

## TESINA

“Evaluación multitemporal sobre la reproducción de *Caiman latirostris* en zonas agrícolas del centro-norte de Santa Fe”

Estudiante: **ORTIZ, RAMIRO NICOLÁS**

Directora: **Parachú Marcó, María Virginia**

Co-Directora: **Zamboni, Pamela**

Lugar de Trabajo: **Laboratorio de Ecología Molecular Aplicada, Instituto de Ciencias Veterinarias del Litoral (FCV/UNL/CONICET), Santa Fe, Argentina.**

**Centro Regional de Geomática (CeReGeo) – Facultad de Ciencia y Tecnología (FCyT). Universidad Autónoma de Entre Ríos. Ruta 11 km 10.5 Oro Verde. Entre Ríos, Argentina.**

**Santa Fe, Febrero 2023**

## ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	3
RESUMEN Y PALABRAS CLAVE.....	4
INTRODUCCIÓN.....	5
OBJETIVOS.....	9
HIPÓTESIS.....	9
METODOLOGÍA.....	10
RESULTADOS.....	16
DISCUSIÓN.....	33
CONCLUSIONES.....	37
PERPECTIVAS A FUTURO.....	38
BIBLIOGRAFÍA.....	39

## AGRADECIMIENTOS

*Mi mayor gratitud hacia mi madre y mi padre, sin quienes esto no habría sido posible. Gracias por su esfuerzo y sacrificio, sus palabras de aliento en cada etapa de este recorrido.*

*A mi hermana, Marianela, quien todos estos años ha sido mi consejera y soporte emocional.*

*A mi abuela, tías, tíos y primos; por todo el apoyo y buenos deseos estos años.*

*A mis directoras, Dra. Ma. Virginia Parachú Marcó y Dra. Pamela Zamboni, quienes han compartido conmigo sus conocimientos, experiencias, consejos, enseñaron y acompañaron durante este proceso. Gracias por su tiempo, confianza, paciencia y apoyo.*

*Al Proyecto Yacaré, por los datos proporcionados para la realización de esta tesina, por abrirme sus puertas y permitirme llevar a cabo esta tesina en sus instalaciones. En particular a Alejandro Larriera y Alba Imhof por su buena predisposición.*

*Al Dr. Pablo Ariel Siroski, por su tiempo, colaboración y por transmitirme sus enseñanzas en todo momento.*

*A Fernando Tentor, por su constante ayuda, tiempo y guía en el armado de los scripts utilizados en este trabajo.*

*A la cátedra de estadística de la Facultad de Humanidades y Ciencias (UNL), especialmente a Yanina Redondo y Liliana Tauber, por su constante ayuda y aportes en la realización de este trabajo, por su buena predisposición y su constante apoyo durante esta etapa.*

*A mis compañeros del Proyecto Yacaré y del Centro Regional de Geomática por su integración como parte del grupo, por siempre crear un buen ambiente de trabajo, por su compañerismo y consejos.*

*A mis amigos, quienes sin duda hicieron que este camino sea algo más ligero, por su constante aliento, apoyo y risas en cada etapa. Infinitas gracias por todo lo compartido estos años.*

*A la Facultad de Humanidades y Ciencias y la Universidad Nacional del Litoral, por brindarme el espacio y la posibilidad de llevar adelante esta carrera.*

*A todos los profesores de la Facultad de Humanidades y Ciencias, por brindarme sus conocimientos, experiencias, enseñarme y formarme tanto en lo profesional como en lo personal.*

## RESUMEN

En nuestro país desde hace décadas la frontera agropecuaria se encuentra en constante expansión y con ello, el incremento en el uso de agroquímicos. Estas sustancias afectan a los organismos al momento de su aplicación o al persistir en el suelo o cuerpos de agua y pueden provocar alteraciones en los parámetros reproductivos de los seres vivos. Entre las herramientas de teledetección más utilizadas se encuentra la plataforma *Google Earth Engine* (GEE), la cual cuenta con un amplio catálogo de colecciones de imágenes satelitales de diferentes sensores remotos con potencial de ser aplicados a estudios biológicos y ambientales. *Caiman latirostris* es una especie de reptil cuya distribución se encuentra en solapamiento con áreas de cultivo agrícola. Marcadores de alerta temprana empleados en esta especie evidencian el efecto perjudicial que poseen los agroquímicos. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo de tesina consistió en evaluar parámetros reproductivos a lo largo del tiempo en *C. latirostris* según las zonas de nidificación cercanas a cultivos y su relación con variables ambientales. Para llevar a cabo este objetivo se utilizaron los registros de planillas de seguimiento de nidos desde el año 2000 al 2018 pertenecientes al Proyecto Yacaré. A partir de ellas fueron analizadas seis zonas de nidificación del centro-norte de la provincia de Santa Fe. Las variables registradas fueron el éxito de eclosión, el porcentaje de embriones inviables, de huevos infértiles y de neonatos con malformaciones. Para indicar el grado de perturbación de cada zona de nidificación se generaron bases de datos geográficas (verdor de la vegetación, uso y cobertura del suelo) y climáticas (temperatura superficial del suelo y precipitaciones) a partir de los datos disponibles de distintos geoservicios y GEE. Entre los principales resultados pudimos determinar el grado de perturbación de cada zona de nidificación resultante del avance de la frontera agropecuaria. También hallamos disminución del éxito de eclosión y un aumento en el porcentaje de embriones inviables y huevos infértiles de *C. latirostris* en todas las zonas de nidificación, siendo este aún mayor en las zonas que se encontraban cercanas a cultivos. Con respecto a las variables climáticas, observamos que un incremento en las precipitaciones disminuye el total de embriones inviables y de huevos infértiles; mientras que el éxito de eclosión aumenta. Los resultados obtenidos indicarían efectos negativos de la exposición a agroquímicos a lo largo del tiempo sobre algunos parámetros de la reproducción de *C. latirostris*.

**Palabras clave:** Yacaré overo, Agroquímicos, SIG, Parámetros Reproductivos.

## INTRODUCCIÓN

Desde hace décadas en Argentina se lleva a cabo un proceso denominado “agriculturización” que se caracteriza por el incremento continuo y uso sostenido de la superficie destinada a actividades agrícolas (Paruelo *et al.*, 2006; Zarrilli, 2020). Además, la superficie cultivada se ha ampliado aproximadamente un 50% en los últimos años (Cruzate y Casas, 2012). La alta rentabilidad sumada a la demanda internacional y las nuevas tecnologías han facilitado y acelerado este proceso de expansión (Reboratti, 2010; Zarrilli, 2020). La llamada “revolución verde” originó un cambio en el uso de la tierra con la implementación de la siembra directa y la introducción de paquetes agrotecnológicos, que consisten en el uso de semillas genéticamente modificadas resistentes a plaguicidas (Reboratti, 2010; Zarrilli, 2020). Estos agroquímicos han incrementado su utilización con el paso del tiempo (Pérez Leiva y Anastasio, 2006; Arregui *et al.*, 2010; De Gerónimo *et al.*, 2014), teniendo diferentes efectos sobre el ambiente y la biodiversidad durante su aplicación o al persistir en el suelo y cuerpos de agua cercanos (Villaamil Lepori *et al.*, 2013; Regaldo *et al.*, 2017). Varios estudios han comprobado que el uso indebido de estas sustancias genera estrés ambiental capaz de provocar alteraciones en las capacidades reproductivas de los organismos (Rauschenberger, 2004; Peruzzo *et al.*, 2008; Woodward *et al.*, 2011; Mitra y Maitra, 2018; Anguiano y Ferrari, 2019; Chen *et al.*, 2019; Tavalieri *et al.*, 2020). Como consecuencia, los animales silvestres se encuentran ante dos problemáticas: la pérdida del hábitat provocada por esta expansión agrícola y la contaminación por plaguicidas debido a la incorporación de los paquetes agrotecnológicos (Tavalieri *et al.*, 2020; Zarrilli, 2020).

Para comprender los impactos de esta expansión agrícola se requiere información sobre los patrones espaciales y temporales del uso de la tierra en múltiples escalas geográficas (Fritz *et al.*, 2013). La teledetección constituye una fuente de información útil para caracterizar grandes territorios gracias a su capacidad de proveer datos cualitativos y espacialmente continuos de la superficie, con el fin de evaluar extensas áreas con determinada regularidad y extensión temporal y espacial (Paruelo *et al.*, 2006; Volante *et al.*, 2015). A su vez permite analizar cómo las perturbaciones a lo largo del tiempo afectan la composición, estructura y función del ambiente (Masek *et al.*, 2013). En este sentido, utilizar datos de series de tiempo con imágenes de frecuencia temporal media y alta proporciona un conocimiento más completo del grado de alteración y la dinámica de los mismos (Cohen *et al.*, 2010; Wulder *et al.*, 2012); brindando información acerca de tendencias y relacionando cambios continuos y discontinuos, en direcciones tanto positivas como negativas (Kennedy *et al.*, 2014; Dong *et al.*, 2015). Los datos de los sensores de observación de la tierra diarios, como los de *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) son muy adecuados para el análisis de series temporales a escala regional y presentan datos continuos desde el año 2000 hasta la actualidad (Walker *et al.*, 2012). Anteriormente también se han utilizado series de tiempo de

diferentes índices espectrales para monitorear el avance de la frontera agrícola como series de tiempo MODIS del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI por sus siglas en inglés), que permite evaluar el estado de vigor de la vegetación (Estel *et al.*, 2016) y mapas de cobertura y uso de la tierra o suelo (Clark *et al.*, 2010).

Entre las geotecnologías se encuentra el Sistema de Información Geográfica (SIG), que provee herramientas para el tratamiento de datos georreferenciados, es decir, procesa información de eventos o entidades geoespaciales con el fin de generar una información nueva mediante operaciones de manipulación y análisis que ayude a la toma de decisiones (Buzai, 2008; Olaya, 2020). Los análisis geoespaciales combinan y manipulan los datos almacenados en el SIG para crear información nueva, la cual puede ilustrarse con mapas y resumirse en forma de registros para ser estudiados por el usuario y decidir si el modelo adoptado constituye una solución plausible; incluyen medición de distancias, áreas, análisis de proximidad (buffers), operaciones de disolución y fusión de polígonos, superposición, análisis de superficies y análisis de redes (Vílchez, 2000). De la cualidad del SIG sobre el manejo de información geográfica, surge su potencial apoyo en los estudios de conservación de la diversidad biológica, integrando diferentes bases de datos, como por ejemplo de parámetros biológicos (bases de datos biológicos), biofísicos (bases de datos territoriales, climáticos, etc.), generando bases de datos geográficos. Esto debido a que, para la conservación de las especies, comunidades y ecosistemas, es imprescindible el conocimiento de su localización y distribución en el espacio (Moreira Muñoz, 1996).

Este tipo de bases de datos requiere de plataformas para el procesamiento de grandes volúmenes de datos (*big data*). Entre estas se ha desarrollado *Google Earth Engine* (GEE) que es una plataforma para procesar conjuntos de datos geoespaciales, de libre distribución y de código libre (Gorelick *et al.*, 2017; Amani *et al.*, 2020; Tamiminia *et al.*, 2020). En ella podemos encontrar un catálogo de imágenes aéreas y derivadas de satélites como Landsat, Sentinel, MODIS, etc.; variables ambientales, pronósticos meteorológicos y climáticos, cobertura terrestre, etc. (Gorelick *et al.*, 2017). Por esto GEE ofrece una plataforma novedosa para el análisis de datos geoespaciales con posibilidad de ser aplicadas a análisis ambientales (Tamiminia *et al.*, 2020).

*Caiman latirostris* es una de las 24 especies del orden Crocodylia (CSG, 2019) y cuenta con una de las distribuciones más australes (Larriera *et al.*, 1990). La misma se encuentra en estrecha relación con los cuerpos de agua con preferencia de los ambientes acuáticos de baja profundidad y casi siempre con abundante vegetación (Larriera *et al.*, 2008). Su cuerpo es comprimido dorsoventralmente con una cola musculosa y afilada, en la posición dorsal se ubican sus ojos y las narinas y su piel es prácticamente impermeable con manchas que ayudan al camuflaje. Estas características convierten a la especie en buenos nadadores y permiten que sea difícil de ser detectados por sus posibles presas o depredadores y, por lo tanto, perfectamente adaptados al hábitat donde viven

(Yanosky, 1990). Se trata de una especie ectotérmica con un ciclo estacional marcado por la temperatura y las precipitaciones. Durante los meses de invierno presenta muy poca actividad, pero durante la primavera y con el aumento de la temperatura y precipitaciones su actividad aumenta y se alimentan hasta tener su pico de actividad durante la temporada reproductiva (noviembre-marzo). Este momento previo a la reproducción es crucial para determinar las condiciones en las que los adultos se reproducirán, debido a que el régimen de precipitaciones y las temperaturas condicionan la disponibilidad de alimento para la especie y, en consecuencia, su desempeño reproductivo (Simoncini *et al.*, 2011; Leiva, 2019). Trabajos previos en *C. latirostris* reportaron que un aumento de las precipitaciones tiene un efecto positivo sobre la cantidad de nidos producidos en la naturaleza y el éxito de eclosión debido a una mejor condición nutricional y corporal (Simoncini *et al.*, 2011; Leiva, 2019); respecto a las temperaturas, las mismas tienen efectos sobre la condición fisiológica (energía disponible para la reproducción) de las hembras reproductivas y el inicio y duración del periodo de oviposición (Simoncini *et al.*, 2013; Leiva, 2019). Generalmente la cópula se realiza en el agua y, las hembras una vez fecundadas, se alejan a lugares apartados para la construcción del nido (Yanosky, 1990). Los mismos están constituidos por material vegetal, tierra, arena y ramas que mantienen una temperatura que oscila entre los 29 y 33°C aproximadamente. Las posturas se realizan entre principios de diciembre y mediados de enero, con un promedio de 35 huevos por nidada (Larriera e Imhof, 2006; Simoncini *et al.*, 2011). La incubación ocurre en un periodo de 65 a 80 días aproximadamente (dependiendo de la temperatura de incubación) y los neonatos eclosionan entre febrero y marzo con un tamaño aproximado de 22 centímetros de largo y un peso de 40 gramos (Larriera *et al.*, 2008).

En nuestro país existen diferentes proyectos de manejo de vida silvestre que contribuyen a la conservación, recuperación de especies y hábitats a través de estudios biológicos y gestiones tanto comerciales como administrativas que representan importantes beneficios para los pobladores locales (Ramadori, 2006). Entre los programas de manejo, podemos encontrar al programa de conservación denominado Proyecto Yacaré (PY), creado para la conservación del yacaré overo (*Caiman latirostris*) a principios de los '90. El mismo consiste en la cosecha de huevos en la naturaleza, su incubación artificial y crianza de los neonatos bajo condiciones controladas hasta la liberación posterior de un porcentaje de los animales en su hábitat. Durante el transcurso de cada temporada reproductiva, toda la información respecto al seguimiento de los nidos ha sido volcada en planillas de control a lo largo de 30 años (Larriera e Imhof, 2006). Gracias a este proyecto, la especie se encuentra actualmente dentro de la categoría No Amenazada (NA), con poblaciones estables en la naturaleza, habiendo recuperado su distribución geográfica histórica (Prado *et al.*, 2012).

Como resultado de esta expansión agrícola la distribución *C. latirostris* ha quedado inmersa en las zonas de utilización de agroquímicos (Poletta *et al.*, 2017; López González

*et al.*, 2021). Sin embargo, hasta el momento, son escasos los antecedentes sobre los efectos en la reproducción de las poblaciones de caimanes que habitan y nidifican en ambientes cercanos a actividades agropecuarias (Poletta *et al.*, 2017). *C. latirostris* es un buen bioindicador de contaminación (Monge-Nájera *et al.*, 2002) y son múltiples los trabajos que han evaluado la exposición de huevos e individuos de esta especie a diferentes formulaciones de plaguicidas y herbicidas, reportando consecuencias como daños a nivel genético (Poletta *et al.*, 2009, 2011, 2017; López González *et al.*, 2013, 2017, 2019, 2021, 2022), enzimático (Odetti *et al.*, 2020, 2022; López González *et al.*, 2021, 2022) e inmunológico (Siroski *et al.*, 2015; López González, 2021, 2022). A pesar de ello, no han sido evaluadas las consecuencias reproductivas de la exposición crónica a estas sustancias en los sitios de nidificación de la especie.

Desde sus comienzos, el *Proyecto Yacaré*, ha recolectado una vasta cantidad de información sobre parámetros reproductivos para ser puestos en análisis. Por ello, la combinación entre la información contenida en las planillas de seguimiento pertenecientes al *PY* junto con la aplicación de geotecnologías e información geográfica esta investigación tiene como objetivo evaluar algunos parámetros reproductivos de *C. latirostris* a lo largo del tiempo en las zonas de nidificación influenciadas por la expansión de la frontera agropecuaria en el centro-norte de la provincia de Santa Fe.

## OBJETIVO GENERAL

Evaluar parámetros reproductivos a lo largo del tiempo de *Caiman latirostris* (yacaré overo) según las zonas de nidificación cercanas a cultivos y su relación con variables ambientales.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar espacialmente las variables geográficas (cobertura y uso de suelo, verdor de la vegetación) y las variables climáticas (temperatura de superficie del suelo y precipitaciones) de las zonas de nidificación de *C. latirostris* mediante la utilización de herramientas SIG en el periodo 2000 al 2018.
- Determinar el grado de perturbación de las áreas de nidificación de *C. latirostris* en relación a su cercanía con zonas de cultivo en el periodo 2000 al 2018.
- Evaluar la relación de algunos parámetros reproductivos de *C. latirostris* (éxito de eclosión, porcentaje de embriones inviables, huevos infértiles y neonatos con malformaciones) con las variables climáticas y el grado de perturbación de sus zonas de nidificación en el periodo 2000 al 2018.

