

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades



Efectos de la contaminación lumínica en la línea costera sobre los patrones de densidad de anidación de la tortuga parlama *Lepidochelys olivacea*, en el Litoral Pacífico de Guatemala.

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por
Erik Alfonso Torres Villagrán
para optar al grado académico de Licenciado en Biología

Guatemala,
2020

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades



Efectos de la contaminación lumínica en la línea costera sobre los patrones de densidad de anidación de la tortuga parlama *Lepidochelys olivacea*, en el Litoral Pacífico de Guatemala.

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por
Erik Alfonso Torres Villagrán
para optar al grado académico de Licenciado en Biología

Guatemala,
2020

Vo. Bo:

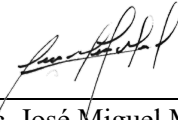


M. Sc. Daniel Ariano Sánchez

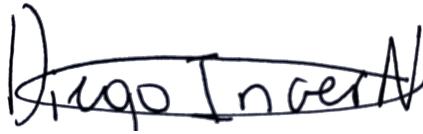
Tribunal examinador:



M. Sc. Daniel Ariano Sánchez



M. Sc. José Miguel Morales



Ing. Diego Josue Incer

Fecha de aprobación: Guatemala 27 de noviembre del 2020

*El trabajo puesto en esta tesis está dedicado
a los que ya no están, a los que extraño
y a los que aún quedan y amo;
gracias, se los debo todo.*

Agradecimientos

Este trabajo posee un gran esfuerzo personal que, al igual que todo, se convertirá en un simple recuerdo. Aunque este parezca un trabajo tedioso, no puede ser de otra forma, puesto que sin la ayuda de muchas personas este trabajo nunca hubiera llegado a un fin. Estas personas fueron la razón de que este trabajo fuera fácil y entretenido; aunque este trabajo se vuelva un simple recuerdo, el tiempo y las personas que me ayudaron no lo serán.

Dentro del área educativa quisiera agradecer no al departamento de Biología de la UVG, si no, a las personas que trabajan en él y forman algo de lo cual muchas personas dependen. Sobre todo, agradecer a: M. Sc. Daniel Ariano, Ing. Diego Incer, M. Sc Gabriela Alfaro y a M. Sc. Miguel Morales, que fueron los que me ayudaron en el asesoramiento de esta tesis. Así como a Licda. María Priscila Juárez, Ericka Santos, M. Sc. Luis Ríos, M. Sc Javier Ajú, Dr. Jack Schuster, M. Sc Gabriela Palomo, Licda. Andrea Sandoval, Licda. Ingrid Granados, Dra. Cludia Romero, Dra. Ana Hacoheh, Licda. María Renée Álvarez, Lic. Alejandro Vásquez, Dr. Luis Archila, M. Sc. Ana Dubón, M. Sc Elizabeth Solórzano, Dr. Andrés Ávalos, Licda. Angelika Hasselmann, Licda. Irma Orellana, Dra. Dalia Lau, Lic. Gonzalo Mejía, Dra. Elena Dardón, Lic. Luis Jocol - quienes, aunque uno paga una mensualidad, me educaron durante la carrera y realizaron un increíble trabajo como docentes del cual estoy agradecido. Así mismo agradezco la amabilidad y dedicación de todo el personal encargado de laboratorios.

Por último, siendo los más importantes, agradecer a mi familia – mis padres Erik Salvador, María Beatriz y hermana Paola Torres- a los cuales les debo por su amor, cariño y paciencia, algo que nunca podré pagarles ni agradecerles lo suficiente. Así como agradezco a mis Amigos – Felipe Ramírez, Danilo Allara, Luis Gonzáles, Guido Fernández, Daniel Gyax, Francisco Herrarte, Luis Solórzano, Javier Rodríguez, Karyn Castañeda, Andrés Novales, Edgar Mazariegos, Kevin Gómez, a los amigos que ya no están, así como a los que no me recuerdo, pero aun así los quiero y les agradezco – les agradezco el simple echo de ser mis amigos. Y a mis compañeros del año 2016 que pasaron por lo mismo que yo y fue un gusto haber pasado la carrera con ustedes, se les quiere.

Como no sé cómo terminar, dejo la frase que creo que representa muy bien a la ciencia:

“De omnibus dubitandum est”

- Søren Kierkegaard, 1958

ÍNDICE

	Pág.
Lista de cuadros	xix
Lista de figuras	xxi
Resumen	xxiii
I. Introducción	1
II. Marco teórico	3
A. Desarrollo costero, amenaza en progreso hacia especies marinas	3
B. Tortugas marinas y la contaminación lumínica	4
C. Introducción general y estado de conocimiento, <i>Lepidochelys olivacea</i>	6
D. Seguimiento del impacto con Sistemas de Información Geográfica (SIG)	8
III. Justificación	11
IV. Objetivo e hipótesis	13
V. Metodología	15
A. Sitio de estudio	15
B. Procedimiento, cuantificación de los cambios del crecimiento urbano	16
1. Recursos de información: Datos espaciales	16
2. Procesamiento de datos	16
3. Método de detección de cambios	17
C. Procedimiento, relación estadística de densidad de puntos de anidamiento y contaminación lumínica	18
1. Obtención de los puntos de anidamiento	18
2. Obtención de datos de luz nocturna	19
3. SIG: Manejo, integración, visualización y estadística descriptiva	20
4. Modelado estadístico	22
5. GLM	22
VI. Resultados	25
A. Resultados de la clasificación de las imágenes satelitales	25
B. Cambio potencial a futuro y detección de cambios	27
1. Principales tipos de transiciones de uso de suelo	27
2. Potencial cambio a futuro	27
C. Contaminación lumínica	30

1.	Visualización de datos y estadística descriptiva	30
2.	GLM's	31
VII.	Análisis de resultados	35
A.	Implicaciones biológicas	35
B.	Implicaciones para la especie	37
C.	Fuerza y utilidad del estudio	38
D.	Restricciones y limitantes	42
VIII.	Conclusiones	43
IX.	Recomendaciones	45
X.	Literatura citada	47
XI.	Anexos	59

Lista de cuadros

	Pág.
1. Lista del estado de las especies de tortugas marinas	6
2. Clases empleadas para la clasificación de imágenes	17
3. Cuadro de transición de uso de suelo durante los años 2006 a 2020, en el área Hawaii	26
4. Tamaño de efecto (β), error standard (SE), intervalos de confianza inferior (LCI) 2.5% y superior (UCI) 97.5 % de la variable explicativa luz para los análisis de anidación de <i>L. olivacea</i> , en la costa del pacífico de Hawaii, Santa Rosa, Guatemala.	32
5. Cuantificación de la contaminación lumínica y su categoría de riesgo	38
6. Resultados del proceso de conversión de datos VIIRS a polígono y calculo de densidades	59

Lista de figuras

	Pág.
1. Proyección de la población 2018-2050, elaborado con data censo Guatemala 2018	4
2. Diagrama de <i>Lepidochelys olivacea</i> . Figura elaborada por: Pritchard, P., y Mortimer, J, 2000; Presentado en su artículo “Taxonomía, Morfología Externa e Identificación de las Especies”	7
3. Mapa del sitio de estudio. Se presenta los polígonos de Guatemala, Santa Rosa y el área de interés Hawaii junto a una imagen satelital del área recuperada de Google Maps en el año 2020	15
4. Mapa de la reclasificación de las ortofotos de Google Maps del año 2006 a 2020, en el área de Hawaii, Santa rosa, Guatemala	25
5. Gráfica de pérdidas y ganancias de cada tipo de uso de tierra y su fuente en Hawaii durante 2006-2020	27
6. Mapa sobre la tendencia de urbanización durante 2006-2020, con leyenda sobre el porcentaje de cambio	28
7. Mapa de probabilidad Markoviano, sobre la clase urbanización y su probabilidad de ser para el año 2030 para el área de estudio Hawaii, con leyenda sobre el porcentaje de esta probabilidad.	29
8. Histogramas de densidad de nidos y luz para la especie <i>L. olivacea</i> . La densidad de nidos es contada en número de nidos por unidad de análisis	30
9. Luz nocturna vrs. densidad de nidos de <i>L. olivacea</i>	31
10. Tendencias en la intensidad lumínica en la costa del pacífico de Hawaii, Santa Rosa Guatemala (A) y densidad de nidos (B) abundancia de nidos de la tortuga <i>L. olivacea</i>	33
11. Diagrama de flujo de la metodología Sección B	61
12. Diagrama de flujo de la metodología Sección C	62

Resumen

La iluminación artificial nocturna se ha convertido en un contaminante que causa una importante presión sobre el sector natural. Estudios han comprobado, reportado y cuantificado el impacto de este contaminante en diferentes especies; sin embargo, muchos países carecen de la capacidad para evaluar tal impacto. Bajo la idea de solucionar por primera vez este problema, se tuvo como objetivo crear una metodología replicable para buscar y evaluar el efecto de la contaminación lumínica artificial en la línea costera sobre los patrones de densidad de anidación de la tortuga parlama (*Lepidochelys olivacea*), para la zona marino-costera El Hawaii, Santa Rosa, Litoral Pacífico de Guatemala. En el proceso se cuantificó el crecimiento urbano en la zona, así como se realizó una asociación de los puntos de anidamiento de *L. olivacea* con datos de contaminación lumínica. El proxy de los datos de anidamiento provino del protocolo “Index Nesting Beach Survey (INBS)”. Se utilizó la nueva generación de sensores satelitales “Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS)” (versión 1 D / N Band) de datos de imagen compuesta de resplandor promedio anual nocturno y con ellos se ajustó un modelo lineal generalizado (GLM), para examinar la posible correlación de la densidad de nidos con la contaminación lumínica. Acoplado, se hizo una reclasificación de ortofotos de Google Earth, para cuantificar la urbanización y se utilizó el método “Artificial Neural Networks (ANN)” para determinar el crecimiento urbano en el futuro. El GLM mostró una asociación significativamente positiva entre la contaminación lumínica nocturna y la densidad de nidos de la tortuga marina *L. olivacea*, mostrando que la contaminación lumínica influye en la densidad de los nidos; bajo el estudio de uso de suelo y el modelo de cambio potencial a futuro, se mostró que esta relación se seguirá fortaleciendo en el futuro. Los hallazgos de esta investigación tienen implicaciones sobre la conservación de la especie, legislación y/o como una fuente de información para planificar el futuro de la contaminación lumínica en el área. Siendo necesario el pronto comienzo para la planificación del manejo de la contaminación lumínica en el área, para proteger especies de importancia como lo es *L. olivacea*.

I. Introducción

El crecimiento urbano constantemente incrementa. Entre mayor sean las poblaciones, mayor serán las zonas urbanizadas. Las urbanizaciones traen contaminantes arraigados y estarán presentes una vez haya una zona urbanizada; siendo una de estas, la contaminación lumínica, de la cual dependemos. Aunque nosotros somos organismos capaces de habituarnos a este cambio de luz hay otras especies que no son capaces. En este caso el organismo de interés es la tortuga marina *Lepidochelys olivacea*, donde la contaminación lumínica representa una amenaza para las crías en su migración al mar.

Analizar el efecto de la contaminación lumínica en las líneas costeras sobre los patrones de densidad de anidación se simplifica debido a que ahora se puede medir esta relación y su nivel de amenaza con sistemas de información geográfica (SIG). Esta simplificación es posible por la accesibilidad a datos geográficos, haciendo que lo único necesario sea generar una base de datos de puntos de anidación.

Es por tanto que el objetivo de este estudio fue evaluar los efectos de la contaminación lumínica de la línea costera de 7.5 km de playa en El Hawaii, Santa Rosa - Guatemala, sobre las densidades de huellas de anidación de la tortuga parlama (*Lepidochelys olivacea*). Para esto se llevó a cabo una investigación exhaustiva para ser capaz de cuantificar los cambios del crecimiento urbano dentro de la zona de Hawaii entre los años 2006 a 2020 y relacionar estadísticamente la densidad de huella de anidación de *L. olivacea* y los datos existentes de contaminación lumínica en el año 2018.

Este estudio realizó una evaluación del aumento en la urbanización en la Zona marino-costera de Hawaii y permitió entender la relación entre la contaminación lumínica de la zona y la densidad de huella de anidación de *L. olivacea*. Siendo los descubrimientos principales, el crecimiento urbano acelerado del área y el decrecimiento de la densidad de nidos en la zona. Tomando una importancia no solo de generación de conocimiento del estado de contaminación lumínica y el efecto sobre la parlama, sino también científico al ser el primer estudio de este tipo en Centroamérica.

II. Marco teórico

A. Desarrollo costero, amenaza en progreso hacia especies marinas.

La contaminación ha aumentado rápidamente (Pandey *et al.*, 2014; Sharma y Pandey, 2014; Barrows, Cathey y Petersen, 2018). Las sociedades modernas y el desarrollo humano en ellas dependen fundamentalmente de la urbanización y progreso comunitario. (Irwin, 2013). Aunque este desarrollo urbano es fundamental para el bienestar de la población, este trae consigo una gran cantidad de contrapartes que dañan al ecosistema que convive, es parte o rodea con el sector urbano (Kamrowski *et al.*, 2012; Irwin, 2013; d'Amour *et al.*, 2017). Esto se ve agravado en el tiempo, debido a las tendencias de crecimiento poblacional esperado (Jones y O'Neill, 2016; d'Amour *et al.*, 2017) haciendo que el mismo sector demande más sobre el ecosistema y sus servicios conforme avanza su crecimiento (Smajl y Larson, 2012; d'Amour *et al.*, 2017). Los efectos del desarrollo urbano en áreas naturales se pueden resumir en: fragmentación, aislamiento y degradación de hábitats naturales, simplificación y homogeneización de la composición de especies e interacciones entre ellas, perturbación de los sistemas hidrológicos, modificación del flujo de energía y ciclos de nutrientes, entre otros (Alberti, 2005; Srinivasan *et al.*, 2013; Lachir *et al.*, 2016; Wolff *et al.*, 2017).

Factor que contribuye a la problemática existente es el continuo, rápido y desmesurado crecimiento poblacional (Jones y O'Neill, 2016; Singh, Singh y Srivastava, 2016), causando que haya un aumento en aglomeraciones urbanas en hábitats de importancia (Meng y Han, 2018; Tan, *et al.*, 2018). Entre estos es de vital importancia el crecimiento urbano en áreas costeras y litorales. En los últimos años se han registrado concentraciones demográficas voluptuosas en áreas costeras, ejemplo de esto son las aglomeraciones urbanas en Tokio, Shangai, Bombay y São Paulo donde cada una supera la cantidad de 20 millones de habitantes (Barragán y Andrés, 2016; Merkens *et al.*, 2018). La preferencia al desarrollo en el área litoral se debe a la gran cantidad de actividad humana de tipo lucrativa, siendo la mayoría de ámbito privado como zonas turísticas, industriales y viviendas (Azuz y Rivera, 2009; Barragán y Andrés, 2016; Martinez *et al.*, 2016; Merkens *et al.*, 2018).

El crecimiento urbano causa una gran presión sobre la especie litoral, aunque no se han hecho valuaciones en la región costera mesoamericana se sabe que para 1995-2000 el 29% de las zonas costeras se encuentran en amenaza media-alta bajo el carácter urbano. Aunque no se tienen datos específicos para Guatemala, se sabe que la población se a triplicada desde 1980 a 2020 y según los

pronósticos la población se duplicara de 2020 a 2050 (Figura 1) (INE, 2018). Además, se sabe que, en América Latina y Caribe, las urbanizaciones costeras son de las más pobladas con una tasa de ocupación del 80% y que han estado en constante crecimiento en las pasadas décadas (Barragán y Andrés, 2016; Martínez *et al.*, 2016; UNDENSA, 2019). Esta presión constante en las zonas litorales es de suma importancia para Latinoamérica debido a gran cantidad de comunidades dependientes de la economía de servicios ecosistémicos provenientes de ecosistemas marinos (Barange *et al.*, 2014; Sevilla y Le Bail, 2017; Selig *et al.*, 2019). Otros efectos del desarrollo urbano en zonas costeras además de las ya mencionadas son la sobre pesca, pesca accidental de especies en peligro, contaminación directa e introducción de patógenos, etc. (Alberti, 2005; Kaniewski *et al.*, 2013; Díaz *et al.*, 2017). Es por lo que el seguimiento y evaluación del crecimiento urbano costero es de suma importancia y su monitoreo debería ser constante.

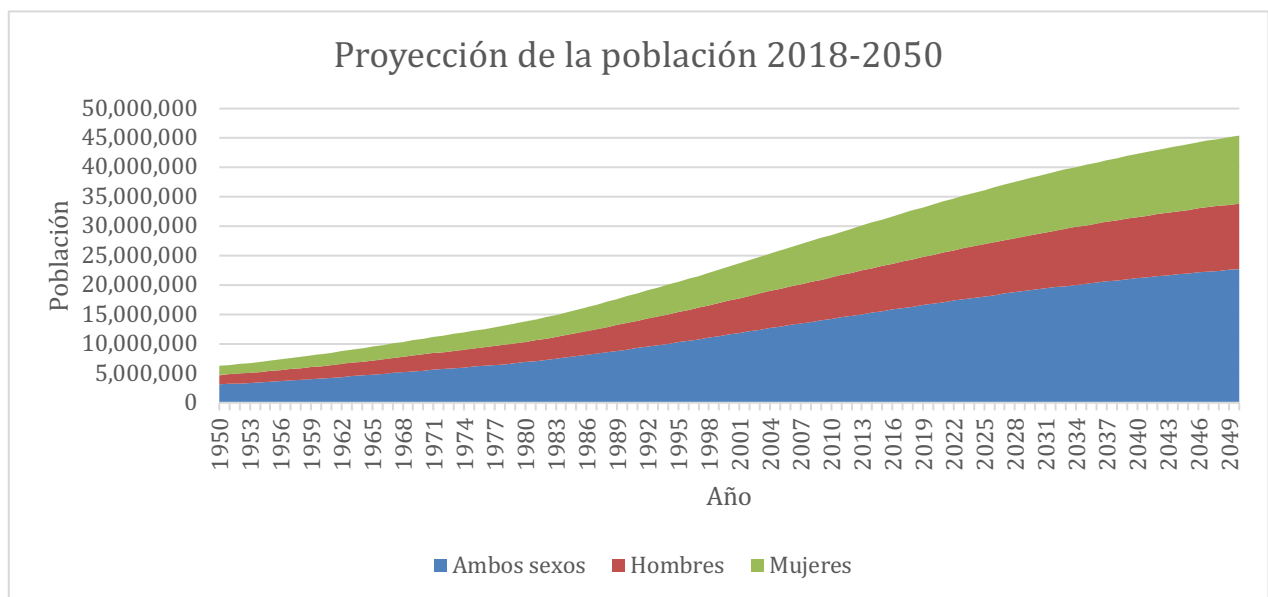


Figura 1. Proyección de la población 2018-2050, elaborado con data censo Guatemala 2018 (INE, 2018)

B. Tortugas marinas y la contaminación lumínica.

Uno de los contaminantes más arraigados al progreso de las sociedades es la luz artificial, y se debe a la dependencia de este recurso (Díaz *et al.*, 2017; Fouquet, 2016). El humano es capaz de acostumbrarse y vivir junto al cambio de la luz artificial, pero esto no es el caso para otras especies

y mucho menos para especies nocturnas y de crepúsculo o que dependen del ciclo natural de luz para su supervivencia (Díaz *et al.*, 2017; Aulsebrook *et al.*, 2018; Russart y Nelson, 2018). Debido al desproporcionado crecimiento urbano en hábitats costeros se han observado efectos adversos a algunas de las especies con mayor vulnerabilidad a la contaminación lumínica (Jones y O'Neill, 2016; Singh, Singh y Srivastava, 2016; Sevilla y Le Bail, 2017; Selig *et al.*, 2019); ejemplo de algunas especies marinas afectadas son: Gusano palolo (*Palola viridis*), pardela cenicienta (*Calonectris diomedea*), Pomacentrus amboinensis, pulga de playa (*Talitrus saltator*), ratón de playa (*Peromyscus polionotus leucocephalus*), salmón del atlántico (*Salmo salar*), sapo de caña (*Bufo marinus*) zooplankton (*Daphia* spp.) y todas las especies de tortugas marinas, entre otros (Bird, Branch y Miller 2004; Perry *et al.*, 2008; Davies, Duffy, Bennie y Gastón, 2014; Rodríguez, Rodríguez y Negro, 2015).

