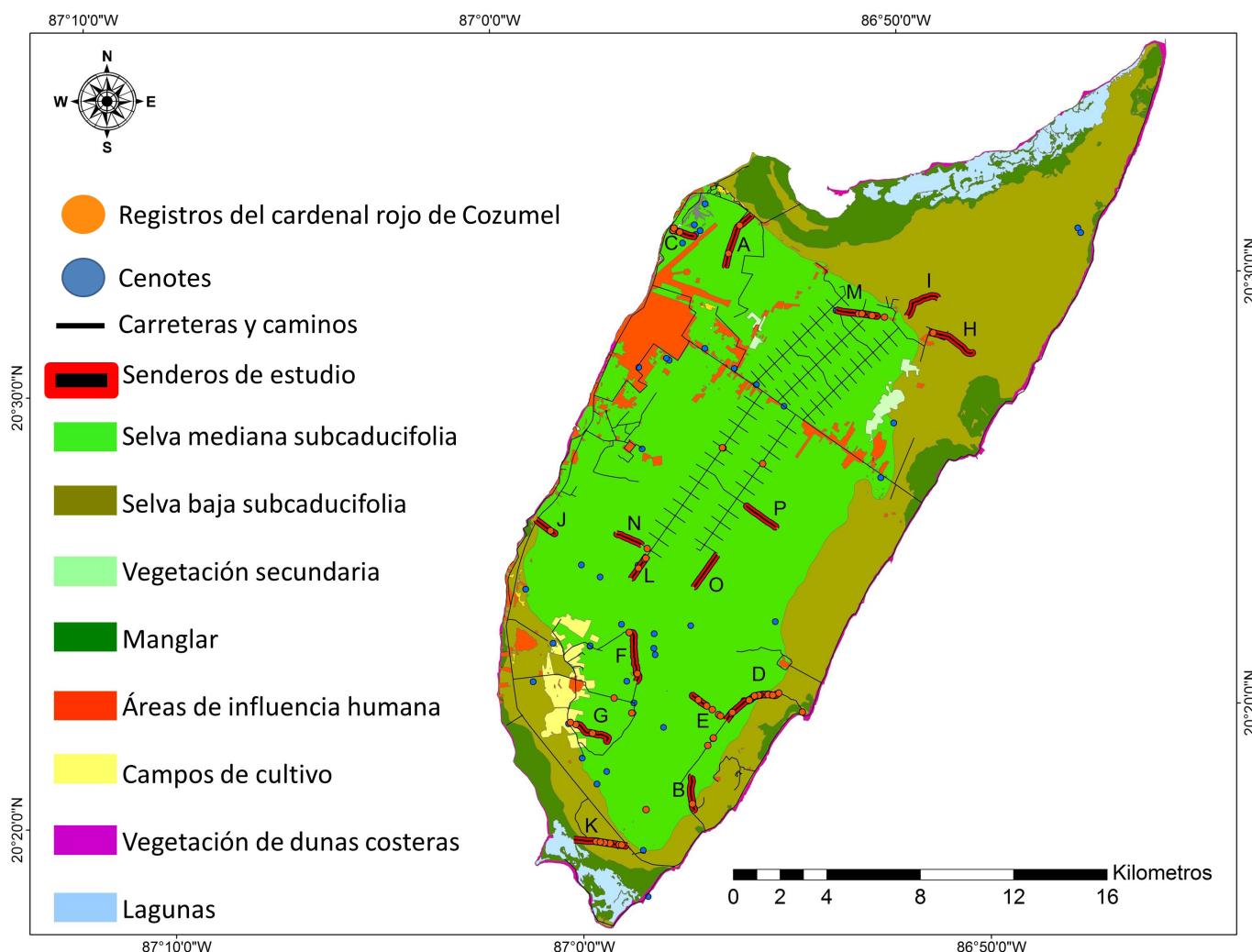


Figura 1. Mapa de Isla Cozumel. Se muestran los principales tipos de vegetación presentes en la isla. Los puntos azules representan la ubicación de los cenotes, mientras que los puntos naranjas representan los registros del cardenal rojo de Cozumel. Las líneas negras son los caminos y carreteras de la Isla, mientras que las líneas rojinegras representan los senderos utilizados en este estudio. La letra asociada a cada sendero corresponde a las usadas en la Tabla 1.

catán ($20^{\circ} 26' N$, $86^{\circ} 55' O$). Es de origen coralino y comprende un total de 478 km^2 , siendo la isla Oceánica de mayor superficie del Caribe mexicano (Cuarón 2009). La isla presenta un tipo de suelo de carácter kárstico y no cuenta con cuerpos de agua superficiales, por lo que el acceso a este recurso es través de aguadas y cenotes (Cuarón 2009). La temperatura media anual es de 27.2°C , mientras que la precipitación media anual es de 1207.5 mm (SMN 2021). Las temporadas de secas (diciembre-mayo) y lluvias (junio-noviembre) están bien definidas, esta última paralela a la temporada de huracanes. Presenta cinco principales tipos de vegetación: selva mediana subcaducifolia, selva baja subcaducifolia, manglar, tasital y vegetación halófila (Téllez-Valdez y Cabrera 1987).