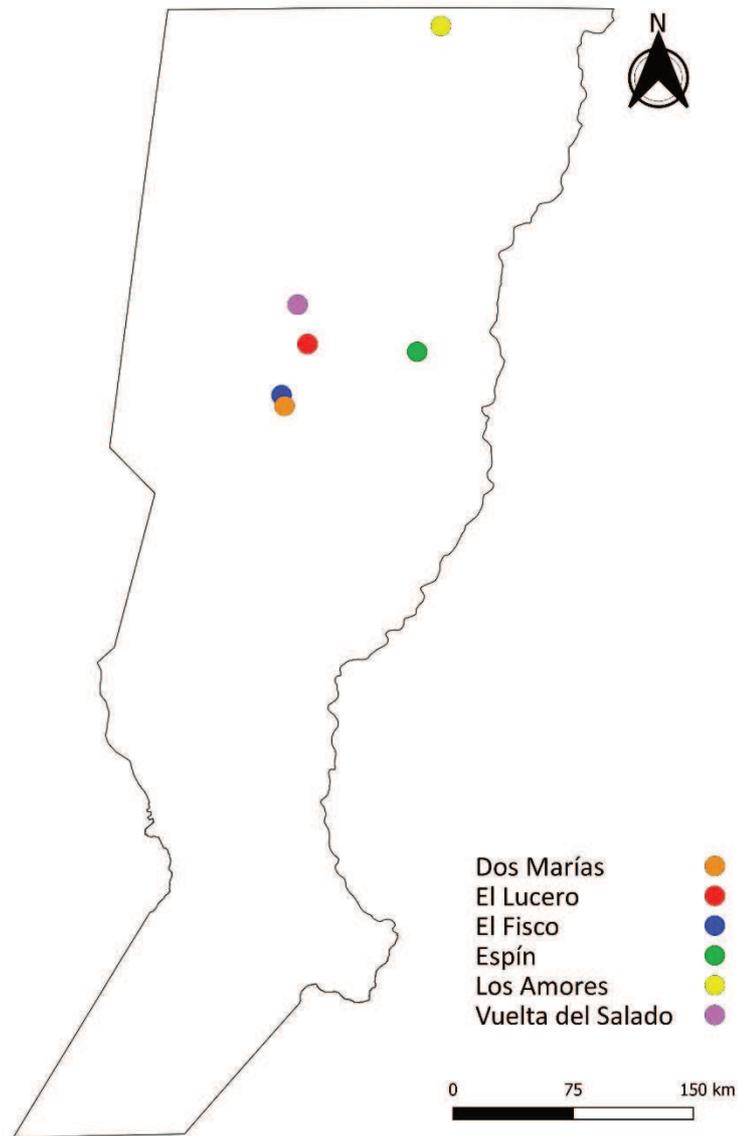
## HIPÓTESIS

- El éxito de eclosión de *C. latirostris* disminuirá a mayor grado de perturbación.
- El porcentaje de embriones inviables de *C. latirostris* aumentará a mayor grado de perturbación.
- El porcentaje de huevos infértiles de *C. latirostris* aumentará a mayor grado de perturbación.
- El porcentaje de neonatos con malformaciones de *C. latirostris* aumentará a mayor grado de perturbación.
- Registros térmicos elevados de la superficie del suelo producirán una disminución en el éxito de eclosión mientras que el porcentaje de embriones inviables, huevos infértiles y neonatos con malformaciones será mayor.
- Registros elevados de precipitaciones producirán una disminución en el éxito de eclosión mientras que el porcentaje de embriones inviables, huevos infértiles y neonatos con malformaciones será mayor.
- Las zonas de nidificación de *C. latirostris* estarán condicionadas por el verdor de la vegetación, cobertura y uso de suelo, temperatura de superficie del suelo y precipitaciones.

## METODOLOGÍA

### Sistematización de la base datos biológicos del Proyecto Yacaré

Dentro de las actividades que se llevan a cabo en el PY se encuentran: la recolección de los nidos desde sus zonas de nidificación, para luego incubarlos bajo condiciones artificiales de temperatura y humedad. Después de su eclosión los neonatos se crían en recintos cerrados y aproximadamente a los nueve meses de edad un porcentaje de los individuos son devueltos a la naturaleza (Larriera e Imhof, 2006). Todas estas actividades son registradas en planillas de seguimiento de nidos correspondientes al programa de conservación, las cuales fueron utilizadas en este trabajo, considerando el periodo desde el año 2000 hasta el 2018. Cada campaña de postura está delimitada entre los meses de diciembre del año anterior a marzo del año siguiente; a modo de ejemplo: la temporada correspondiente al año 2000 comienza en diciembre de 1999 y termina en marzo del 2000. En dichas planillas se encuentran registradas una serie de parámetros reproductivos tales como: tamaño de postura (cantidad de huevos por nidada), cantidad de huevos infértiles, número de embriones inviables, neonatos con malformaciones, éxito de eclosión, días de incubación, zona de nidificación, etc. Esta última consiste en reportar aquellas áreas donde las hembras de *C. latirostris* construyen los nidos (Larriera e Imhof, 2006). En este trabajo se analizaron 6 áreas de interés o zonas de nidificación: la reserva natural “El Fisco” (n=885), las estancias “Los Amores” (n=658), “El Lucero” (n=721) y “Dos Marías” (n= 121), y también dos zonas denominadas “Vuelta del Salado” (por su cercarías con el río que lleva el mismo nombre; n=785) y “Espín” (n=243). Todas estas zonas se encuentran localizadas en el centro-norte de la provincia de Santa Fe y son de uso ganadero extensivo y cultivos (Abelleyra *et al.*, 2021). Las zonas de nidificación tienen en promedio una superficie de 16000 hectáreas (ha), con una mínima de 140 ha y una máxima de 47000 ha aproximadamente (Fig. 1).



**Figura 1:** Sitios de nidificación de *Caiman latirostris* monitoreados.

En cada zona de nidificación se consideraron y calcularon los siguientes parámetros:

Éxito de eclosión

Se define como éxito de eclosión al porcentaje de individuos que logra completar el desarrollo embrionario y logran eclosionar, en relación al tamaño de postura. La fórmula aplicada es: (número de neonatos viables /tamaño total de postura) x 100 (Piña *et al.*, 2003).

Porcentaje de embriones inviables

Se define como embriones inviables a la sumatoria de huevos descartados en campo o en incubadora artificial producto de la muerte embrionaria. A neonatos muertos a término, definidos como el número de individuos que completaron el desarrollo embrionario encontrándose totalmente formados, pero no sobreviven pos-eclosión.

También se incluyen en esta categoría a los inmaduros no viables, definidos como el número de individuos que nacen con el saco vitelino sin reabsorber y no sobreviven. La fórmula aplicada es (número de embriones inviables/tamaño total de postura) x 100 (Cedillo-Leal *et al.*, 2017).

#### Porcentaje de huevos infértiles

Se definen como huevos infértiles a aquellos en los que no se ha formado embrión. La fórmula aplicada es: (número de huevos infértiles/tamaño total de postura) x 100 (Leiva *et al.*, 2018).

#### Porcentaje de neonatos con malformaciones

Se define como neonatos con malformaciones a aquellos que nacen con algún defecto, tales como labio leporino, polidactilia, columna enroscada, etc. Los datos de esta variable están disponibles solamente para los años 2006, 2007 y 2008 debido a que durante esos años el personal del PY registró estrictamente estos datos de manera continua. La fórmula aplicada es (número de neonatos con malformaciones/ número total de individuos nacidos) x 100 (Cedillo-Leal *et al.*, 2017).

Todos estos datos fueron digitalizados en planillas de cálculo y posteriormente se analizaron por temporada y por zona de nidificación a fin de evaluar si existen diferencias según su cercanía a zonas de cultivo y de acuerdo a patrones registrados de variables ambientales como temperatura superficial del suelo, cantidad de precipitaciones y verdor de la vegetación.

#### Generación de la base de datos geográfica (BDG) de las zonas de nidificación del Proyecto Yacaré

Para la construcción de la BDG se integraron datos de diferentes variables ambientales y parámetros biológicos (obtenidos del PY). Dado el período de interés, que abarca datos de terreno de 2000 a 2018, se trabajó con series temporales (ST) de productos derivados de imágenes satelitales, para obtener información sobre los cambios de las variables ambientales a lo largo del tiempo, evidenciando estacionalidad, tendencias, etc. Se realizaron los procedimientos metodológicos (Cohen *et al.*, 2010; Wulder *et al.*, 2012) frecuentemente utilizados para el análisis de ST (detección de anomalías, suavizados, etc.) con recursos de libre distribución y plataformas de procesamiento de datos en la nube, a partir de algoritmos frecuentemente empleados por el CeReGeo en *Google Earth Engine*.

Las bases de datos geográficas y climáticas fueron obtenidas a través de la plataforma de “big data” basada en la nube *Google Earth Engine* y de datos propios del CeReGeo. El mismo cuenta con un gran catálogo de datos científicos para el análisis geoespacial a escala global y un sistema rápido de computación y visualización (Gorelick *et al.*, 2017).

## **Variables ambientales estudiadas**

### Caracterización de las zonas de nidificación de *C. latirostris*

A fines de caracterizar las zonas de nidificación de *C. latirostris* en base a los distintos usos del suelo se utilizaron geoservicios e indicadores provistos por el INTA (GeoINTA) como el mapa de uso y cobertura de suelo (LUS Nivel 3), el Mapa Nacional de Cultivos (Abelleyra *et al.*, 2021), el mapa de Ordenamiento Territorial de Bosque Nativo (OTBN) de la provincia de Santa Fe y el indicador de Huella Ecológica Humana (*Terrestrial Human Footprint*) (Venter *et al.*, 2016). Luego se clasificaron las zonas de nidificación en dos categorías a partir de la aplicación de un área buffer alrededor de ellas. Se denominaron como perturbadas a aquellas zonas cuya área buffer incluya dentro de los 3000 metros (m) de radio una zona de cultivos y como no perturbadas a aquellas cuya área buffer no presente a los mismos. Se tomó como criterio para la clasificación los 3000 m según la legislación vigente para la provincia de Santa Fe (Pérez Alsina *et al.*, 2014; Elorza y Moavro, 2020). Se delimitaron como sitios perturbados a El Lucero, Espín, El Fisco y Dos Marías y como no perturbados a Los Amores y Vuelta del Salado.

### Dinámica de la cobertura del suelo

Para la clasificación de cobertura de suelo se utilizó un script elaborado por Tentor 2022 y adaptado a la presente tesina, que incluye el preprocesamiento y corrección de imágenes, y que arrojó como resultado una imagen clasificada utilizando información del sensor MODIS con el producto MCD12Q1 v6 con resolución espacial de 500 m (Friedl y Sulla-Menashe, 2019). La imagen resultante se construye a partir de la selección de los píxeles de una ventana temporal dada, con el mayor valor de NDVI. Las imágenes fueron exportadas al software QGIS para continuar con su procesamiento. A los fines de facilitar el análisis de los datos, la imagen ráster fue transformada a un archivo vectorial. Para identificar con mayor detalle aquellas áreas de cambio se eliminaron los polígonos correspondientes a un único píxel, quedando aquellos con una superficie mayor a 1 ha. Los polígonos eliminados se añadieron a una nueva clase denominada "Sin Clasificar" y no se consideraron en las comparaciones. Se utilizó la herramienta *dissolve* para fusionar los polígonos de las diferentes clases y simplificar los datos. Las clases de cobertura se integraron en 5 categorías de cobertura: pastizal, bosque, suelo, agua/humedal, y cultivos. A los fines de mejorar la interpretación del producto, se compararon los datos obtenidos con datos de cobertura del suelo disponibles en productos nacionales (productos de INTA, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Ordenamiento Territorial de Bosques Nativos, entre otros), y con imágenes de alta resolución disponibles para las mismas fechas.

A fin de tener información sobre la dinámica de cambio de la cobertura del suelo para el periodo de interés (temporada 2000-temporada 2018) se consideraron las siguientes ventanas temporales: 12/1999-03/2000 (1), 12/2009-03/2010 (2), 12/2017-03/2018 (3).

Se compararon de la siguiente manera: 1-3, 1-2 y 2-3. Además, se analizaron las tasas de cambio en proporción y porcentuales a partir de la siguiente fórmula utilizada por la FAO (1995):

$$\delta_n = \left( \frac{S_2}{S_1} \right)^{1/n} - 1$$

Donde  $\delta_n$  es la tasa de cambio (expresada en proporción y porcentaje),  $S_1$  es la superficie en la fecha 1,  $S_2$  es la superficie en la fecha 2,  $n$  es el número de años entre las dos fechas. Además, a partir de la superficie total de toda el área de estudio fueron calculados los porcentajes de cobertura de cada clase en cada ventana temporal.

#### Verdor de la vegetación: Series temporales de NDVI

Se utilizó para analizar el vigor de la vegetación, y los cambios del mismo en el período de estudio, el producto MOD13Q1 proporcionado por MODIS (USGS/NASA) que compila la información para generar un compuesto de 16 días a una resolución espacial de 250 m. El algoritmo utilizado elige el mejor pixel disponible de todas las adquisiciones del período de 16 días.

El índice se obtiene a partir de la relación de las bandas rojo visible (RED, por sus siglas en inglés) e infrarrojo cercano (NIR, por sus siglas en inglés) a partir de la siguiente ecuación de bandas:  $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$ . El NDVI brinda información acerca de la densidad y estado de salud de la vegetación, lo que permitirá analizar la variación en las áreas de cultivo y de bosques. El índice tiene un valor mínimo de -1 y un máximo de 1, donde -1 corresponde a coberturas asociadas al agua, los valores positivos cercanos a 0 corresponden a áreas desnudas o con escasa vegetación y cuanto más cercano a 1 mayor será el verdor. Los datos obtenidos a partir de este análisis se encuentran escalados (valor de NDVI x 10000) y fueron recopilados en planillas de cálculo para su posterior análisis (Volante *et al.*, 2015; Regmi *et al.*, 2020; Didan, 2021).

#### **Generación de base de datos climáticos para la temperatura de superficie de suelo y precipitaciones de las zonas de nidificación del Proyecto Yacaré**

##### Temperatura de superficie de suelo

Para la confección de la base de datos de temperatura del suelo se utilizó el producto NCEP/NCAR *Reanalysis Data, Surface Temperature* provisto por el *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP, *formerly "NMC"*) y el *National Center for Atmospheric Research* (NCAR) el cual consiste en datos capturados cada 6 horas con una resolución espacial de 2,5 grados y cuenta con datos desde el año 1948 a la actualidad. Los datos fueron obtenidos desde el año 2000 al año 2017, las temperaturas obtenidas fueron las medias mensuales de los meses de septiembre, octubre, noviembre y, además, el

promedio de las mismas. Los datos obtenidos a partir de este análisis fueron recopilados en planillas de cálculo para su posterior análisis (Kalnay *et al.*, 1996).

### Precipitaciones

Para la base de datos de las precipitaciones se utilizó el producto GPM: *Global Precipitation Measurement* (GPM) v6 cuya misión satelital internacional proporciona observaciones de lluvia y nieve en todo el mundo cada tres horas. Se tomó la media de las precipitaciones para los meses de septiembre, octubre, noviembre y la sumatoria de estos de los años seleccionados para este estudio. Los datos obtenidos a partir de esta base de datos fueron recopilados en planillas de cálculo para su posterior análisis (Huffman *et al.*, 2019).

### Análisis estadísticos

Una vez obtenidas las bases de datos se procedió con un análisis geoestadístico por temporada, sitio de nidificación y variables reproductivas. En primer lugar, se llevó a cabo un estudio descriptivo con el fin de observar tendencias a partir del análisis estadístico. Seguidamente se realizaron análisis de normalidad (Test de *Shapiro-Wilk*/Test de *Lilliefors*), homocedasticidad (Test de *Barlett*). Además, para analizar los datos a lo largo del tiempo se dividió a las temporadas en dos grupos: periodo I de la temporada 2000 a la temporada 2009 (n=1694) y el periodo II de la temporada 2010 a la temporada 2018 (n= 1719) debido a la gran variabilidad entre temporadas. Las diferencias de los dos periodos de tiempo se analizaron utilizando Prueba U de *Mann Whitney* y las diferencias entre las zonas de nidificación se evaluaron con la Prueba de *Kruskal-Wallis*. Por último, se buscaron relaciones entre las distintas variables a través de análisis de regresión lineal utilizando coeficiente de correlación de *Spearman* debido a que las variables no presentan distribución normal (Test de *Lilliefors*). Todos los análisis estadísticos se realizaron en el software R-Studio y con GEE, ambos de código abierto y libre distribución.

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos mostraron la existencia de perturbaciones ambientales, como el desmonte y la agricultura extensiva, en los diferentes sitios de nidificación de *C. latirostris* y alteraciones en sus parámetros reproductivos.

Caracterización de las zonas de nidificación de *C. latirostris*.

A partir del uso de diferentes variables indicadoras delimitadas a las zonas de nidificación encontramos que El Fisco, El Lucero y Espín poseen en su superficie un porcentaje notable de zonas de muy alto valor de conservación (Categoría I, OTBN y otros datos de cobertura analizados) y Los Amores, Dos Marías y Vuelta del Salado casi no presentan bosques en su superficie (Sin Cobertura, OTBN). Según el mapa nacional de cultivos, El Lucero es la única zona de nidificación que presentan en su superficie cultivos. Al utilizar el indicador de Huella Ecológica Humana (*Terrestrial Human Footprint*) hallamos que Dos Marías es una zona, en su mayoría, con nula a baja presión antrópica; El Fisco, Vuelta del Salado y El Lucero presentan presiones antrópicas moderadas y; que las zonas con mayor presión antrópica son Los Amores y Espín. Por último, el análisis de las zonas de nidificación con el Mapa de Cobertura LUS Nivel III arrojó que en todas las zonas de nidificación la principal actividad es la ganadería (Tabla 1).