Las tortugas marinas es el grupo más estudiado con respecto a la contaminación lumínica y se le denomina el grupo más afectado por este tipo de contaminación (Kamrowski *et al.*, 2012; Brei, Pérez-Barahona y Strobl, 2016; Silva *et al.*, 2017). Esto se debe al comportamiento de estas durante la eclosión, donde su orientación es hacia la fuente de luz en horizonte abierto. El mecanismo descrito por Ehrenfeld en 1968, Light, Salmon y Lohman 1993 así como Lohmann y Lohmann 1996, se puede resumir en:

- “Las crías de tortugas marinas emergen de sus nidos, se orientan a la dirección con mayor brillo, en el caso natural se dirijan al reflejo de luz en el mar. Esto hace que se alejen de dunas y vegetación marina que son zonas oscuras. En el caso de no haber señales visuales ni brillo las tortugas se mueven en relación con la elevación.”

La vulnerabilidad de las tortugas marinas recae en la dependencia de las crías en tener que utilizar la luz para encontrar el mar, esto significa un problema cuando hay otras fuentes de luz, generalmente artificial, cerca de nidos (Bourgeois *et al.*, 2009; Kamrowski *et al.*, 2012; Brei, Pérez-Barahona y Strobl, 2016). El efecto más severo es su seria consecuencia negativa en la supervivencia al eclosionar; esto es causado por prolongamiento del arrastre hacia el mar causando un aumento de gasto energético, recurso limitado que obtienen las crías de la yema, crucial para la migración costera. Esto aumenta severamente el riesgo de depredación (Karnad *et al.*, 2009; Kamrowski *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2017). Además, ha habido reportes de disuades de hembras adultas al anidar en tramos particulares con alta contaminación lumínica (Salmon *et al.*, 1995; Salmon, 2003).

C. Introducción general y estado de conocimiento, *Lepidochelys olivacea*.

Las tortugas marinas (súper familia que comprende 7 especies y 2 géneros) son reptiles migratorios con un rango de distribución alta (Eckert *et al.*, 1999; Lutz, Musick y Wyneken 2002). Una de las principales organizaciones para la categorización del nivel de amenaza de especies, Lista Roja IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources), categoriza a 6 de las 7 especies en un nivel inferior o en nivel “vulnerable” (Ver Cuadro 1.). Muchas de estas especies llevan más de 10 años sin reanudar su asesamiento, siendo una de estas especies *Lepidochelys olivacea*.

Cuadro 1. Lista del estado de las especies de tortugas marinas.

Especie	Categoría ¹⁾	Año asesorado	Referencia
Cheloniidae			
<i>Caretta caretta</i>	VU A2b	Agosto 23, 2015 (ver. 3.1)	Casale y Tucker, 2017
<i>Chelonia mydas</i>	EN A2bd	Abril 30, 2004 (ver. 3.1)	Seminoff, 2004
<i>Eretmochelys imbricata</i>	CR A2bd	Junio 30, 2008 (ver. 3.1)	Mortimer y Donnelly, 2008
<i>Lepidochelys kempfi</i>	CR A2bd	Enero 14, 2019 (ver. 3.1)	Wibbels y Bevan, 2019
<i>Lepidochelys olivacea</i>	VU A2bd	Junio 30, 2008 (ver. 3.1)	Abreu y Plotkin, 2008
<i>Natator depressus</i>	DD	Septiembre 1, 1996 (ver. 2.3)	Red List Standards & Petitions Subcommittee, 1996
Dermochelyidae			
<i>Dermochelys coriacea</i>	VU A2bd	Junio 21, 2013 (ver. 3.1)	Wallace, Tiwari y Girondot, 2013

1)* Para mayor explicación de las directrices sobre uso de categorías y criterios se recomienda uso del documento suplementario de la IUCN (Subcomité de Estándares y Peticiones de la UICN, 2017).

Fuente del cuadro: Elaboración propia.

L. olivacea es una de las especies de tortugas marinas con mayor distribución en mares tropicales y con mayor abundancia en el pacífico oriental (Marcovaldi, 1999; Polovina *et al.*, 2003; Gonzales *et al.*, 2017). Se ha estimado que esta especie coloca 105 huevos por nido y cada hembra pone en promedio de un año 2.5 nidos, las temporadas de anidamiento varían entre poblaciones, pero las cantidades se mantienen constantes en el tiempo (Plotkin *et al.*, 1997; Abreu y Plotkin, 2008). En Guatemala sus puntos de anidamiento se encuentran en las costas del Pacífico del país (Muccio, 2015).

Las características específicas de esta especie se pueden resumir en: Un caparazón verde olivo con 13 escudos mayores yuxtapuesto, uña en el borde anterior de cada aleta, cabeza chata de tamaño mediano con un par de escamas pre-frótales, pico aserrado filoso, plastrón con cuatro escudos infra-marginales, sin poros (Representación en Figura 2) (Pritchard y Mortimer, 2000; Abreu y Plotkin, 2008; Coyne y Clark, 2014). La especie más parecida es su pariente más cercano

L. kempii pero la parlama se diferencia fácilmente por tener los bordes de las placas ligeramente hacia arriba (Pritchard y Mortimer, 2000).

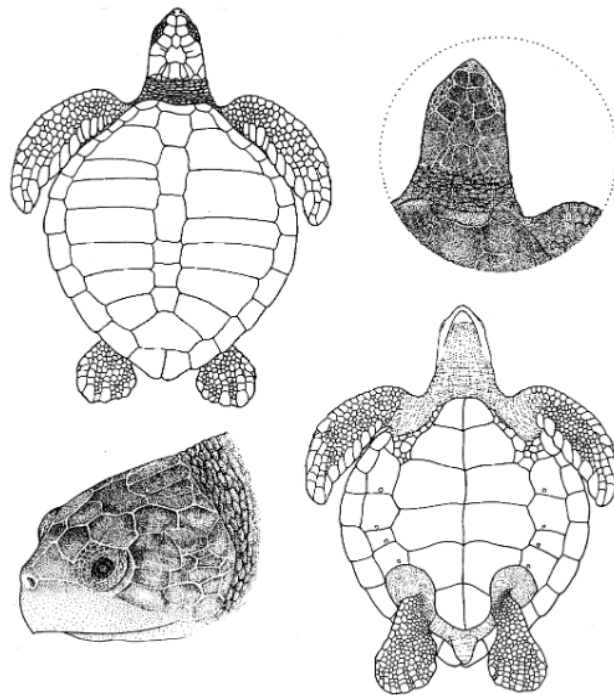


Figura 2. Diagrama de *Lepidochelys olivacea*.

Figura elaborada por: Pritchard, P., y Mortimer, J, 2000; Presentado en su artículo “Taxonomía, Morfología Externa e Identificación de las Especies”.

L. olivacea posee importancia en diferentes ámbitos, el que le incumbe a la mayoría de las poblaciones es el ámbito económico donde esta especie genera subsistencia tanto por el cobro de liberación de las crías, venta de subproductos de la especie, cosecha legal de huevos, entre otros (Trinidad y Wilson, 2001; Hope, 2002; López y Mora 2012; Chandrasekar y Srinivasan, 2013). Esta especie también tiene una importancia científica tanto por ser un recurrente ejemplo y prueba de protocolos de conservación; así como posee una importancia social, esto por la cultura alrededor del caparazón y como especie utilizada como imagen representativa de algunos comercios, anuncios, publicitación o mascota gráfica de algunos grupos (Chandrasekar y Srinivasan, 2013; Rodríguez, Rocha y Beheregaray, 2013; Muccio, 2015). Así como su gran importancia ambiental siendo el más importante el flujo de nutrientes en los sistemas marino-costeros (Bjorndal y Jackson, 2002; Witherington *et al.*, 2009; Chandrasekar y Srinivasan, 2013; Coyne y Clark, 2014).

Aunque esta especie es de suma importancia esta sufre de amenazas constantes, al igual que otras especies marinas, donde destaca: La cosecha de los huevos como alimento, aunque menos frecuente la toma directa de individuos, la pesca accidental, degradación de hábitat marino y

costero, calentamiento global en específico el cambio de temperatura, enfermedades como el fibropapiloma, entre otros (Abreu y Plotkin, 2008; Godgenger *et al.*, 2009; Muccio, 2015). Uno de los contaminantes que aparece como significativo en la degradación de hábitat para tortugas marinas es la contaminación lumínica, de igual manera se le ha asociado en varios estudios como un causante de alta morbilidad en tortugas marinas (Deem *et al.*, 2007; Abreu y Plotkin, 2008; Muccio, 2015). Es por lo que, es importante cuantificar este contaminante en zonas urbanas costeras en Guatemala.

D. Seguimiento del impacto con Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Mucho del esfuerzo reciente para detectar la relación de zonas de anidamiento con contaminación lumínica se enfoca en estudios utilizando sistemas de información geográfica (Kamrowski *et al.*, 2012; Weishampel, Cheng y Weishampel, 2016; Hu, Hu y Huang, 2018). Estos estudios en los últimos años se han sistematizado, estableciendo lo necesario para llevar a cabo este tipo de investigaciones siendo esto: una zona, datos de contaminación lumínica y lo más importante una base de datos con la referencia de nidos de tortugas (Kamrowski *et al.*, 2012; Weishampel, Cheng y Weishampel, 2016; Hu, Hu y Huang, 2018; Tan, *et al.*, 2018). Muchos estudios se han enfocado en solo estudiar la contaminación lumínica en el transcurso del tiempo (Ej. Nagatani, 2010; Badarinath, Sharma y Kharol, 2011) pero pocos se han enfocado en realizar una relación con datos asociados, en este caso datos de anidación (Zizkin, *et al.*, 2008; Salmon *et al.*, 2000; Kamrowski *et al.*, 2012; Weishampel, Cheng y Weishampel, 2016; Hu, Hu y Huang, 2018; Tan, *et al.*, 2018).

El alcance de la luz artificial es visible desde el espacio, es por lo que la forma más eficiente de obtener datos de este tipo de contaminación es a través de sistemas globales de información. La fuerza principal en el desarrollo de la producción de estos tipos de datos es hecha por el grupo “Defense Meteorological Satellite Program (DMSP)” “Operational Linescan System (OLS)” desde 1992 (Kamrowski *et al.*, 2012; Hu, Hu y Huang, 2018; NCEI, 2019). Esta data es gratuita y es distribuida por NOAA “National Geophysical Data Center” junto al NCEI “National Centers for Environmental Information”. Ahora la producción de bases de datos de contaminación lumínica es hecha por el EOG “Earth Observation Group” siendo uno de sus productos más importante las imágenes VIIRS (NCEI, 2019).

Estas imágenes son creadas desde el 2011 por el satélite Suomi-NPP lanzado por NASA/NOAA conteniendo el instrumento VIIRS “Visible Infrared Imaging Radiometer Suite”.

Este instrumento posee un antecesor llamado DMPS-OLS, lo que hace ventajoso al sensor VIIRS es la habilidad de determinar y eliminar datos de luz no relacionada con iluminación artificial, como son las fuentes de luz naturales como sol, luna, incendios, etc., así mismo tiene la capacidad de limpiar componentes como la nubosidad y recopila los datos que tengan una gran cantidad de observaciones en múltiples ángulos logrando producir imágenes con píxeles con valores de calidad científica promediando meses y años (Este es un resumen de generación de las imágenes, para información completa de la generación de datos se recomienda leer: Elvidge *et al.*, 2017).

VIIRS día/noche banda paramétrica es sensible a ondas visibles secas del espectro infrarrojo siendo un rango de 500 a 900 nm (Elvidge *et al.*, 2017; NCEI, 2019). Esta sensibilidad es parecida al rango de capacidad visual de tortugas haciendo posible correlacionar las dos variables. En el caso de tortugas se ha comprobado que tanto adultos como crías tienen una sensibilidad a la luz visible en ondas con rango de 440-700 nm siendo en el caso de adultos ~580 nm el punto con respuesta máximo de estímulo y en crías ~540 nm (Kamrowski *et al.*, 2012; Hu, Hu y Huang, 2018).

Muchos estudios han utilizado la data VIIRS, los que utilizan sitios de anidamiento han demostrado la capacidad de utilizar datos VIIRS para correlacionar con los datos de anidamiento (Kamrowski *et al.*, 2012; Weishampel, Cheng y Weishampel, 2016; Hu, Hu y Huang, 2018). Aunque los datos VIIRS sean algo moderno, el tipo de dato y su interpretación sigue siendo la misma.

III. Justificación

Estamos en el punto de mayor crecimiento poblacional de la historia, este crecimiento ha causado que los aglomerados de urbanizaciones aumenten exponencialmente (Díaz *et al.*, 2017; Fouquet, 2016; Jones y O'Neill, 2016; d'Amour *et al.*, 2017). El costo de este crecimiento es soportado en gran medida por el sector natural debido a la constante explotación de los ecosistemas y comunidades de especies que tienen que convivir con nuestras urbanizaciones; un claro ejemplo de esto es la sobrepesca y contaminación de los mares (Alberti, 2005; Srinivasan *et al.*, 2013; Lachir *et al.*, 2016; Wolff *et al.*, 2017). Entre las especies con este infortunio se encuentra *L. olivacea*, una de las especies marinas más amenazadas debido a la continua exposición a contaminantes por nuestro crecimiento en zonas litorales (Abreu y Plotkin, 2008; Godgenger *et al.*, 2009; Muccio, 2015).

L. olivacea es de suma importancia para la economía, cultura y ecosistemas en las cuales se encuentre, siendo de alta importancia para la salud de su hábitat, así como el correcto ciclo de nutrientes en el sistema marino-costero (Bjorndal y Jackson, 2002; Witherington *et al.*, 2009; Chandrasekar y Srinivasan, 2013; Coyne y Clark, 2014). Pero el verdadero alcance de su importancia está en el ámbito económico y científico (Chandrasekar y Srinivasan, 2013; Rodríguez, Rocha y Beheregaray, 2013; Muccio, 2015). El ejemplo de esta afirmación en Guatemala está en que la especie es parte de la economía de muchas poblaciones costeras, siendo en muchos casos la principal fuente de subsistencia para poblaciones altamente dependientes de sistema marino y los beneficios que estos traen (Muccio, 2015).

Aún que la especie es de alta importancia IUCN no ha actualizado el asesoramiento de esta especie en más de 10 años, pero lo más probable es que su población vaya en descenso al igual que el resto de las especies de tortugas marinas (Abreu y Plotkin, 2008; Ceriani *et al.*, 2019; Howell *et al.*, 2019). Los factores responsables por este declive se pueden atribuir principalmente a la sobreexplotación de las especies tanto de los huevos como de individuos, calentamiento global y la contaminación de su hábitat siendo los principales contaminantes plásticos, contaminantes químicos, contaminación auditiva y la que concierne a este estudio la contaminación por luz artificial (Abreu y Plotkin, 2008; Godgenger *et al.*, 2009; Muccio, 2015).

En Guatemala hay una gran deficiencia de datos y el ejemplo más claro es la incapacidad de asesorar las condiciones de esta especie; aun así, podemos aceptar sin dudas por la visualización empírica, por el desarrollo urbanístico en el litoral pacífico y asociación de la condición de otras especies, que *L. olivacea* posee las mismas amenazas que en otras regiones (Muccio, 2015). Es por tanto nuestro deber como científicos y por tanto el de este trabajo, aunque algunas de estas amenazas no se vuelvan mitigable hasta el futuro, evaluar y cuantificar éstas amenazas para asesorar posible futuras respuestas.

Aun así, esta evaluación se topa con más problemas. Es bien sabido las dificultades que poseen los países en desarrollo para la generación de ciencia, dificultad que se ha visto en las últimas décadas (Vose, 1993; Harris, 2004; Gossa, Fisher, y Milner-Gulland, 2015) y Guatemala no es la excepción (Cajas, 2015). Esto es mucho más evidente cuando se tiene falta de información para una especie de importancia y del estado de su hábitat. Es por este mismo hecho que esta investigación es de importancia, debido a que es el primer estudio de este tipo en Centroamérica.

El fin de esta investigación es, por tanto, la generación de información faltante de la especie *L. olivacea* para la zona marino-costera El Hawaii, Santa Rosa, Litoral Pacífico de Guatemala. Buscando cuantificar el crecimiento urbano en la zona antes mencionada y utilizar una categorización de impacto para evaluar este cambio, así como realizar una asociación de los puntos de anidamiento de *L. olivacea* con datos de contaminación lumínica y evaluar los resultados de esta asociación. Dejando a su paso una metodología clara para llevar a cabo este tipo de estudio en otras áreas de importancia.

IV. Objetivo e hipótesis

A. Objetivo general:

Evaluar los efectos de la contaminación lumínica de la línea costera de 7.5 km de playa en El Hawaii, Santa Rosa, Guatemala sobre la densidad de huella de anidación de la tortuga parlama (*Lepidochelys olivacea*).

B. Objetivos específicos:

1. Cuantificar los cambios del crecimiento urbano dentro de la zona entre los años 2006 a 2020.
2. Relacionar estadísticamente la densidad de huella de anidación de *L. olivacea* y los datos existentes de contaminación lumínica en el año 2016.
3. Crear una metodología reproducible para llevar a cabo la cuantificación del crecimiento urbano y la relación entre la densidad de huella de anidación y la contaminación lumínica.

C. Hipótesis

Hipótesis nula:

- Existirá una relación significativa entre la huella de anidamiento de *L. olivacea* y la contaminación lumínica del área litoral pacífico guatemalteco, Playa El Hawaii.

Hipótesis alterna:

- No existirá una relación significativa entre la huella de anidamiento de *L. olivacea* y la contaminación lumínica del área litoral pacífico guatemalteco, Playa El Hawaii.

