

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**  
Facultad de Ciencias y Humanidades

Cambios poblacionales en la avifauna de la Reserva  
Protectora de Manantiales Cerro San Gil relacionados al  
cambio climático y densidad de vegetación durante los  
años 2000 a 2012.

Trabajo de graduación presentado  
por Andrea Lucía Martínez Penados  
para optar al grado académico de Licenciada en Biología

Guatemala  
2016



Cambios poblacionales en la avifauna de la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil relacionados al cambio climático y densidad de vegetación durante los años 2000 a 2012.

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**  
Facultad de Ciencias y Humanidades



Cambios poblacionales en la avifauna de la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil relacionados al cambio climático y densidad de vegetación durante los años 2000 a 2012.

Trabajo de graduación presentado  
por Andrea Lucía Martínez Penados  
para optar al grado académico de Licenciada en Biología

Guatemala

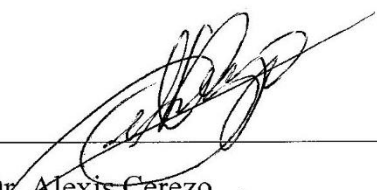
2016

Vo.Bo.:

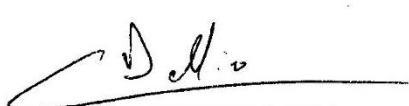
(f)   
\_\_\_\_\_

Dr. Alexis Cerezo

Tribunal Examinador:

(f)   
\_\_\_\_\_

Dr. Alexis Cerezo

(f)   
\_\_\_\_\_

MSc. Claire Dallies de Masaya

(f)   
\_\_\_\_\_

MSc. Gabriela Alfaro

Fecha de aprobación: Guatemala, 9 de diciembre de 2016

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres, por su eterno apoyo, amor y compañía a lo largo de mi vida y carrera universitaria.

A mi hermano, por su compañía en todo momento.

A mi asesor y revisoras por su guía y valiosos comentarios durante la elaboración de esta tesis.

A mis amigas y amigos por su ánimo y apoyo.

A Margarita Vides, personal del Laboratorio de SIG UVG y miembros de ResearchGate por su ayuda en la implementación de la metodología.

A FUNDAECO y a Alexis Cerezo por proveerme amablemente de la información necesaria para la elaboración de este trabajo de graduación.

# ÍNDICE

	Página
AGRADECIMIENTOS .....	V
ÍNDICE .....	VI
LISTA DE CUADROS .....	VII
LISTA DE FIGURAS .....	VIII
RESUMEN .....	X
ABSTRACT .....	XI
I. INTRODUCCIÓN .....	1
A. Antecedentes .....	1
B. Justificación .....	14
C. Objetivos .....	15
D. Hipótesis .....	16
II. METODOLOGÍA .....	17
III. RESULTADOS .....	23
IV. DISCUSIÓN .....	31
V. CONCLUSIONES .....	36
VI. RECOMENDACIONES .....	37
VII. LITERATURA CITADA .....	38
VIII. ANEXOS .....	46

## LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
CUADRO 1. Listado de aves indicadoras a utilizar.....	20
CUADRO 2. Tendencia poblacional y relación de la frecuencia de las aves indicadoras con los factores ambientales y densidad de vegetación en las rutas de bosque continuo.	28
CUADRO 3. Tendencia poblacional y relación de la frecuencia de las aves indicadoras con los factores ambientales y densidad de vegetación en las rutas con paisajes heterogéneos.....	29
CUADRO 4. Tendencia poblacional y relación de la frecuencia de las aves indicadoras con los factores ambientales y densidad de vegetación en todos los gradientes de perturbación de hábitat. ....	30