A partir del análisis de las áreas *buffer* de las zonas de nidificación se obtuvo que aquellas que presentan al menos una hectárea de superficie cultivada dentro de los 3000 m son: El Lucero, Espín, El Fisco y Dos Marías; los primeros dos presentan la mayor cantidad de superficie cultivada (Tabla 2). Las mismas fueron clasificadas como zonas perturbadas. Con respecto a Los Amores y Vuelta del Salado, estas no presentan superficie cultivada en su zona *buffer* y por lo tanto fueron clasificadas como no perturbadas.

**Tabla 1:** Representatividad de diferentes variables indicadoras del uso y cobertura de los sitios de nidificación de *C. latirostris* expresada en porcentaje utilizando diferentes datos geográficos. **B:** Bosque natural o seminatural, **BM:** Bosque o matorrales con uso ganadero con predominio de bovinos, **CA:** cuerpos de agua, **G:** Ganadería, **GH:** Ganadería extensiva en humedales con predominio de bovinos, **OTBN:** Ordenamiento territorial de bosque nativo. A modo de ejemplo, de la interpretación de la tabla, el sitio Los Amores en el Mapa de Uso de Suelo LUS Nivel III presenta una superficie ocupada de 89% por la categoría principal G, de 8% por BM y de 2% por CA.

Lugar	OTBN			Mapa Nacional de Cultivos		Huella Ecológica Humana					Mapa de Uso de Suelo LUS Nivel III		
	Categoría I	Categoría II	Sin Cobertura	Cultivada	No Cultivada	Sin Presión	Presión Baja	Presión Moderada	Presión Alta	Presión Muy Alta	Principal	Secundaria	Terciaria
Los Amores	0	3	97	0	100	2	3	38	50	6	G:89	BM: 8	CA: 2
El Fisco	71	0	29	0	100	23	0	67	10	0	CA: 52	GH: 48	0
Espín	31	3	66	0	100	14	0	0	72	0	G: 100	0	0
El Lucero	25	4	71	2	98	2	0	57	41	0	GH: 47	B:22	BM:21
Dos Marías	0	1	99	0	100	73	0	0	27	0	GH: 99	BM: 1	0
Vuelta del Salado	6	2	92	0	100	5	0	83	12	0	GH: 74	CA: 26	0

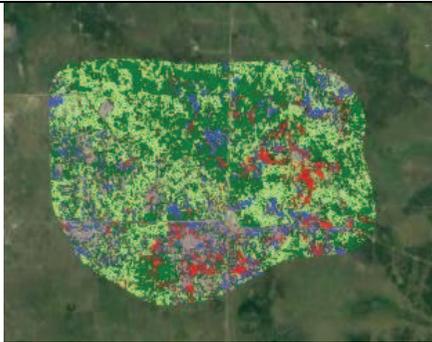
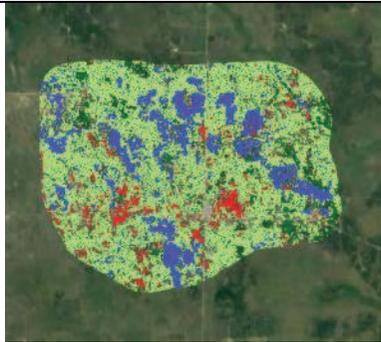
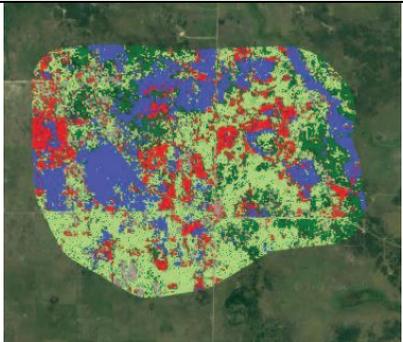
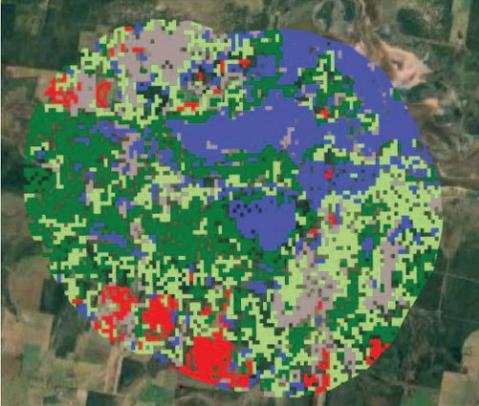
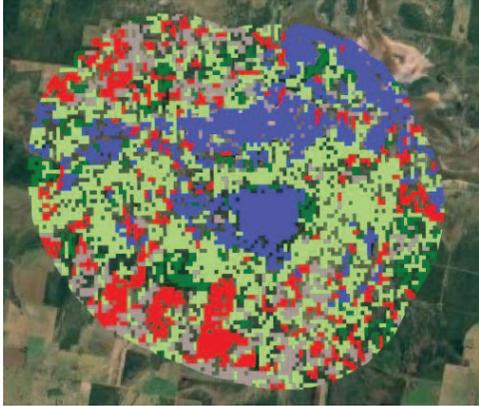
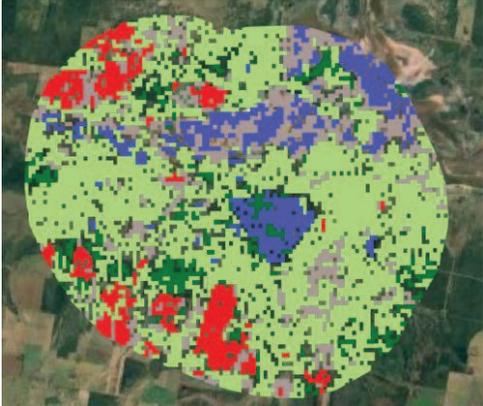
**Tabla 2:** Hectáreas ocupadas por cada categoría de uso de suelo. Datos obtenidos a partir del Mapa Nacional de Cultivos (Abelleyra *et al.*, 2019)

Lugar	Ganadería	Bosque	Cultivo
Los Amores	4310	1816	0
El Fisco	2688	885	15
Espín	3218	193	106
El Lucero	15532	23197	819
Dos Marías	1697	1024	1
Vuelta del Salado	14571	1923	0

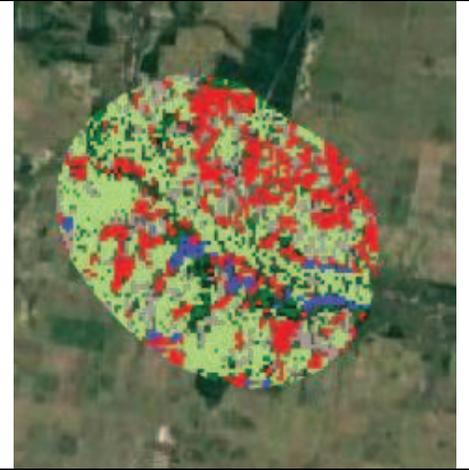
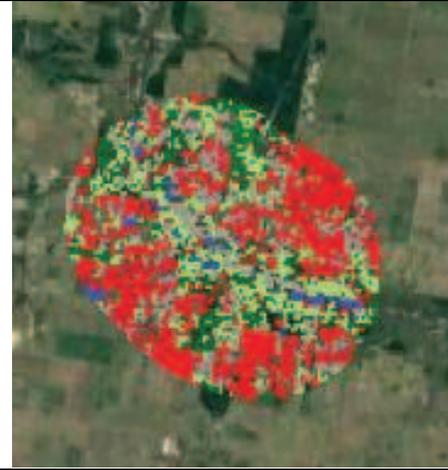
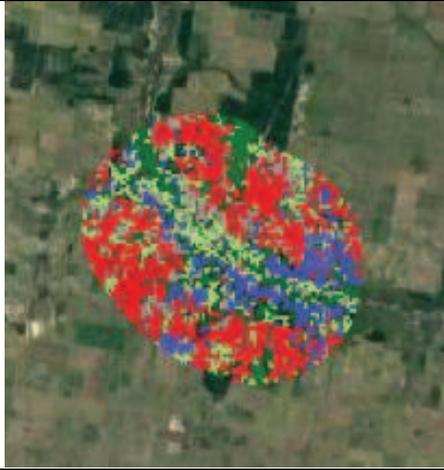
### Dinámica de la cobertura del suelo.

Al observar las imágenes obtenidas luego del geoprocesamiento podemos observar cómo en todos los lugares disminuye la superficie cubierta por bosques (Tabla 3, color verde oscuro). Asimismo, la superficie cubierta por agua o humedales también disminuye (Tabla 3, color azul). Por el contrario, los pastizales son los que mayor incremento presentan desde la temporada 2000 al 2018 (Tabla 3, color verde claro). En cuanto a la superficie cultivada, esta presenta un incremento desde la temporada del 2000 a la de 2010, con una disminución desde esta última al 2018 (Tabla 3, color rojo; Tabla 4 y Tabla 6). Por último, la clase suelo desnudo no presenta grandes cambios a través del tiempo (Tabla 3, color gris).

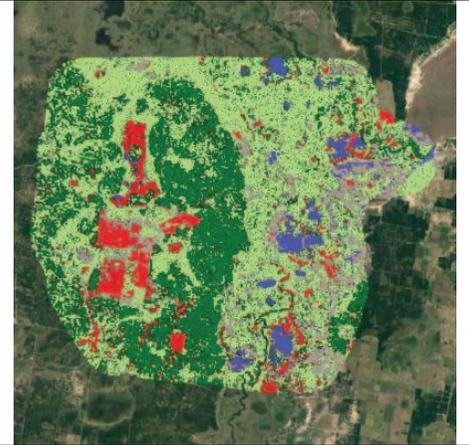
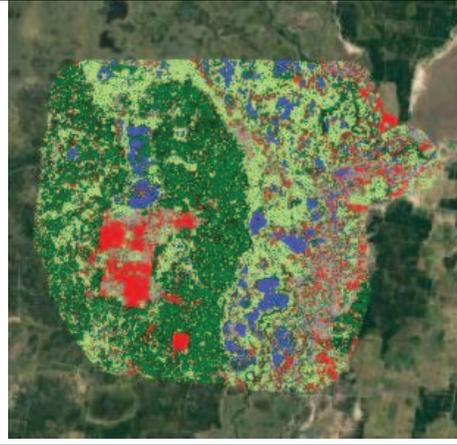
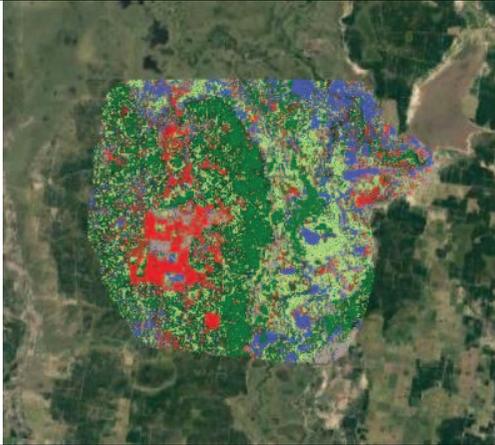
**Tabla 3.** Cambios en la cobertura de suelo de las áreas de nidificación de *C. latirostris* en las temporadas 2000, 2010 y 2018

Lugar	Temporada		
	2000	2010	2018
Los Amores			
El Fisco			

Espín



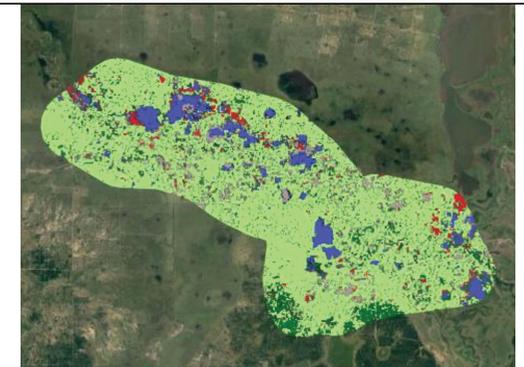
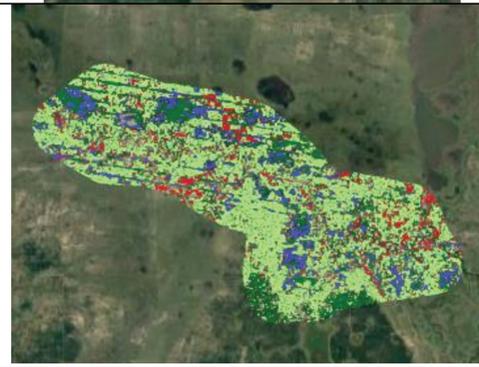
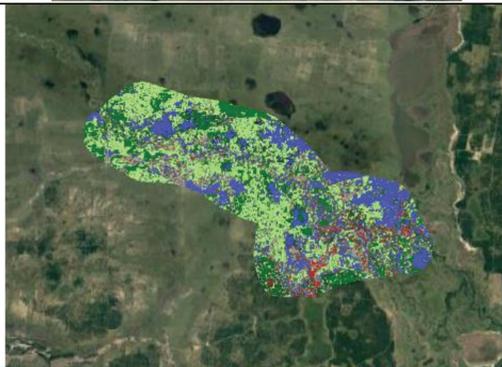
El Lucero



Dos Marías



Vuelta del Salado



- Bosque 
- Pastizal 
- Agua/Humedal 
- Cultivo 
- Suelo Desnudo 

Referencias:

A continuación, se presenta la superficie (en ha) de cada una de las clases obtenidas, las tasas de cambio proporcionales, porcentuales y el porcentaje de cobertura con respecto a la superficie total; entre las temporadas 2000 y 2018 (Tabla 4), 2000 y 2010 (Tabla 5) y 2010 y 2018 (Tabla 6).

**Tabla 4:** Tasas de cambio y porcentajes de cobertura de todos los sitios de nidificación de *C. latirostris* para el periodo 2000 a 2018.

Clases	Superficie (ha)		Tasa de cambio	Tasa de cambio (%)	Porcentajes de cobertura	
	2000	2018	2000_2018	2000_2018	2000	2018
Bosque	33212,19	19024,756	-0,077	-7,651	23,382	12,280
Pastizal	58825,985	90821,414	0,064	6,401	41,415	58,625
Agua/Humedal	23010,304	15393,942	-0,056	-5,581	16,200	9,937
Cultivo	12935,043	14068,436	0,012	1,207	9,107	9,081
Suelo Desnudo	14056,402	15612	0,015	1,511	9,896	10,077
Total	142039,924	154920,548			100	100

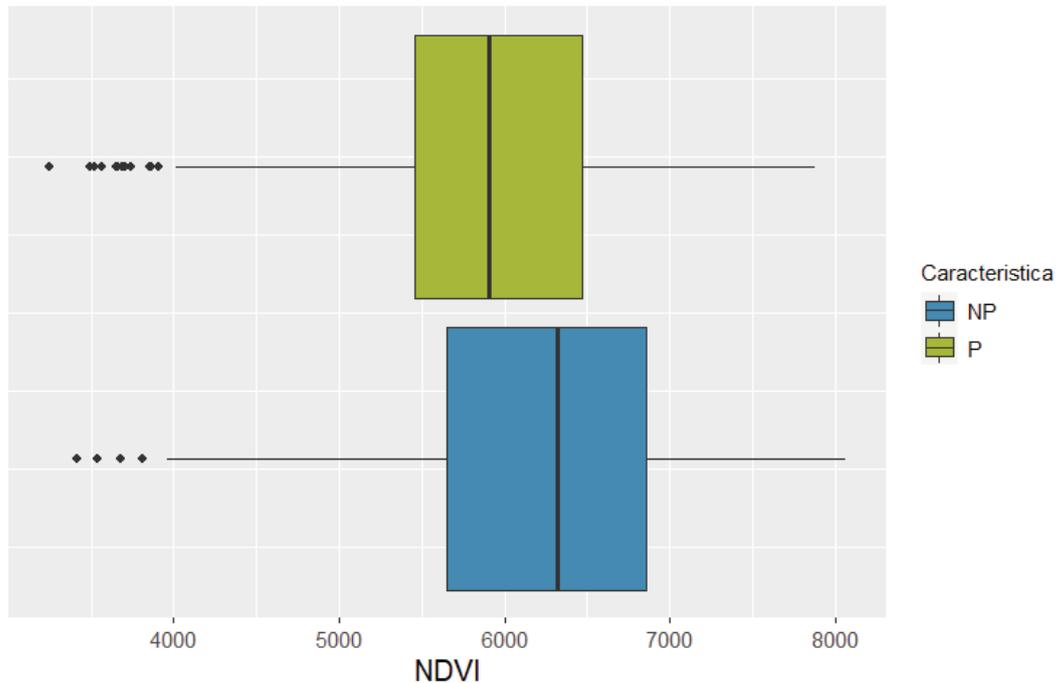
**Tabla 5:** Tasas de cambio y porcentajes de cobertura de todos los sitios de nidificación de *C. latirostris* para el periodo 2000 a 2010.