V. Metodología

A. Sitio de estudio.

El estudio se realizó en El Hawaii Santa Rosa, Guatemala (Figura 3); es una zona turística con zonas vivienda. Esta se encuentra entre el canal de Chiquimulilla y el Océano pacífico, a una altura de 5 msnm y con una playa de ~ 7.4 km de longitud (Alejando, 2013; Muccio, 2015). Aunque no se sabe a ciencia cierta, en 2003 se estimó que existían 92 viviendas donde habitaban 469 personas (Alejando, 2013); también se sabe la existencia de centros de salud, comités de desarrollo, iglesias y escuelas, pero no se sabe el número exacto de las mismas (Alejando, 2013; Méndez, 2014). Y utilizando la información de lugares de Google maps, se sabe a la fecha de escrito este trabajo que existen aproximadamente 29 hoteles. Además, el área cuenta con un centro de acopio de la Asociación de Rescate de Vida Silvestre -ARCAS- para el anidamiento de la tortuga parlama (Muccio, 2015; SEGEPLAN, 2016).

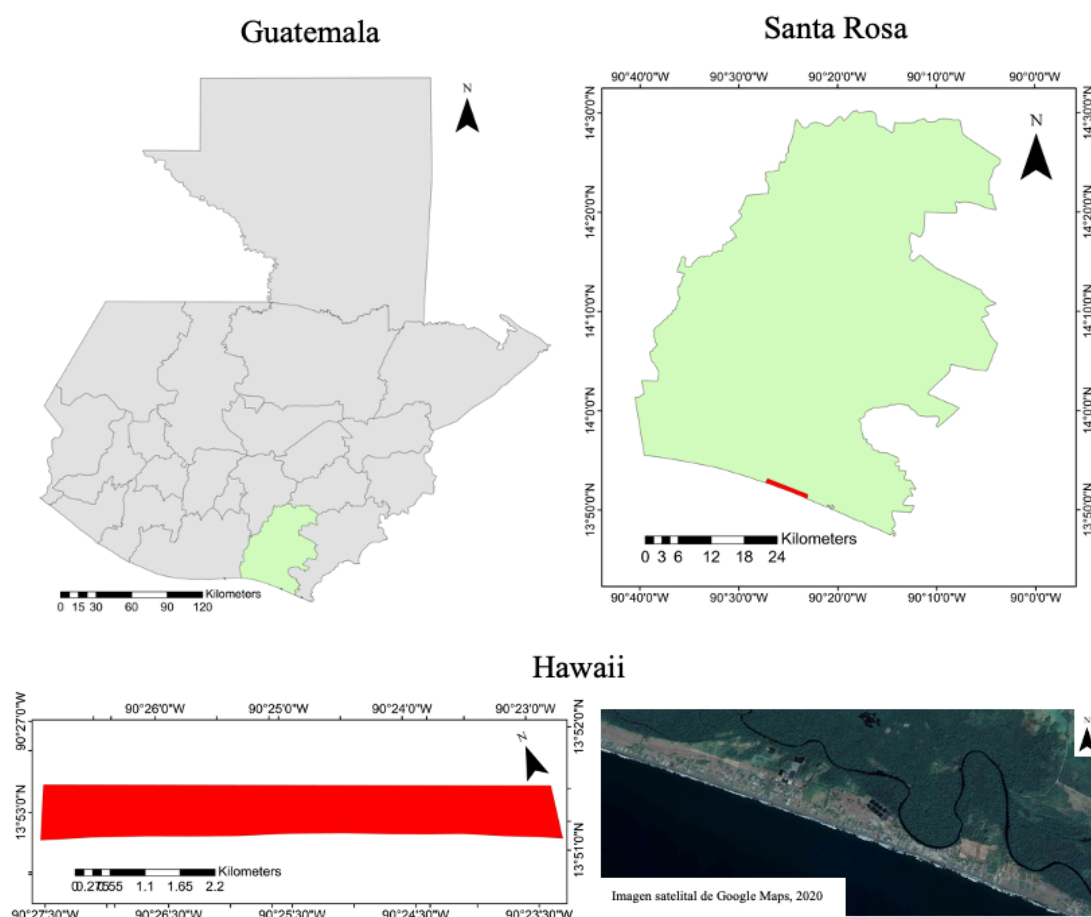


Figura 3. Mapa del sitio de estudio. Se presenta los polígonos de Guatemala, Santa Rosa y el área de interés Hawaii junto a una imagen satelital del área recuperada de Google Maps en el año 2020.

(Elaboración propia)

Los actores del área se pueden resumir en: De gobierno central (SEGEPLAN, INGUAT, MARN, OCRET, CONRED, BASE NAVAL, PORTUARÍA, CECON, CIPESCA, CONAP, OCRET), del gobierno local (La Municipalidad de Taxisco, COMUDE y COCODE), Actores sectoriales (Toda industria privada presente en el área) y otros actores (Comité de tierras y recursos Naturales, ARCAS, ONG's) (ARCAS, 2010; SEGEPLAN, 2016). La economía del área depende principalmente de los productos marinos (camaroneras, actividades lucrativas con tortugas, pesca, etc.) y lo generado por el turismo (ARCAS 2010; Muccio, 2015; SEGEPLAN, 2016).

B. Procedimiento, cuantificación de los cambios del crecimiento urbano.

1. Recursos de información: Datos espaciales.

Los datos espaciales pueden venir de diferentes formas como las ortofotos, imágenes satelitales, cartas topográficas, datos nacionales o internacionales. Existe un mercado único con variedad de satélites que permiten estudio de diferentes aspectos de la tierra. Existen productos gratuitos para llevar a cabo el mismo tipo de estudio. Por fines prácticos y de este trabajo, se utilizarán imágenes de Google Earth: Imagen de alta resolución de los años 2006, 2009, 2013, 2016 y 2020 del área de Hawaii, Guatemala.

La decisión de utilizar estas imágenes se debe a la resolución, landsat TM y ETM tiene una resolución de 28 m, MSS de 59 m (Leslie, Servina y Miller, 2017). En comparación, las ortofotos de Google Earth poseen una resolución 2.65 m y una nitidez de 65 cm en panorámico. Los detalles específicos sobre la producción y recolección de imágenes satelitales de google earth se pueden consultar en los manuales de Google (Google, 2020). Siendo el área de Hawaii tan pequeña y específica, aunque se tuviera que georreferenciar a través de puntos, se decidió que debido a la calidad de imagen es mejor utilizar las ortofotos de Google Earth. Estas imágenes fueron descargadas a 4K a través del programa Google Earth Pro-versión 7.3.

2. Procesamiento de Datos.

Utilizando ArcGis versión 10.3, cada imagen (imagen 2006 a 2020) se geo-referenció a través de puntos para posteriormente realizar una clasificación no-supervisada utilizando un clasificador de máxima verosimilitud. La reclasificación de la imagen se realizó con la función "*Iso Cluster Unsupervised Classification*". Para la selección de clases es recomendable utilizar $k = 4$ clases básicas, siendo la mejor cuando se trata de separar la vegetación p una clase específica de otras fuentes; y $k = 6$, es el más recomendable cuando se trata de composición forestal (Gutiérrez, Branch

y Botero, 2005; Kvamme, Ernenwein y Menzer, 2019). Ya que el objetivo de este procesamiento es separar lo urbano de otras clases se decidió utilizar una clasificación de $k = 4$ presente en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Clases empleadas para la clasificación de imágenes.

Nombre de la clase	Descripción
Agua	Toda fuente de agua, mar, ríos, partes de bosque inundables, lagunas, pozos, etc.
Vegetación	Toda vegetación presente tanto arbórea y arbustiva.
Urbano	Toda zona de asentamientos humanos y construcciones humanas
Zona descubiertas	Toda zona que no es de vegetación ni urbano, zona con tierra descubierta.

3. Método de detección de cambios.

La detección de cambios de este estudio comprende el periodo de 2006 a 2020, y para el análisis de cambio de uso de suelo se utilizaron las clasificaciones antes mencionadas, sección B . 2. Utilizando ArcGis versión 10.3 se generaron polígonos de cambios en la zona, esto se realizó convirtiendo las reclasificaciones a polígonos; haciendo posible cuantificar las hectáreas de cada clase.

Para el análisis de impacto se utilizará el software TerrSet 2020; este software posee la ventaja de hacer automáticamente la superposición de reclasificaciones haciendo más accesible este tipo de análisis. El análisis se realizó de forma que se introdujo las dos reclasificaciones 2006 y 2020 en formato raster. Así como necesita de una variable exploratoria (Distancia de carreteras, población, topografía, ríos, etc.). En este caso se utilizaron los mismos restes como variables exploratorias; la explicación del porqué se encuentra en resultados sección D . 2.

Una vez ingresadas esas tres variables se calculó el área de cambio para cada clasificación, obteniendo el área total para cada clasificación para cada año y el porcentaje de pérdida o ganancia de este tanto en % y hectáreas. Posteriormente se generó un modelo de transición potencial a futuro, esto se hizo a través del método ANN (Artificial Neural Networks), las condiciones del modelo fueron las siguientes: Que el recuento de píxeles vecinos define el futuro en una región de 3x3, se dejaron los valores predeterminados de aprendizaje e impulso, siendo estos una tasa de aprendizaje de 0.1 segundos un máximo de 100 iteraciones y 1 capa oculta con 10 neuronas. Al finalizar se produjo una simulación a un tercer tiempo predeterminado de 10 años, esto produce

un mapa de un pronóstico de uso de suelo a tiempo 3; en este caso cambio de urbanización para la fecha 2030.

C. Procedimiento, relación estadística de densidad de puntos de anidamiento y contaminación lumínica.

Para realizar la asociación de puntos de anidación con los datos de contaminación lumínica se utilizaron las metodologías modificadas de Hu, Hu y Huang, 2018 y de Weishampel, Cheng y Weishampel, 2016.

1. Obtención de huella de anidamiento.

La base de datos de la huella de anidamiento provino del proxy de la abundancia de los rastros de anidación de hebras *L. olivacea* en el sitio de estudio. El procedimiento fue la adaptación del protocolo Index Nesting Beach Survey (INBS) (Consejo Asesor Científico SWOT, 2011), un acercamiento válido para obtener la abundancia relativa de tortugas marinas debido a la poca probabilidad de confundir anidación entre individuos (Consejo Asesor Científico SWOT, 2011). Siendo un protocolo apropiado para evaluaciones de tendencias de anidación y/o comparaciones exactas entre años debido a su ajustado procedimiento (Ceriani *et al.*, 2019); y por tanto un procedimiento válido para las necesidades dato-dependientes de esta investigación.

El protocolo consintió en patrullas diarias de conteo de huellas de anidación temprano en la mañana, realizadas entre el 1 de julio y el 31 de diciembre a lo largo del transecto (límites fijados entre 13.879112 ° N, -90.451536 ° W y 13.853776 ° N, -90.385770 ° W) en la playa de Hawaii para el período 2003-2018, sin el año 2012 debido a dificultades logísticas. Topógrafos capacitados confirmaron los nidos y descartaron los rastreos falsos, el punto final (fosa del cuerpo) de cada pista de anidación se marcó con ubicación GPS. Para evitar el recuento se borraban las pistas. La probabilidad de confusión con otras especies es casi inexistente en visto que los registros de los últimos 30 años en la costa del pacífico han sido de *L. olivacea*, con nidos poco frecuentes de tortuga verde (*Chelonia mydas*) y laúd (*Dermochelys coriacea*) (Juarez y Muccio, 1997; Brittain *et al.*, 2007); siendo la única excepción la anidación documentada de tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*) en la costa del Pacífico de Guatemala en 2018 (Muccio y Izquierdo, 2019).

Este protocolo de toma de datos fue llevado a cabo por ARCAS's, siendo parte de su programa de monitoreo poblacional de tortugas marinas; y por tanto la base de datos pertenece a ellos. El

tipo de dato exportado fue de puntos, en total fueron 11,454 datos en total entre las fechas del 2005 a 2017 y fueron tomados en el sistema geodésico UTM WGS 84 zona 15N. Los datos sólo pertenecen a los puntos de anidación de *L. olivacea* en la región marino-costera de Hawaii, Santa Rosa, Guatemala. Se utilizó ArcMap versión 10.3 para realizar un análisis visual de densidad de punto separado por cuartiles: “baja” para densidad menor al 25% no incluyendo densidad 0, “media” para 25% -75% y “alta” para más de 75%. Este análisis es únicamente visual y solo es para ver distribución de datos y ver que no haya poblaciones separadas. Sabiendo que los puntos no poseen problemas se prosigue con los siguientes pasos. De haberse encontrado diferencias en los cuartiles o uno se encuentra vacío, se pueden crear subunidades para llevar a cabo el análisis.

2. Obtención de datos de luz nocturna.

Se utilizó la imagen compuesta de radiación media anual nocturna VIIRS EOG/NCEI (Banda D/N versión 1) de la “Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (por sus siglas en inglés NOAA)”. La descripción dada para la generación de estos datos se puede consultar en el documento de Mills, Weiss y Liang, 2013; Elvidge *et al.*, 2017. Se utilizó la cobertura espacial Tile 1 que abarca 75N / 180W comprendiendo la región norte y Centroamérica, del año 2016. Se decidió trabajar con la versión de configuración anual del producto "vcm-orm-ntl" que es una versión depurada sin nubes, elimina valores naturales de luz como son los incendios e iluminación efímera y el fondo sin luz lo establece como sin valor (NOAA/NCEI, 2019). El año seleccionado fue el producto anual más reciente que se pudo encontrar, siendo adecuado por corresponder a una parte final de toma de datos. Los productos anuales del 2017 en adelante no existen debido a que, en octubre del año 2019, NCEI cesó la producción de estos y transfirió la producción a las universidades Payne Institute for Public Policy, siendo los únicos producidos los productos mensuales.

El depuramiento puede realizarse manualmente con otros productos de imagen y usando diferentes softwares. Para hacerlo es necesario saber que cada valor de píxel es de coma flotante y cada valor representa un valor promedio de radiación con la unidad de medida de resplandor o watts por metro cuadrado por steradian ($10^{-9} * Wm^{-2} sr^{-1}$) (Hu, Hu y Huang, 2018). En este caso al no tener el poder computacional ni el software para computar datos efímeros se tomó la decisión de utilizar el producto antes mencionado, para evitar problemas también es necesario tener mucho espacio de almacenamiento para manejar los datos; una recomendación es utilizar el software gratuito de descompresión 7-Zip para seleccionar solo lo utilizado. En este caso el tamaño de píxel

era de 400 m² en promedio y en completo se utilizó ~500 Mb para llevar toda la metodología a cabo; aunque en algunos momentos se utilizaron ~1.5 Tb.

3. SIG: Manejo, integración, visualización y estadística descriptiva.

Los softwares utilizados para el manejo de toda la información fueron Excel, R estudio y ArcGis versión 10.3. Los puntos de anidamiento se georreferenciaron usando UTM WGS 84 zona 15N, los datos de radiación nocturna se georreferencian automáticamente al tipo de coordenada previamente seleccionada, para obtener el tamaño del píxel se pueden ver en las propiedades de la imagen en ArcGis. Para obtener únicamente los datos de Hawaii se utilizó un polígono del e (creado utilizando puntos exportados del polígono de google Earth) y se produjo una máscara de los datos de radiación nocturna. En total el área comprende 47 píxeles. Se midió el píxel viendo las características de imagen, en este caso medían 410 m (E a O) y 464 m (N a S) o su equivalente a 190,240 m² en promedio. Ya que se quiere observar si hay alguna relación, no se excluye ningún píxel exceptuando datos de $0 * Wm^{-2} sr^{-1}$; Una recomendación dada por Hu *et al.*, 2018 es eliminar todos los datos menores a $1.14 \times 10^{-11} * Wm^{-2} sr^{-1}$, ya que este es el límite donde no se considera contaminación lumínica sino una fuente de luz natural como el reflejo de la luz lunar (Hu, Hu y Huang, 2018), en este caso no se tuvo ningún dato menor a ese límite.

Al obtener la máscara de los datos se debe convertir de píxel a polígonos rectángulos. Se utilizó la función “*reclassify*” y se hizo de manera que sean valores únicos para que se mantenga el valor del píxel. Esto exporta un raster con los datos en dos columnas de ID (numeración de polígono) y numeración del vector después de esto se asignan los valores originales a través del vector a cada píxel utilizando tablas dinámicas; obteniendo un raster. En este caso de 47 píxeles se tuvieron 35 vectores con valor único. Una vez revisado los valores, se utiliza la función “*raster to polygon*” (Otra función que se utiliza es “mayor filtración” para juntar vectores con valores muy cercanos, pero esta solo funciona en raster con mayor número de polígonos o áreas de mayor tamaño). Por último, se hace una unión espacial, uniendo los puntos dentro de los polígonos, dando el recuento de puntos por polígono. Utilizando tablas dinámicas se calcula el área de cada polígono en metros cuadrados y se saca la densidad de puntos dentro de cada polígono con el cálculo [No. de nidos/Área] (Estos datos se pueden observar en Anexos, Cuadro 6).

Por el tipo de datos que se maneja y para cumplir el requerimiento de variables dependientes del modelo Poisson los valores de densidad se multiplicaron por 1000 y se llevaron a número entero. La decisión de llevarlo a cabo con Poisson se basa en que este modelo funciona muy bien

con datos de conteo y permite asumir independencia de los datos, así como no toma en cuenta la autocorrelación espacial, que es algo esperado en conteo de anidamientos y por ser áreas muy específicas se espera que los datos sean no aleatorios (Rodríguez, 2007; Zuur *et al.*, 2009; Weishampel, Cheng y Weishampel, 2016). Al terminar esta conversión, los polígonos se convierten en puntos utilizando la función “*Polygon to points*” esto para poder calcular las coordenadas X, Y centrales de estos. Las coordenadas se calculan utilizando la función “*calculate geometry*”.

Se realizó un modelo de elevación digital (MED), se llevó a cabo utilizando ArcScene versión 10.3; para que estos sean lo más estéticamente posible se debería utilizar ArcGis Pro, al no tener acceso a este programa decidí hacerlo únicamente con ArcScene. Se exportó todo lo que se mencionó anteriormente, las partes que no pueden exportarse correctamente se volvieron a hacer desde el principio, pero en arcScene. Los datos visualizados son la máscara del polígono de Hawaii y la conversión final en polígonos con los datos de radiación y densidad de puntos. Para hacer el DEM, se realiza en propiedades en la pestaña de “*base high*”, se estipula en la calculadora que el valor de altura debe ser el de Densidad y la separación del mapa original, al ser un área tan pequeña, fue de 10 m.

La autocorrelación espacial se juzgó utilizando la prueba Moran’s 1 usando los datos de densidad y luz. Esto se realizó utilizando el software R versión 4.1.0+ utilizando el paquete “Installr” para ayudar en la instalación de paquetes, “spdep” para llevar a cabo la prueba y “rgdal” para facilitar la carga de archivos shapefile al software; el uso de estos paquetes se describe en sus documentos de soporte (Galili *et al.*, 2019; Bivand *et al.*, 2020a; Bivand *et al.*, 2020b). El proceso se lleva a cabo realizando una matriz de pesaje para el shapefile, los pesos espaciales se calcularon utilizando una distancia inversa (potencia = 1.5), haciendo la matriz simétrica. Se prosigue definiendo vecinos binarios y debido al corto tamaño del área se decidió no utilizar/calcular una distancia umbral y dejar que la distancia de los polígonos como umbral. Si se posee un área mayor con grandes cantidades de polígono se recomienda que se haga una evaluación de semivariograma para determinar la distancia umbral que aligerara el procesamiento. Es importante denotar que esta prueba no se limita al software utilizado, esta se puede realizar en cualquier programa que acepte archivos .shp y tengan la capacidad de llevar a cabo la prueba; ejemplos de estos son GS+, ArcGis, R Studio, Qgis, TerrSet. Por último, se realizaron histogramas para examinar la distribución de datos de densidad y contaminación lumínica. Lo previamente mencionado no representan datos cuantitativos sino cualitativos que permiten una mejor visualización de los datos y sus relaciones.