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
FIGURA 1. Espectro de absorción de la clorofila a, b y carotenoides en los cloroplastos y espectro de acción de la fotosíntesis .....	5
FIGURA 2. Mapa de la cobertura boscosa y uso del suelo de Guatemala.. .....	7
FIGURA 3. Porcentaje de la cobertura del suelo de la República de Guatemala .....	8
FIGURA 4. Tendencia anual de la dinámica forestal de la República de Guatemala en tres periodos de tiempo. ....	9
FIGURA 5. Dinámica de la cobertura forestal en Izabal de 2006 a 2010.....	11
FIGURA 6. Mapa de zonas de vida de Izabal.....	18
FIGURA 7. Ubicación de los puntos de conteo en la RPMCSG .....	19
FIGURA 8. Curvas de rarefacción, por año, de la ruta con paisajes heterogéneos (Buenos Aires).....	24
FIGURA 9. Curvas de rarefacción, por año, de las rutas con paisajes heterogéneos (Cayo de Piedra y Tenedores). ....	25
FIGURA 10. Curvas de rarefacción, por año, de las rutas con paisajes heterogéneos (Punta de Palma y Santo Tomás). ....	26
FIGURA 11. Curvas de rarefacción, por año, de las rutas con bosque continuo.....	27
FIGURA 12. Cambio en el uso del suelo de la Reserva Protectora de Manantiales en tres rutas de paisajes heterogéneos en 2001 y 2010. ....	32

FIGURA 13. NDVI de la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil y alrededores en el 2000 y 2001.....	47
FIGURA 14. NDVI de la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil y alrededores en el 2002 y 2003.....	48
FIGURA 15. NDVI de la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil y alrededores en el 2004 y 2005.....	50
FIGURA 16. NDVI de la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil y alrededores en el 2006 y 2007.....	50
FIGURA 17. NDVI de la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil y alrededores en el 2008 y 2009.....	51
FIGURA 18. NDVI de la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil y alrededores en el 2010 y 2011.....	52
FIGURA 19. NDVI de la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil y alrededores en el 2012.....	53

## RESUMEN

Se determinaron cambios en riqueza y frecuencia en la comunidad de aves de la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil (RPMCSG). Estos cambios se relacionaron a los regímenes de precipitación, temperatura y densidad de vegetación durante trece años. Para esto se utilizó información recolectada en dos rutas en bosque continuo y cinco en paisajes heterogéneos. Para determinar los cambios en la riqueza se realizaron curvas de rarefacción y para los cambios en frecuencia se utilizó un modelo lineal generalizado. Se observaron cambios aleatorios de la riqueza en los paisajes heterogéneos, y en el bosque continuo se observó un incremento de esta en el tiempo. Esto podría deberse a cambios en el manejo del suelo de los paisajes heterogéneos y a un incremento de la heterogeneidad en el bosque. De las seis especies indicadoras estudiadas, únicamente tres mostraron cambios en sus poblaciones; dos de ellas, especialistas de bosque, (*Patagioenas nigrirostris* y *Dendrocincla anabatina*) mostraron un descenso poblacional, y la especie de borde (*Eupsittula astec*) incrementó en el área de bosque. Las otras especies, al igual que estas, mostraron cierta relación con la temperatura, precipitación o densidad forestal. La correlación no implica causalidad, por lo que las condiciones climáticas o cobertura forestal podrían no ser las causas de los cambios poblacionales; sin embargo, este estudio indica factores que podrían amenazar con la supervivencia de las especies estudiadas. Por lo tanto, se recomienda continuar con los monitoreos en la RPMCSG y velar por el cuidado del bosque y áreas adyacentes.

## ABSTRACT

Changes in species richness and frequency in the bird community of the Cerro San Gil Reserve (CSGR) were determined. These changes were then associated to the rainfall and temperature regimes and vegetational density. For this, information collected in two continuous forest routes and five mixed landscapes was used. To determine the changes in the species richness and frequency, rarefaction curves and a generalized linear model, respectively, were used. Changes in the species richness in the mixed landscapes were observed, and in the continuous forest routes, richness increased through time. Changes in the soil management and an increase in the forest's heterogeneity may be the causes of the richness' variability. From the six species included in this study, only three showed significant population changes; two of them, forest specialists (*Patagioenas nigrirostris* and *Dendrocincla anabatina*), decreased their populations, and a border species (*Eupsittula astec*) showed population growth in the forested area. The other species correlated either with temperature, rainfall or vegetational density. Correlation does not imply causation, so the environmental conditions or forest coverage may not be the causes for population changes; however, this study indicates factors that could threaten the species' survival. Thus, it is recommended to keep monitoring the CSGR and to safeguard the forest and its nearby are