Clases	Superficie (ha)		Tasa de cambio	Tasa de cambio (%)	Porcentajes de cobertura	
	2000	2010	2000_2010	2000_2010	2000	2010
Bosque	33212,19	20103,311	-0,069	-6,920	23,382	13,101
Pastizal	58825,985	80814,849	0,046	4,641	41,415	52,667
Agua/Humedal	23010,304	17201,115	-0,040	-4,071	16,199	11,210
Cultivo	12935,043	15221,038	0,023	2,352	9,106	9,919
Suelo Desnudo	14056,402	20103,311	0,052	5,24	9,896	13,101
Total	142039,924	153443,624			100	100

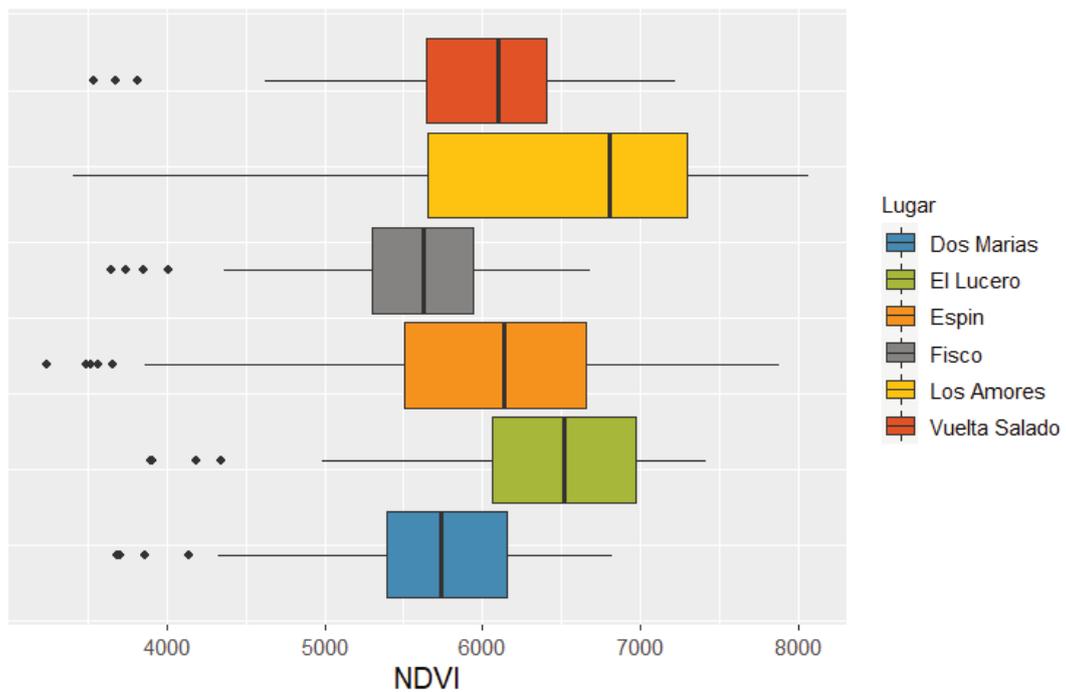
**Tabla 6:** Tasas de cambio y porcentajes de cobertura de todos los sitios de nidificación de *C. latirostris* para el periodo 2010 a 2018

Clases	Superficie (ha)		Tasa de cambio	Tasa de cambio (%)	Porcentajes de cobertura	
	2010	2018	2010_2018	2010_2018	2010	2018
Bosque	20103,311	19024,756	-0,008	-0,785	13,101	12,280
Pastizal	80814,849	90821,414	0,017	1,682	52,667	58,625
Agua/Humedal	17201,115	15393,942	-0,016	-1,573	11,210	9,937
Cultivo	15221,038	14068,436	-0,011	-1,119	9,920	9,081
Suelo Desnudo	20103,311	15612	-0,035	-3,548	13,101	10,077
Total	153443,624	154920,548			100	100

En el caso del verdor de la vegetación (NDVI) al comparar entre las zonas perturbadas y no perturbadas notamos que las primeras tienen valores de NDVI inferiores a los de las segundas ( $p < 0,05$ ; Fig. 2). Los valores de NDVI varían entre un mínimo de 0,34 y un máximo de 0,8 aproximadamente. Los sitios con mayor valor NDVI son El Lucero y Los Amores y los que presentan valores menores son Dos Marías y Fisco (Fig. 3).

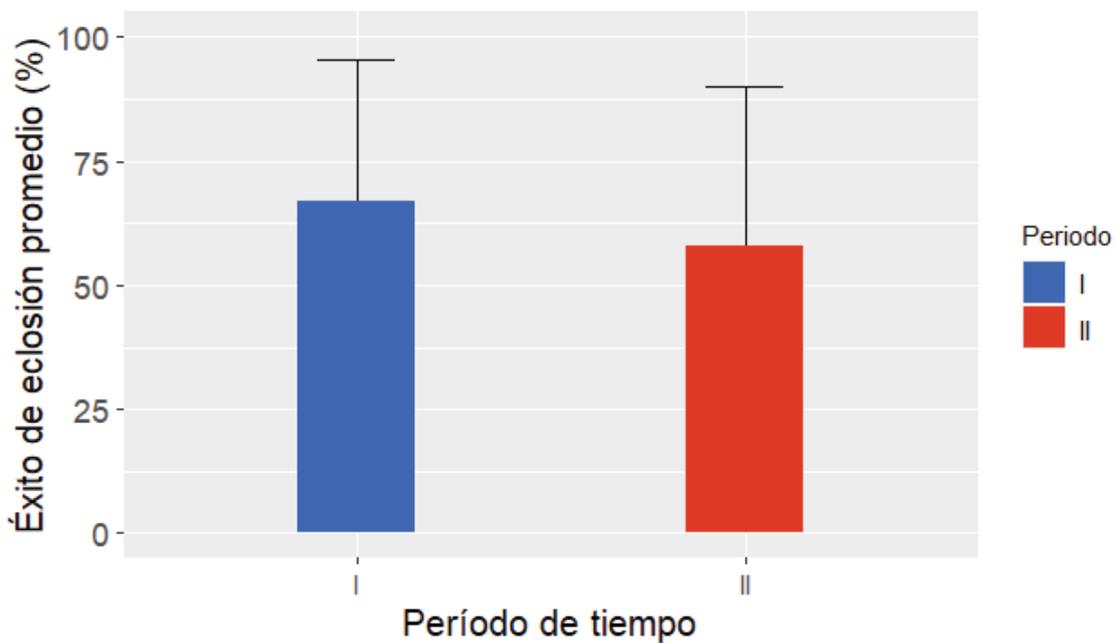


**Figura 2.** Valores escalados de NDVI entre las zonas de nidificación perturbadas (P) y las no perturbadas (NP)

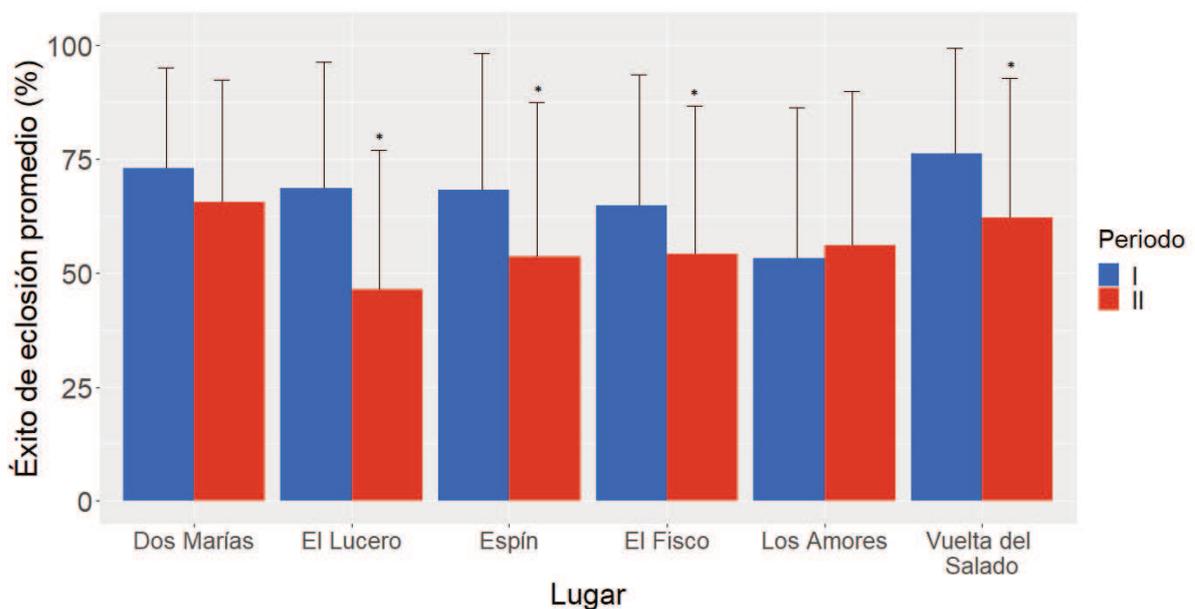


**Figura 3.** Valores escalados de NDVI entre los diferentes sitios de nidificación de *C. latirostris*

La comparación entre los dos periodos de tiempo para el éxito de eclosión resultó en una disminución del mismo desde el periodo I al periodo II (Fig. 4;  $p < 0,05$ ;  $U = 1687031$ ). Al observar esta variable en cada lugar notamos que existe una tendencia similar, es decir hacia una disminución en el éxito de eclosión de un periodo de tiempo a otro en todos los lugares y la diferencia es significativa en El Lucero ( $U = 39632$ ), Espín ( $U = 6768$ ), El Fisco ( $U = 110656$ ) y Vuelta del Salado ( $U = 54053$ ) (Fig. 5;  $p < 0,05$ ). El Lucero y Espín, las zonas con mayor superficie cultivada, presentan los valores más bajos de éxito de eclosión con una disminución de aproximadamente del 22% y el 15% respectivamente en el periodo II.

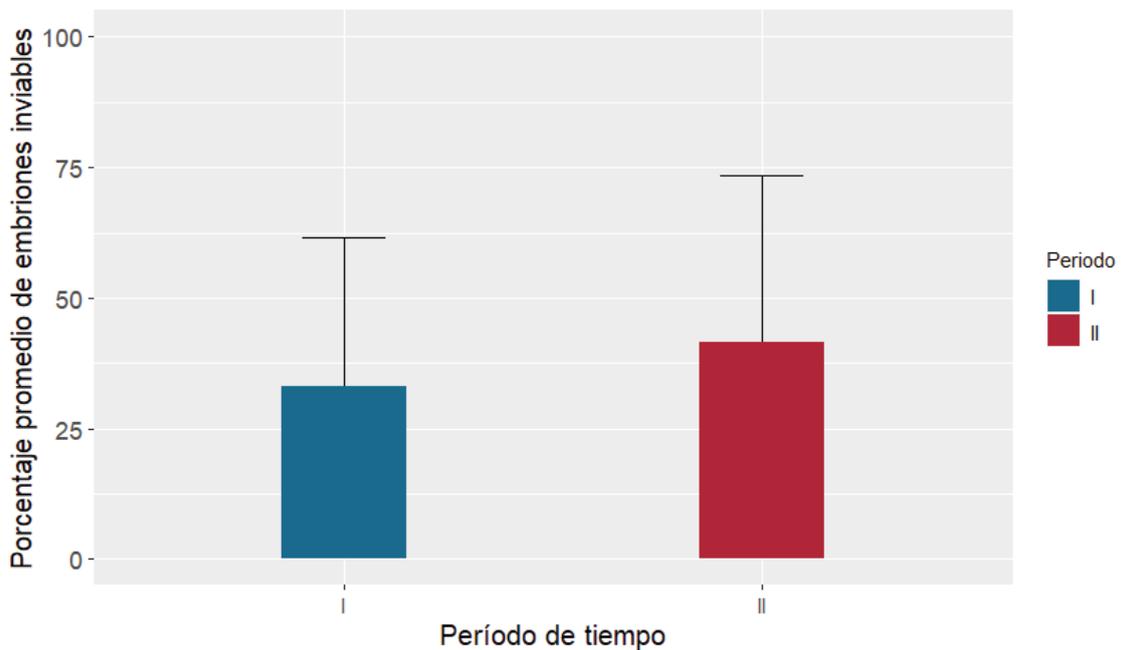


**Figura 4.** Éxito de eclosión promedio de *C. latirostris* desde el periodo I (2000-2009) al periodo II (2010-2018).

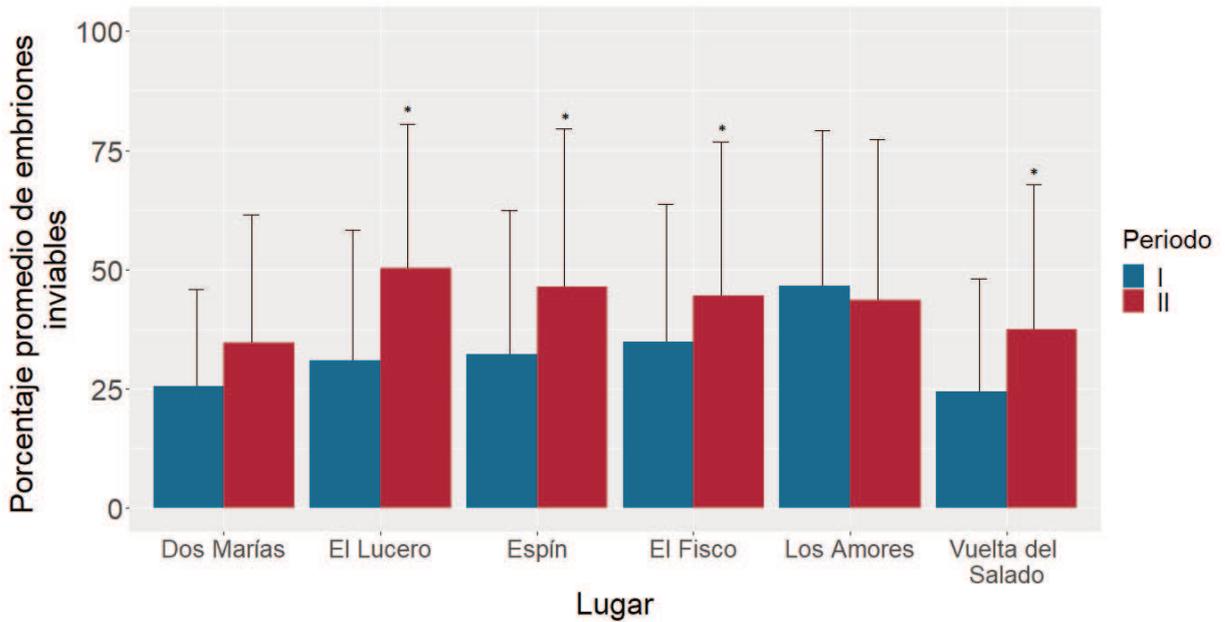


**Figura 5.** Éxito de eclosión promedio de *C. latirostris* en cada sitio de nidificación desde el periodo I (2000-2009) al periodo II (2010-2018). \* indica diferencia significativa entre un periodo y otro.

En cuanto al porcentaje de embriones inviábiles entre el periodo I y el periodo II notamos un incremento en esta variable (Fig. 6;  $p < 0,05$ ;  $U = 1228592$ ). Lo mismo se observa cuando comparamos cada lugar en ambos periodos de tiempo, una tendencia hacia un aumento. El Lucero ( $U = 17241$ ), Espín ( $U = 3968$ ), El Fisco ( $U = 76972$ ) y Vuelta del Salado ( $U = 31463$ ) presentan significativamente porcentajes promedios de embriones inviábiles mayores en el segundo periodo de tiempo (Fig. 7;  $p < 0,05$ ). El Lucero y Espín presentan los valores más elevados de la variable, con un aumento del 20% y 14% respectivamente en el periodo II; estos lugares son los que mayor superficie agrícola presentan.

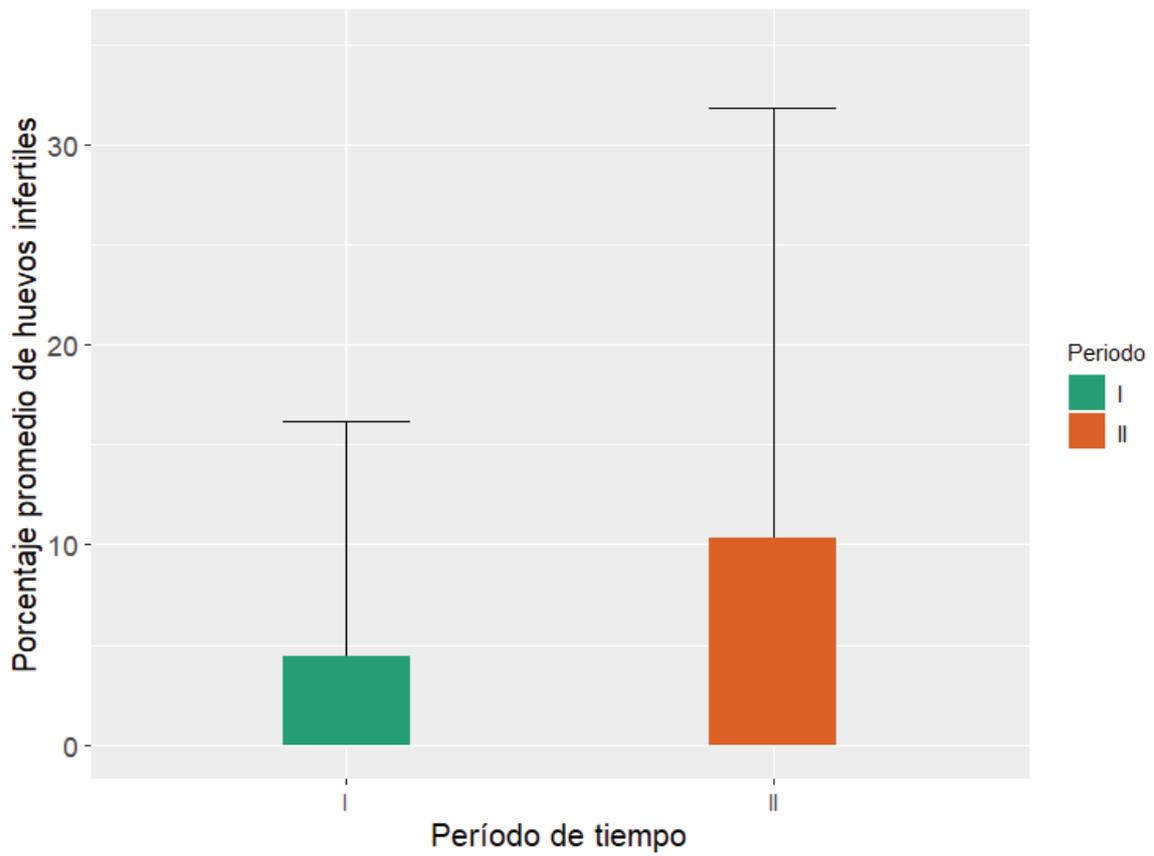


**Figura 6.** Porcentaje promedio de inviábiles de *C. latirostris* desde el periodo I (2000-2009) al periodo II (2010-2018).