4. Modelado estadístico.

Para examinar cuantitativamente la asociación de la densidad de nidos de tortugas parlama con la contaminación lumínica artificial nocturna se ajustó un GLM (Generalized linear model). El modelo GLM se supervisó utilizando el paquete de software estadístico R “spdep” (Bivand *et al.*, 2020a) junto a paquetes de soporte para observar el comportamiento de los datos. Se revisó la sobre inflación de ceros utilizando el paquete “AER” (Kleiber y Zeileis, 2020), utilizaron los paquetes “pscl” (Jackman, 2020), “boot” (Canty y Ripley, 2020) y “MASS” (Ripley *et al.*, 2020) se comprobó el mejor modelo, siendo en el caso de este estudio glm binomial negativo. Los resultados se obtuvieron y plotaron utilizando los paquetes “lme4” (Bates *et al.*, 2020), “nlme” (Pinheiro *et al.*, 2020) y “ggplot2” (Wickham *et al.*, 2020). Para especificaciones del uso de paquetes se recomienda el uso de los manuales de referencia para cada uno.

5. GLM

Los GLM's permiten que una función relacione variables y respuestas medias con predictores en una combinación lineal. Para este tipo de modelo la variable respuesta Y puede ajustarse a cualquier miembro de la familia de distribución exponencial. Pero la variable Y debe de ser independiente (en contexto espacial, puede haber o no autocorrelación espacial, pero siempre es importante reportar la misma (Hu, Hu y Huang, 2018)), pero la ventaja está en que no necesita poseer una distribución normal (Hilbe, 2017). En este caso la variable que más se ajusta a esta descripción es la densidad de puntos de anidación donde no se espera una normalidad (Kamrowski *et al.*, 2012; CWeishampel, Cheng y Weishampel, 2016; Hu, Hu y Huang, 2018). Debido a las características de las variables, la regresión Poisson fue la mejor opción de análisis de regresión GLM, ya que esta es la más utilizada para este tipo de estudio y modelar datos de recuento (Hu, Hu y Huang, 2018); esto hace que el GLM sea una regresión de Poisson y por lo tanto Y supone poseer una distribución de Poisson.

Se ajustó el GLM de Poisson para que module la densidad media de nidos de tortugas (Y) como una función lineal binomial negativa de la covariable contaminación nocturna (X) a través del enlace algorítmico: $Y \sim \text{Poisson}(\lambda)$; $\log(\lambda) = \beta_0 + \beta_1 X$. Así como se modeló también la abundancia (número total) de nidos (Y) como una función lineal binomial negativa de la covariable contaminación nocturna (X) a través del mismo enlace algorítmico. La especificación de este GLM es que la variable dependiente debe ser número entero positivo. En este caso Poisson acepta todas las ocurrencias de un evento en un intervalo de tiempo o espacio (Hilbe, 2017). Así mismo debido

al tipo de dato y la integración en un radicular, en el artículo de Hu, Hu y Huang, 2018, recomiendan que el valor de densidad se multiplique por 1000 y luego se convierte en valor entero para que el modelo acepte estos valores, y por lo tanto así se realizó (Sección C . 3), en el caso de la abundancia se dejó tal cual.

VI. Resultados

El diagrama de flujo metodológico correspondiente a las secciones A y B se encuentra en Anexos, Figura 11; para la sección C se encuentra en Anexos, Figura 12.

A. Resultados de la clasificación de las imágenes satelitales.

En la Figura 4 y Cuadro 3 se muestra el resultado de la clasificación de uso de suelo, esto comprende el área de estudio en los años: 2006 a 2020. En los cuales se observa un notable cambio de área descubierta a urbanización, viéndose lo mismo con vegetación a área descubierta y siendo su constante una reducción en la clase agua. La clasificación no supervisada en este caso fue satisfactoria. En el caso de 2006 se obtuvieron 657.325 ha clasificadas y en 2020 se obtuvo 657.353 ha clasificadas; dando un error de 0.028 ha. Con respecto a la técnica, fue necesario quitar la línea de costa, ya que los píxeles de espuma creada por el oleaje eran tomados como zona de urbanización, esto se pudo haber tomado como artefacto de la técnica, pero se prefirió deshacerse de esta.

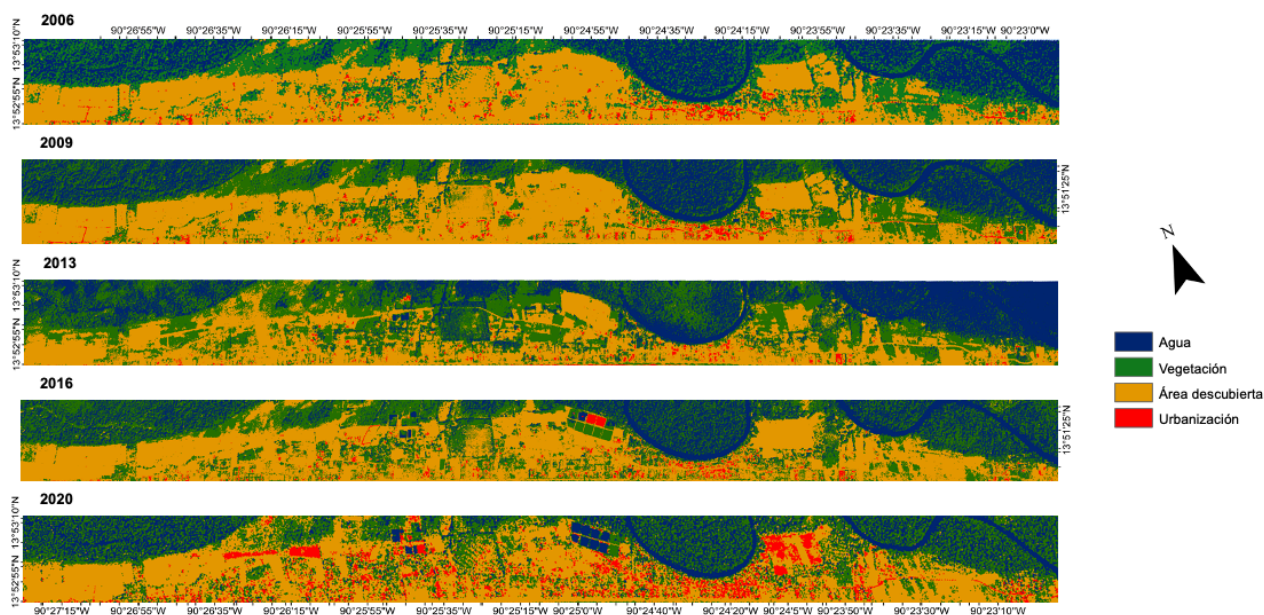


Figura 4. Mapa de la reclasificación de las ortofotos de Google Maps del año 2006 a 2020, en el área de Hawaii, Santa Rosa, Guatemala. En este mapa se muestran los años que poseían mejor calidad de imagen. *Caso particular fue el año 2013 que posee contaminación por nubes y su clasificación no fue tan exacta; y año 2016 donde las salineras existentes tenían una diferente coloración al año 2020, donde debido a la exposición de sal y algas los píxeles se reclasificaron inexactamente para el año 2016. Con respecto a las imágenes se ve el constante crecimiento de la urbanización y una fluctuación de las categorías agua y vegetación.

(Elaboración propia)

El área de estudio ha sido y continúa siendo predominantemente acuícola y turística (ARCAS, 2010; Muccio, 2015; SEGEPLAN, 2016). Aunque no se sabe los porcentajes actuales de la representación de estos componentes sobre la economía del área sí se sabe que la región aledaña llamada Monterrico ha sufrido una transición en las últimas décadas a poseer una economía principalmente turística (INGUAT, 2017; Godínez, 2014); era por tanto de esperar que el área de estudio Hawaii haya sufrido una transición parecida desde el 2006, dando una noción que el crecimiento Urbano era/es algo de esperar; siendo en este caso un crecimiento de 4.44%.

Por el lado de la vegetación no se podía percibir con exactitud el cambio esperado. Esto debido al biotopo aledaño que protege una región de importancia, pero que su estudio es independiente de este trabajo; donde la existencia de este puede ser una de las razones de que la vegetación se perciba como un aumento empíricamente significativo. Aunque lo más probable, es que este aumento de 6.23% de vegetación haya sido por parte de crecimiento de zonas de cultivo y de recreación con vegetaciones; un crecimiento visto ya en otros estudios (Pineda, 2011; Falcón, 2014; Zhang *et al.*, 2019).

Cuadro 3. Cuadro de transición de uso de suelo durante los años 2006 a 2020, en el área Hawaii.

	2006 (ha)	2006 (%)	2020 (ha)	2020 (%)	Δ (%)	Error (ha)
Agua	209.65	31.89%	138.46	21.06%	-10.83%	0.028 ha
Vegetación	163.96	24.94%	204.92	31.17%	6.23%	
Área descubierta	259.49	39.48%	260.52	39.63%	0.16%	
Urbanización	24.25	3.69%	53.42	8.13%	4.44%	

* Error dado en (ha totales 2020 – ha totales 2006). En valor equivalente a porcentaje es un error del 0.0042%.

Las superficies cubiertas por cuerpos de agua, en cambio al resto de clases, ha tenido una reducción significativamente alta siendo esta de 10.83%. La explicación más directa de esta reducción puede haber sido por azolvamiento de canales o por cuerpos de agua que poseen o poseyeron un balance hídrico negativo prolongado hasta el punto de desaparecer o ser reducidos (Du, Ottens y Sliuzas, 2010; Pineda, 2011; Havril *et al.*, 2018). Aunque esta reducción no sea tan severa puede que a largo plazo pueda ser una inconveniencia para la comunidad del área.

B. Cambio potencial a futuro y detección de cambios.

1. Principales tipos de transiciones de uso de suelo.

Dado al enfoque de este estudio y sus objetivos, las transiciones de uso de suelo de 2006 a 2020 se analizaron utilizando una matriz de transición de uso de suelo. Aunque a simple vista no se perciba, la transición más fuerte es la pérdida de áreas descubiertas, cuerpos de agua y vegetación atribuido principalmente al reemplazo a urbanización. Así como se ve la reducción de áreas descubiertas a coste de cuerpos de urbanización, cuerpos de agua y vegetación (Figura 5).

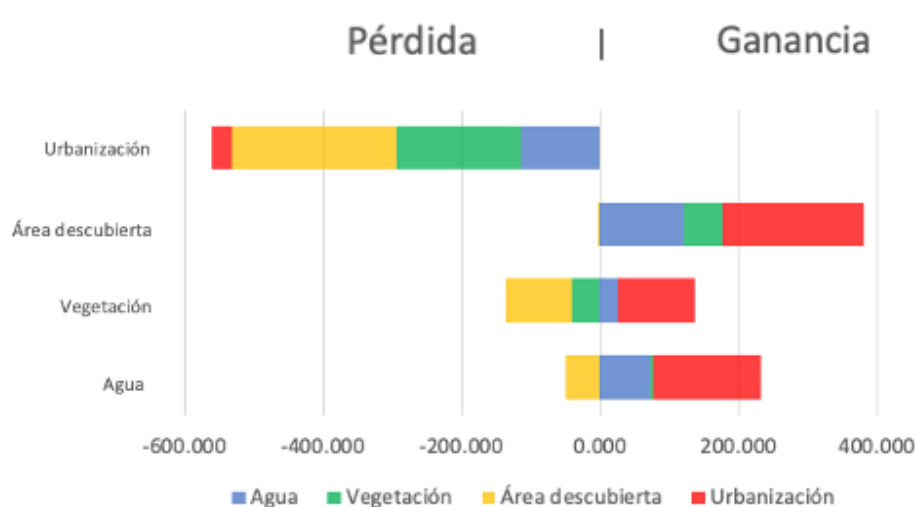


Figura 5. Gráfica de pérdidas y ganancias de cada tipo de uso de tierra y su fuente en Hawaii durante 2006-2020.

Aunque en el Cuadro 3 no se ve un cambio en el área descubierta y el crecimiento urbano no posee un cambio que se vea significativo, la matriz de transición indica que el mayor cambio sucedió fue el reemplazo de otras áreas a urbanización. Tanto como las áreas descubiertas y vegetación lograron una recuperación por el intercambio de estas por cuerpos de agua y urbanización. En general, existe una presencia principal de transición de uso de tierra hacia la urbanización, siendo esta la transición más probable en el cambio de uso de la tierra en Hawaii.

2. Potencial cambio a futuro.

Para observar el cambio a futuro, de la urbanización en el área, se realizó un mapa de la tendencia de cambio en 9no orden (Figura 6) y un mapa de probabilidad de cambio a urbanización para el año 2030 (Figura 7). Con respecto a la tendencia de cambio (Figura 6), se pudo observar que el crecimiento urbanístico tiene una tendencia a cambio focalizada en el centro este y oeste

del área; así como se observa que esta tendencia no aplica para los extremos norte y sur. Esto tiene sentido, ya que en las figuras de uso de suelo (Figura 3) no hay cambios significativos tanto en línea de costa como en el área boscosa del norte. Este mapa, aunque posee una relevancia para focalizar dónde ocurrió y ocurrirá el cambio de urbanización, en este caso, este mapa se utilizó como verificante para el mapa de posibilidad de cambio a 2030, ya que los dos mapas deben seguir la misma tendencia espacial en el crecimiento.

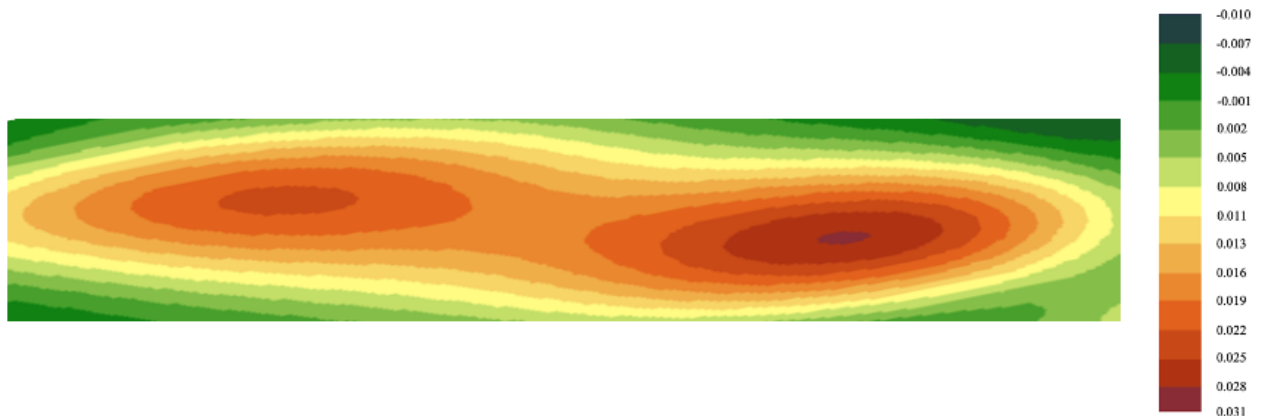


Figura 6. Mapa sobre la tendencia de urbanización durante 2006-2020, con leyenda sobre el porcentaje de cambio. El mapa muestra que el cambio realizado durante las fechas mencionadas sucedió en el centro del área, en este caso 3.1% del cambio; esto difiere del 4.4% visto en Cuadro 3 y puede deberse a error sistematizado en las conversiones al pasar rastres de un software a otro.

(Elaboración propia)

Con respecto a la creación del mapa de probabilidad de cambio a 2030, se tiene que hablar sobre las características del entrenamiento del modelo. Las características técnicas del entrenamiento se encuentran en la metodología, sección B . 3, la limitante encontrada fue la falta de data para utilizar como modelos/factores/ variables espaciales para el entrenamiento. Esto se debe a que los factores/modelos que se pueden utilizar para el entrenamiento son limitados (Estos pueden ser, factores de: Distancia de carreteras primarias, secundarias y terciarias, proximidad a áreas protegidas, Distancia de áreas urbanas, residenciales o de ciudades, pendiente y elevación) las únicas creadas para Guatemala que se pudieron encontrar fueron los modelos de pendiente y elevación.

Al ser una zona costera y un área tan pequeña, tanto el modelo de pendiente como el de elevación presentan valores únicos para el área. Por tanto, aunque se pueden agregar al entrenamiento del modelo estos tuvieron un % de exactitud menor al 5% y la medida de habilidad fue de 0. Es por tanto que se decidió, utilizar los mismos rastres de uso de suelo del año 2006 y

2020 para entrenar el modelo. Esto, aunque no es recomendable y en muchos casos lleva a error, fue la única respuesta para llevar a cabo el entreno del modelo.

Aun así, se utilizaron los 4 modelos para escoger los más útiles utilizando el forzamiento constante escalonado hacia atrás y AIC. Los únicos factores que creaban el modelo más útil fueron los rasters de uso de suelo del 2006 y 2020, poseyendo una exactitud de 49.98% y una medida de habilidad de 0.3997. Sabiendo esto, el mapa final a partir de este modelo (Figura 7) muestra que con un 33% de probabilidad, la zona central de Hawaii, Santa Rosa, tendrá un cambio a urbanización y con un 15% de probabilidad el área de bosque sufrirá el mismo cambio.

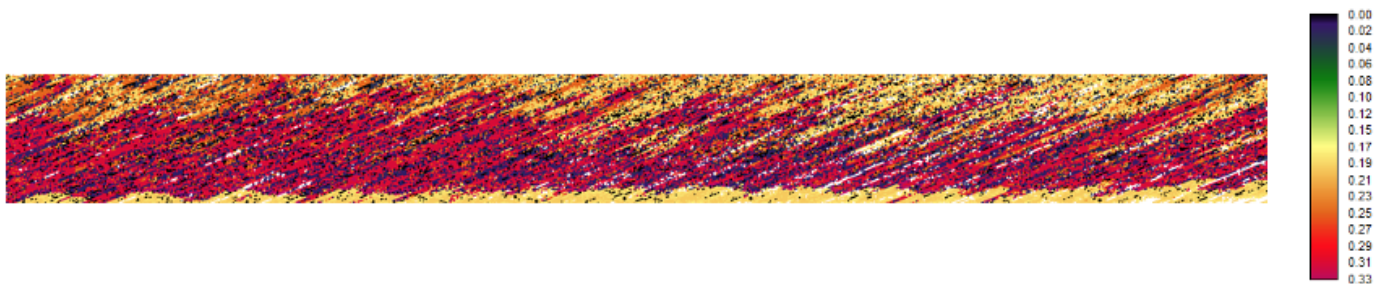


Figura 7. Mapa de probabilidad Markoviano, sobre la clase urbanización y su probabilidad de ser para el año 2030 para el área de estudio Hawaii, con leyenda sobre el porcentaje de esta probabilidad. * Este mapa muestra que, con un 33% de probabilidad, el área central de Hawaii sufrirá una transición de urbanización sobre las otras clases seleccionadas, Cuadro 2.