Para conocer el estado poblacional del cardenal rojo de Cozumel utilizamos el método de muestreo de distancias en trayectos lineales (Buckland et al. 1994). El muestreo lo realizamos en 16 senderos establecidos espacialmente independientes ($>500 \text{ m}$ distancia entre estos) al interior de las selvas de la Isla de Cozumel (Figura 1), debido a que la presencia del cardenal rojo de Cozumel se ha reportado principalmente en este tipo de vegetación (MacGregor-Fors et al. 2021). Cada sendero tuvo una longitud específica de entre 1 a 3 km (Tabla 1).

Los 16 senderos se recorrieron de manera mensual en los años 2017 (julio-noviembre) y 2019 (enero-septiembre) por un único observador y un asistente de campo. Lo anterior, con el propósito de cubrir la época de lluvias y secas, así como la temporada reproductiva de marzo-septiembre, reportado para poblaciones continentales (Halkin et al. 2021). Los recorridos se iniciaron antes de la salida del sol (06:00 hrs) hasta terminar con el sendero (aprox. 10:30 hrs). Durante estos recorridos registramos la distancia perpendicular precisa a la detección de cada individuo o grupo de individuos (clúster), se utilizó una cinta métrica para distancias menores a 7 m y telémetro láser (marca Nikon Prostaff 7I) para distancias mayores a 7 m. Además, registramos las coordenadas geográficas, la fecha y hora de cada observación, así como el sexo y si el individuo observado era juvenil o adulto con base en las características de su pico y plumaje. Los juveniles de primer año se identificaron por su pico color negro y plumas color marrón en alas y cola (Halkin et al. 2021). Consideramos como un registro al avistamiento de un individuo o grupo de individuos detectados en su posición original para evitar

incumplir los supuestos del método de muestreo de distancias y la duplicación de observaciones sobre los senderos (Buckland et al. 1994). Asimismo, los individuos observados en el mismo recorrido que presentaban las mismas características fenológicas no fueron considerados como nuevos registros. El esfuerzo de muestreo acumulado fue de 115.4 km recorridos en 2017 y 250 km en 2019.

Adicionalmente, sobre los senderos evaluamos algunos factores que podrían incidir en la población del cardenal rojo de Cozumel como: (1) indicios de cacería mediante encuentros con cazadores, trampas con cardenales, presencia de cartuchos, vestigios de animales cazados y rastros de fogatas y (2) evidencia de tala por residuos de madera desechada y/o encuentro con personas realizando la actividad. Estas variables fueron propuestas con base en la información sobre perturbación antropogénica que existe sobre la vegetación y la extracción constante de individuos de esta especie (Romero-Nájera 2004; González-Herrera et al. 2018). Además, mediante un sistema de información geográfica (ArcGis 10.1; ESRI 2011) estimamos la distancia euclíadiana entre la ubicación de los registros del cardenal hacia los cuerpos de agua (cenotes y aguadas) y hacia las zonas de influencia humana (asentamientos humanos y caminos) en la Isla de Cozumel.

Análisis estadístico

Estimamos la densidad y tamaño poblacional del cardenal rojo de Cozumel con el programa Distance 7.3 (Thomas et al. 2010), considerando únicamente para este análisis los registros del año 2019, debido a que solo estos cumplían con los supuestos fundamentales del muestreo de distancias: (1) todas las aves sobre el sendero fueron detectadas, (2) las aves fueron detectadas en su posición inicial previo a cualquier movimiento en respuesta al observador y (3) las distancias ave-observador fueron medidas con precisión (Buckland et al. 1994). Con base en estos supuestos, elegimos el modelo de distribución uniforme con ajuste coseno de acuerdo con el valor más bajo del Criterio de Información Akaike (AIC, por sus siglas en inglés; ver Apéndice 1). Así mismo, consideramos los histogramas de los datos, así como las pruebas de bondad de ajuste. Además, eliminamos (truncamos) el 5% de registros que correspondían a valores atípicos ya que dificultaban el modelado de la función de detección, lo cual permitió reducir el sesgo y mantener la precisión

Tabla 1. Senderos de estudio en la Isla Cozumel. Se indican las características de cada sendero, así como la presencia de perturbaciones, la distancia a la zona de influencia humana más cercana, el número total de individuos de cardenal rojo registrados en cada sendero. La letra asignada a cada sendero corresponde a las usadas en la Figura 1. SMS = selva mediana subcaducifolia, SBS = selva baja subcaducifolia, ND = ningún dato.

| Sendero | Tipo de vegetación | Longitud del sendero (metros) | Presencia de perturbaciones sobre los senderos | | Distancia a zonas de influencia humana (m) | Cardenales registrados (n) | |
|--------------|--------------------|-------------------------------|--|---------|--|----------------------------|------|
| | | | Tala | Cacería | | 2017 | 2019 |
| A | SMS-SBS | 2700 | Sí | Sí | 464.05 | 0 | 2 |
| B | SMS | 1800 | No | No | 926.89 | 0 | 3 |
| C | SMS | 1000 | No | No | 74.63 | 5 | 3 |
| D | SBC | 3000 | Sí | No | 1246.81 | 13 | 11 |
| E | SMS | 1200 | No | No | 3050.98 | 3 | 4 |
| F | SMS | 2500 | Sí | Sí | 2188.95 | 0 | 1 |
| G | SMS | 2100 | Sí | Sí | 1339.09 | 3 | 1 |
| H | SMS-SBS | 2200 | No | No | 105.94 | 0 | 1 |
| I | SMS-SBS | 1900 | No | No | 524.8 | 0 | 0 |
| J | SMS-SBS | 1000 | No | No | 1065.41 | 1 | 1 |
| K | SBS | 2300 | No | Sí | 3247.81 | 2 | 6 |
| L | SMS | 1450 | No | No | 3886.69 | 5 | 0 |
| M | SMS | 1800 | No | Sí | 0 | 7 | 3 |
| N | SMS | 1200 | No | No | 2855.16 | 0 | 1 |
| O | SMS | 1700 | No | Sí | 4543.69 | 0 | 0 |
| P | SMS | 1600 | No | No | 2948.62 | 0 | 0 |
| Incidentales | SMS-SBS | ND | ND | ND | ND | 11 | 7 |

(Buckland et al. 1994).