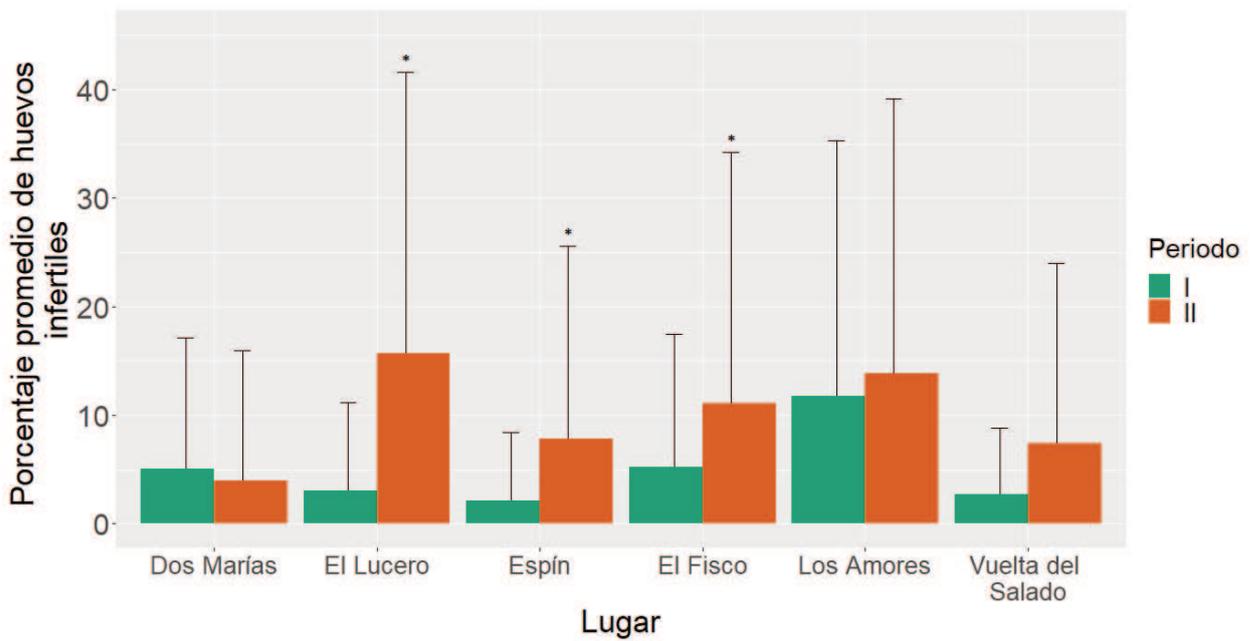


**Figura 7.** Porcentaje promedio de inviábiles de *C. latirostris* en cada sitio de nidificación desde el periodo I (2000-2009) al periodo II (2010-2018). \* indica diferencia significativa entre un periodo y otro.

Para el porcentaje promedio de huevos infértiles observamos que existe un aumento de esta variable desde el periodo I al periodo II (Fig. 8;  $p < 0,05$ ;  $U = 1301232$ ). Al comparar esta variable en las diferentes zonas de nidificación notamos que El Lucero ( $U = 22788$ ), Espín ( $U = 4464$ ) y El Fisco ( $U = 85770$ ) presentan un aumento (Fig. 9;  $p < 0,05$ ). Nuevamente, El Lucero es la zona con mayor aumento con un incremento del 13%.

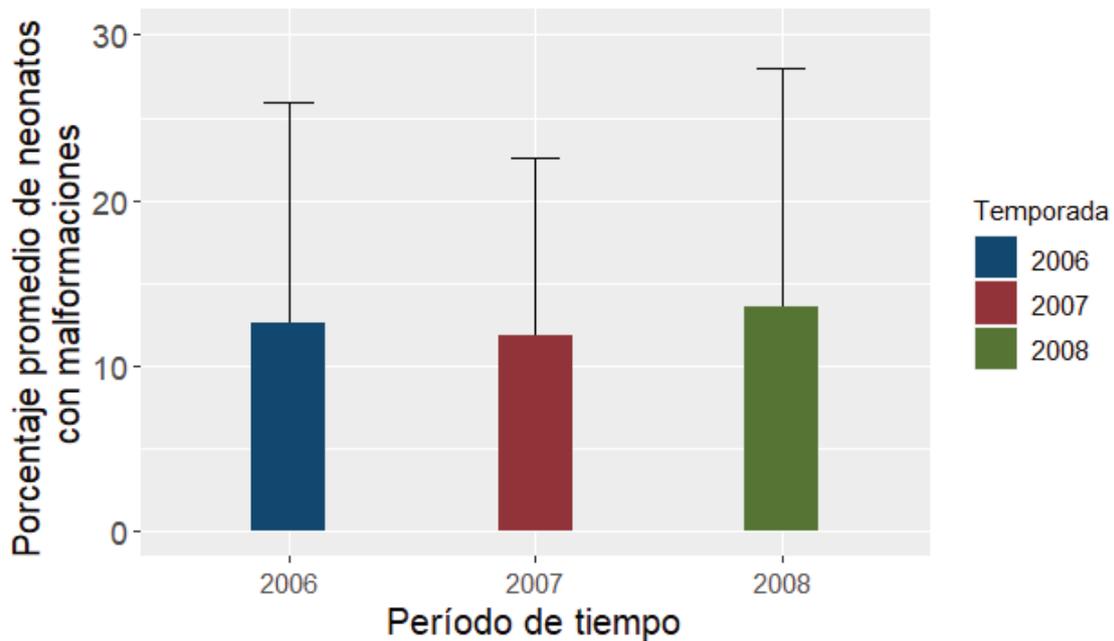


**Figura 8.** Porcentaje promedio de infértiles de *C. latirostris* desde el periodo I (2000-2009) al periodo II (2010-2018).

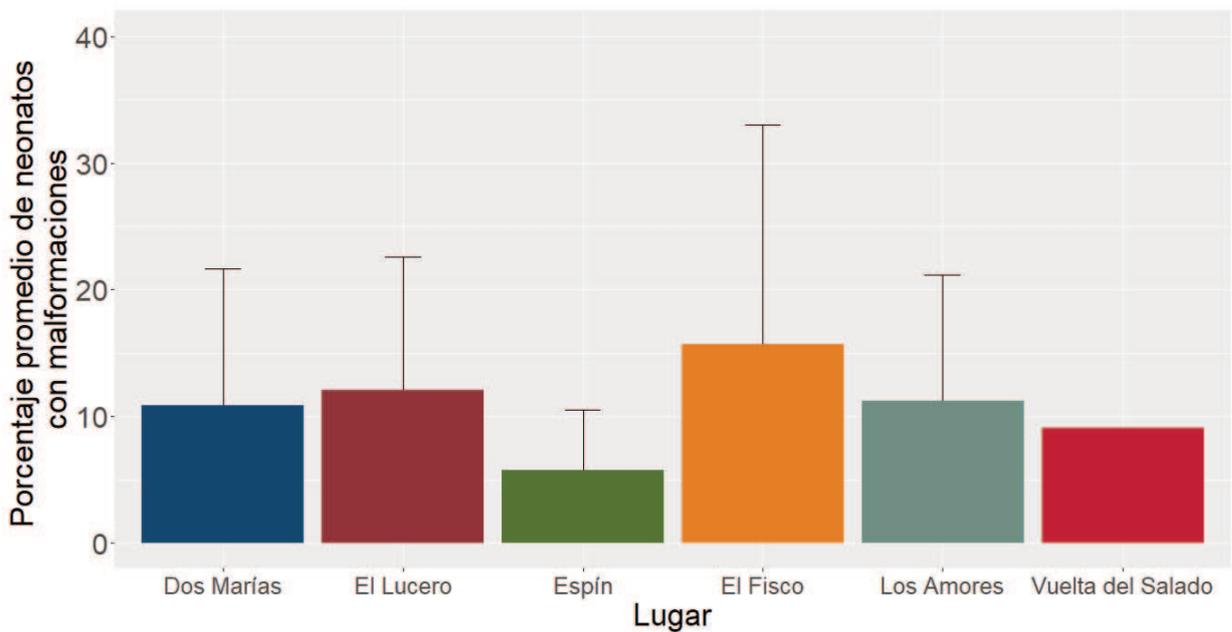


**Figura 9.** Porcentaje promedio de infértiles de *C. latirostris* en cada sitio de nidificación desde el periodo I (2000-2009) al periodo II (2010-2018). \* indica diferencia significativa entre un periodo y otro.

En el caso de las malformaciones no encontramos diferencias entre los años analizados (2006, 2007 y 2008; Fig. 10;  $p > 0.05$ ;  $F = 0,100$ ) ni entre las zonas de nidificación (Fig. 11;  $p > 0,05$ ;  $F = 4.17$ ).



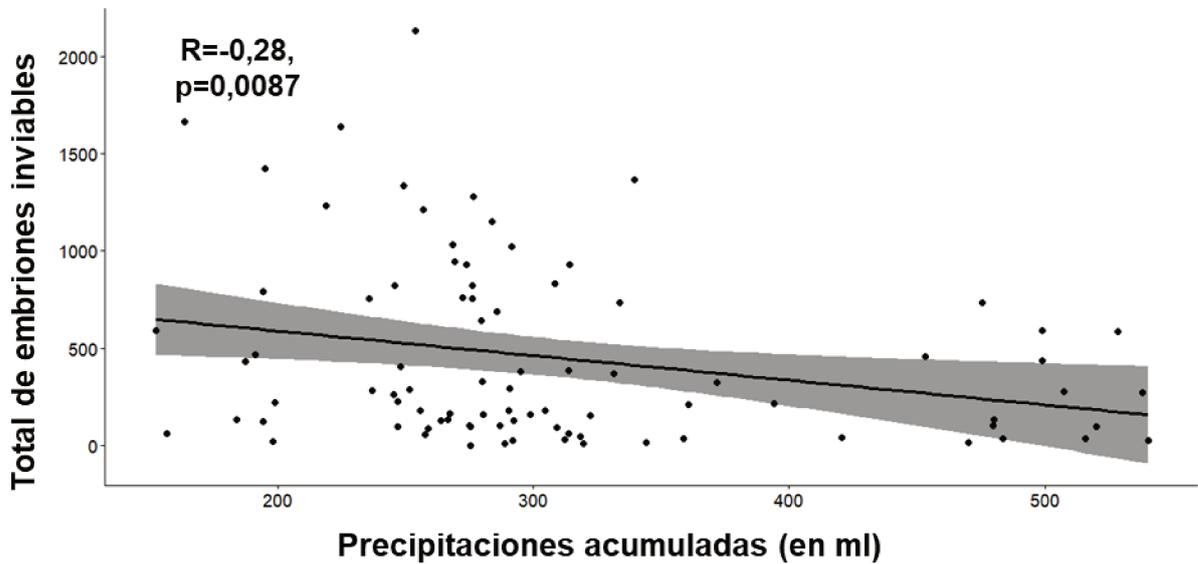
**Figura 10.** Porcentaje promedio de neonatos con malformaciones de *C. latirostris* entre los años 2006, 2007 y 2008.



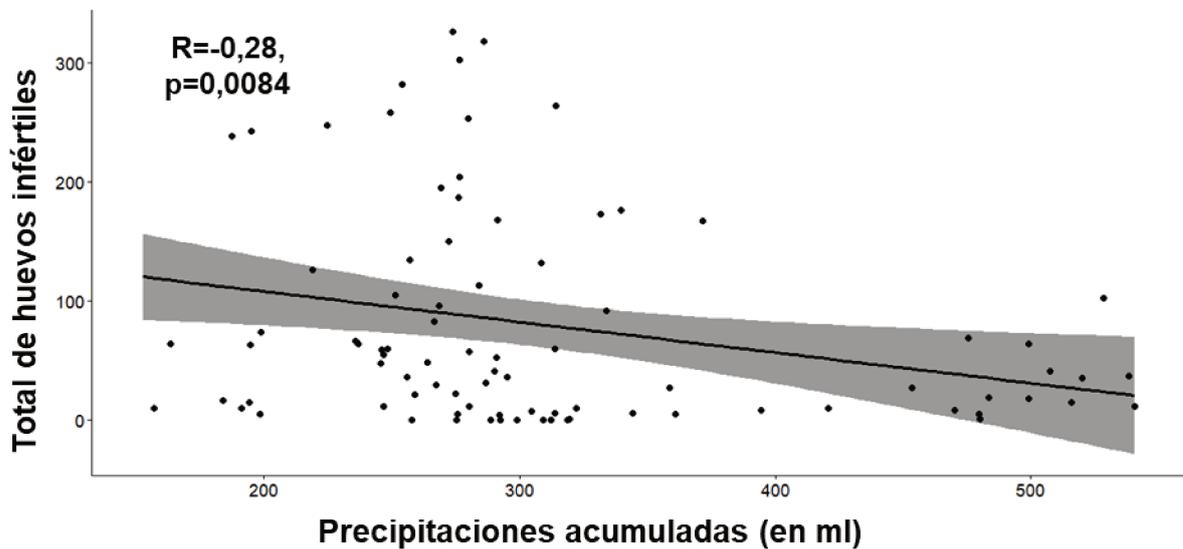
**Figura 11.** Porcentaje promedio de neonatos con malformaciones de *C. latirostris* en cada sitio de nidificación en los años 2006, 2007 y 2008. El sitio Vuelta del Salado solo presenta 1 dato.

La relación entre las precipitaciones, el total de embriones inviábiles y huevos infértiles es negativa ( $p < 0,05$ ); es decir cuando las precipitaciones aumentan se observa una disminución de la inviabilidad de los embriones y de huevos infértiles, aunque es una

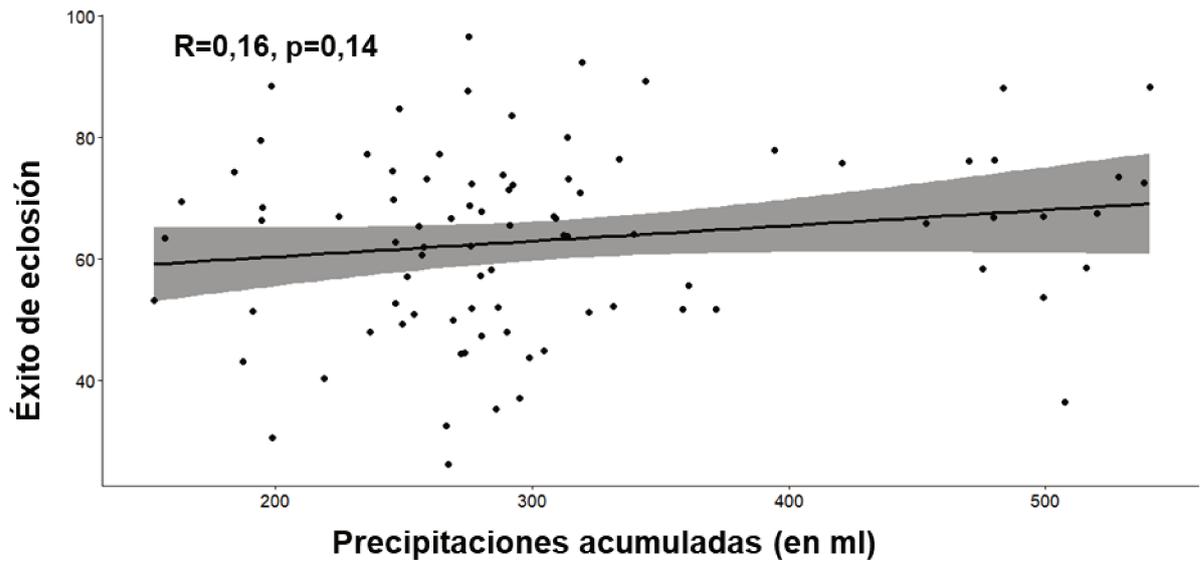
asociación débil ( $r=-0,28$ ; Fig.12, Fig.13). Al evaluar la relación entre las precipitaciones y el éxito de eclosión encontramos que no existe una relación significativa estadísticamente ( $p>0,05$ ; Fig. 14).



**Figura 12.** Gráfico de dispersión que muestra la relación entre las precipitaciones acumuladas de los meses de septiembre, octubre y noviembre, y el total de embriones inviables para el periodo 2000-2018. La línea negra representa la tendencia de los datos presentados y el sombreado gris la dispersión de los mismos.

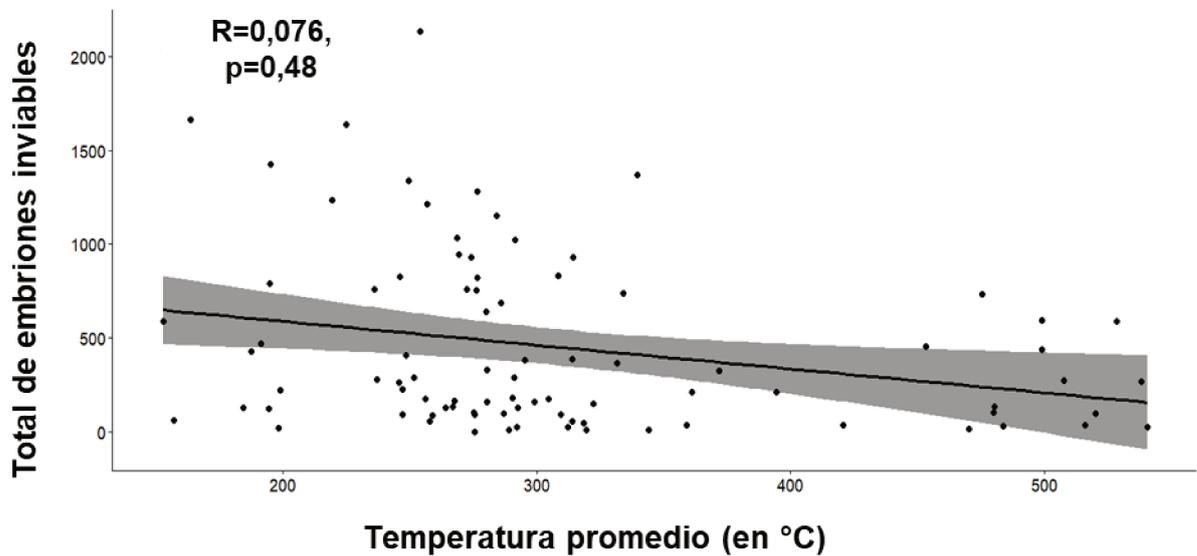


**Figura 13.** Gráfico de dispersión que muestra la relación entre las precipitaciones acumuladas de los meses de septiembre, octubre y noviembre, y el total de huevos infértiles para el periodo 2000-2018. La línea negra representa la tendencia de los datos presentados y el sombreado gris la dispersión de los mismos.