# I. INTRODUCCIÓN

## A. Antecedentes

**1. Cambio climático.** El clima de la Tierra ha incrementado su temperatura 0.6°C en los últimos 100 años con dos periodos principales de calentamiento, entre 1910 a 1945 y desde 1976 hasta la actualidad. En este último periodo de tiempo, la tasa en el incremento de temperatura ha superado cualquier tasa desde los últimos 1000 años (IPCC 2001). Actualmente, el ritmo en el cual la Tierra se calienta está acelerando, y es probable que los sistemas climáticos tomen siglos en recuperar ciclos climáticos constantes a pesar de las políticas de mitigación implementadas (Watson 2014).

El incremento en la temperatura ha causado que los organismos, poblaciones y ecosistemas no logren adaptarse correctamente, pues los regímenes climáticos han influenciado significativamente la distribución de las especies, así como sus umbrales de tolerancia a la temperatura y precipitación (Woodward 1987; Hoffman y Parsons 1997). En varias partes del planeta ya se han registrado cambios en la fenología de las especies, distribuciones y abundancias, blanqueamiento de corales, cambios en la frecuencia de incendios y la pérdida de los ecosistemas debido al aumento del nivel del mar (Watson 2014).

Sin embargo, si bien el cambio climático amenaza con la supervivencia de diversos organismos y poblaciones, también propicia la expansión de especies invasoras y epidemias. Existe evidencia que muestra que el aumento constante de la temperatura está asociado con enfermedades transmitidas por mosquitos en áreas de Asia, África y Latinoamérica (Epstein *et al.* 1998).

**a. Cambio climático en Guatemala.** El cambio climático representa la principal amenaza para la diversidad biológica y los medios de vida para la población guatemalteca (CONAP 2010). La vulnerabilidad de Guatemala ante estos efectos corresponde a la posición geográfica del país, su topografía y vientos, los cuales influyen en los patrones de precipitación y temperatura. Sin embargo, es la ocurrencia de eventos extremos la que puede afectar significativamente a la biodiversidad y a los pobladores de Guatemala (CONAP 2010).

Los escenarios climáticos que se han desarrollado en Guatemala indican que para el año 2050 la temperatura se incrementará en promedio 4.5°C (CONAP 2010). En el caso de la precipitación, las estimaciones sugieren una disminución de las lluvias en la mayor parte del país, especialmente en el corredor seco del oriente. El incremento en la temperatura causaría una mayor evapotranspiración y a una disminución en la infiltración por el aumento de la escorrentía. La falta de disponibilidad de agua en el suelo llevará a que la vegetación sufra de estrés hídrico. Estos cambios afectarán directamente los balances hídricos, lo cual tendrá repercusiones en los ecosistemas naturales y agrícolas que dependen del agua (CONAP 2010).

Actualmente, el cambio climático ya está afectando a la diversidad biológica, y lo seguirá haciendo. Según la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, los principales impactos en los ecosistemas serán cambios en la distribución de las especies y ecosistemas, incremento en las tasas de extinción, cambios en los patrones de reproducción y cambios en la fenología de las plantas (Convention on Biological Diversity 2007). Esto a su vez implica un deterioro de los servicios ambientales que prestan los ecosistemas, mayor vulnerabilidad ante factores estresantes y menor adaptabilidad (CONAP 2010).

**b. Efectos del cambio climático en la diversidad aviar.** Desde el siglo XX han ocurrido diversos cambios en el clima, los cuales pueden haber afectado ya la supervivencia de todas las especies. Como otros organismos, las aves dependen considerablemente de las fluctuaciones interanuales en la precipitación, temperatura y otros eventos climáticos extremos, tanto en escalas ecológicas como evolutivas (Parmesan 2006; Chen *et al.* 2009;

Beever *et al.* 2011). Además, el clima controla tanto las tasas metabólicas como el comportamiento de las aves, ya sea este de forrajeo o de cortejo, y posee grandes impactos sobre su éxito reproductivo. En situaciones extremas, como sequías o el fenómeno de El Niño, las poblaciones de aves pueden sufrir consecuencias catastróficas (Newton 1998).