Utilizando los registros de 2017 y 2019 construimos un modelo lineal generalizado (GLM, por sus siglas en inglés) con distribución de error Poisson y función de enlace log para evaluar si la distancia a cuerpos de agua (aguadas y cenotes) y zonas de influencia humana (asentamientos humanos y caminos) están asociadas a la frecuencia de registros de esta ave. Para este modelo estimamos la distancia euclíadiana entre la ubicación de cada registro del *C. c. saturatus* con (1) los cuerpos de agua y (2) las zonas de influencia humana. Adicionalmente, se construyó un modelo lineal generalizado mixto (GLMM, por sus siglas en inglés) con distribución de error binomial y función de enlace logit para evaluar si la probabilidad de registrar al cardenal rojo de Cozumel está influenciada por (1) las perturbaciones evidentes sobre los senderos como: tala y caza, así como por (2) la cercanía de los senderos

a los asentamientos humanos. En este modelo se incluyó la identidad de los senderos como un efecto aleatorio y utilizamos datos de presencia (1) y ausencia (0) del cardenal rojo de Cozumel sobre cada uno de los senderos a lo largo de la duración de este estudio, considerando el total de recorridos en cada sendero. Los modelos se realizaron con el software R v.3.5.3 (R Core Team 2019) mediante el paquete lme4 (Bates et al. 2015).

Resultados

En 2017 obtuvimos 36 registros del cardenal rojo de Cozumel (Tabla 1), que correspondían a 50 individuos de los cuales 22 eran hembras, 20 machos y ocho juveniles, observamos grupos pequeños de 2 a 4 individuos en 25% de los casos ($n = 9$), mientras que el 75% permaneció en solitario ($n = 27$). El registro de juveniles estuvo presente en los meses de julio y septiembre. Para 2019 obtuvimos

31 registros (Tabla 1), que corresponden a 44 individuos, 17 eran hembras y 27 machos, ningún juvenil. Observamos grupos pequeños de 2-3 aves en el 32% de los casos ($n = 10$) y el 68% de los registros fueron de individuos solitarios ($n = 21$). La mayor cantidad de registros para ambos años ocurrió entre las 06:00 y las 09:00 hrs. Los avistamientos ocurrieron en 13 de los 16 senderos establecidos, la mayoría al sureste de la Isla de Cozumel (Figura 1).

Con los registros de 2019 estimamos una densidad poblacional para el cardenal rojo de Cozumel de 0.1686 ± 0.0452 individuos/ha (CI 95%: 0.101-0.284) y un tamaño poblacional de 5693 ± 1526 individuos (IC 95% 3380-9588) para las 337.66 km² de selvas en la Isla de Cozumel (Romero-Nájera 2004). Sin embargo, si la extrapolación considera la extensión total de la isla (478 km²), la estimación alcanza los 8094 ± 2169 individuos (IC 95%: 4805-13633) y un tamaño promedio del clúster de 1.4 individuos/km².

En nueve de los 16 senderos muestreados no registramos perturbación por caza o tala (52%), mientras que cuatro senderos presentaron únicamente un tipo de actividad antropogénica (25%) y solo en tres senderos obtuvimos registros de ambas perturbaciones (19%). El mayor registro de cardenales (24) ocurrió en el sendero 'D' donde solo se observó perturbación por tala. Además, en seis senderos registramos indicios de cacería y trampeo (dos trampas con cardenales macho en su interior). Por otro lado, en cuatro de los 16 senderos recorri-

dos registramos tala (Tabla 1).

Los resultados de los modelos lineales generalizados indicaron que la frecuencia de registros del cardenal rojo de Cozumel no fue asociada a la distancia hacia los cuerpos de agua ($X^2_1 = 0.17$, $P = 0.675$) ni a la distancia hacia los asentamientos humanos ($X^2_1 = 2.30$, $P = 0.129$). Mientras que los resultados del modelo lineal generalizado mixto indicaron que la presencia del cardenal rojo de Cozumel estaba asociada positivamente a senderos donde se registró tala de árboles y negativamente con presencia de actividades asociadas a la cacería (Tabla 2). Además, el GLMM sugiere que existe mayor probabilidad de registrar al cardenal rojo de Cozumel en senderos con presencia de tala de árboles (Probabilidad = 0.25; IC = 0.07-0.60), en comparación con senderos sin presencia de tala (Probabilidad = 0.17; IC = 0.08-0.32). Además, la probabilidad de registrar un cardenal rojo de Cozumel es mayor en senderos donde no registramos actividades asociadas a la caza (0.28; IC = 0.07-0.68) en comparación con senderos donde registramos evidencia de cacería (0.25; IC = 0.07-0.60).