(Elaboración propia)

Es evidente denotar que está predicción se basa bajo el principio de los píxeles vecinos y sus interacciones, creando una probabilidad Markoviano de cambio. Aun así, por el tipo de factores utilizados se le imposibilitó al modelo discriminar tanto el hecho de la presencia de una línea costera y que el área de bosque es un área protegida; por tanto, lo más probable, es que esta probabilidad sea menor si se obtuvieron y utilizarán más factores para entrenar el modelo. Así mismo, la generación de esta figura no fue de la calidad esperada lo cual imposibilita focalizar los cambios puntuales. Esto es una debilidad del software utilizado, pero este también posee la ventaja de alinear los píxeles de los polígonos iniciales lo cual es necesario para llevar este análisis acabo. Lo cual no se consiguió con otros softwares.

C. Contaminación lumínica

1. Visualización de datos y estadística descriptiva.

La Figura 9 es un mapa MED que muestra los patrones espaciales de intensidad de luz y densidad de nidos a lo largo del área de estudio. Esta muestra una asociación cerca de lo uniforme en la línea costera, en otras palabras, la densidad de nidos aún no se ve influenciada por la cantidad de luz. En los píxeles donde no hay una barra (Figura 9) significa que no hay presencia de nidos en esos píxeles. En una situación ideal no deberían existir píxeles con luz en las zonas donde hay presencia de nidos.

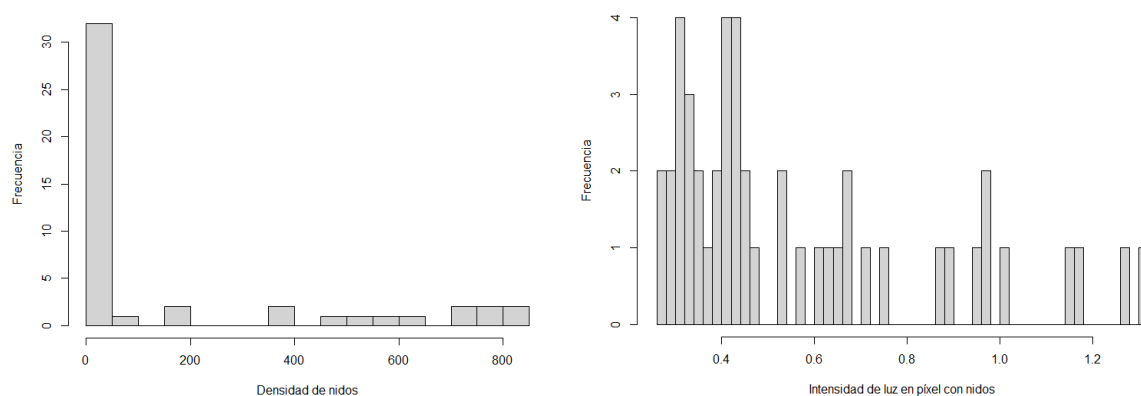


Figura 8. Histogramas de abundancia de nidos y luz para la especie *L. olivacea*. La densidad de nidos es contada en número de nidos por unidad de análisis. La intensidad de luz es medida en $\text{Wcm}^{-2}\text{sr}^{-1}$. La frecuencia es el número de unidades de análisis – píxel – con valores iguales.

(Elaboración propia)

La Figura 8 muestra los histogramas con los datos obtenidos de luz y densidad para la especie. Tanto para la contaminación lumínica como para la densidad de nidos se posee un sesgo hacia la izquierda de los histogramas, aunque se intentó realizar una transformación de uso común, como logaritmo y raíz cuadrada, no se pudo obtener una distribución normal. Esto puede deberse a la carencia de normalidad de los datos, una carencia esperada y vista en otros estudios parecidos; creyéndose que se debe a la dependencia de las tortugas al hacer sus nidos en playas específicas (Weishampel, Cheng y Weishampel, 2016; Hu, Hu y Huang, 2018).

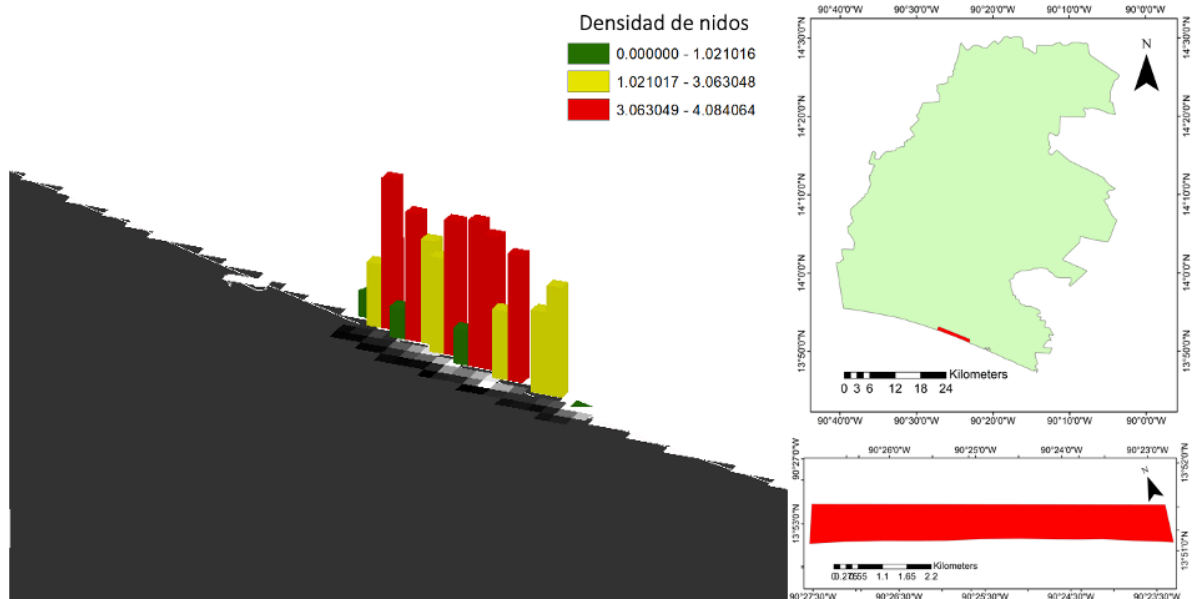


Figura 9. Luz nocturna vrs. densidad de nidos de *L. olivacea*. La densidad de nidos es contada en número de nidos por área de unidad de análisis [#nidos/área]. La intensidad de luz es medida en $Wcm^{-2}sr^{-1}$. Exageración vertical de densidad de nidos: 10m. La cuadrícula de trama de luz se cubre con un DEM de resolución de 5m. Versión de densidad separada por píxel. (Elaboración propia)

Hablando puramente de los datos, el histograma de densidad de nidos (Figura 8) muestra que la mayoría de los píxeles poseen pocos nidos, pero en contraste hay pocos píxeles con una gran densidad que supera la cantidad de 400 nidos, lo cual a gran escala no es tan importante, ya que esta distribución puede cambiar en el tiempo. En cambio, el histograma de intensidad lumínica (Figura 8) muestra que la mayoría de los datos se encuentra en un rango de valor de píxel entre 0.1 a 0.8 con píxeles con valores que superan un valor de 1.0 ($Wcm^{-2}sr^{-1}$).

2. GLM's

El Cuadro 4 muestra los resultados de los modelos GLM's para la asociación entre la contaminación lumínica y la densidad/abundancia de nidos de tortuga parlama. Los dos modelos convergieron correctamente según lo estipulado en la metodología, sección C . 5; Se revisó el modelo, y se realizaron las interacciones ideales resultando en que los modelos se ajustaron a una binomialidad negativa; además de eso no necesitaron ningún ajuste.

Los resultados de los modelos (Cuadro 4) demostraron que la variable luz es significativa para explicar la densidad/abundancia de nidos. La interpretación de los tamaños de efecto se debe hacer en una medida logarítmica donde el incremento de una unidad en X hará que la media de Y se

multiplique por el estimado. Por tanto, los resultados del GLM muestran que el incremento de una unidad de luz hará que la densidad de nidos aumente 3.28 unidades en media, y la abundancia de nidos aumente 2.58 unidades en media.

Cuadro 4. Tamaño de efecto (β), error standard (SE), intervalos de confianza inferior (LCI)2.5% y superior (UCI) 97.5 % de la variable explicativa luz para los análisis de anidación de *L. olivacea*, en la costa del pacífico de Hawaii, Santa Rosa, Guatemala. Parámetros informativos datos en **negritas**.

Variab les	(β)	SE	LCI	UCI
<i>(a) Densidad de nidos en las costas de Hawaii</i>				
Intercepto	-2.48	0.61	-3.840	-1.257
Luz	3.28	0.77	1.664	5.106
<i>(b) Abundancia de nidos en las costas de Hawaii</i>				
Intercepto	3.32	0.030	3.261	3.378
Luz	2.58	0.033	2.517	2.645

*Luz = intensidad de contaminación lumínica medida en $Wcm^{-2}sr^{-1}$

Aunque se realizó un análisis de tablas desviadas sobre los modelos, mostrando solo la reducción del tamaño de efecto, pero no modificando su interacción positiva o negativa, concluyendo y decidió no utilizar para medir la bondad de ajuste de los modelos. En cambio, se utilizó las tendencias en la intensidad lumínica en la costa del pacífico de Hawaii (Figura 10) para revisar esta bondad buscando la predictibilidad de los modelos para los predictores cuando β s es cero en un intervalo de confianza del 95%. Es por tanto que en los dos casos se puede indicar una baja bondad de los modelos debido a la desviación residual del predictor. Significando que la densidad/abundancia de anidamiento es medianamente predicha por el predictor, Luz. Siendo argumentable el caso de la variable densidad donde se ve una mayor bondad que en la variable abundancia.

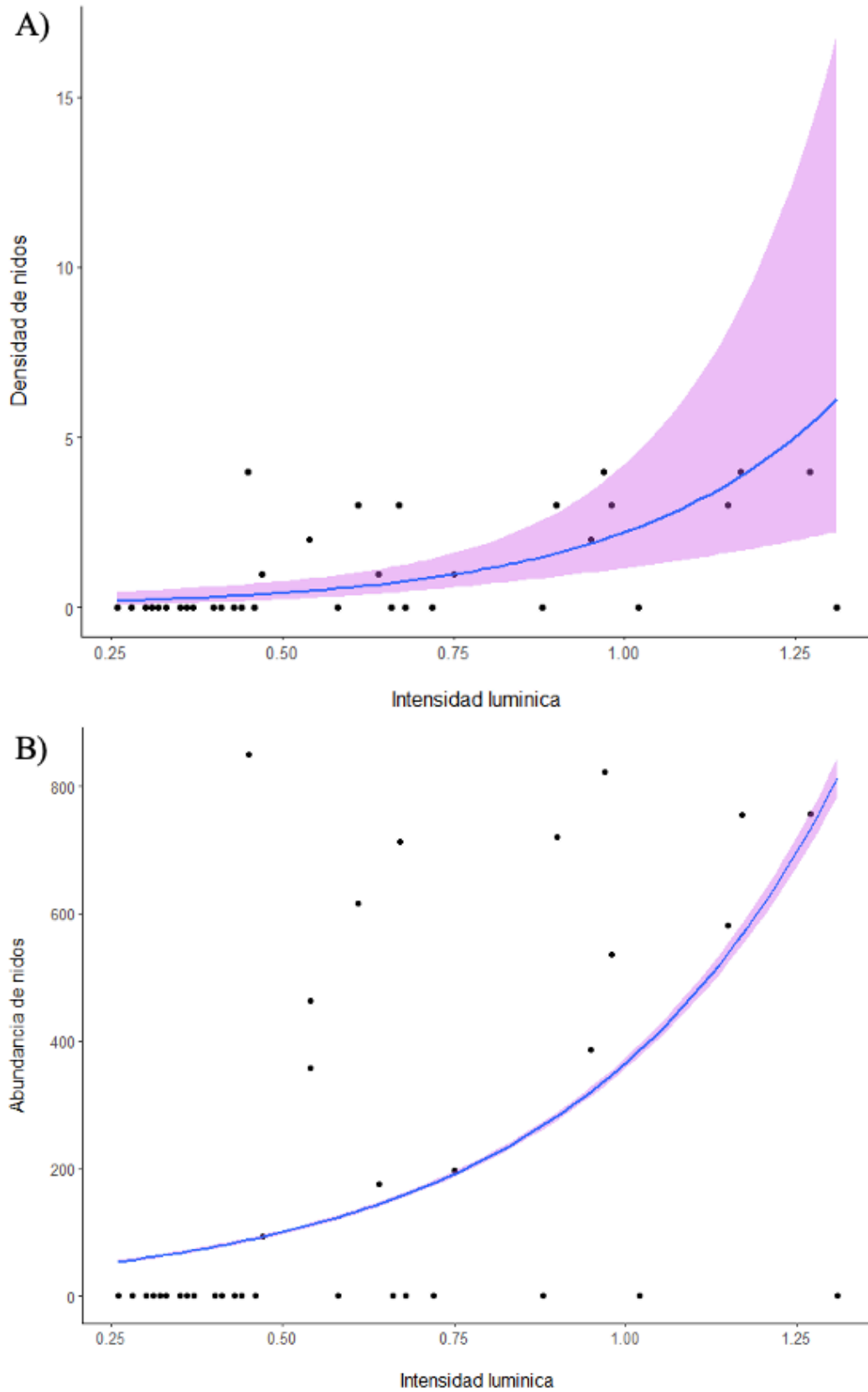


Figura 10. Tendencias en la intensidad lumínica en la costa del pacífico de Hawaii, Santa Rosa Guatemala (A) y densidad de nidos (B) abundancia de nidos de la tortuga *L. olivacea*. Los valores predichos por los modelos más parsimoniosos se muestran en una línea azul sólida con intervalos de confianza del 95% sombreados en color.

La autocorrelación espacial surgió significativa y positiva en los residuos del modelo GLM siendo esta de 0.3552 con significancia por el criterio del valor P. Esto muestra la independencia del supuesto. Aun así, por la familia utilizada los modelos no tomaron en consideración la autocorrelación espacial y por tanto las estimaciones de los parámetros y los errores estándar son segregaron. Esta independencia es esperada y es vista en estudios de la misma índole (Weishampel, Cheng y Weishampel, 2016; Hu, Hu y Huang, 2018), y se cree que surge del comportamiento aleatorio esperado de la especie. Bajo lo previamente dicho y los criterios indicados de los GLM's, la densidad de nidos está predicha y por tanto asociada a la contaminación de luz. Siendo argumentable esta misma asociación en el caso de abundancia de nidos debido a su menor bondad en su modelo.

VII. Análisis de resultados

A. Implicaciones biológicas.

Los modelos utilizados (Cuadro 4) establecen una asociación significativamente positiva entre la densidad/abundancia de nidos de tortugas marinas y la contaminación lumínica en el área de estudio Hawaii, Santa Rosa, Guatemala para la especie *L. olivacea*. Esto en términos simples significa que a mayor contaminación lumínica mayor será la densidad de nidos.

En comparación a estos resultados se encuentran los estudios de Mazor *et al.*, 2013 y Weishampel, Cheng y Weishampel, 2016, relacionados metodológicamente a esta investigación. Estudios donde se encontraron relaciones positivas utilizando modelos GLM y/o variantes. Aunque uno de los argumentos de este tipo de relación positiva es la resistencia de la especie a la contaminación lumínica, esto en este caso es poco probable. La explicación más plausible, igual que en el estudio de Mazor *et al.*, 2013, es que la relación sea positiva debido a limitantes espaciales. Siendo en el caso de este estudio, lo pequeño que es el área de estudio en relación con el gran tamaño de píxel. Siendo lo más probable que las relaciones cambien cuando se hagan interacciones, relaciones o estudios a menor escala.

Otra explicación plausible es que la mayoría de los estudios de este tipo son realizados en el área de Florida, Estados Unidos; Florida al igual que Hawaii es un área Turística e Industrial, pero se diferencia al saber que su industrialización, urbanización y completa unión a un sistema eléctrico se viene fortaleciendo desde la segunda parte del siglo XX, comienzos del año ~1940, durante el comienzo de la carrera espacial (Gannon, 1996; Frieling, 1999; Nowlin, 2011). Algo opuesto a lo visto en este estudio, donde Hawaii se ha comenzado a urbanizar hace apenas dos décadas. Es por tanto que cabe la posibilidad, que el daño ya se haya realizado en las poblaciones de tortuga marinas en las costas de Florida y haya un efecto más evidente.

Esto se puede encontrar donde la relación positiva entre la densidad de nidos y contaminación lumínica sea algo producido por la rápida y reciente urbanización (igual que en el estudio de Mazor *et al.*, 2013), pero se comience a ver una declinación al avanzar los años. Bajo esa lógica es plausible que la declinación en futuro seguirá hasta llegar al punto donde la relación entre la contaminación lumínica y la densidad de nidos se vuelva negativa tanto en relaciones a macro como micro escala. Aunque se crea que el impacto sobre la población está sucediendo y que esta

relación positiva a macro escala cambiara en el futuro, se debe denotar que este cambio no se verá hasta algunas décadas en el futuro cuando las generaciones de poblaciones cambien y se comprueba la existencia de esta morbilidad.

Esta afirmación deriva de dos aspectos fundamentales. Primero, el efecto de la contaminación lumínica sobre la morbilidad de las crías y desorientación en adultos es innegable por la multitud de estudios sobre el tema (Deem *et al.*, 2007; Abreu y Plotkin, 2008; Muccio, 2015). De la misma forma los estudios de este tipo, aunque siguen siendo probados y mejorados, son una herramienta factible para hacer un asesoramiento de las especies de tortugas marinas y está contaminación tan específica. Si existe una declinación de nidos, aunque esta no sea causada por la contaminación lumínica, es algo preocupante y demuestra la necesidad de realizar conteos para comprobar las tendencias de declinación.

Así mismo se puede asegurar que la declinación se dará por efectos antropogénicos (Abreu y Plotkin, 2008; Godgenger *et al.*, 2009; Muccio, 2015). Es por tanto que bajos los resultados presentados del potencial cambio a futuro (Figura 7) y los principales tipos de transición de uso de suelo (Figura 5) se cree que lo más probable es que haya un aumento en la urbanización en el área de estudio. El resultado del potencial cambio a futuro muestra que el centro de Hawaii posee un 33% de probabilidad de transicionar a urbanización para el año 2030, aunque este resultado no sea el más exacto y se pueda argumentar de su utilidad, sabemos irrefutablemente por parte de la banca mundial, que habrá un crecimiento urbano anual mínimo de ~1.887% (Banco Mundial, 2020) y por parte del INE que habrá indubitadamente un crecimiento poblacional en Guatemala (INE, 2018).