Las condiciones climáticas poco favorables también pueden propiciar cambios en la distribución de las aves. En estos casos, se prevé un desplazamiento hacia zonas más templadas, ya sea latitudinalmente hacia los polos, o en los gradientes altitudinales. Sin embargo, la disponibilidad de alimento en estas nuevas regiones y la fragmentación ambiental son limitantes que impedirán a varias especies la colonización de otros hábitats (Hoegh-Guldberg 1999; Pounds *et al.* 1999; Parmesan 2006). Si bien este proceso resulta fácil para algunas especies migratorias o generalistas, las poblaciones de las especies sedentarias o de distribución restringida podrían verse desplazadas y reducidas, lo cual podría llevar a su extinción (Easterling *et al.* 2000; Hugues 2000; McCarthy 2001; Walther *et al.* 2001).

Asimismo, se ha observado que el cambio climático afecta de manera considerable la época migratoria y reproductiva de las aves (Crick *et al.* 2003), ya que se han reportado atrasos en la llegada de estas a los sitios de reproducción, lo cual incrementa la competencia por sitios de anidamiento con las especies que llegan antes (Both y Visser 2001). Las especies que migran con antelación, por su parte, han extendido su estadía en los sitios de reproducción debido a temperaturas más cálidas, por lo que en las migraciones predomina la cohorte juvenil, los cuales suelen presentar una reproducción temprana (Sokolov *et al.* 1998; Sparks y Mason 2001; Gilyazov y Sparks 2002).

Por otra parte, se ha observado que cambios en la temperatura y precipitación afectan la puesta de huevos y la cantidad de nidadas anuales en aves europeas (Crick *et al.* 1997). Los cambios en estos factores, en especial el incremento de temperatura, causan un desfase entre la mayor disponibilidad de alimento y la mayor demanda de alimento por las crías. Por lo tanto, ante la escasez de alimento, las aves disminuyen la cantidad de nidadas

anuales, optimizando así el cuidado de una sola puesta (Crick *et al.* 1993; Visser *et al.* 1998; Visser y Holleman 2001).

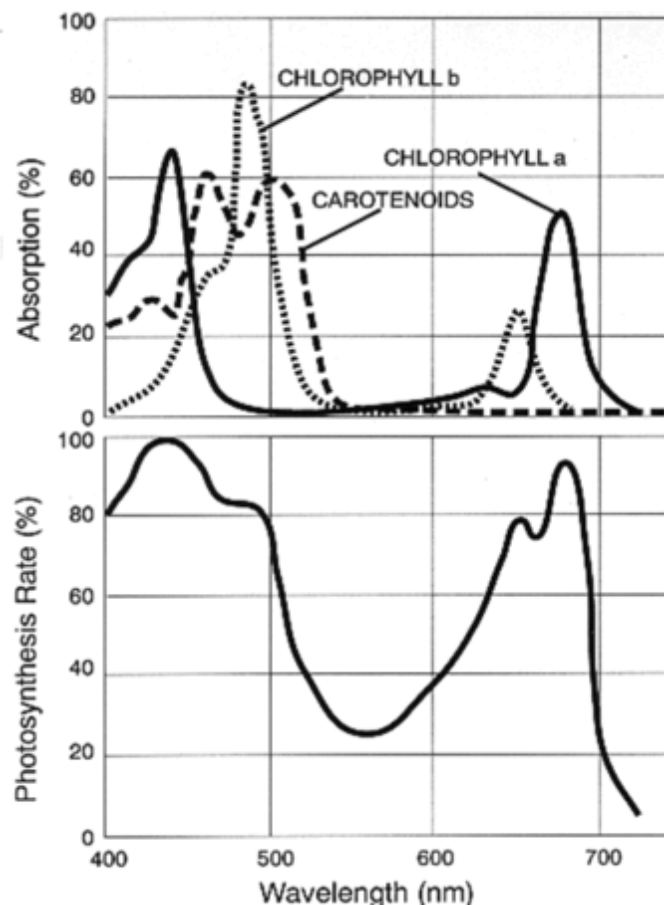
**2. Índices de vegetación.** Los índices de vegetación (VI por sus siglas en inglés) son productos satelitales que se enfocan en monitorear y caracterizar la cobertura de vegetación desde el espacio (Myneni *et al.* 1997; Saleska *et al.* 2007). Los VI son medidas ópticas del “verdor” del dosel de los árboles, el cual es producto de la cantidad de clorofila, superficie foliar, cubierta del dosel y su arquitectura (Jiang *et al.* 2008).