Discusión

Variables que influyen sobre densidad y presencia de la especie

La densidad estimada de 0.16 individuos/ha del cardenal rojo de Cozumel en la presente evaluación es baja en comparación con lo reportado por otros estudios sobre poblaciones continentales del carde-

Tabla 2: Resumen del modelo lineal generalizado mixto (GLMM) evaluando si la probabilidad de encuentro con un cardenal rojo de Isla Cozumel está influenciada por la distancia entre los senderos y las zonas de influencia humana, así como por la presencia de tala y cacería sobre los senderos de estudio. Los asteriscos representan la interacción entre dos variables predictoras.

| Variables predictoras | Estimador | Error estándar | Z | P |
|---|-----------|----------------|-------|----------|
| Distancia senderos a influencia humana | 0.0001 | 0.0002 | 0.732 | 0.464 |
| Presencia de tala sobre senderos | 0.187 | 0.002 | 76.21 | < 0.0001 |
| Presencia de cacería sobre senderos | -0.101 | 0.002 | 41.02 | < 0.0001 |
| Distancia senderos a influencia humana * Presencia de cacería | -0.0001 | 0.0003 | -0.50 | 0.612 |
| Distancia senderos a influencia humana * Presencia de tala | 0.0001 | 0.0005 | 0.370 | 0.712 |
| Efecto aleatorio | Varianza | SD | | |
| Identidad del sendero | 1.35 | 1.16 | | |

nal rojo (1 – 2 individuos/ha; Tabla 3). En el único estudio en México, Tramer (1974) reportó para Yucatán una densidad de 4 y 2 individuos de *C. cardinalis* por cada 2.4 hectáreas en parcelas forestales semiconservadas y conservadas respectivamente, concluyendo que el cardenal era una especie común en su área de estudio. Este patrón de abundancia se mantiene a lo largo de la distribución continental del cardenal rojo donde se considera una especie común o abundante (Halkin et al. 2021). Sin embargo, en la Isla de Cozumel el cardenal puede ser considerado poco común o raro. Perdomo-Velázquez et al. (2017) evaluaron el efecto de los huracanes sobre las aves de sotobosque en la Isla de Cozumel durante el 2004-2007. En este periodo lograron capturar solo ocho individuos de cardenal rojo mediante redes de niebla con un esfuerzo de 7,074 horas-red (Perdomo-Velázquez et al. 2017).

En los muestreos de los dos años 2017 y 2019, obtuvimos un número similar de 36 y 31 registros respectivamente, y un total similar de cardenales observados (50 y 44 respectivamente). Se esperaría tener un mayor número de registros en 2019 ya que ese muestreo incluyó la totalidad de la época reproductiva reportada para la especie en el continente (marzo-septiembre; Halkin et al. 2021). Sin embargo, en 2019 no registramos ningún volantón en los

muestreos en la Isla de Cozumel. Una posible explicación a la falta de registro de individuos juveniles durante el muestreo de 2019 sería un alto nivel de depredación de nidos o volantones. En este sentido, Filliater et al. (1994) reportan que la tasa de éxito de los nidos de cardenal rojo en Ohio, Estados Unidos alcanza solamente un 15%. La baja productividad de la especie y sus fluctuaciones anuales podrían estar asociadas a un alto índice de depredación de sus nidos (Filliater et al. 1994; Leston y Rodewald 2006). En Isla de Cozumel se introdujo la *Boa constrictor* desde 1971 y se considera un riesgo para la diversidad biológica de la isla ya que sus presas incluyen anfibios, reptiles, mamíferos pequeños y huevos de aves (Martínez-Morales y Cuarón 1999). Otro depredador exótico que podría incidir negativamente en la población del cardenal rojo de Cozumel es *Leopardus wiedii* del que existe el primer registro desde el 2004 (Valenzuela-Galván et al. 2021). Una alta tasa de depredación podría explicar parcialmente nuestros resultados. No obstante, es necesario realizar investigaciones específicas que corroboren este supuesto.

Relación del cardenal rojo hacia los cuerpos de agua y asentamientos humanos

Tabla 3. Resumen de los estudios que reportan las densidades del cardenal rojo en diferentes tipos de hábitat. Individuos por hectárea = ind/ha

| Hábitat | Densidad | Área geográfica | Referencia |
|---|-----------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| Selvas subcaducifolias | 0.16 ind/ha | Isla de Cozumel (México) | Presente estudio |
| Selva subcaducifolia semiconservada | 1.6 ind/ha | Yucatán (México) | Tramer 1974 |
| Selva subcaducifolia conservada | 0.83 ind/ha | | |
| Bosque caducifolio | 0.74 machos/ha 0.012 machos/ha | Tennessee (EUA) Ontario | Dow 1968 |
| Pastizales, arbustos y bosques de pinos | 1.67 ind/ha | Texas (EUA) | Emlen 1972 |
| Urbano | 0.4 ind/ha | Arizona (EUA) | Tweit y Tweit 1986 |
| Suburbano | 0.05-0.42 ind/ha | | |
| Vegetación nativa | 0.06-0.11 ind/ha | | |
| Bosques urbanos (verano) | 2.6 ind/ha | Ohio (EUA) | Leston y Rodewald, 2006 |
| Bosques rurales (verano) | 1.5 ind/ha | | |
| Bosques urbanos (invierno) | 2 ind/ha | | |
| Bosques rurales (invierno) | 0.5 ind/ha | | |
| Bosque | 1.82 ind/ha | Mississippi (EUA) | Somershoe et al. 2006 |