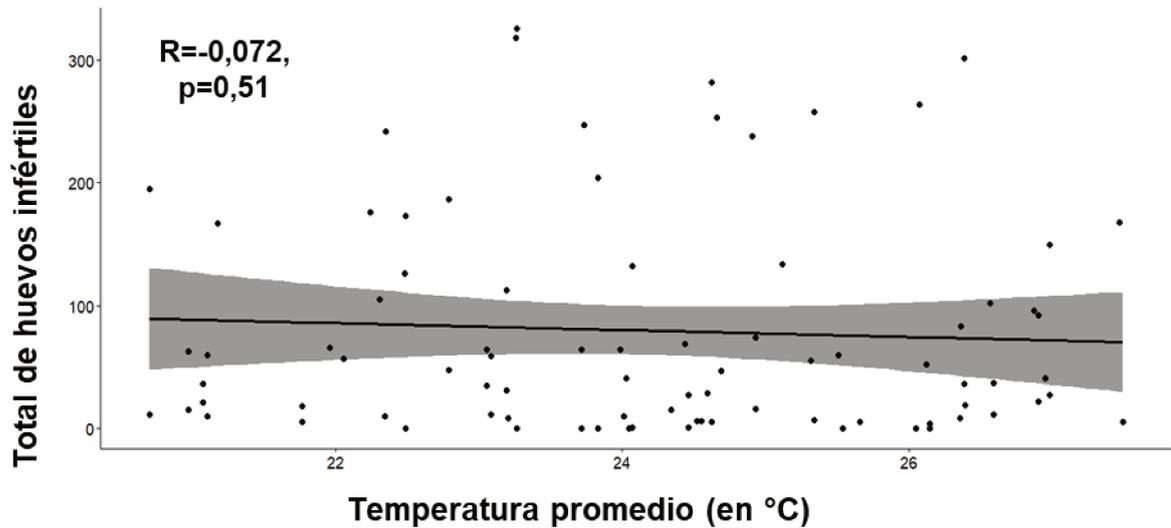


**Figura 14.** Gráfico de dispersión que muestra la relación entre las precipitaciones acumuladas de los meses de septiembre, octubre y noviembre, y el éxito de eclosión para el periodo 2000-2018. La línea negra representa la tendencia de los datos presentados y el sombreado gris la dispersión de los mismos.

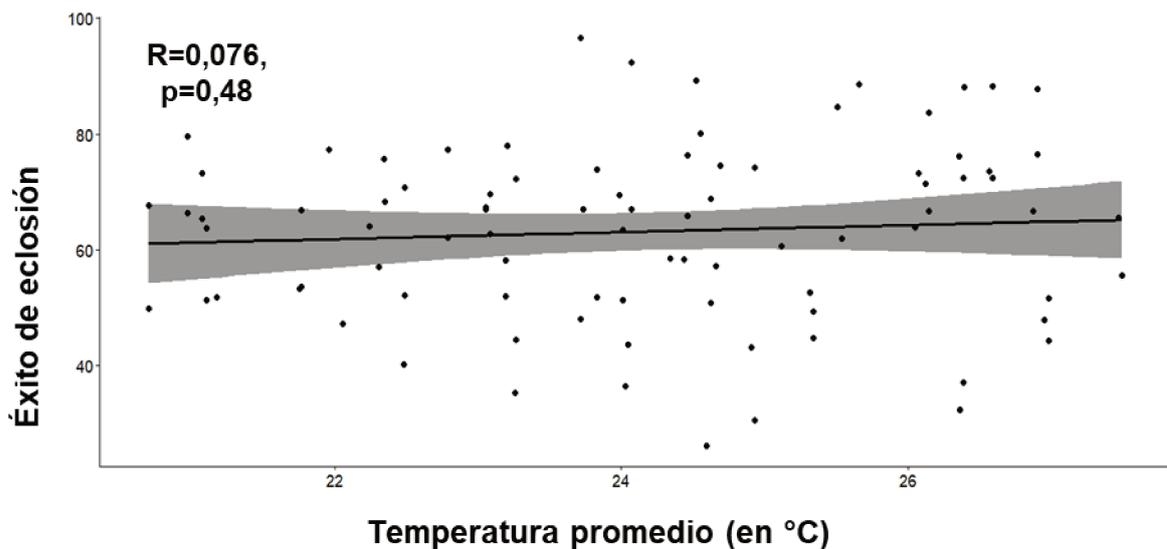
No encontramos relación entre las variables reproductivas analizadas y la temperatura superficial del suelo promedio de los meses previos al evento reproductivo ( $p>0,05$ ; Fig. 15, Fig. 16, Fig. 17).



**Figura 15.** Gráfico de dispersión que muestra la relación entre la temperatura superficial del suelo promedio de los meses previos al evento reproductivo de *C. latirostris* y el total de embriones inviables. La línea negra representa la tendencia de los datos presentados y el sombreado gris la dispersión de los mismos.



**Figura 16.** Gráfico de dispersión que muestra la temperatura superficial del suelo promedio de los meses previos al evento reproductivo de *C. latirostris* y su relación con el total de huevos infértiles. La línea negra representa la tendencia de los datos presentados y el sombreado gris la dispersión de los mismos.



**Figura 17.** Gráfico de dispersión que muestra la temperatura superficial del suelo promedio de los meses previos al evento reproductivo de *C. latirostris* y su relación el éxito de eclosión. La línea negra representa la tendencia de los datos presentados y el sombreado gris la dispersión de los mismos.

## DISCUSIÓN

En el desarrollo de esta tesina evaluamos algunos parámetros de la biología reproductiva de *C. latirostris* con el objetivo de comparar los cambios a través del tiempo en los sitios de nidificación relevados en este estudio. Además, se analizó la utilidad de la aplicación de geotecnologías, de herramientas SIG (Moreira Muñoz, 1996), plataformas de datos en la nube, repositorios y bases de datos geográficas para aplicar en los programas de conservación de la especie bajo diferentes presiones ambientales.

En los últimos años, en Argentina y principalmente en la provincia de Santa Fe, el crecimiento de la superficie cultivada acompañada del uso de agroquímicos ha impactado negativamente sobre los ecosistemas naturales y en las especies que los componen (Reboratti, 2010; Magnasco y Di Paola, 2015; Zarrilli, 2020). Al caracterizar las zonas de nidificación en el periodo total evaluado (2000-2018) observamos que la principal actividad que presentan los sitios de nidificación de *C. latirostris* es la ganadería, fundamentalmente al norte de la provincia y en menor medida actividades agrícolas en el centro de la provincia correspondientes a las demás zonas analizadas. Estos resultados coinciden con los esperados para la provincia donde en el centro las actividades son la agricultura y la cría ganadera; y en el norte dedicado principalmente a esta última (Urcola *et al.*, 2015).

Al analizar los cambios en la cobertura del suelo hallamos un aumento en la superficie cultivada desde la temporada 2000 al 2009, resultados similares fueron reportados en el departamento de Castellanos de la provincia de Santa Fe para un periodo de tiempo similar (Zenklusen *et al.*, 2018). En cuando a los cambios desde la temporada 2010 a 2018 notamos una leve disminución en la superficie sembrada, también en consistencia con las investigaciones realizadas en el departamento anteriormente mencionado (Zenklusen *et al.*, 2018) y para la región pampeana (Paruelo *et al.*, 2005; Carreño y Viglizzo, 2007). Sin embargo, en la provincia de Santa Fe la tendencia general es hacia el aumento de superficie cultivada (Maldonad, 2019; Albanesi y Propersi, 2020). El área ocupada por el bosque disminuye en todas las zonas de nidificación, aunque tres de los lugares (El Fisco, El Lucero y Espín) presentan áreas de muy alto valor de conservación según la Ley N° 26331. Estudios anteriores reportaron una disminución en la superficie ocupada por bosques nativos en la provincia de Santa Fe (-0,98%) entre el periodo 1998-2002, en este trabajo encontramos una disminución mayor, estimada en 7% en un periodo de tiempo mayor, lo cual indicaría el avance de la frontera agropecuaria sobre estas zonas a pesar de la existencia de legislaciones (Montenegro *et al.*, 2005). La disminución en la superficie ocupada por el agua y los humedales se podría explicar debido a que la temporada 2018 (diciembre 2017 a marzo 2018) estuvo atravesada por una sequía importante y déficit hídrico, lo que resulta en un escaso desarrollo de cultivos (Zenklusen *et al.*, 2018; Albanesi y Propersi, 2020).

El análisis del NDVI nos permitió estimar el estado de salud de la cubierta vegetal, en este estudio obtuvimos valores medios de NDVI de entre 0,55 a 0,65 para cada zona de nidificación, con un mínimo de 0,34 y un máximo de 0,8 aproximadamente. Estos valores medios de 0,53 están asociados a plantaciones agrícolas (Regmi *et al.*, 2020), si bien otros autores reportan valores de 0,4 para distintas plantaciones (arroz, yuca y caña de azúcar; Vaiphasa *et al.*, 2011). Para zonas boscosas fueron reportados valores de NDVI de entre 0,5 a 0,8 (Cristiano *et al.*, 2014; Jeevalakshmi *et al.*, 2016). Considerando estos valores de referencia, y tomando en cuenta las características de la región, los valores más bajos de NDVI estarían asociados a coberturas de matorrales (0,43) y pastizales (0,29) (Regmi *et al.*, 2020). Por lo tanto, los valores hallados coinciden con las clases de cobertura descritas previamente y las áreas de nidificación se encontrarían inmersas en una matriz tanto ganadera como agrícola.

En dichas zonas una práctica frecuente y que se encuentra en constante avance es la aplicación de agroquímicos (Schaaf, 2013), los cuales serían los potenciales causantes de variaciones en algunos de los parámetros reproductivos de *C. latirostris*. En este trabajo de tesis encontramos que el éxito de eclosión de *C. latirostris* disminuye desde el periodo I (temporadas 2000 a 2009) al periodo II (temporadas 2010 a 2018). De esta manera, es la primera vez que se reporta el efecto en el éxito de eclosión posiblemente provocado por la exposición crónica a agroquímicos en un periodo de tiempo prolongado. Estos resultados se pueden acoplar a la gran cantidad de estudios realizados sobre *C. latirostris* en los cuales se han detectado efectos histológicos, genotóxicos, inmunotóxicos, de daño oxidativo y alteraciones enzimáticas (Poletta *et al.*, 2009, 2011, 2017; López González *et al.*, 2013, 2017, 2019; Siroski *et al.*, 2015; Galoppo *et al.*, 2020; Odetti *et al.*, 2020, 2022). Este tipo de alteraciones son potencialmente mutagénicas, carcinogénicas y teratogénicas; con la capacidad de iniciar una cascada de consecuencias biológicas en células específicas, en tejidos u órganos, en el organismo completo o en la población con consecuencias sobre el crecimiento, desarrollo y mecanismos de defensa (Carballo y Mudry, 2006). En el caso de nidos de otra especie de cocodriliano (*Alligator mississippiensis*) el éxito de eclosión presenta valores inferiores en sitios cercanos a actividades agrícolas; y dicho efecto es atribuido a las altas concentraciones de agroquímicos (Rauschenberger, 2004; Woodward *et al.*, 2011); lo mismo ocurre en otras especies como aves, peces y anfibios (Svennson *et al.*, 2007; Osterauer y Köhler, 2008; Agbohessi, 2013; Watson *et al.*, 2014) expuestos a pesticidas.

En cuanto al porcentaje promedio de embriones inviables, se observa un aumento en todos los sitios de nidificación, siendo las zonas más afectadas por las actividades agrícolas las que presentan valores más elevados. Esto coincide para lo reportado en *A. mississippiensis*, en la cual la mortalidad embrionaria es mucho mayor en zonas cercanas a actividades agrícolas (Rauschenberger *et al.*, 2007; Woodward *et al.*, 2011). Algo similar ocurre con aves y peces expuestos de manera experimental a concentraciones de plaguicidas (Svennson *et al.*, 2007; Osterauer y Köhler, 2008). Otros

estudios sugieren que la mortalidad embrionaria se encuentra asociada a alteraciones en la composición de lípidos, ácidos grasos y a la deficiencia de tiamina del huevo, cuyos valores se encuentran alterados en zonas en cercanía a actividades agrícolas (Lance *et al.*, 2001; Sepúlveda, 2004). Dichas alteraciones provocarían un aumento en el porcentaje promedio de embriones inviables en zonas agrícolas como las monitoreadas en el presente trabajo de tesina.

Coincidentemente a los valores reproductivos alterados reportados previamente, hallamos un aumento en el porcentaje promedio de huevos infértiles, fundamentalmente en aquellos sitios de mayor actividad agrícola (El Lucero, Espín, El Fisco). De igual manera, en poblaciones de *A. mississippiensis* que habitan lagos contaminados con agroquímicos se ha reportado un incremento en la cantidad de huevos infértiles (Rauschenberger, 2004; Rauschenberger *et al.*, 2007; Guillette *et al.*, 2008). Si bien las causas de la infertilidad son aún desconocidas, parecería estar asociada a una alteración en la función reproductiva de los machos (Rauschenberger *et al.*, 2007). Esto, sumado a que en machos de *C. latirostris* fueron halladas alteraciones en la histoarquitectura de los testículos y los niveles de la hormona testosterona al ser expuestos a sustancias agroquímicas durante su incubación (Rey *et al.*, 2009), podría explicar el aumento en el porcentaje promedio de huevos infértiles en el presente trabajo.

La alteración en los parámetros reproductivos de *C. latirostris* aquí registradas podrían deberse a la acumulación de agroquímicos en la yema de los huevos. Estudios previos han demostrado la presencia de estas sustancias en altas concentraciones en huevos de esta especie provocando efectos perjudiciales sobre su capacidad reproductiva (Stoker *et al.*, 2011). Los agroquímicos son sustancias lipofílicas que se bioacumulan en los tejidos grasos de cocodrilianos (Rauschenberger *et al.*, 2007; Buah-Kwofie *et al.*, 2018; Humphries *et al.*, 2021), pueden ser transferidos desde la madre hacia la descendencia durante la vitelogénesis (Charruau *et al.*, 2013) y tiene importancia biológica en el desarrollo embriológico (Humphries *et al.*, 2021). Los contaminantes transferidos por vía materna están asociados con la disminución del éxito de eclosión, el aumento de mortalidad embrionaria y de huevos infértiles (Rauschenberger *et al.*, 2004; Rauschenberger *et al.*, 2007), reducción en el tamaño de postura (Stoker *et al.*, 2011) y alteraciones en la concentración de hormonas sexuales (Rey *et al.*, 2009). En el caso de *C. latirostris* el desempeño reproductivo se encuentra influenciado por las características de la madre (Leiva, 2019), por lo tanto, en los ambientes donde las hembras se encuentren expuestas a agroquímicos por tiempo prolongado tendrían un desempeño reproductivo menor al normal esperado para la especie.

En este estudio no encontramos que exista un mayor porcentaje de malformaciones en aquellas zonas cercanas a áreas cultivadas, esto podría deberse a la limitada cantidad de temporadas monitoreadas o a la omisión en el registro. En *C. latirostris* la exposición

a formulaciones de plaguicidas disminuye el tamaño de los neonatos y el crecimiento durante los meses posteriores (Poletta *et al.*, 2011). La aparición de malformaciones en esta especie estaría asociada a las condiciones ambientales y reduce la supervivencia de neonatos en la naturaleza debido a las dificultades para eclosionar, obtener comida o evitar depredadores (Cedillo-Leal *et al.*, 2017). Otros estudios, han demostrado la capacidad de los plaguicidas de causar efectos teratogénicos (Garcês *et al.*, 2020), entre las principales anomalías reportadas se encuentran: reducción del peso, tamaño y ritmo cardíaco, aparición de edemas, defectos en los ojos, deformaciones de la espina dorsal y cola, deformación helicoidal del cuerpo, lesiones en la piel, cambios en la capacidad locomotora, deformación de extremidades, osificación nula o limitada, cambios en la forma de los huesos, presencia de huesos rudimentarios, saco vitelino sin absorber, abdomen abierto, entre otros (Osterauer y Kölher, 2008; Agbohessi *et al.*, 2013; Watson *et al.*, 2014; Hirano *et al.*, 2019; Lehel *et al.*, 2021). Estas anomalías mencionadas coinciden con algunas de las observadas en *C. latirostris* (Cedillo-Leal, *et al.*, 2017).