Los índices de vegetación son obtenidos a través del satélite Terra (EOS AM-1) con el sensor MODIS, el cual provee comparaciones globales de las condiciones de vegetación a través del tiempo. Esto se logra a través de combinaciones matemáticas de diferentes bandas espectrales visibles en áreas cercanas al infrarrojo del espectro electromagnético. En este caso la energía reflejada es absorbida por los pigmentos fotosintéticos, con mayores valores de absorción en las longitudes de onda del azul (470nm) y rojo (670 nm) (Figura 1) (Viña *et al.* 2011; Didan *et al.* 2015).

**a. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada.** El NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) es el índice de vegetación mayormente utilizado debido a que es capaz de cancelar una gran proporción del ruido causado por la topografía, nubes, sombras y condiciones ambientales. Sin embargo, este índice es susceptible a otras variables atmosféricas y a las condiciones del dosel (Matsushita *et al.* 2007).

Los valores del NDVI varían desde -1 a +1, donde las áreas sin cobertura vegetal, tales como arena o suelos rocosos suelen presentar valores negativos. Otras áreas con vegetación escasa como pastizales o cultivos presentan valores intermedios entre 0.2 a 0.5. Mientras tanto, áreas con altos valores, de 0.6 a 0.9, corresponden a vegetaciones densas, como las presentes en bosques tropicales y templados (Myneni y Hall 1995; USGS 2015).

**FIGURA 1.** Espectro de absorción de la clorofila a, b y carotenoides en los cloroplastos y espectro de acción de la fotosíntesis.



Fuente: Whitmarsh 1999

Se ha observado que el NDVI presenta una relación directa con la productividad de la vegetación (Reed *et al.* 1994); sin embargo, el uso de este índice es variado. Hasta la fecha el NDVI se ha utilizado para conocer la distribución de las comunidades de vegetación, así como la biomasa vegetal (Reed *et al.* 1994), flujos de CO<sub>2</sub> (Vourlitis *et al.* 2003; Wylie *et al.* 2003), calidad de vegetación para la alimentación de herbívoros (Griffith *et al.* 2002) y el grado de degradación de suelo en diferentes ecosistemas (Holm *et al.* 2003; Thiam 2003).

Los índices de vegetación del sensor MODIS representan una mejora en la medición las condiciones espaciales, espectrales y radiométricas de la vegetación en la superficie terrestre (Tucker *et al.* 2005). Actualmente existen dos índices de vegetación: Índice de

Vegetación de Diferencia Normalizada y el Índice de Vegetación Mejorado (NDVI y EVI, por sus siglas en inglés).

**b. Índice de Vegetación Mejorado.** El EVI (Enhanced Vegetation Index) es una versión mejorada del NDVI, en el cual además de las bandas roja y cercana al infrarrojo que utiliza este último, se utiliza una banda azul. Esta adición provoca que el EVI esté linealmente correlacionado con el índice de área foliar (LAI) (Boegh *et al.* 2002) y es menos susceptible a la saturación de la temperatura en bosques tropicales (Xiao *et al.* 2004; Huete *et al.* 2006).