Contrario a lo esperado, no encontramos relación entre distancia a cuerpos de agua o zonas de influencia humana con la presencia de registros del cardenal. Nuestros resultados indicaron que el número de registros del cardenal rojo de Cozumel es independiente a la distancia hacia las zonas de influencia humana (asentamientos humanos y caminos) y hacia los cuerpos de agua presentes en la Isla. En poblaciones continentales de cardenal rojo se ha encontrado una mayor densidad de individuos en áreas urbanas (0.4 individuos/ha) y suburbanas (0.05-0.42 individuos/ha) en comparación de áreas con vegetación nativa (0.06-0.11 individuos/ha; matorral dominado por paloverde-saguaro; *Cercidium-Carnegia gigantea*) en Arizona (Tweit y Tweit 1986). En Ohio, reportaron un patrón similar, donde la densidad (individuos/ha) del cardenal rojo fue aproximadamente 1.7 veces mayor en bosques urbanos (2.6 ± 0.32) en comparación con bosques rurales (1.5 ± 0.21 ; Leston y Rodewald 2006). Este patrón se acentuó en invierno, donde los cardenales fueron cerca de 4 veces más abundantes en los bosques urbanos (2.0 ± 0.26 individuos/ha) que en los bosques rurales (0.5 ± 0.10 individuos/ha; Leston y Rodewald, 2006). El incremento en la densidad de esta especie en ambientes urbanizados se puede deber a la suplementación de alimento que las personas proveen a través de comederos (Amrhein 2014). En la Isla de Cozumel esta suplementación de alimento no se observó, lo que podría implicar que la población de cardenal rojo de Cozumel aprovecha los recursos disponibles en las selvas de la Isla sin necesidad de acercarse por recursos a los asentamientos humanos.

Nuestros resultados indican que la presencia del cardenal rojo de Cozumel no está asociada a los cuerpos de agua de la Isla. Dawson (1958) reporta que en el cardenal rojo la tasa de pérdida de agua por evaporación aumenta considerablemente a temperaturas moderadas (33°C), por lo que en temperaturas mayores no puede compensar la pérdida de agua por evaporación mediante la producción de agua metabólica. Esto implica que a temperaturas superiores a 33°C los cardenales deben beber agua o alimentarse de recursos con un alto contenido de agua. Aunque la temperatura media anual en la Isla de Cozumel es elevada (27.5° ; SMN 2021), nuestros resultados no muestran una asociación entre la ubicación de los registros y la distancia a las fuentes de agua, esto puede implicar que el cardenal rojo de Cozumel tiene recursos disponibles en las selvas de la Isla con un alto contenido de agua. Sin embargo,

no existen estudios específicos que hayan determinado la dieta del cardenal rojo de Cozumel por lo cual este supuesto no puede ser confirmado.

Efecto de las perturbaciones antropogénicas sobre la incidencia del cardenal rojo

Finalmente, encontramos que las actividades de tala de árboles y de cacería inciden sobre la presencia del cardenal rojo de Cozumel. El modelo lineal generalizado mixto indicó que las actividades de tala sobre los senderos influyen positivamente sobre la incidencia del cardenal rojo de Cozumel, mientras que la cacería influye negativamente sobre la incidencia de la especie. Con base en el GLMM se estimó una mayor probabilidad de registrar a la especie en los senderos con actividades de tala (0.25 probabilidad) y sin señales de cacería (0.28 probabilidad). Esto podría explicarse debido a que en los senderos donde se realizan actividades de tala la estructura de la vegetación es modificada haciéndola menos compleja y creando espacios para que arbustos y plantas del sotobosque crezcan. La abundancia de algunas especies de aves (e.g., *Virgo griseus*, *Setophaga citrina*, *Passerina cyanea* o *Cardinalis cardinalis*) puede incrementar con este tipo de perturbación ya que aprovechan estos espacios para forrajar o anidar (Robinson y Robinson 1999). El cardenal rojo suele anidar en sitios de borde caracterizados por presentar marañas de enredaderas, arbustos y árboles pequeños (Donovan y Flather 2002; Leston y Rodewald 2006; Halkin et al. 2021). Estas características para seleccionar los sitios de anidación podrían favorecer la presencia de esta especie en senderos con actividades de tala. Sin embargo, los sitios talados también pueden favorecer la abundancia de depredadores y la incidencia de parasitismo en los nidos (Robinson y Robinson 2001). En la Isla de Cozumel existen registros de la presencia del tordo ojos rojos (*Molothrus aeneus*); se ha reportado que esta especie parasita los nidos del cardenal rojo (Halkin et al. 2021) afectando a su éxito reproductivo.

Por otro lado, hay mayor probabilidad de registrar al cardenal rojo de Cozumel sobre senderos donde no se observó señales de cacería. Esto podría ser una consecuencia del método que las personas utilizan para capturar a esta ave. Comúnmente las trampas son efectivas, pues se valen de un señuelo (otro cardenal) que funciona como atrayente debido a la vocalización constante de esta especie, su

conducta territorial y la adaptabilidad al cautiverio (González-Herrera et al., 2018). La introducción de un cardenal intruso (el ave señuelo en la trampa) dentro del territorio de un cardenal implica una respuesta agresiva para defender los límites de su territorio por parte de machos y hembras, principalmente durante la temporada reproductiva (Halkin et al. 2021). Muchas veces esta defensa territorial involucra la captura de los cardenales que defendían sus territorios aledaños. Si la captura es constante en un área la abundancia de cardenales podría reducirse rápidamente a escalas locales (e.g., sobre los senderos). A su vez esto implicaría una reducción en la frecuencia de encuentros con la especie y de registros individuales, esto podría explicar nuestros resultados.