A su vez, en sus zonas de nidificación *C. latirostris* se encuentra expuesto a otras variables como la temperatura y las precipitaciones, las cuales condicionan la dinámica poblacional de la especie y la capacidad de inversión reproductiva (Leiva, 2019). En este trabajo encontramos que la cantidad de embriones inviables y de huevos infértiles disminuyen al aumentar las precipitaciones y que existe una tendencia hacia el aumento del éxito de eclosión en las mismas condiciones. Estos resultados coinciden con estudios anteriormente realizados sobre *C. latirostris* en los cuales el aumento de las precipitaciones es acompañado por un incremento en la disponibilidad de alimento y en consecuencia mejoran la aptitud reproductiva de la especie (Simoncini *et al.*, 2011; Leiva, 2019). En otra especie de cocodriliano, *Crocodylus porosus*, el éxito de eclosión se relaciona positivamente con las precipitaciones; sin embargo, un aumento excesivo de estas últimas podría ocasionar altas tasas de mortalidad embrionaria (Fukuda y Saalfeld, 2014). Por otro lado, hallamos que las temperaturas parecerían no tener influencia sobre los parámetros reproductivos. Estos resultados son consistentes con los de Simoncini *et al.*, 2011. Sin embargo, en otro estudio fue reportado que las temperaturas están relacionadas con la disponibilidad y calidad de los ítems alimentarios y con la condición fisiológica de las hembras reproductoras; y en consecuencia estos factores condicionan la capacidad reproductiva de *C. latirostris* (Leiva, 2019). Por lo tanto, los efectos de la temperatura sobre la reproducción de esta especie son todavía desconocidos y deberían ser estudiados en mayor profundidad.

## CONCLUSIONES

- Las geotecnologías y la información geográfica utilizadas en este trabajo nos permitieron caracterizar e indicar el grado de perturbación de las zonas de nidificación de *C. latirostris*. En dichas zonas se evidencia el avance de la frontera agropecuaria durante el periodo de estudio (2000-2018). Las zonas más afectadas son El Lucero y Espín, las cuales presentan la superficie cultivada más elevada.
- En todas las zonas analizadas disminuyó el éxito de eclosión y aumentó el porcentaje de embriones inviables y de huevos infértiles; pudiendo ser la presencia de agroquímicos en estos ambientes su principal causante.
- El porcentaje de malformaciones no se vio alterado en función de los sitios con mayor actividad agrícola.
- La cantidad de precipitaciones mostraron un efecto positivo sobre los parámetros reproductivos analizados de las hembras de *C. latirostris*. El aumento en las precipitaciones reduce el total de embriones inviables y huevos infértiles, y provoca una tendencia hacia un aumento en el éxito de eclosión.
- No se encontró relación entre la temperatura superficial del suelo y las variables reproductivas analizadas.

## PERSPECTIVAS A FUTURO

- Utilizar las geotecnologías puestas a punto en este trabajo para analizar otros sitios de nidificación de *C. latirostris* e incluso para otras especies que se encuentren bajo programas de manejo. Además, existen múltiples herramientas, colecciones de imágenes y sensores remotos con posible aplicación de estudios biológicos y ambientales que también podrían contemplarse para ser utilizados a futuro.
- Incluir datos de elevación del terreno para obtener información del posible destino final de los plaguicidas.
- Medir concentraciones de agroquímicos que se encuentran en cada sitio de nidificación mediante muestras de agua, suelo y material de nido para corroborar la presencia y tipo de los mismos en dichas zonas.
- Corroborar el mecanismo mediante el cual los agroquímicos son transmitidos desde la hembra hacia la descendencia; a través de la medición de estas sustancias en tejidos tanto en la hembra como del huevo.
- Determinar los posibles efectos de las prácticas ganaderas sobre *C. latirostris*.

## BIBLIOGRAFÍA

**Amani, M.; Ghorbanian, A.; Ahmadi, S.A.; Kakooei, M.; Moghimi, A.; Mirmazloumi, S.M.; Alizadeh Moghaddam, S.H.; Mahdavi, S.; Ghahremanloo, M.; Parsian, S.; Wu, Q. y Brisco, B.** (2020). Google Earth Engine Cloud Computing Platform for Remote Sensing Big Data Applications: A Comprehensive Review. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 13, pp. 5326-5350. doi: 10.1109/JSTARS.2020.3021052.

**Anguiano, O.L. y Ferrari A.** (2019). Riesgo ecotoxicológico de plaguicidas utilizados en Argentina. Elaborado en el marco del Proyecto de Extensión: “¿Conocen los agricultores las buenas prácticas agrícolas? Una cuestión clave para disminuir la exposición a plaguicidas y el riesgo de intoxicación”. Facultad de Ingeniería y Facultad de Ciencias Médicas. Universidad Nacional de Comahue. PROBIEN (CONICET-UNCo).

**Agbohessi, P. T.; Imorou Toko, I.; Houndji, A.; Gillardin, V.; Mandiki, S. N. M. y Kestemont, P.** (2013). Acute toxicity of agricultural pesticides to embryo-larval and juvenile African catfish *Clarias gariepinus*. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 64, 692-700.

**Albanesi, R.; Propersi, P.** (2020). Transformaciones fundiarias y en el uso del suelo en la provincia de Santa Fe entre el CNA 2002 y el CNA 2018. *Revista Realidad Económica*, 334, 163-181.

**Arregui M.C.; Sánchez D.; Althaus R.; Scotta R.R. and Bertolaccini I.** (2010). Assessing the risk of pesticide environmental impact in several Argentinian cropping systems with a fuzzy expert indicator. *Pest. Manag. Sci.* 66, 736-740.

**Buah-Kwofie, A.; Humphries, M. S.; Combrink, X. y Myburgh, J. G.** (2018). Accumulation of organochlorine pesticides in fat tissue of wild Nile crocodiles (*Crocodylus niloticus*) from iSimangaliso Wetland Park, South Africa. *Chemosphere*, 195, 463-471.

**Buzai, Gustavo D.** (2008). *Sistemas de Información Geográfica (SIG) y cartografía temática. Métodos y técnicas para el trabajo en el aula.* Buenos Aires: Lugar Editorial. 128 páginas. [ISBN 978-950-892-298-4].

**Carballo, M.A. y Mudry, M.D.** (2006). Indicadores y marcadores biológicos. En: *Genética Toxicológica*. Mudry M.D. y Carballo M.A. (Eds.). De los Cuatro Vientos Editorial, Buenos Aires, Argentina. 4: 83-108.

**Carreño, L. y Viglizzo, E.F.** (2007). *Provisión de Servicios Ecológicos y Gestión de los Ambientes Rurales en Argentina.* Área Estratégica de Gestión Ambiental. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina, 68 p.

**Cedillo-Leal, C.; Simoncini, M.S.; Leiva, P.M.L.; Larriera A.; Lang J.W.; Piña, C.I.** (2017). Eggshell structure in *Caiman latirostris* eggs improves embryo survival during nest inundation. *Proc. R. Soc. B* 284: 20162675. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2016.2675>

**Charruau, P.; Hénaut, Y. y Alvarez-Legorreta, T. (2013).** Organochlorine pesticides in nest substratum and infertile eggs of American crocodiles (Reptilia, Crocodylidae) in a Mexican Caribbean atoll. *Caribbean Journal of Science*, 47(1), 1-12.

**Chen, L.; Wang, D.; Zhang, W.; Wang, F.; Zhang, L.; Wang, Z.; Li, Y.; Zhou, Z. y Diao, J. (2019).** Ecological risk assessment of alpha-cypermethrin-treated food ingestion and reproductive toxicity in reptiles. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 171, 657–664. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.01.012>.

**Clark, M.L.; Aide, T.M.; Grau, H.R. y Riner, G. (2010).** A scalable approach to mapping annual land cover at 250 m using MODIS time series data: A case study in the Dry Chaco ecoregion of South America. *Remote Sensing of Environment*. 114 pp 2816–2832. doi:10.1016/j.rse.2010.07.001

**Cohen, W. B.; Yang, Z.; y Kennedy, R. (2010).** Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 2. TimeSync - Tools for calibration and validation." *Remote Sensing of Environment*, Vol. 114(No. 12): pp. 2911–2924. doi:10.1016/j.rse.2010.07.010.

**Cristiano, P. M.; Madanes, N.; Campanello, P. I.; Di Francescantonio, D.; Rodríguez, S. A.; Zhang, Y. J. y Goldstein, G. (2014).** High NDVI and potential canopy photosynthesis of South American subtropical forests despite seasonal changes in leaf area index and air temperature. *Forests*, 5(2), 287-308.

**Crocodile Specialist Group (CSG).** Crocodylian species. <http://www.iucnscg.org/pages/Crocodylian-Species.html>.

**Cruzate, G. y Casas, R. (2012).** Extracción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, 6, pp. 7-14.

**de Abelleyra D, Verón S, Banhero S, Iturralde Elortegui M, Valiente S, Puig O, Murray F, Martini JP, Zelaya K, Maidana D, Varlamoff N, Peiretti J, Benedetti P, Portillo J, Melilli M, Maidana E, Goytía Y, Sapino V, Regonat A, Cracogna F, Espíndola C, Parodi M, Colombo F, Scarel J, Ayala J, Martins L, Basanta M, Rausch A, Almada G, Boero L, Calcha J, Chiavassa A, Lopez de Sabando M, Kurtz D, Marini F, Sarrailhe S, Petek M, Propato T, Ferraina A, Pezzola A, Winschel C, Muñoz S, Mesa J, Volante J. (2021).** Mapa Nacional de Cultivos campaña 2020/2021. Colección 1. Versión 1.0. Informe. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina.

**De Gerónimo, E.; Aparicio, V.C.; Bárbaro, S.; Portocarrero, R.; Jaime, S. y Costa, J.L. (2014).** Presence of pesticides in surface water from four sub-basins in Argentina. *Chemosphere* 107, 423–431.

**Didan, K. (2015).** MOD13Q1 MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid V006 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. Accessed 2022-05-07 from <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13Q1.006>

**Dong, J.; Xiao, X.; Kou, W.; Qin, Y.; Zhang, G.; Li, L.; Jin, C.; Zhou, Y.; Wang, J.; Biradar, C.; Liu, J. y Moore III, B.** (2015) Tracking the dynamics of paddy rice planting area in 1986–2010 through time series Landsat images and phenology-based algorithms, *Remote Sensing of Environment*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2015.01.004>

**Elorza, F.M. y Moavro, E.A.** (2020). *Jornadas de Buenas Prácticas de Aplicación de Productos Fitosanitarios (BPAF) con énfasis en los entornos periurbanos. Serie de Informes Especiales ILSI. Argentina. Volumen X. ISBN 978-987-21507-8-5*

**Estel, E.; Kuemmerle, T.; Levers, C.; Baumann, M. y Hostert, P.** (2016). Mapping cropland-use intensity across Europe using MODIS NDVI time series. *Environ. Res. Lett.* 11 024015. [doi:10.1088/1748-9326/11/2/024015](https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/2/024015)

**FAO** (1995). Evaluación de los recursos forestales 1990, países forestales. Estudios forestales de FAO. Número 112, 41pp. Roma.

**Freeman, J.L.; Rayburn, A.L.** (2004). In vivo genotoxicity of atrazine to anuran larvae. *Mutat. Res.* 560, 69e78.

**Friedl, M.; Sulla-Menashe, D.** (2019). MCD12Q1 MODIS/Terra+Aqua Land Cover Type Yearly L3 Global 500m SIN Grid V006 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. Accessed 2023-01-24 from <https://doi.org/10.5067/MODIS/MCD12Q1.006>

**Fritz S.; See L.; You L.; Justice C.; Becker-Reshef I.; Bydekerke L.; Cumani R.; Defourny P.; Foley J.; Gilliams S.; Gong P.; Hansen M.; Hertel T.; Herold M.; Herrero M.; Kayitakire F.; Latham J.; Leo O.; McCallum I.; Obersteiner M.; Ramankutty N.; Rocha J.; Tang H.; Thornton P.K.; Vancutsem C.; van der Velde M.; Wood S.; Woodcock C.** (2013). The need for improved maps of global cropland. *Eos, Transactions of the American Geophysical Union* 94 (3):31-32. <https://doi.org/10.1002/2013EO030006>

**Fukuda, Y. y Saalfeld, K.** (2014). Abundance of saltwater crocodile hatchlings is related to rainfall in the preceding wet season in Northern Australia. *Herpetologica*, 70(4), 439-448.

**Galoppo, G. H.; Tavalieri, Y. E.; Schierano-Marotti, G.; Osti, M. R.; Luque, E. H. y Muñoz-de-Toro, M. M.** (2020). Long-term effects of in ovo exposure to an environmentally relevant dose of atrazine on the thyroid gland of *Caiman latirostris*. *Environmental research*, 186, 109410.

**Gao Bo-cai** (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment* Volume 58, Issue 3, pp. 257-266.

**Garcês, A.; Pires, I. y Rodrigues, P.** (2020). Teratological effects of pesticides in vertebrates: A review. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 55(1), 75-89.

**Gorelick, N.; Hancher, M.; Dixon, M.; Ilyushchenko, S.; Thau, D. y Moore, R.** (2016). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone, *Remote Sensing of Environmen.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>

**Guillette, L.J. Jr.; Edwards, T.M.** (2008) Environmental influences on fertility: can we learn lessons from studies of wildlife? *Fertil Steril* 89:e21–e24

**Hirano, L. Q. L.; da Silva Alves, L.; Menezes-Reis, L. T.; dos Santos Mendonça, J.; Simões, K.; Santos, A. L. Q. y Vieira, L. G.** (2019). Effects of egg exposure to atrazine and/or glyphosate on bone development in *Podocnemis unifilis* (Testudines, Podocnemididae). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 182, 109400.

**Huffman, G.J.; Stoker, E.F.; Bolvin, D.T.; Nelkin, E.J. y Jackson Tan** (2019), GPM IMERG Final Precipitation L3 Half Hourly 0.1 degree x 0.1 degree V06, Greenbelt, MD, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), Accessed: [Data Access Date], 10.5067/GPM/IMERG/3B-HH/06.

**Humphries, M. S.; Myburgh, J. G.; Campbell, R.; Buah-Kwofie, A. y Combrink, X.** (2021). Organochlorine pesticide bioaccumulation in wild Nile crocodile (*Crocodylus niloticus*) fat tissues: environmental influences on changing residue levels and contaminant profiles. *Science of The Total Environment*, 753, 142068.

**Jeevalakshmi, D.; Reddy, S. N. y Manikiam, B.** (2016). Land cover classification based on NDVI using LANDSAT8 time series: A case study Tirupati region. In 2016 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP) (pp. 1332-1335). IEEE.

**Kalnay, E.; Kanamitsu, M.; Kistler, R.; Collins, W.; Deaven, D.; Gandin, L.; Iredell, M.; Saha, S.; White, G.; Woollen, J.; Zhu, Y.; Chelliah, M.; Ebisuzaki, W.; Higgins, W.; Janowiak, J.; Mo, K. C.; Ropelewski, C.; Wang, J.; Leetmaa, A.; Reynolds, R.; Jenne, R. and Joseph, D.** (1996). The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77(3), 437-472. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1996\)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2).

**Kennedy, R. E.; Andréfouët, S.; Cohen, W. B.; Gómez, C.; Griffiths, P.; Hais, M.; Healey, S. P.; Helmer, E. H.; Hostert, P.; Lyons, M. B.; Meigs, G. W.; Pflugmacher, D.; Phinn, S. R.; Powell, S. L.; Scarth, P.; Sen, S., Schroeder, T. A., Schneider, A.; Sonnenschein, R.; Vogelmann, J. E.; Wulder, M. A.; y Zhu, Z.** (2014). "Bringing an ecological view of change to Landsat-based remote sensing." *Frontiers in Ecology and Environment*. Vol. 12(No. 6): pp. 339–346. doi: /10.1890/130066.

**Kshetri T.** (2018). NDVI, NDBI & NDWI Calculation Using Landsat 7, 8. <https://www.linkedin.com/pulse/ndvi-ndbi-ndwi-calculation-using-landsat-7-8-tek-bahadur-kshetri/>

**Lance, V. A.; Morici, L. A.; Elsey, R. M.; Lund, E. D. y Place, A. R.** (2001) Hyperlipidemia and reproductive failure in captive-reared alligators: vitamin E, vitamin A, plasma lipids, fatty acids, and steroid hormones. *Comp. Biochem. Physiol., Part B: Biochem. Mol. Biol.* 128, 285-94.

**Larriera, A.** (1990). A program of monitoring and recovering of Caiman's populations in Argentina with the aim of management. En: *Crocodyles. Proceedings of the 10th Working Meeting of the Crocodyles Specialist Group of the IUCN.* The World Conservation Union, Gland, Switzerland 2:1-5.

**Larriera, A. e Imhof, A.** (2006). Proyecto Yacaré: Cosecha de huevos para cría en granjas, del género *Caiman* en la Argentina. En: Bolkovic, M. & Ramadori E. (Eds.). Manejo de fauna Silvestre en la Argentina. Programas de uso sustentable. Dirección de Fauna Silvestre, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Buenos Aires, Argentina. Pp 51-64.

**Larriera, A.; Imhof, A. y Siroski, P.** (2008). Estado actual de los programas de conservación y manejo del género *Caiman* en Argentina. En: Castroviejo, J; Ayarzagüena, J.; Velasco, A. (Eds.), Contribución al conocimiento del género *Caiman* de Suramérica. Sevilla, España.

**Lehel, J.; Szemerédy, G.; Szabó, R.; Major, L.; Grúz, A. y Budai, P.** (2021). Reproductive toxicological changes in avian embryos due to a pesticide and an environmental contaminant. *Acta Veterinaria Hungarica*, 69(4), 363-371.

**Leiva, P.M.L.; Labaque, M.C.; Fernandez, M.E.; Piña, C.I. y Simoncini, M.S.** (2018). Physical and chemical characteristics of fertile and infertile eggs of wild *Caiman latirostris*. *Aqua*, doi:10.1016/j.aquaculture.2018.08.002.

**Leiva, P.M.L** (2019). influencia de los atributos corporales maternos y su interacción con factores climáticos sobre las características de los huevos y la progenie de *Caiman latirostris*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (UNC).

Ley N° 26331. Presupuestos mínimos de protección ambiental de bosques nativos. Argentina.

**López González, E.C.; Latorre, M.A.; Larriera, A.; Siroski, P.A. y Poletta, G.L.** (2013). Induction of micronuclei in broad snouted caiman (*Caiman latirostris*) hatchlings exposed in vivo to Roundup® (glyphosate) concentrations used in agriculture. *Pestic. Biochem. Phys.* 105, 131–134. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2012.12.009>.