Si bien este índice ofrece algunas ventajas sobre el NDVI, la banda azul del EVI no provee información biofísica adicional referente a las propiedades de la vegetación, sino que únicamente sirve para reducir el ruido causado por aerosoles atmosféricos (Jiang *et al.* 2008). Si bien el EVI es capaz de ignorar algunas perturbaciones ambientales, no toma en consideración efectos topográficos como planicies y elevaciones, los cuales también contribuyen considerablemente con el ruido y sesgo de la información que el EVI genera (Smith *et al.* 1980; Holben y Justice 1981; Meyer *et al.* 1993; Trotter 1998; Dymond y Shepherd 1999).

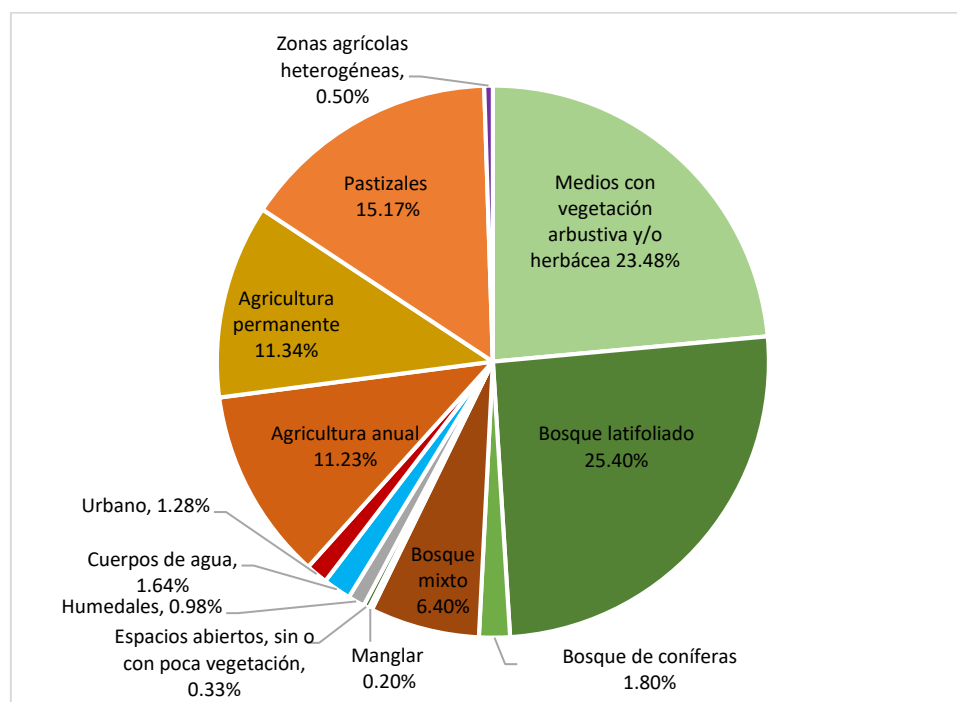
**3. Uso y dinámica de los suelos en Guatemala.** En la actualidad, el espacio territorial de Guatemala se encuentra ocupado principalmente para cultivos anuales y perennes, así como pastos naturales y cultivados, humedales, cuerpos de agua, centros poblados, otras áreas y bosques (IARNA-URL 2006).

El incremento poblacional y la intensificación del uso de los suelos han provocado una mayor demanda de la materia y energía procedente de los bosques y otros ecosistemas naturales, lo cual ha causado su deterioro y reducción. Esta demanda aún persiste y la dependencia de los hogares rurales sobre los productos del bosque y la producción agrícola ha provocado que las tierras sean ocupadas para usos agropecuarios. Esto reduce la cubierta boscosa e incrementa el espacio territorial que ocupan los asentamientos humanos (IARNA-URL 2006).



**a. Dinámica en la cobertura forestal de Guatemala.** El territorio guatemalteco se encuentra ocupado en un 33.8% por bosques y 2.2% por otras tierras forestales, las cuales incluyen zonas boscosas utilizadas para la producción de bienes y servicios forestales y ambientales, así como otras áreas cubiertas por plantaciones forestales. Los bosques son conformados en un 25.4% por bosque latifoliado, 1.8% por coníferas, 6.4% por bosque mixto y 0.2% por bosques de manglar (GIMBUT 2014; MAGA-DIGEGR 2015).