Estado de conservación

Nuestras estimaciones indican que el cardenal rojo de Cozumel presentó una densidad y tamaño poblacional bajo considerando los estándares de vulnerabilidad del gobierno mexicano. La población del cardenal rojo ha disminuido al menos 11 millones de individuos a lo largo de su distribución (Rosenberg et al. 2019), al ser una de las especies más apreciadas es capturada y comercializada con mayor frecuencia en diferentes regiones, como ocurre en la Península de Yucatán, México (Gómez et al. 2005; González-Herrera et al. 2018). La captura de aves con fines de comercio es un problema para la conservación de diferentes especies, sin embargo, esta actividad está normalizada por su fuerte componente cultural en Latinoamérica y México (Roldán-Clarà et al. 2014). Sin embargo, el efecto de la captura y tráfico ilegal sobre la población del cardenal rojo de Cozumel no ha sido investigado. En futuras investigaciones es fundamental evaluar los efectos negativos de la cacería y trampeo de esta especie, así como las posibles redes de comercio ilegal de fauna al interior e incluso al exterior de la Isla de Cozumel.

Con base en los resultados obtenidos en este estudio de densidad, tamaño poblacional y presiones antrópicas, aunado a la restringida distribución y un pool genético único distinto al de los cardenales que se distribuyen en el continente (Smith et al. 2011), el cardenal rojo de Cozumel debería considerarse en la NOM-059 (SEMARNAT 2010), así como ocurre con el cardenal rojo de las Islas Marías (*Cardinalis cardinalis mariae*; PROFEPA 2020). Bajo los cri-

terios establecidos en el Método de Evaluación del Riesgo de Extinción de las Especies Silvestres en México (MER) el cardenal rojo de Cozumel presenta las características necesarias para su protección, presentando una distribución geográfica “muy restringida”, ya que la extensión de la Isla de Cozumel (478 km²) es inferior al 5% del territorio nacional (<100,000 km²). En el criterio relativo al estado del hábitat con respecto al desarrollo natural del taxón el cardenal rojo de Cozumel podría ubicarse en la categoría intermedio o limitante ya que la población de esta ave se encuentra sujeta a factores ambientales estocásticos y drásticos como huracanes (Perdomo-Velázquez et al. 2017). En el criterio que hace referencia a la vulnerabilidad biológica intrínseca del taxón, el cardenal rojo de Cozumel podría presentar una “vulnerabilidad media” ya que su densidad poblacional es baja en comparación con poblaciones continentales, además debido al proceso de aislamiento dentro de la Isla esta población presenta un pool genético distinto (Smith et al. 2011). Finalmente, el éxito reproductivo del cardenal rojo de Cozumel podría ser muy bajo, ya que incluso en un año no se registraron individuos juveniles. Bajo el criterio de impacto de la actividad humana consideramos que el taxón sufre de un “impacto medio” ya que los resultados de este y otros estudios sugieren que el cardenal rojo de Cozumel es capturado y comercializado, además las actividades de tala podrían estar afectando la presencia del cardenal y su éxito reproductivo ya que la simplificación de la estructura vegetal podría incrementar la vulnerabilidad de los nidos para ser depredados. Finalmente existen registros de la presencia de especies exóticas a la isla (*Boa constrictor* y *Leopardus wiedii*) que pueden depredar los huevos e individuos del taxón.

Considerando los criterios anteriores, el cardenal rojo de Cozumel debería ser incluido en la categoría de “Amenazado” con base en lo establecido en el MER, por lo que se debe incluir en la NOM-059. Además, es importante reestructurar los calendarios de aprovechamiento de Aves canoras y de Ornato que es implementado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2018) que permiten la captura de cardenales para su uso, y en la cual se incluye la región que subyace a esta ave endémica sin distinción alguna, a pesar de ser clave para su ecosistema y de no presentar las mismas abundancias que sus congéneres continentales, ni intercambio de individuos. Asimismo, es necesaria la implementación de un plan de manejo isla-continente y continente-isla específico

para el cardenal rojo de Cozumel ya que puede tener grandes repercusiones sobre su población en suma de las diversas presiones antrópicas.

Agradecimientos

Este manuscrito es dedicado al Dr. Miguel Angel Martínez Morales por su gran trabajo científico realizado en la Isla de Cozumel y todo el apoyo brindado para el desarrollo del proyecto. Asimismo, agradecemos a las autoridades de la Reserva Estatal Selvas y Humedales de Cozumel y al Refugio Estatal de Flora y Fauna de Laguna Colombia por las facilidades otorgadas para el trabajo de campo. Este proyecto fue realizado a la par del proyecto de investigación sobre la estimación de la densidad del hocofaisán de Cozumel (*Crax rubra griscomi*) en la isla. JMC agradece al pueblo de México por la beca otorgada (no. 702340) a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) para realizar sus estudios de maestría.