De manera que el estadio de suelo indica el muy probable aumento de factores asociados con la urbanización (Contaminación química, degradación del ambiente, sobre actividad de playas en noche, contaminación auditiva, entre otros (Kaniewski *et al.*, 2013; Srinivasan *et al.*, 2013; Lachir *et al.*, 2016; Díaz *et al.*, 2017)) siendo en mucho de los casos factores que dan aumento a la declinación de poblaciones de tortugas marinas o especies costeras (Abreu y Plotkin, 2008; Godgenger *et al.*, 2009; Muccio, 2015). Sabiendo que, aunque la densidad de nidos no se vea afectada por la contaminación lumínica, con seguridad, si se puede asegurar y esperar que los factores asociados al declive de poblaciones de tortugas marinas aumenten en el futuro.

B. Implicaciones para la especie.

Este tipo de investigaciones se ha realizado en repetidas ocasiones y ha demostrado que, aunque la técnica cambie, los resultados y valores no lo hace. Es por tanto que, Kamrowski *et al.* 2012, realizó la gran tarea de asignar el valor de magnitud correspondiente al valor de contaminación lumínica obtenido de las imágenes VIIRS en su estudio utilizando las tasas de conversión de otro estudio (Cuadro 5). Los valores encontrados en este trabajo (Figura 8) muestran que los valores de píxel encontrados van desde 0.1 hasta 1.3, esto coloca al área en una categoría de riesgo entre 1 y como máximo 4 (Cuadro 5). Esto significando que la parlama, en algunas áreas, se encuentran en horas nocturnas con luz artificial 0.33 veces más potente que la luz natural. Es importante denotar que esta categoría es únicamente para tortugas marinas y los resultados de este trabajo son únicamente para la especie *L. olivacea* y no es extrapolable a otras especies, esto se debe a que cada especie difiere en su capacidad de resiliencia contra la luz artificial; por tanto, esta categoría de riesgo 4 es únicamente para la especie *L. olivacea*.

Relacionado con lo ya dicho sobre el crecimiento urbano, se puede esperar que la parlama avance en esta categoría de riesgo. Lastimosamente no se sabe con certeza el umbral mínimo donde la contaminación lumínica comienza a ser una amenaza real para la parlama, aun así se sabe que lo importante es la cercanía a esa fuente de luz artificial. Ya que el comportamiento de arrastre de crías hacia la luz comienza desde el valor de categoría 1, equivalente a la luz lunar, es por tanto que entre más avance en la categoría aumentará la probabilidad de riesgo de depredación o desorientación. Es por tanto que los reportes indican que de 10 a 20 metros de la fuente de luz artificial con ondas de 350 a 600 nm (pasando por todos los espectros excepto el rojo) se dará el efecto de arrastre de las crías (Witherington, 1997); el caso más relevante y cercano la misma especie de este estudio fue en las costas de Australia donde, con una categoría 6 - 7 ya representaba una amenaza para la especie (Limpus y Fines, 2009; Kamrowski *et al.* 2012; Kamrowski *et al.*, 2014).

Es por tanto que el esfuerzo investigativo y de conservación, relacionado a la contaminación lumínica, debe estar focalizado para monitorear y prevenir este riesgo. Aunque este estudio tiene la limitante de ser a macro escala, se puede recomendar que el esfuerzo de investigación y conservación se focalice en las áreas de mayor cantidad de nidos que ya poseen contaminación lumínica. Siendo, por tanto, optativo las áreas en la (Figura 9) donde se marca los píxeles con

mayor densidad de nidos; encontrándose las coordenadas, así como valores de cada píxel en él (Cuadro 6); viéndose por tanto como áreas factibles para el monitoreo de la contaminación lumínica y su asociación con la tortuga parlama.

Cuadro 5. Cuantificación de la contaminación lumínica y su categoría de riesgo.

Categoría Valor de riesgo	Valor de píxel	Valor de radiación ($\text{Wcm}^{-2}\text{sr}^{-1}$)	Valor de luminosidad (cdm^{-2})	Tasa sobre luz natural
1 (0)	0–0.6868	0– 1.03×10	0– 2.5×10^{-6}	0–0.01
2 (0.01)	0.6868–0.7553	1.03×10^{-12} – 1.14×10^{-11}	2.5×10^{-6} – 2.8×10^{-5}	0.01–0.11
3 (0.11)	0.7553–0.9061	1.14×10^{-11} – 3.43×10^{-11}	2.8×10^{-5} – 8.3×10^{-5}	0.11–0.33
4 (0.33)	0.9061–1.36	3.43×10^{-11} – 1.03×10^{-10}	8.3×10^{-5} – 2.5×10^{-4}	0.33–1
5 (1)	1.36–2.734	1.03×10^{-10} – 3.11×10^{-10}	2.5×10^{-4} – 7.6×10^{-4}	1–3
6 (3)	2.734–6.842	3.11×10^{-10} – 9.34×10^{-10}	7.6×10^{-4} – 2.3×10^{-3}	3–9
7 (9)	6.842–19.167	9.34×10^{-10} – 2×10^{-9}	2.3×10^{-3} – 6.8×10^{-3}	9–27
8 (27)	>19.167	> 2×10^{-9}	> 6.8×10^{-3}	>27

* En categoría el valor de riesgo encontrado entre (paréntesis) es correspondiente al valor mínimo de la tasa sobre luminosidad natural, en otras palabras, que tantas veces es peor sobre la luz natural. El cuadro es parte del estudio de Kamrowski, Limpus, Moloney y Hamann, 2012 - Titulado “Coastal light pollution and marine turtles: assessing the magnitude of the problem” este cuadro a su vez está basado en las proporciones de otro estudio.

Los posibles efectos que tenga esta contaminación sobre la especie pueden variar, se espera ver en el futuro lo indicado en la sección (Introducción; A . 3) siendo, en resumidas cuentas: Reducción del desove de hebras adultas, aumento en los arrastres falsos (donde al haber contaminación lumínica las hembras regresan rápidamente antes de anidar/desovar, ya que la luz detiene su comportamiento de anidación), aglomeración de las hebras en zonas oscuras para desovar y aumento en la probabilidad de destrucción de nidos por otras (Salmon, 2003; Hu, Hu y Huang, 2018); por otro lado en las crías se espera ver mayor morbilidad causada por desorientación (Deem *et al.*, 2007; Abreu y Plotkin, 2008).

C. Fuerza y utilidad del estudio.

Este estudio posee la suficiente robustez para contribuir a la investigación en el campo de la contaminación lumínica y su efecto en los organismos. Considerando las limitaciones de la investigación, este es el primer estudio de datos de radiación de Luz nocturna con datos VIIRS y su análisis en el impacto ambiental en las tortugas marinas en Centroamérica y uno de muy pocos

de su tipo en Latinoamérica; Así mismo este es uno de los pocos estudios que utilizan otras fuentes de investigación para dar un análisis más profundo, en este caso el acoplamiento de un estudio de uso de suelo (Figura 4, 5, 6, 7 y Cuadro 3).

Así mismo el producto VIIRS es algo novedoso y ha cambiado los datos DMSP-OLS que han sido utilizados en muchos otros estudios de la misma índole, aún siendo un producto novedoso su comprobación como datos útiles se ha demostrado en diferentes ocasiones. En algunos estudios se ha hecho una conversión de los datos para representar más claramente la contaminación lumínica, en este caso se utilizó directamente el valor de contaminación de cada píxel y esto ya se ha comprobado como satisfactorio (Kamrowski *et al.* 2012; Hu, Hu y Huang, 2018). Así mismo este trabajo solo utilizo el producto anual VIIRS 2016, aunque esto no es una limitante, un estudio aún más profundo puede realizar asociaciones solo con los meses de anidamiento y puede ser posible que las relaciones cambien; sin embargo, hacerlo también consume mucho más tiempo y recursos, siendo inseguro que funcione en áreas aisladas.

Igualmente, este estudio utilizo el modelo GLM, aunque se ha comprobado que este no es el mejor debido a que no toma en cuenta la autocorrelación espacial (Weishampel, Cheng y Weishampel, 2016; Hu, Hu y Huang, 2018), sigue siendo igual de útil. La limitante al usar otros modelos fue lo pequeña que era el área de estudio, esto imposibilito utilizar modelos más complejos (ej. GAMM, GLM-ESF, GEE, SAR_{err}). Esta es una de las razones por las que se le acopló un estudio rápido de uso de suelo a este trabajo, ya que esto le da la robustez necesaria para dar un sentido a las relaciones encontradas.

Este trabajo posee un estudio rápido de uso de suelo para suplementar los modelos usados, pero otros estudios han incluido variables complejas (ej. temperatura de la superficie del mar, corrientes oceánicas, renovación de playas, blindaje de la costa) (Weishampel, Cheng y Weishampel, 2016), por tanto, la índole de los datos no limita las variables utilizables para dar robustez a los resultados. De igual manera existen variables que no son sencillas de introducir a modelos como las secciones de playa altamente contaminadas, vegetación/especies invasivas o tasas de crecimiento humano, aun así, estas son variables sumamente importantes y se sabe que afectan a la morbilidad de las tortugas marinas (Abreu y Plotkin, 2008). La dificultad de introducción de estas no se basa en la dificultad teórica y estadística sino en el tiempo y capacidad económica para generar la base de datos necesarias. Es aquí donde este tipo de trabajo toma importancia, ya que es una de las formas más accesibles de asesoramiento al solo necesitar el

conteo de nidos y el poder computacional; siendo posible categorizar la amenaza presente para la especie gracias a la asociación directa urbanización-luz artificial y contaminantes fuertemente asociados a urbanización.

Es claro que esto no es suficiente y la recomendación más obvia sería generar estas bases de datos, pero la realidad de la situación es que llenar las necesidades no es tan rápido/fácil en algunos países. Así mismo es importante recordar que los resultados de los modelos usados muestran la relación entre densidad de nidos y la contaminación lumínica, aunque es un efecto real y documentado, estadísticamente no necesariamente significa una relación causa-efecto. Para demostrar la causalidad de estos resultados se puede utilizar los criterios de causalidad de Hill, 1995 (Plausibilidad, fuerza, consistencia, especificidad, temporalidad, gradiente, coherencia, experimentación y analogía) que sigue siendo utilizado para mostrar la causalidad de muchas relaciones, sobre todo médicas. Estos son utilizados en la explicación de una presunta causa y un efecto observado por otros artículos (Ej. Hu, Hu y Huang, 2018). Los modelos utilizados y lo realizado en este trabajo cumplen únicamente con 6 criterios:

- Plausibilidad: Se cumple ya que se explica como el efecto de la luz afecta a la especie investigada, así como la fuente de esta luz tiene un origen demostrable.
- Fuerza: Las asociaciones y modelos utilizados son significativos por lo indicado en el valor P pequeño encontrado.
- Especificidad: El estudio posee la suficiente especificidad al ser un área con variables específicas, así como el uso de variables únicamente relacionadas con la variable primaria siendo el caso de uso de la variable años.
- Coherencia: El acoplamiento de un estudio pequeño de uso de suelo para corroborar la existencia de contaminación lumínica.
- Consistencia y analogía: Los resultados encontrados son consistentes y parecidos con lo encontrado en otros estudios, en específico: Mazor *et al.*, 2013 y Weishampel, Cheng y Weishampel, 2016.

Y los criterios que no se cumplen en este estudio:

- Gradiente: No se puede cumplir, ya que este trabajo no demuestra ninguna curva de dosis-respuesta.

- Experimento: No se cumple, ya que este estudio es únicamente un método geográfico/ecológico probado por otros que no utiliza datos individuales en un entorno de experimentación o de laboratorio.
- Temporalidad: Al no poder comprobar estas implicaciones a futuro se puede argumentar que no se cumple.

Así pues, incluso siendo el caso que la correlación encontrada no sea suficiente para probar la causa, la relación se puede seguir utilizando, siendo el caso que no se encuentre modelos mejores; significando que la relación es una posible existencia de casualidad y explica el mecanismo biológico. Aún habiendo una relación causal o no, al ser el único estudio de este tipo en el área de estudio sigue siendo viable para su uso preventivo para la conservación de la especie y/o como una fuente de información para planificar el futuro de la contaminación lumínica en el área. Además, este trabajo sigue teniendo una utilidad al establecer una metodología más detallada y accesible para su reproducibilidad al establecer diagramas (Anexos, Figuras 11 y 12) que se puede seguir y usar en otras áreas del país.

Por último, la utilidad de este estudio es diagnosticar una especie que es fundamental para Guatemala; este es el primer estudio de su tipo y puede tomarse como una línea base para tomar medidas y acciones para disminuir la amenaza. Lo más recomendable bajo los resultados encontrados, es comenzar los planes para prevenir que la contaminación lumínica vaya más allá que en la situación de comienzo en la que nos encontramos.

En este caso, como ejemplos de conservación se debe/puede utilizar regiones con una economía parecida a la de Hawaii y el caso más cercano, así como estudiado, sería Florida. En el caso de Florida hay dos tipos de legislación a la hora de hablar de la conservación de las tortugas. Leyes específicas como son las prohibiciones de luz en área costeras después de las 9PM (Hu, Hu y Huang, 2018) o leyes más aplicativas y libres, siendo estas las más utilizadas, ejemplos de ellas son: el uso de LEDs de baja temperatura o fluorescentes, usar monitores sensoriales o temporizadores para el apagado de las luces, aumentar la vegetación para que haga de barrera contra la luz artificial, reemplazo de vidrios por vidrio que reduzca el paso de luz al exterior o uso de filtros que impidan el paso de ondas azules, en edificios utilizar cortinas que impidan el paso de luz, entre otros (Drake, 2019).

D. Restricciones y limitantes.

Hablando puramente de los datos utilizados, la base de datos de nidios fue perfecta, esto se debe a que el análisis de distribución (Metodología; Sección C . 1) no mostró poblaciones separadas, así como la base de datos fue generada por un solo grupo de investigadores. Esto es algo a tomar en cuenta, ya que puede crear conflicto y falta de cohesión, integridad y sincronización de datos cuando la recopilación de estos se lleva con diferentes metodologías o son de diferentes fuentes, pero en caso de este estudio fue todo lo contrario. Es por tanto que con seguridad se puede decir que los resultados de los modelos utilizados son tan buenos como los datos que alimentan el modelo, aun así, este estudio sufre de algunas limitantes y restricciones.

La limitante más clara, dicho en las previas secciones, fue el tamaño de la zona de estudio que imposibilitó el uso de modelos más completos (en específico GLM-ESF y GEE) y en comparación el gran tamaño de píxel que obligo al estudio a ser macro escala. La imposibilidad de utilizar estos modelos fue causada a partir del impedimento de crear una matriz a través de vectores. En el caso de este estudio se obtuvo apenas 47 píxeles con 35 vectores diferentes, lo cual impide crear una matriz válida. Y el gran tamaño de píxel imposibilita hacer relaciones a micro escala, siendo pues, la resolución del mismo producto VIIRS una limitante al ser independiente de la necesidad de las relaciones. Por último, otra de las grandes limitantes de este estudio fue la falta de factores para el entrenamiento de modelo de cambio a futuro (explicado en la sección de análisis de resultados, B . 2); aunque esto se resolvió, la falta de estos factores no se debió a la falta del producto necesario, sino a la falta de ese factor/valores específicamente en la zona de estudio ya sea porque los productos necesarios se encontraban altamente desactualizados o en algunos casos no estaban disponibles o hechos.

VIII. Conclusiones

En esta investigación geográfica-ecológica, bajo criterio de los modelos GLM se encontró una asociación significativamente positiva entre la contaminación lumínica nocturna y la densidad de nidos de la tortuga marina *L. olivácea*, a lo largo de la costa de El Hawaii, Santa Rosa, Guatemala. Así mismo, bajo los datos generados de uso de suelo y el modelo de cambio potencial a futuro se concluye que la transición a urbanización fue empíricamente significativa entre las fechas de 2006 a 2020 y esta se seguirá fortaleciendo en el futuro.

Así pues, bajo lo investigado y redactado en esta investigación se puede asegurar que la densidad de nidos de *L. olivácea* se encuentra sometido a un riesgo bajo la contaminación lumínica, siendo un caso único donde el impacto está sucediendo actualmente. Los hallazgos del trabajo realizado tienen implicaciones fundamentales para la legislación/ordenamiento de planes preventivos para eludir el agravamiento de la situación actual de la contaminación lumínica en el área marino-costera El Hawaii.

Por último, los datos VIIRS y los modelos GLM demostraron ser prometedores para la investigación de la contaminación lumínica, siendo prometedores para investigaciones futuras y continuas sobre esta contaminación tanto para otras especies como fuera de un área costera.

IX. Recomendaciones

La recomendación más importante para poder replicar este estudio es tomar en consideración el poder computacional, de memoria y tiempo que hay para realizarlo. En este caso se realizó toda la metodología en una computadora Toshiba con tarjeta gráfica NVIDIA GeForce GTX y con Intel Core i7 unida a una memoria externa Seagate de 5 TB, aunque no se tuvo problemas de memoria algunos procesos si duraron varios minutos en llevarse a cabo. Con respecto al tiempo, en total se estima que se terminaron todos los procesos/metodología en ~207 horas (calculado con consola de comandos), sin tomar en cuenta el tiempo de investigación de funciones, procesos y poner visible los resultados para presentación que se le puede sumar otras ~400 horas.

Por parte de metodología la recomendación más adecuada es revisar los artículos de (Weishampel, Cheng y Weishampel, 2016 así como Hu, Hu y Huang, 2018) y los diagramas realizados encontrados en anexos, ya que la metodología de este estudio fue la versión modificada de la metodología utilizada por estos dos artículos. Pero en este caso el área de estudio era realmente pequeña y solo había una especie, esto es la justificación del ajuste y modificación. En el caso de replicarse en un área de mayor tamaño, que haya más especies de tortugas marinas o que haya datos que no solo sean conteos sino también listas escritas de conteos de nidos antiguas, la metodología puede cambiar drásticamente; el cambio más evidente será el uso de umbrales para acortar el tiempo de procesamiento en softwares y evitar que se pierdan horas en el caso de fallos.

Otra recomendación es la reclasificación de imágenes para el estudio de uso de suelo donde se realizó utilizando imágenes 4k, ya que metodológicamente es la mejor opción. En el caso de querer replicar esa sección y no tener el poder computacional se recomienda utilizar las imágenes con una resolución de 1080p y siendo lo más importante que las mismas no posean nubes, ya que si no la reclasificación no sucederá de forma correcta. Y de no querer utilizar ortofotos de google se pueden utilizar otras opciones gratuitas, como son los productos del satélite Sentinel. También pudiéndose aplicar a programas para adquirir productos satelitales, como lo es el programa de información satelital Planet. Pero el producto que se desea utilizar para hacer estudio de uso de suelo queda a discreción de cada quién y se recomienda usar diferentes productos para reforzar los resultados.

Por último, las recomendaciones para El Hawaii es el pronto comienzo para la planificación del manejo de la contaminación lumínica en el área. Los posibles manejos tratados durante la

discusión son algo realizado en otros países, pero se recomienda tratar problemas directos y que se puedan llevar a cabo ahora. Entre estos está incidir sobre los parlamentarios las buenas prácticas; siendo en el caso de la contaminación lumínica, evitar el uso de focos rojos y en cambio utilizar focos de baja temperatura o fluorescentes. Así como, se recomienda que el esfuerzo de monitoreo se aumente y fortalezca en el aspecto de la contaminación lumínica, siendo una opción viable el levantamiento de una capa anual de contaminación lumínica junto al esfuerzo de monitoreo de conteo de nido; ya siendo tanto a mano con un luxómetro o con instrumentos más avanzados como son fotografías realizadas con drones.