**López González, E.C.; Larriera, A.; Siroski, P.A. y Poletta, G.L.** (2017). Micronuclei and other nuclear abnormalities on *Caiman latirostris* (Broad-snouted caiman) hatchling after embryonic exposure to different pesticide formulations. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 136, 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.10.035>.

**López González, E.C.; Siroski, P.A. y Poletta, G.L.** (2019). Genotoxicity induced by widely used pesticide binary mixtures on *Caiman latirostris* (Broad-snouted caiman). *Chemosphere*. 232,, 337-334. <https://doi.10.1016/j.chemosphere.2019.05.218>.

**López González, E. C.; Romito, M. L.; Latorre, M. A.; Siroski, P. A. y Poletta, G. L.** (2021). Biomarkers of genotoxicity, immunotoxicity and oxidative stress on *Caiman latirostris* (Broad-snouted caiman) hatchlings exposed to pesticide formulations and mixtures widely used in agriculture. *Environmental Advances*, 5, 100114.

**López González, E. C.; Odetti, L. M.; Latorre, M. A.; Avila, O. B.; Contini, L. E.; Siroski, P. A. y Poletta, G. L.** (2022). A comprehensive approach using multiple biomarkers to detect damage induced by pesticides in broad-snouted caiman (*Caiman latirostris*) under ex-situ conditions. *Heliyon*, 8(1), e08667.

**Magnasco E. y Di Paola M.M.** (2015). Agroquímicos en Argentina ¿Dónde estamos? ¿A dónde vamos? Informe ambiental anual. Fundación Ambiente y Recursos Naturales (FARN). Disponible

en: <http://farn.org.ar/wpcontent/uploads/2015/06/Agroqu%C3%ADmicos-en-Argentina-%C2%BFDC3%B3nde-estamos-%C2%BFA-d%C3%B3nde-vamos.pdf>.

**Maldonad, G.** (2019). Territorio y agriculturización en Argentina. Objetos, acciones y acontecimientos /Estudios Rurales, volumen 9, Nº 17, ISSN: 2250-4001, CEAR-UNQ. Buenos Aires. Primer Semestre 2019; 164-197.

**Masek, J.; Goward, S.; Kennedy, R.; Cohen, W.; Moisen, G.; Schleeweis, K. y Huang, C.** (2013). "United States forest disturbance trends observed using Landsat time series." *Ecosystems*, Vol. 16(No. 6): pp. 1087–1184. doi: 10.1007/s10021-013-9669-9.

**Mestre, A.P.; Amavet, P.S.; Vanzetti, A.I.; Moleón, M.S.; Parachú Marcó, M.V.; Poletta, G.L. y Siroski, P.A.** (2019). Effects of cypermethrin (pyrethroid), glyphosate and chlorpyrifos (organophosphorus) on the endocrine and immune system of *Salvator merianae* (Argentine tegu). *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 169, 61e67. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.10.057>.

**Mestre, A. P.; Amavet, P. S.; van der Sloot, I. S.; Carletti, J. V.; Poletta, G. L. y Siroski, P. A.** (2020). Effects of glyphosate, cypermethrin, and chlorpyrifos on hematological parameters of the tegu lizard (*Salvator merianae*) in different embryo stages. *Chemosphere*, 252, 126433. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126433>.

**Mitchell, T.S.; Janzen, F.J. y Warner, D.A.** (2018). Quantifying the effects of embryonic phenotypic plasticity on adult phenotypes in reptiles: a review of current knowledge and major gaps. *Journal of Experimental Zoology. Part A, Ecological and Integrative Physiology* 329:203–214.

**Mitra A y Maitra SK.** (2018). Reproductive Toxicity of Organophosphate Pesticides. *Ann Clin Toxicol.* 1(1): 1004.

**Monge-Nájera, J.; González M.I.; Rivas Rossi M. y Méndez-Estrada V.H.** (2002). A new method to assess air pollution using lichens as bioindicators. *Revista de biología tropical* 50(1): 321-325.

**Montenegro, C.; Strada, M.; Bono, J.; Gasparri, N.; Manghi, E.; Parmuchi, E. y Brouver, M.** (2005). Estimación de la pérdida de superficie de bosque nativo y tasa de deforestación en el norte de Argentina. Buenos Aires, UMSEF Unidad de Manejo del Sistema de Evaluación Forestal, Dirección Bosques, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable.

**Moreira Muñoz, A.** (1996) Los sistemas de información geográfica y sus aplicaciones en la conservación de la diversidad biológica. *Ambiente y Desarrollo* 12(2): 80-86.

**Odetti, L.M.; López González, E.C.; Romito, M.L.; Simoniello, M.F. y Poletta, G.L.** (2020). Genotoxicity and oxidative stress in *Caiman latirostris* hatchling exposure to pesticide formulations and their mixtures during incubation period. *Ecotox. Environ. Safe.* 193, 110312 <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110312>.

**Odetti, L.M.; López González, E.C.; Siroski, P.A.; Simoniello, M.F. y Poletta, G.L.** (2022). How the exposure to environmentally relevant pesticide formulations affects the expression of stress response genes and its relation to oxidative damage and genotoxicity in *Caiman latirostris*.

**Olaya, Victor** (2020). *Sistemas de Información Geográfica*. ISBN: 978-1-71677-766-0.

**Osterauer, R. y Köhler, H. R.** (2008). Temperature-dependent effects of the pesticides thiacloprid and diazinon on the embryonic development of zebrafish (*Danio rerio*). *Aquatic Toxicology*, 86(4), 485-494.

**Paruelo, J.M.; Guerschman, J.P. y Verón, S.R.** (2005). Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo. *Ciencia Hoy*. 15(1): 14-23.

**Paruelo, J.; Guershman, J.; Piñeiro, G.; Jobbagy, E.; Veron, S.; Baldi, G. y Baeza, S.** (2006). Cambios en el uso de la tierra en Argentina y Uruguay: Marcos conceptuales para su análisis. *Agrociencia*, 10(2), pp. 47-61.

**Pérez Alsina, M.; Corradi, V. y Filippi A.** (2014). Distancias para la aplicación de agroquímicos: Relevamiento de la normativa de la provincia de Córdoba, de sus municipios y de otras provincias. *Fundación para el Desarrollo de Políticas Sustentables*.

**Pérez Leiva F. y Anastasio M.D.** (2006). Consumo de fitosanitarios en el contexto de expansión agrícola. *Apuntes agroeconómicos. Facultad Agronomía- Universidad de Buenos Aires*, 4(5).

**Peruzzo, P.J., Porta, A.A. y Ronco A.E.** (2008). Levels of glyphosate in surface waters, sediments and soils associated with direct sowing soybean cultivation in north pampasic region of Argentina. *Environmental Pollution*, 156: 61-66.

**Piña, C. I.; Larriera, A. y Cabrera, M. R.** (2003). Effect of Incubation Temperature on Incubation Period, Sex Ratio, Hatching Success, and Survivorship in *Caiman latirostris* (Crocodylia, Alligatoridae). *Journal of Herpetology*, 37(1), 199–202. doi:10.2307/1565853.

**Poletta, G.L.; Larriera, A.; Kleinsorge, E. y Mudry, M.D.** (2009). Genotoxicity of the herbicide formulation Roundup® (glyphosate) in broad-snouted caiman (*Caiman latirostris*) evidenced by the Comet assay and the Micronucleus test. *Mutat. Res.* 672, 95–102. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2008.10.007>.

**Poletta, G.L.; Kleinsorge, E.; Paonessa, A.; Mudry, M.D.; Larriera, A. y Siroski, P.A.** (2011). Genetic enzymatic and developmental alterations observed in *Caiman latirostris* exposed *in ovo* to pesticide formulations and mixtures in an experiment simulating environmental exposure. *Ecotox Environ Safe* 74: 852-859.

**Poletta, G.L.; López González, E.C.; Burella, P.M.; Romito, M.L.; Siroski, P.A. y Mudry, M. D.** (2017). Biomarkers of environmental contamination in reptile species: the effect of pesticide formulations on broad-snouted caiman *Caiman latirostris* (Crocodylia, Alligatoridae). In: Larramendy, M.L. (Ed.), *Ecotoxicology and Genotoxicology: Nontraditional Aquatic Models*. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, pp. 467–517.

**Prado, W. S.; Piña C. I. y Waller T.** (2012). Categorización del estado de conservación de los caimanes (yacaré) de la República Argentina. *Cuadernos de herpetología* 26 (Supl. 1): 403-410.

**Ramadori, D.** (2006). Uso sustentable de fauna silvestre: Una herramienta para la conservación. En: Bolkovic, M. & Ramadori E. (Eds.). Manejo de fauna Silvestre en la Argentina. Programas de uso sustentable. Dirección de Fauna Silvestre, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Buenos Aires, Argentina. Pp 9-13.

**Rauschenberger, R.H.** (2004) Developmental mortality in American alligators (*Alligator mississippiensis*) exposed to organochlorine pesticides. Dissertation, University of Florida, Gainesville.

**Rauschenberger, R. H.; Wiebe, J. J.; Sepúlveda, M. S.; Scarborough, J. E. y Gross, T. S.** (2007). Parental exposure to pesticides and poor clutch viability in American alligators. *Environmental science & technology*, 41(15), 5559-5563.

**Reboratti, C.** (2010). Un mar de soja: la nueva agricultura en Argentina y sus consecuencias. *Revista De Geografía Norte Grande*, (45), pp. 63-76, 2010. doi: <http://doi.org/10.4067/S0718-34022010000100005>.

**Regaldo, L.; Gutierrez, M. F.; Reno, U.; Fernández, V.; Gervasio, S.; Repetti, M. R. y Gagneten, A. M.** (2018). Water and sediment quality assessment in the Colastiné-Corralito stream system (Santa Fe, Argentina): impact of industry and agriculture on aquatic ecosystems. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 6951-6968.

**Regmi, R.; Ma, Y.; Ma, W.; Baniya, B. y Bashi, B.** (2020). Interannual Variation of NDVI, Precipitation and Temperature during the Growing Season in Langtang National Park, Central Himalaya, Nepal. *Applied Ecology and Environmental Sciences*, vol. 8, no. 5 pp 218-228. doi: [10.12691/aees-8-5-5](https://doi.org/10.12691/aees-8-5-5).

**Rey, F.; González, M.; Zayas, M. A.; Stoker, C.; Durando, M.; Luque, E. H. y Muñoz-de-Toro, M.** (2009). Prenatal exposure to pesticides disrupts testicular histoarchitecture and alters testosterone levels in male *Caiman latirostris*. *General and comparative endocrinology*, 162(3), 286-292.

**Rojas Briceño, N. B.; Barboza Castillo, E.; Maicelo Quintana, J. L.; Oliva Cruz, S. M. y Salas López, R.** (2019). Deforestación en la Amazonía peruana: Índices de cambios de cobertura y uso del suelo basado en SIG. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 81, 2538, 1-34. <https://doi.org/10.21138/bage.2538a>

**Schaaf, A. A.** (2013). Uso de pesticidas y toxicidad: relevamiento en la zona agrícola de San Vicente, Santa Fe, Argentina. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(2), 323-331.

**Sepúlveda, M. S.; Wiebe, J. J.; Honeyfield, D. C.; Rauschenberger, H. R.; Hinterkopf, J. P.; Johnson, W. E. y Gross, T. S.** (2004). Organochlorine pesticides and thiamine in eggs of largemouth bass and American alligators and their relationship with early life-stage mortality. *Journal of Wildlife Diseases*, 40(4), 782-786.

**Simoncini, M. S.; Piña, C. I.; Cruz, F. B. y Larriera, A.** (2011). Climatic effects on the reproductive biology of *Caiman latirostris* (Crocodylia: Alligatoridae). *Amphibia- Reptilia*, 32(3), 305-314.

**Simoncini, M. S.; Cruz, F. B. y Piña, C. I.** (2013). Effects of environmental temperature on the onset and the duration of oviposition period of *Caiman latirostris*. *Herpetological Conservation Biology*, 8(2), 409-418.

**Siroski, P.A.; Poletta, G.L.; Latorre, M.A.; Merchant, M.E.; Ortega, H.H. y Mudry, M.D.** (2015) Immunotoxicity of commercial-mixed glyphosate in broad snouted caiman (*Caiman latirostris*), *Chemico-Biological Interactions*, doi: 10.1016/j.cbi.2015.11.031.

**Stoker, C.; Repetti, M. R.; García, S. R.; Zayas, M. A.; Galoppo, G. H.; Beldoménico, H. R.; Luque, E.H. y Muñoz-de-Toro, M.** (2011). Organochlorine compound residues in the eggs of broad-snouted caimans (*Caiman latirostris*) and correlation with measures of reproductive performance. *Chemosphere*, 84(3), 311-317.

**Svensson, M.; Rintamäki, P. T.; Birkhead, T. R.; Griffith, S. C. y Lundberg, A.** (2007). Impaired hatching success and male-biased embryo mortality in Tree Sparrows. *Journal of ornithology*, 148, 117-122.

**Tamiminia, H.; Salehi, B.; Mahdianpari, M.; Quackenbush, L.; Adeli, S. y Brisco, B.** (2020) Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 164 pp. 152-170. ISSN 0924-2716, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001>

**Tavaliere, Y.E.; Galoppo, G.H.; Canesini, G.; Luque, E.H. y Muñoz de Toro, M.M.** (2020) Effects of agricultural pesticides on the reproductive system of aquatic wildlife species, with crocodylians as sentinel species, *Molecular and Cellular Endocrinology*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.mce.2020.110918>.

**Tentor, F.** (2022). Script de clasificación utilizando landcover de MODIS. Google Earth Engine. Disponible en: [GEE](#).

**Urcola, M.; Nogueira, M.; Porstmann, J.; Lattuada, M.** (2015) "Desarrollo regional y territorios desiguales: elementos para un análisis de la provincia de Santa Fe" en IX Jornadas Interdisciplinarias de Estudios Agrarios Y Agroindustriales Argentinos y Latinoamericanos. Facultad de Ciencias Económicas – Universidad de Buenos Aires recuperado de <https://www.dropbox.com/sh/xa4yb8hcfskf0o6/AAArhQLQr1I4DTsAnnamVQUka/Simposio%2010%20-%20Eje%2004%20TRANSFORMAC>

**Vaiphasa, C.; Piamduaytham, S.; Vaiphasa, T. y Skidmore, A. K.** (2011). A Normalized Difference Vegetation index (NDVI) Time-series of idle agriculture lands: A preliminary study. *Engineering Journal*, 15(1), 9-16.

**Venter, O.; Sanderson, E. W., Magrath, A.; Allan, J. R.; Beher, J.; Jones, K. R.; Possingham, H. P.; Laurance, W. F.; Wood, P.; Fekete, B. M.; Levy, M. A. y Watson, J. E.** (2016). Sixteen years of change in the global terrestrial human footprint and implications for biodiversity conservation. *Nature communications*, 7(1), 12558.

**Vílchez, J. G.** (2000). Introducción a los sistemas de información geoespacial. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, Universidad de los Andes, Talleres Gráficos Universitarios, Mérida. 203 p.

**Villaamil Lepori, E. C.; Bovi Mitre, G. y Nassetta, M.** (2013). Situación actual de la contaminación por plaguicidas en Argentina. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 29, pp. 25-43.

**Volante, J.; Mosciaro, M. J.; Morales Poclava, M. C.; Vale, L.; Castrillo, S.; Sawchik, Jorge; Tiscornia, G.; Fuente, M.; Maldonado, I.; Vega, A.; Trujillo, R.; Cortéz, L. y Paruelo, J.** (2015). Expansión agrícola en Argentina, Bolivia, Paraguay, Uruguay y Chile entre 2000-2010: Caracterización espacial mediante series temporales de índices de vegetación. *Revista de investigaciones agropecuarias*, v. 41, n. 2, p. 179-191, 2015.

**Walker, J. J.; de Beurs, K. M.; Wynne, R. H. y Gao, F.** (2012). Evaluation of Landsat and MODIS data fusion products for análisis of dryland forest phenology. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 117: pp. 381–393. doi: 10.1016/j.rse.2011.10.014.

**Watson, F. L.; Schmidt, H.; Turman, Z. K.; Hole, N.; Garcia, H.; Gregg, J.; Tilghman, J. y Fradinger, E. A.** (2014). Organophosphate pesticides induce morphological abnormalities and decrease locomotor activity and heart rate in *Danio rerio* and *Xenopus laevis*. *Environmental toxicology and chemistry*, 33(6), 1337-1345.

**Woodward, A. R.; Percival, H. F.; Rauschenberger, R. H.; Gross, T. S.; Rice, K. G. y Conrow, R.** (2011). Abnormal alligators and organochlorine pesticides in Lake Apopka, Florida. *Wildlife ecotoxicology: forensic approaches*, 153-187.

**Wulder, M. A.; Masek, J. G.; Cohen, W. B.; Loveland, T. R. y Woodcock, C. E.** (2012). Opening the archive: how free data has enabled the science and monitoring promise of Landsat. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 122: pp. 2–10. doi: 10.1016/j.rse.2012.01.010.

**Yanosky, A.A.** (1990). Histoire naturelle du Caïman á museau large (*Caiman latirostris*), un Alligatoriné mal connu. *Revue française d'Aquariologie Herpétologie* 17:19-31.

**Zarrilli, A.G.** (2020). Tierra y veneno. La expansión de la frontera agropecuaria en el Gran Chaco Argentino y sus conflictos socio-ambientales (1990-2017). *Revista de Paz y Conflictos* Vol. 13 (1), pp. 175-201. ISSN 1988-7221. doi: <http://dx.doi.org/10.30827/revpaz.v13i1.11503>.

**Zenklusen, M. C.; Basanta, M. y Sapino, V.** (2018). Cambios de uso del suelo y aportes de carbono en el departamento Castellanos (Santa Fe). XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Tucumán, Argentina.