Literatura citada

- Amrhein V. 2014. Wild bird feeding (probably) affects avian urban ecology. Pp. 29-37. En Gil D, Brumm H (eds.). Avian urban ecology: behavioural and physiological adaptations. Oxford University Press.
- Bates D, Mächler M, Bolker B, Walker S. 2015. Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software* 67:1-48.
- Buckland ST, Anderson DR, Burnham KP, Laake JL. 1994. Distance sampling: estimating abundance of biological populations. Chapman and Hall Publishers. Reino Unido.
- Cuarón AD. 2009. Cozumel. Pp. 203-206. En Gillespie RG, Clague DA. (eds.), Encyclopedia of islands. Berkeley: University of California Press.
- Dawson WR. 1958. Relation of oxygen consumption and evaporative water loss to temperature in the Cardinal. *Physiological Zoology* 31:37-48.
- Donovan TM, Flather CH. 2002. Relationships among north American songbird trends, habitat fragmentation, and landscape occupancy. *Ecological Applications* 12:364-374.
- Dow DD. 1969. Home range and habitat of the cardinal in peripheral and central populations. *Canadian Journal of Zoology* 47:103-114.
- Emlen JT. 1972. Size and structure of a wintering avian community in southern Texas. *Ecology* 53:317-329.
- ESRI. 2011. ArcGIS Desktop: Release 10.1. Redlands, CA, USA.
- Filliater TS, Breitwisch R, Nealen PM. 1994. Predation on cardinal nests: Does choice of nest site matter? *Condor* 96:761-768.
- Fitch HS. 1958. Home ranges, territories, and seasonal movements of vertebrates of the Natural History Reservation. University Kansas. Mus. Nat Hist.
- Gómez G, Teutli C, Reyes S, Valadez R. 2005. Pájaros y otras aves utilizadas como animales de ornato y compañía. *Revista AMMVEPE* 16:129-139.
- González-Herrera LR., Chablé-Santos J, Aguirre-Cordero WP, Manríquez-Saide P. 2018. El comercio de aves silvestres en la ciudad de Mérida, Yucatán, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios* 5:271-281.
- Halkin SL, Shustack DP, DeVries MS, Jawor JM, Linville SU. 2021. Northern Cardinal (*Cardinalis cardinalis*), version 2.0. En Rodewald PG, Keeney BK. (eds.). Birds of the World Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA.
- Leston LFV, Rodewald A. 2006. Are urban forests ecological traps for understory birds? An examination using Northern cardinals. *Biological Conservation* 131:566-574.
- MacGregor-Fors I, Gómez-Martínez MA, García-Arroyo M, Vázquez L-B, Vázquez-Domínguez E, Valenzuela-Galván D. 2021. Aves de la tierra de las golondrinas Isla Cozumel. CE-MIE-Océano, Universidad Autónoma de Campeche.
- MacKinon BH. 2017. Sal a PAJAREAR YUCATÁN [Guía de Aves]. Segunda Edición. La Vaca independiente, Ciudad de México, México.
- Mandujano-Rodríguez S. 2011. Conceptos gene-

- rales de ecología poblacional en el manejo de fauna silvestre. Pp 37-60 En Gallina Tessaro S, López González CA (eds.). Manual de Técnicas para el estudio de la Fauna. Volúmen I. Universidad Autónoma de Querétaro-Instituto de Ecología, A. C. Querétaro, México.
- Martínez-Morales MA. 1999. Conservation status and habitat preferences of the Cozumel Curassow. *Condor* 101:14–20.
- Martínez-Morales MA, Cuarón AD. 1999. *Boa constrictor*, an introduced predator threatening the endemic fauna on Cozumel Island, Mexico. *Biodiversity & Conservation* 8:957-963.
- Morales-Contreras J, Martínez-Morales MA, Cuarón AD, Vázquez LB. 2022. Population trends and viability of the critically endangered Cozumel Curassow: a 25-year perspective. *Écoscience*: [10.1080/11956860.2022.2121065](https://doi.org/10.1080/11956860.2022.2121065)
- Morales-Contreras J, Martínez-Morales MA, Marquéz-Luna U. 2020. Recursos florales usados por el colibrí esmeralda de Cozumel (*Chlorostilbon forficatus*). *Huitzil Revista Mexicana de Ornitología* 21:e–589. <https://doi.org/10.28947/hrmo.2020.21.1.467>
- Palacios-Aldana LF. 2017. Selección de hábitat, abundancia y propuestas para la conservación del pecarí enano (*Pecari tajacu nanus*) endémico de la Isla Cozumel [Tesis de maestría]. El Colegio de la Frontera Sur. 58 pp.
- Palafox-Muñoz A, Collantes-Chávez CA. 2009. El turismo en ambientes sensibles. Caso Isla Cozumel, México. *Análisis del Turismo* 4:49-63.
- Patankar S, Jambhekar R, Suryawanshi KR, Nagnendra H. 2021. Which traits influence birds survival in the city? A Review. *Land* 10:92.
- Perdomo-Velázquez H, Andresen E, Vega E, Schondube JE, Cuarón A. 2017. Effects of hurricanes on the understory birds of Cozumel Island. *Tropical Conservation Science* 10:1-14.
- PROFEPA (Procuraduría Federal de Protección al Ambiente). 2020. Cardenal Rojo de Las Islas Marías. Disponible en: <https://www.gob.mx/profepa/articulos/cardenal-rojo-de-las-islas-marias?idiom=es> [Consultado el 22 de octubre del 2021].
- R Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing., Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Disponible en: <https://www.R-project.org/> [Consultado el 10 de enero del 2021].
- Robinson WD, Robinson SK. 1999. Effects of selective logging on forest bird populations in a fragmented landscape. *Conservation Biology* 13:58-66.
- Robinson SK, Robinson WD. 2001. Avian nesting success in a selectively harvested north temperate deciduous forest. *Conservation Biology* 15:1763-1771.
- Roldán-Clarà B, López-Medellín X, Espejel I, Arellano E. 2014. Literature review of the use of birds as pets in Latin-America, with a detailed perspective on Mexico. *Ethnobiology and Conservation* 3:1-18.
- Romero-Nájera I. 2004. Distribución, abundancia y uso de hábitat de *Boa constrictor* introducida a la isla Cozumel [Tesis de maestría]. Universidad Nacional Autónoma de México. 69 p.
- Romero-Nájera I, Cuarón AD, González-Baca C. 2006. Distribution, abundance, and habitat use of introduced *Boa constrictor* threatening the native biota of Cozumel Island, Mexico. *Biodiversity Conservation* 16:1183-1195.
- Rosenberg KV, Dokter AM, Blancher PJ, Sauer JR, Smith AC, Smith PA, Stanton JC, Panjabi A, Helft L, Parr M, Marra PP. 2019. Decline of the North American avifauna. *Science* 366:120–124.
- Sauer JR, Link WA, Fallon JE, Pardieck KL, Ziolkowski DJ Jr. 2013. The North American Breeding Bird Survey 1966–2011: Summary Analysis and Species Accounts. North American Fauna 79:1–32.
- [SEMARNAT] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. Norma Oficial Mexicana nom-059-semarnat-2010, Protección Ambiental – Especies nativas de México de flora y fauna silvestres – Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, ex-