X. Literatura citada

- Abreu, A & Plotkin, P. (IUCN SSC Marine Turtle Specialist Group). (2008). *Lepidochelys olivacea*. The IUCN Red List of Threatened Species 2008: e.T11534A3292503. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T11534A3292503.en> \h.
- Alejandro, H. P. (2013). *Albergue para el Cuerpo de Salvamento Acuático del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGSS), en la playa Hawaii de Chiquimulilla, Santa Rosa*. Tesis de graduación nivel licenciatura, Guatemala, USAC.
- Alberti, M. (2005). *The effects of urban patterns on ecosystem function*. International regional science review, 28(2), 168-192.
- ARCAS. (2010). *Plan Maestro del Área de Usos Múltiples Hawaii 2010 - 2015*. Guatemala, Consejo Nacional de Áreas Protegidas, CONAP.
- Azuz, I., & Rivera, E. (2009). *Descripción de la dinámica poblacional en la zona costera mexicana durante el periodo 2000-2005*. Papeles de población, 15(62), 75-107.
- Badarinath, K. V. S., Sharma, A. R., & Kharol, S. K. (2011). *Forest fire monitoring and burnt area mapping using satellite data: a study over the forest region of Kerala State, India*. International Journal of Remote Sensing, 32(1), 85-102.
- Banco Mundial. (2020). *Crecimiento de la población urbana (% anual); Estimaciones de personal del Banco Mundial sobre la base de las Perspectivas de la urbanización mundial de las Naciones Unidas*. ID: SP.URB.GROW. Disponible en: <https://datos.bancomundial.org/>
- Barange, M., Merino, G., Blanchard, J. L., Scholtens, J., Harle, J., Allison, E. H., ... & Jennings, S. (2014). *Impacts of climate change on marine ecosystem production in societies dependent on fisheries*. Nature Climate Change, 4(3), 211-216.
- Barragán, J. M., & Andrés, M. (2016). *Expansión urbana en las áreas litorales de América Latina y Caribe*. Revista de Geografía Norte Grande, (64), 129-149.
- Barrows, A. P. W., Cathey, S. E., & Petersen, C. W. (2018). *Marine environment microfiber contamination: Global patterns and the diversity of microparticle origins*. Environmental Pollution, 237, 275-284.

- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., Walker, S., Bojesen, R., Singmann, H., Dai, B., Scheipl, F., Grothendieck, G., Green, P., Fox, J. (2020). *Package 'rgdal', reference manual*. Disponible en: <https://cran.r-project.org/web/packages/lme4/lme4.pdf>
- Bird, B. L., Branch, L. C., & Miller, D. L. (2004). *Effects of coastal lighting on foraging behavior of beach mice*. *Conservation Biology*, 18(5), 1435-1439.
- Bivand, R., Altman, M., Anselin, K., Assunção, R., Berke, O., Bernat, A., Blanchet, G., Blankmeyer, E., Carvalho, M., Christensen, B., ... Reder, M., Tiefelsdorf, M., Westerholt, R. (2020a). *Package 'spdep', reference manual*. Disponible en: <https://cran.r-project.org/web/packages/spdep/spdep.pdf>
- Bivand, R., Keitt, T., Rowlingson, B., Pebesma, E., Sumner, M., Hijmans, R., Rouault, E., Warmerdam, F., Ooms, J., Rundel, C. (2020b). *Package 'rgdal', reference manual*. Disponible en: <https://cran.r-project.org/web/packages/rgdal/rgdal.pdf>.
- Bjorndal, K. A., & Jackson, J. B. (2002). *10 Roles of sea turtles in marine ecosystems: reconstructing the past*. *The biology of sea turtles*, 2, 259.
- Brei, M., Pérez-Barahona, A., & Strobl, E. (2016). *Environmental pollution and biodiversity: Light pollution and sea turtles in the Caribbean*. *Journal of Environmental Economics and Management*, 77, 95-116.
- Brittain R, Muccio C, Nunny R. (2007). *Project Parlama - Sea turtle conservation on Guatemala's Pacific coast*. *Testudo* 6:43–52.
- Bourgeois, S., Gilot-Fromont, E., Viallefont, A., Boussamba, F., & Deem, S. L. (2009). *Influence of artificial lights, logs and erosion on leatherback sea turtle hatchling orientation at Pongara National Park, Gabon*. *Biological Conservation*, 142(1), 85-93.
- Cajas, F. (2015). *Los retos de las políticas de ciencia y tecnología en Guatemala*. *Revista Cubana de Educación Superior*, 34(1), 145-156.
- Canty, A., Ripley, B. (2020). *Package 'boot', reference manual*. Disponible en: <https://cran.r-project.org/web/packages/boot/boot.pdf>

- Casale, P. & Tucker, A.D. (2017). *Caretta caretta* (amended version of 2015 assessment). *The IUCN Red List of Threatened Species 2017: e.T3897A119333622*. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-2.RLTS.T3897A119333622.en>.
- Ceriani, S. A., Casale, P., Brost, M., Leone, E. H., & Witherington, B. E. (2019). *Conservation implications of sea turtle nesting trends: elusive recovery of a globally important loggerhead population*. *Ecosphere*, 10(11), e02936.
- Chandrasekar, K., & Srinivasan, M. (2013). *Sea turtle exploitation from Tamil Nadu, Southeast coast of India*. *Journal of Entomology and Zoological Studies*, 1(6), 11-14.
- Coyne, M. S., & Clark, R. D. (2014). *Olive Ridley Sea Turtle (Lepidochelys Olivacea) 5-Year Review: Summary and Evaluation*.
- Davies, T. W., Duffy, J. P., Bennie, J., & Gaston, K. J. (2014). *The nature, extent, and ecological implications of marine light pollution*. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12(6), 347-355.
- Deem, S. L., Boussamba, F., Nguema, A. Z., Sounguet, G. P., Bourgeois, S., Cianciolo, J., & Formia, A. (2007). *Artificial lights as a significant cause of morbidity of leatherback sea turtles in Pongara National Park, Gabon*. *Marine Turtle Newsletter*.
- Díaz, R., Enríquez, Á., Martín, R. M., & Monreal, J. I. (2015). *Colaboraciones en Ciencias de la Naturaleza: La contaminación lumínica: efectos, retos y soluciones*. *Revista 100cias@ uned, Nueva época*, 8, 62-68.
- Drake, N. (2019). *Our nights are getting brighter and earth is paying the price*. *National Geographic*
- Du, N., Ottens, H., & Sliuzas, R. (2010). *Spatial impact of urban expansion on surface water bodies—A case study of Wuhan, China*. *Landscape and Urban Planning*, 94(3-4), 175-185.
- d'Amour, C. B., Reitsma, F., Baiocchi, G., Barthel, S., Güneralp, B., Erb, K. H., ... & Seto, K. C. (2017). *Future urban land expansion and implications for global croplands*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(34), 8939-8944.
- Eckert, K. L., Bjorndal, K. A., Abreu-Grobois, F. A., & Donnelly, M. (1999). *Taxonomy, external morphology, and species identification*. *Research and management techniques for the conservation of sea turtles*, 21, 11-13.

- Ehrenfeld, D. W. (1968). *The role of vision in the sea-finding orientation of the green turtle (Chelonia mydas). 2. Orientation mechanism and range of spectral sensitivity.* Animal Behaviour, 16(2-3), 281-287.
- Elvidge, C. D., Baugh, K., Zhizhin, M., Hsu, F. C., & Ghosh, T. (2017). *VIIRS night-time lights.* International Journal of Remote Sensing, 38(21), 5860-5879.
- Falcón, O. (2014). *Dinámica de cambio en la cobertura/uso del suelo, en una región del estado de Quintana Roo, México.* Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Frieling, T. J. (1999). *The race: The uncensored story of how America beat Russia to the moon.*
- Fouquet, R. (2016). *Path dependence in energy systems and economic development.* Nature Energy, 1(8), 1-5.
- Galili, T., Rowlingson, B., Hejblum, B., Dason., Schonbrodt, F., Grothendieck, G., Daroczi, G., Andrew, H., James., Leeper, T., VitoshKa., ... Chen, C., Hill, J., Park, C., Nachtmann, G. (2019). *Package 'installr', reference manual.* Disponible en: <https://cran.r-project.org/web/packages/installr/installr.pdf>
- Gannon, M. (1996). *The new history of Florida.* Tallahassee, FL, USA: University Press of Florida.
- Godgenger, M. C., Breheret, N., Bal, G., N'Damité, K., Girard, A., & Girondot, M. (2009). *Nesting estimation and analysis of threats for Critically Endangered leatherback Dermochelys coriacea and Endangered olive ridley Lepidochelys olivacea marine turtles nesting in Congo.* Oryx, 43(4), 556-563.
- Godínez, R. (2014). *Plan director de la población de Monterrico 2,015 – 2,035 municipio de Taxisco departamento de Santa Rosa.* Tesis de Maestría, Universidad del San Carlos de Guatemala.
- González, D., Vélez-Rubio, G., Hahn, A. T., Caraccio, M. N., & Estrades, A. (2017). *New records of Lepidochelys olivacea (Eschscholtz, 1829)(Testudines, Cheloniidae) provide evidence that Uruguayan waters are the southernmost limit of distribution for the species in the western Atlantic Ocean.* Check List, 13, 863.
- Google. (2020). *Explore the Earth, how images are collected.* Disponible en: [https://support.google.com/earth/answer/6327779?hl=en&ref_topic=7184180.](https://support.google.com/earth/answer/6327779?hl=en&ref_topic=7184180)

- Gossa, C., Fisher, M., & Milner-Gulland, E. J. (2015). *The research–implementation gap: how practitioners and researchers from developing countries perceive the role of peer-reviewed literature in conservation science*. *Oryx*, 49(1), 80-87.
- Gutiérrez, M., Branch, J., Botero, V. (2005). *Clasificación no supervisada de coberturas vegetales sobre imágenes digitales de sensores Remotos: “landsat – etm +”*. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 58(1), 2611-2634.
- Harris, E. (2004). *Building scientific capacity in developing countries: Simply transferring knowledge and instrumentation is not enough to help developing countries build their own research base. Such efforts must be tied to national and local needs to create trust and services for society in the long term*. *EMBO reports*, 5(1), 7-11.
- Havril, T., Tóth, Á., Molson, J. W., Galsa, A., & Mádl-Szőnyi, J. (2018). *Impacts of predicted climate change on groundwater flow systems: Can wetlands disappear due to recharge reduction?*. *Journal of hydrology*, 563, 1169-1180.
- Hilbe, J. M. (2017). *The statistical analysis of count data/El análisis estadístico de los datos de recuento*. *Cultura y Educación*, 29(3), 409-460.
- Hill, A. B. (1965). *The environment and disease: association or causation?*. *Journal of the Royal Society of Medicine*. 58 (5), 295-300
- Hope, R. (2002). *Wildlife harvesting, conservation and poverty: the economics of olive ridley egg exploitation*. *Environmental Conservation*, 375-384.
- Howell, H. J., Legere Jr, R. H., Holland, D. S., & Seigel, R. A. (2019). *Long-Term Turtle Declines: Protected Is a Verb, Not an Outcome*. *Copeia*, 107(3), 493-501.
- Hu, Z., Hu, H., & Huang, Y. (2018). *Association between nighttime artificial light pollution and sea turtle nest density along Florida coast: A geospatial study using VIIRS remote sensing data*. *Environmental Pollution*, 239, 30–42.
- INE. (2018). *Resultados de censo 2018. Instituto nacional de estadística Guatemala*. Disponible en: <https://www.censopoblacion.gt/proyecciones>.

- INGUAT. (2017). *Plan de desarrollo turístico de Monterrico 2017-2020*. Instituto Guatemalteco de Turismo.
- Irwin, A. (2013). *Sociology and the environment: a critical introduction to society, nature and knowledge*. John Wiley & Sons.
- Jackman, S. (2020). *Package 'pscl', reference manual*. Disponible en: <https://cran.r-project.org/web/packages/pscl/pscl.pdf>
- Jones, B., & O'Neill, B. C. (2016). *Spatially explicit global population scenarios consistent with the Shared Socioeconomic Pathways*. *Environmental Research Letters*, 11(8), 084003.
- Juarez R, Muccio C. (1997). *Sea turtle conservation in Guatemala*. *Marine Turtle Newsletter* 77:15–17.
- Kamrowski, R. L., Limpus, C., Moloney, J., & Hamann, M. (2012). *Coastal light pollution and marine turtles: assessing the magnitude of the problem*. *Endangered Species Research*, 19(1), 85-98.
- Kamrowski, R. L., Limpus, C., Jones, R., Anderson, S., & Hamann, M. (2014). *Temporal changes in artificial light exposure of marine turtle nesting areas*. *Global Change Biology*, 20(8), 2437-2449.
- Kaniewski, D., Van Campo, E., Morhange, C., Guiot, J., Zviely, D., Shaked, I., ... & Artzy, M. (2013). *Early urban impact on Mediterranean coastal environments*. *Scientific Reports*, 3, 3540.
- Karnad, D., Isvaran, K., Kar, C. S., & Shanker, K. (2009). *Lighting the way: Towards reducing misorientation of olive ridley hatchlings due to artificial lighting at Rushikulya, India*. *Biological Conservation*, 142(10), 2083-2088.
- Kleiber, C., Zeileis, A. (2020). *Package 'AER', reference manual*. Disponible en: <https://cran.r-project.org/web/packages/AER/AER.pdf>
- Kvamme, K. L., Ernenwein, E. G., & Menzer, J. G. (2019). *Putting it all together: Geophysical data integration*. In *Innovation in Near-Surface Geophysics* (pp. 287-339). Elsevier.
- Lachir, A., Bounoua, L., Zhang, P., Thome, K., & Messouli, M. (2016). *Modeling the urban impact on semiarid surface climate: A case study in Marrakech, Morocco*. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 42(4), 379-395.

- Leslie, C. R., Servina, L. O., & Miller, H. M. (2017). *Landsat and Agriculture: Case Studies on the Uses and Benefits of Landsat Imagery in Agricultural Monitoring and Production*. US Department of the Interior, US Geological Survey.
- Light, P., Salmon, M., & Lohmann, K. J. (1993). *Geomagnetic orientation of loggerhead sea turtles: evidence for an inclination compass*. *Journal of Experimental Biology*, 182(1), 1-10.
- Lohmann, K., & Lohmann, C. (1996). *Orientation and open-sea navigation in sea turtles*. *Journal of Experimental Biology*, 199(1), 73-81.
- López, L., & Mora, J. (2012). *Gaps in the legal exploitation of Kemp's Ridley (*Lepidochelys olivacea*) eggs at Ostional National Wildlife Refuge, Costa Rica*. *CEIBA*, 53(2), 95-108.
- Lutz, P. L., Musick, J. A., & Wyneken, J. (Eds.). (2002). *The biology of sea turtles (Vol. 2)*. CRC press.
- Marcovaldi, M. A. (1999, November). *Status and distribution of the olive ridley turtle, *Lepidochelys olivacea*, in the Western Atlantic Ocean*. In *Proceedings of the Regional Meeting, Marine Turtle Conservation in the Wider Caribbean Region: A Dialogue for Effective Regional Management*, Santo Domingo (pp. 16-18).
- Martínez, C., Rojas, C., Rojas, O., Quezada, J., López, P., & Ruíz, V. (2016). *Crecimiento urbano sobre geoformas costeras de llanura de San Pedro, Área Metropolitana de Concepción I*. En *las costas del neoliberalismo*, 287-312.
- Mazor, T., Levin, N., Possingham, H. P., Levy, Y., Rocchini, D., Richardson, A. J., & Kark, S. (2013). *Can satellite-based night lights be used for conservation? The case of nesting sea turtles in the Mediterranean*. *Biological Conservation*, 159, 63-72.
- Méndez, S. (2014). *Informe final de EPS realizado en el Parque Hawaii, Chiquimulilla, Santa Rosa-Asociación de Rescate y Conservación de Vida Silvestre*. Durante el Periodo del 24 de Febrero al 29 Agosto de 2014. Guatemala, USAC.
- Meng, X., & Han, J. (2018). *Roads, economy, population density, and CO2: A city-scaled causality analysis*. *Resources, Conservation and Recycling*, 128, 508-515.
- Merkens, J. L., Lincke, D., Hinkel, J., Brown, S., & Vafeidis, A. T. (2018). *Regionalisation of population growth projections in coastal exposure analysis*. *Climatic Change*, 151(3-4), 413-426.

- Mills, S., Weiss, S., & Liang, C. (2013). *VIIRS day/night band (DNB) stray light characterization and correction*. In *Earth Observing Systems XVIII (Vol. 8866, p. 88661P)*. International Society for Optics and Photonics.
- Mortimer, J.A & Donnelly, M. (IUCN SSC Marine Turtle Specialist Group). (2008). *Eretmochelys imbricata*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2008: e.T8005A12881238*. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T8005A12881238.en>.
- Muccio, C. (2015). *Guía para la conservación de las tortugas marinas en Guatemala, con énfasis en el manejo de tortugarios*. Guatemala, Asociación de Rescate y Conservación de Vida Silvestre (ARCAS), 53.
- Muccio C. 2019. *Análisis Situacional de la Conservación de la Tortuga Marina en Guatemala*. Informe técnico. ARCAS-USF&WS-USAID. Guatemala, Guatemala.
- Nagatani, I. (2010). *A methodology to create DMSP-OLS night-time mosaic image for monitoring fishing boats*. Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network, 30, 229-238.
- Nowlin, K. (2011). *Historians share stories about Florida in WWII*. The Intercom, Journal of the Cape Canaveral Chapter of the Military Officers Association of America. 34 (8): 9.
- NCEI, 2019. *Version 1 VIIRS Day/Night Band Nighttime Lights*. Earth Observations Group (EOG) at NOAA/National Centers for Environmental Information (NCEI). Disponible en: https://ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download_dnb_composites.html.
- NOAA/NCEI. (2019). *Version 1 VIIRS Day/Night Band Nighttime Lights*. Disponible en: https://ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download_dnb_composites.html.
- Red List Standards & Petitions Subcommittee. (1996). *Natator depressus*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 1996: e.T14363A4435952. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.1996.RLTS.T14363A4435952.en> \h.
- Ripley, B., Venables, B., Bates, D., Hornik, K., Gebhardt, A., Firth, D. (2020). *Package 'MASS', reference manual*. Disponible en: <https://cran.r-project.org/web/packages/MASS/MASS.pdf>

- Rodríguez, A., Rodríguez, B., & Negro, J. J. (2015). *GPS tracking for mapping seabird mortality induced by light pollution*. *Scientific reports*, 5, 10670.
- Rodríguez, C., Rocha, A., & Beheregaray, L. (2013). *Genetic signature of a recent metapopulation bottleneck in the olive ridley turtle (*Lepidochelys olivacea*) after intensive commercial exploitation in Mexico*. *Biological Conservation*, 168, 10-18.
- Rodríguez, G. (2007). *Lecture Notes on Generalized Linear Models*. URL: <https://data.princeton.edu/wws509/notes/>
- Russart, K. L., & Nelson, R. J. (2018). *Artificial light at night alters behavior in laboratory and wild animals*. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology*, 329(8-9), 401-408.
- Pandey, P. K., Kass, P. H., Soupir, M. L., Biswas, S., & Singh, V. P. (2014). *Contamination of water resources by pathogenic bacteria*. *Amb Express*, 4(1), 51.
- Perry, G., Buchanan, B. W., Fisher, R. N., Salmon, M., & Wise, S. E. (2008). *Effects of artificial night lighting on amphibians and reptiles in urban environments*. *Urban herpetology*, 3, 239-256.
- Pineda, O. (2011). *Análisis de cambio de uso de suelo mediante percepción remota en el municipio de Valle de Santiago*. México, DF: Centro Público de Investigación CONACYT.
- Pinheiro, J., Bates, D., DebRoy, S., Sarkar, D., EISPACk., Heisterkamp, S., Willigen, B. (2020). *Package 'nlme', reference manual*. Disponible en: <https://cran.r-project.org/web/packages/nlme/nlme.pdf>
- Pritchard, P. C. H., & Mortimer, J. A. (2000). *Taxonomía, morfología externa e identificación de las especies*. *Técnicas de Investigación y Manejo para la Conservación de las Tortugas Marinas*, 23-41.
- Plotkin, P. T., Rostal, D. C., Byles, R. A., & Owens, D. W. (1997). *Reproductive and developmental synchrony in female *Lepidochelys olivacea**. *Journal of Herpetology*, 17-22.
- Polovina, J. J., Howell, E., Parker, D. M., & Balazs, G. H. (2003). *Dive-depth distribution of loggerhead (*Caretta caretta*) and olive ridley (*Lepidochelys olivacea*) sea turtles in the central North Pacific: might deep longline sets catch fewer turtles?*. *Fishery Bulletin*, 101(1), 189-193.