- clusión o cambio – lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación [Internet]. México (DF). 30 de diciembre de 2010, Segunda Sección Disponible en: <https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3552/> [consultado el 20 de octubre de 2021].
- [SEMARNAT] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2018. Calendario de épocas hábiles 2018 - 2019 de la vida silvestre. Disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/documentos/calendario-de-epoca-habil-2018-2019-para-aves-canoras-y-de-ornato> [Consultado el 22 de octubre de 2021].
- [SMN] Servicio Meteorológico Nacional. 2021. Normales climatológicas por Estado. Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx/es/> [Consultado el 20 de octubre de 2021]
- Smith BT, Escalante P, Hernández-Baños BE, Navarro- Sigüenza AG, Rohwer S, Klicka J. 2011. The role of historical and contemporary processes on phylogeographic structure and genetic diversity in the Northern Cardinal, *Cardinalis cardinalis*. BMC Evolutionary Biology 11:136.
- Somershoe SG, Twedt DJ, Reid B. 2006. Combining breeding bird survey and distance sampling to estimate density of migrant and breeding birds. Condor 108:691-699.
- Téllez-Valdez O, Cabrera E. 1987. Flora de la Isla de Cozumel, Quintana Roo. Listados florísticos de México. Distrito Federal: Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Thomas L, Buckland ST, Rexstad EA, Laake JL, Strindberg S, Hedley SL, Bishop JRB, Marques TA, Burnham KP. 2010. Distance software: design and analysis of distance sampling surveys for estimating population size. Journal of Applied Ecology 47:5-14.
- Tramer EJ. 1974. Proportions of wintering North American birds in disturbed and undisturbed dry tropical habitats. Condor 76:460-464.
- Tweit RC, Tweit JC. 1986. Urban development effects on the abundance of some common resident birds of the Tucson area of Arizona. American Birds 40:431-436.
- Valenzuela-Galván D, Cuarón AD, Martínez-Morales MA, Vázquez LB, Vázquez-Domínguez E. 2022. First records of margay on Cozumel Island: a conservation paradox. Animal Conservation, 25:1-3.

Apéndice 1. Valores del Criterio de Información Akaike's para los modelos de la función de detección evaluada en el programa Distance.

| Modelo | Términos de ajuste | Parámetros | AIC | ΔAIC |
|--------------------------|-----------------------|------------|--------|-------|
| Datos truncados al 5%: | | | | |
| distribución uniforme | Coseno | 1 | 106.18 | 0.00 |
| distribución uniforme | polinomial simple | 1 | 106.85 | 0.67 |
| distribución semi-normal | polinomial de hermite | 1 | 106.95 | 0.77 |
| distribución semi-normal | polinomial simple | 1 | 106.95 | 0.77 |
| distribución semi-normal | Coseno | 1 | 106.95 | 0.77 |
| tasa de riesgo | polinomial simple | 2 | 108.61 | 2.43 |
| tasa de riesgo | Coseno | 2 | 108.61 | 2.43 |
| Datos sin truncar: | | | | |
| distribución uniforme | Coseno | 1 | 117.36 | 11.18 |
| distribución semi-normal | Coseno | 1 | 117.71 | 11.53 |
| distribución semi-normal | polinomial simple | 1 | 117.71 | 11.53 |
| distribución uniforme | polinomial simple | 1 | 118.93 | 12.75 |
| distribución uniforme | polinomial de hermite | 1 | 118.92 | 12.75 |
| tasa de riesgo | polinomial simple | 2 | 119.26 | 13.08 |
| tasa de riesgo | Coseno | 2 | 119.26 | 13.08 |