- Salmon, M., Reiners, R., Lavin, C., & Wyneken, J. (1995). *Behavior of loggerhead sea turtles on an urban beach. I. Correlates of nest placement*. Journal of Herpetology, 560-567.
- Salmon, M., Witherington, B. E., & Elvidge, C. D. (2000). *Artificial Lighting and the Recovery of Sea Turtles*. *Sea Turtles of the Indo-Pacific: Research Management and Conservation*. Edited by Pilcher, N. and Ismail, G.
- Salmon, M. (2003). *Artificial night lighting and sea turtles*. Biologist, 50(4), 163-168.
- SEGEPLAN. (2016). *Proyecto, Valorización de los servicios ecosistémicos en los procesos de planificación del desarrollo en Guatemala*. Guatemala, Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN), Programa Naciones Unidas Para el Desarrollo (PNUD).
- Selig, E. R., Hole, D. G., Allison, E. H., Arkema, K. K., McKinnon, M. C., Chu, J., ... & Ingram, J. C. (2019). *Mapping global human dependence on marine ecosystems*. Conservation Letters, 12(2), e12617.
- Seminoff, J.A. (Southwest Fisheries Science Center, U.S.). (2004). *Chelonia mydas*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2004: e.T4615A11037468*. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2004.RLTS.T4615A11037468.en>.
- Sevilla, N. P. M., & Le Bail, M. (2017). *Latin American and caribbean regional perspective on ecosystem-based management (EBM) of large marine ecosystems goods and services*. Environmental development, 22, 9-17.
- Sharma, P., & Pandey, S. (2014). *Status of phytoremediation in world scenario*. International Journal of Environmental Bioremediation & Biodegradation, 2(4), 178-191.
- Silva, E., Marco, A., da Graça, J., Pérez, H., Abella, E., Patino-Martinez, J., ... & Almeida, C. (2017). *Light pollution affects nesting behavior of loggerhead turtles and predation risk of nests and hatchlings*. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 173, 240-249.
- Smajl, A., & Larson, S. (Eds.). (2012). *Sustainable resource use: institutional dynamics and economics*. Routledge.
- Srinivasan, V., Seto, K. C., Emerson, R., & Gorelick, S. M. (2013). *The impact of urbanization on water vulnerability: a coupled human–environment system approach for Chennai, India*. Global Environmental Change, 23(1), 229-239.

- Subcomité de Estándares y Peticiones de la UICN. (2017). *Directrices de uso de las categorías y criterios de la Lista Roja de la UICN, versión 13*. Preparado por el Subcomité de Estándares y Peticiones de la UICN. Disponible en: <https://www.iucnredlist.org/resources/red%20listguidelines>
- SWOT Scientific Advisory Board. (2011). *The state of the world's sea turtles (SWOT) minimum data standards for nesting beach monitoring, version 1.0*. Arlington, Virginia, United States of America.
- Tan, M., Li, X., Li, S., Xin, L., Wang, X., Li, Q., ... & Xiang, W. (2018). *Modeling population density based on nighttime light images and land use data in China*. *Applied Geography*, 90, 239-247.
- Trinidad, H., & Wilson, J. (2001). *The Bio-Economics of Sea Turtle Use in Mexico: History of Exploitation and Conservation Policies for the Olive Ridley (Lepidochelys olivacea)*.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs (UNDESA), Population Division. (2019). *World Population Prospects 2019: Highlights*. ST/ESA/SER.A/423.
- Vose, P. B., & Cervellini, A. (1983). *Problems of scientific research in developing countries*. *IAEA Bull*, 25(2), 37-40.
- Wallace, B.P., Tiwari, M. & Girondot, M. (2013). *Dermochelys coriacea*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2013: e.T6494A43526147*. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-2.RLTS.T6494A43526147.en>.
- Weishampel, Z. A., Cheng, W. H., & Weishampel, J. F. (2016). *Sea turtle nesting patterns in Florida vis-à-vis satellite-derived measures of artificial lighting*. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 2(1), 59-72.
- Wibbels, T. & Bevan, E. (2019). *Lepidochelys kempii (errata version published in 2019)*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2019: e.T11533A155057916*. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-2.RLTS.T11533A155057916.en>.
- Wickham, H., Chang, W., Henry, L., Pedersen, T., Takahashi, K., Wilke, C., Woo, K., Yutani, H., Dunnington, D. (2020). *Package 'ggplot2', reference manual*. Disponible en: <https://cran.r-project.org/web/packages/ggplot2/ggplot2.pdf>

- Witherington, B. E. (1997). *The problem of photopollution for sea turtles and other nocturnal animals*. Behavioral approaches to conservation in the wild, 303-328.
- Witherington, B., Kubilis, P., Brost, B., & Meylan, A. (2009). *Decreasing annual nest counts in a globally important loggerhead sea turtle population*. Ecological Applications, 19(1), 30-54.
- Wolff, M., Haase, A., Haase, D., & Kabisch, N. (2017). *The impact of urban regrowth on the built environment*. Urban Studies, 54(12), 2683-2700.
- Zhang, C., Zhong, S., Wang, X., Shen, L., Liu, L., & Liu, Y. (2019). *Land Use Change in Coastal Cities during the Rapid Urbanization Period from 1990 to 2016: A Case Study in Ningbo City, China*. Sustainability, 11(7), 2122.
- Ziskin, D., Aubrecht, C., Elvidge, C., Tuttle, B., Baugh, K., & Ghosh, T. (2008). *Encroachment of human activity on sea turtle nesting sites*. AGUFM, 2008, B41A-0361.
- Zuur, A. F., Ieno, E. N., Walker, N. J., Saveliev, A. A., & Smith, G. M. (2009). *Zero-truncated and zero-inflated models for count data*. In *Mixed effects models and extensions in ecology with R* (pp. 261-293). Springer, New York, NY.

XI. ANEXOS

Cuadro 6. Resultados del proceso de conversión de datos VIIRS a polígono y calculo de densidades.

ID	Tipo	Vector	DATA				COORDENADAS CENTRALES	
			Área, m ²	# de nidos	Intensidad luz	Densidad	Cord Y	Cord X
0	Polígono	26	207837.521	0	0.4	0	-90.452058	13.885861
1	Polígono	28	207838.798	0	0.36	0	-90.447891	13.885861
2	Polígono	5	133098.324	1	1.02	0	-90.45592	13.881695
3	Polígono	12	207841.177	0	0.72	0	-90.452058	13.881695
4	Polígono	25	207842.454	0	0.41	0	-90.447891	13.881695
5	Polígono	30	207843.733	0	0.33	0	-90.443725	13.881695
6	Polígono	27	207845.013	0	0.37	0	-90.439558	13.881695
7	Polígono	29	207846.296	0	0.35	0	-90.435391	13.881695
8	Polígono	17	207846.108	616	0.61	3	-90.447891	13.877528
9	Polígono	19	207847.387	464	0.54	2	-90.443725	13.877528
10	Polígono	21	415698.62	0	0.46	0	-90.437475	13.877528
11	Polígono	23	207851.237	0	0.44	0	-90.431225	13.877528
12	Polígono	33	207852.524	0	0.3	0	-90.427058	13.877528
13	Polígono	35	207853.813	0	0.26	0	-90.422891	13.877528
14	Polígono	14	207853.605	712	0.67	3	-90.435391	13.873361
15	Polígono	8	207854.89	386	0.95	2	-90.431225	13.873361
16	Polígono	1	207856.178	0	1.31	0	-90.427058	13.873361
17	Polígono	13	207857.467	0	0.68	0	-90.422891	13.873361
18	Polígono	24	207858.759	0	0.43	0	-90.418725	13.873361
19	Polígono	25	207860.052	0	0.41	0	-90.414558	13.873361
20	Polígono	34	207861.348	0	0.28	0	-90.410391	13.873361
21	Polígono	3	207859.831	754	1.17	4	-90.427058	13.869195
22	Polígono	7	207861.12	821	0.97	4	-90.422891	13.869195

23	Polígono	11	207862.412	197	0.75	1	-90.418725	13.869195
24	Polígono	10	207863.705	0	0.88	0	-90.414558	13.869195
25	Polígono	23	207865.001	0	0.44	0	-90.410391	13.869195
26	Polígono	31	207866.299	0	0.32	0	-90.406225	13.869195
27	Polígono	32	207867.599	0	0.31	0	-90.402058	13.869195
28	Polígono	30	207868.901	0	0.33	0	-90.397891	13.869195
29	Polígono	2	207867.358	757	1.27	4	-90.414558	13.865028
30	Polígono	6	207868.653	536	0.98	3	-90.410391	13.865028
31	Polígono	15	207869.951	0	0.66	0	-90.406225	13.865028
32	Polígono	18	207871.251	0	0.58	0	-90.402058	13.865028
33	Polígono	24	207872.554	0	0.43	0	-90.397891	13.865028
34	Polígono	32	415750.795	0	0.31	0	-90.391641	13.865028
35	Polígono	4	207873.602	581	1.15	3	-90.406225	13.860861
36	Polígono	9	207874.903	720	0.9	3	-90.402058	13.860861
37	Polígono	16	207876.205	175	0.64	1	-90.397891	13.860861
38	Polígono	26	207877.509	0	0.4	0	-90.393725	13.860861
39	Polígono	25	207878.816	0	0.41	0	-90.389558	13.860861
40	Polígono	32	207880.124	0	0.31	0	-90.385391	13.860861
41	Polígono	33	207881.435	0	0.3	0	-90.381225	13.860861
42	Polígono	22	207881.159	849	0.45	4	-90.393725	13.856695
43	Polígono	19	207882.466	358	0.54	2	-90.389558	13.856695
44	Polígono	25	207883.774	0	0.41	0	-90.385391	13.856695
45	Polígono	30	207885.085	0	0.33	0	-90.381225	13.856695
46	Polígono	20	133127.641	94	0.47	1	-90.385391	13.852833

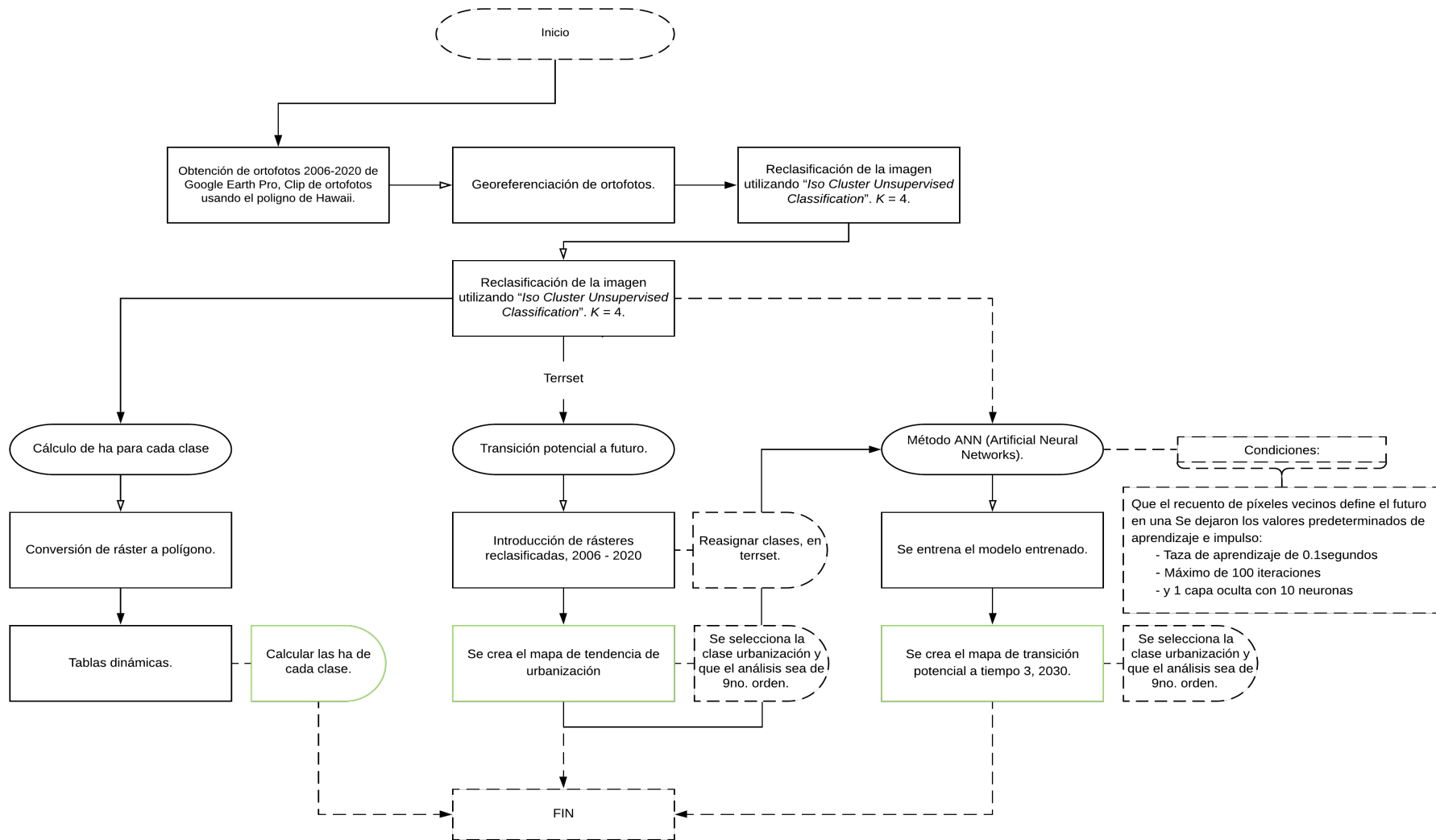


Figura 11. Diagrama de flujo de la metodología Sección B.

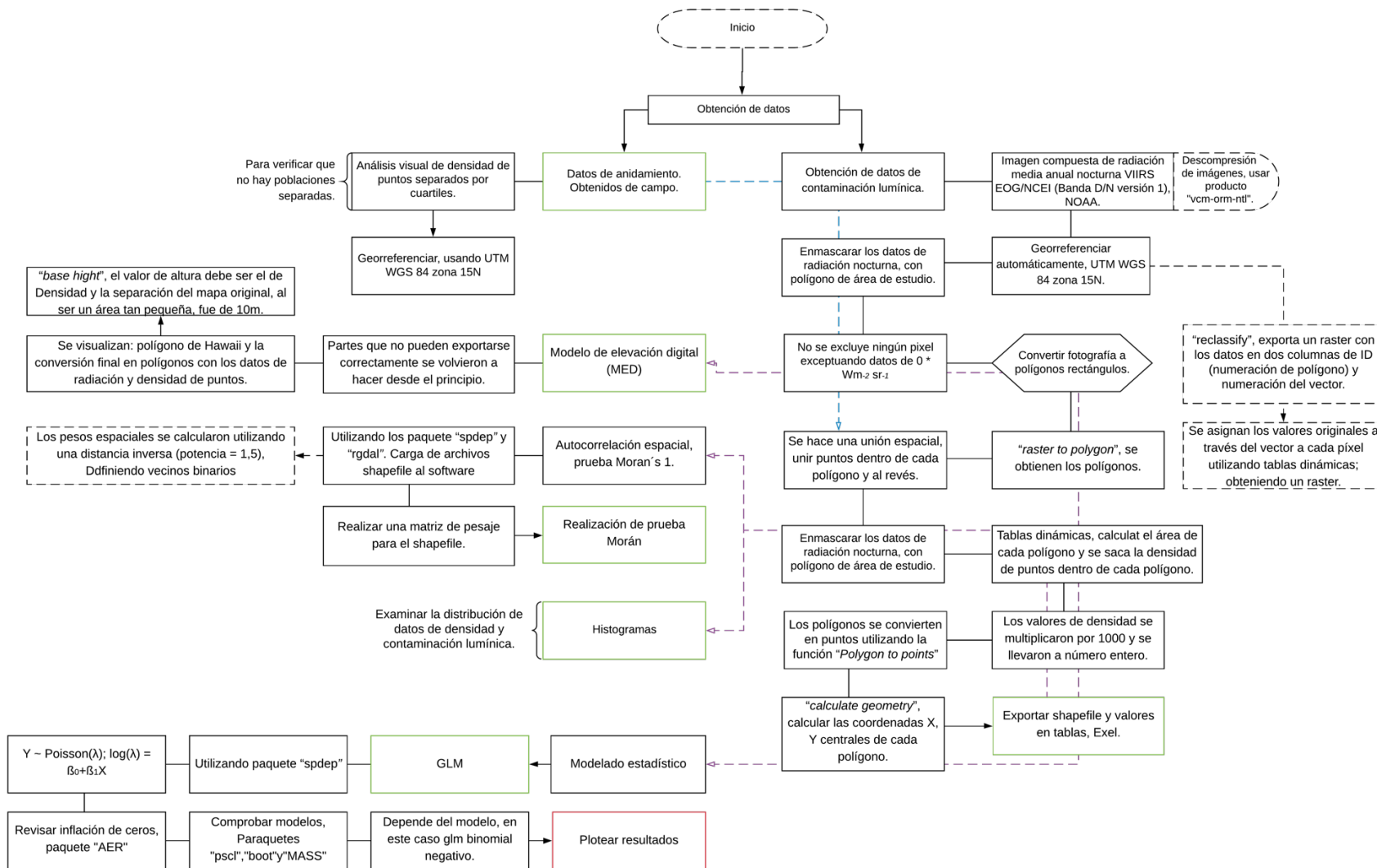


Figura 12. Diagrama de flujo de la metodología Sección C.