**FIGURA 3.** Porcentaje de la cobertura del suelo de la República de Guatemala.

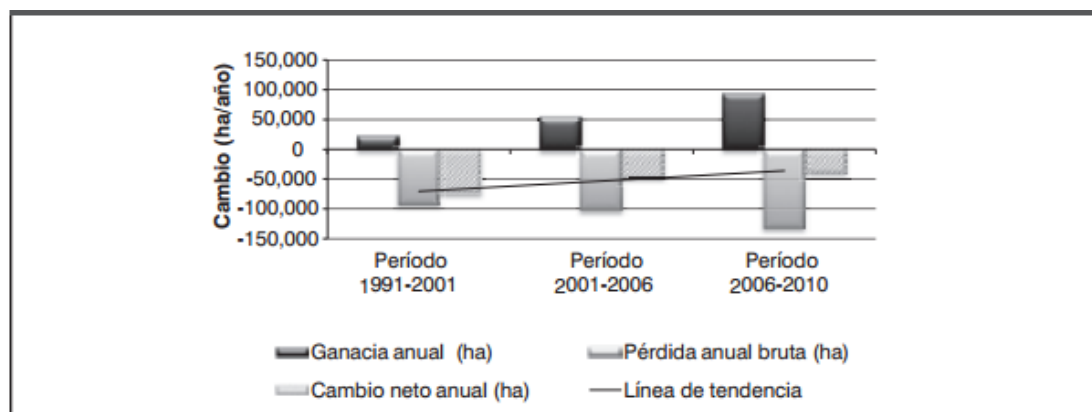


Adaptado de GIMBUT 2014 y MAGA-DIGEGR 2015.

De las diferentes coberturas del suelo del territorio nacional, son los ecosistemas forestales los que se encuentran más amenazados por las actividades humanas. De los ecosistemas terrestres, únicamente el 3% posee una influencia antrópica baja; una quinta parte del país tiene influencia media baja y dos quintas partes tienen una influencia media. Asimismo, más de un tercio del territorio nacional se encuentra influenciado de manera media alta por los humanos y únicamente el 4% tiene una ocupación alta, en especial el departamento de Guatemala (IARNA-URL 2012).

La influencia antrópica sobre los ecosistemas terrestres ha sido evidente durante los últimos años y se ha manifestado a través de la reducción de la cobertura forestal nacional. En el año 1950, Guatemala contaba con un 64.05% del territorio cubierto por bosques, el cual se redujo a un 47.04% para el año 1991. En el año 2006, la cobertura forestal abarcaba el 35.53% del país y para el año 2010 se contaba únicamente con el 33.8% del territorio ocupado por ecosistemas forestales (IARNA-URL 2012). Esto demuestra que desde la década de los 90 ha ocurrido un cambio de uso de suelo intensivo. Entre 1977 y 1992 se deforestaron 65,900 ha de bosque, mientras que de 1991 a 2001 esta cantidad se incrementó a 93,127 ha. Entre 2001 y 2010 fueron removidas 132,138 ha de cobertura forestal, que en diez años es el doble de lo que se deforestó en los 15 años entre 1977 y 1992 (IARNA-URL 2012). De todos los ecosistemas forestales, el más reducido ha sido el bosque latifoliado, que entre 2003 y 2010 pasó de ocupar 3,155,436 ha a 2,767,353 ha; es decir, del 29% al 25.4% del territorio nacional (MAGA-DIGEGR 2015).

**FIGURA 4.** Tendencia anual de la dinámica forestal de la República de Guatemala en tres periodos de tiempo.



Fuente: Regalado *et al.* 2012.

Las causas de la deforestación son variadas y si bien se atribuían principalmente a la presión poblacional y a la pobreza, este ya no es el caso (UVG-INAB-CONAP-URL 2011). Actualmente, la deforestación es masiva y perceptible, y se debe principalmente a la ganadería extensiva, agricultura ligada a monocultivos, incendios forestales, asentamientos humanos, narcoactividad y combinaciones de estas. De menor manera, la

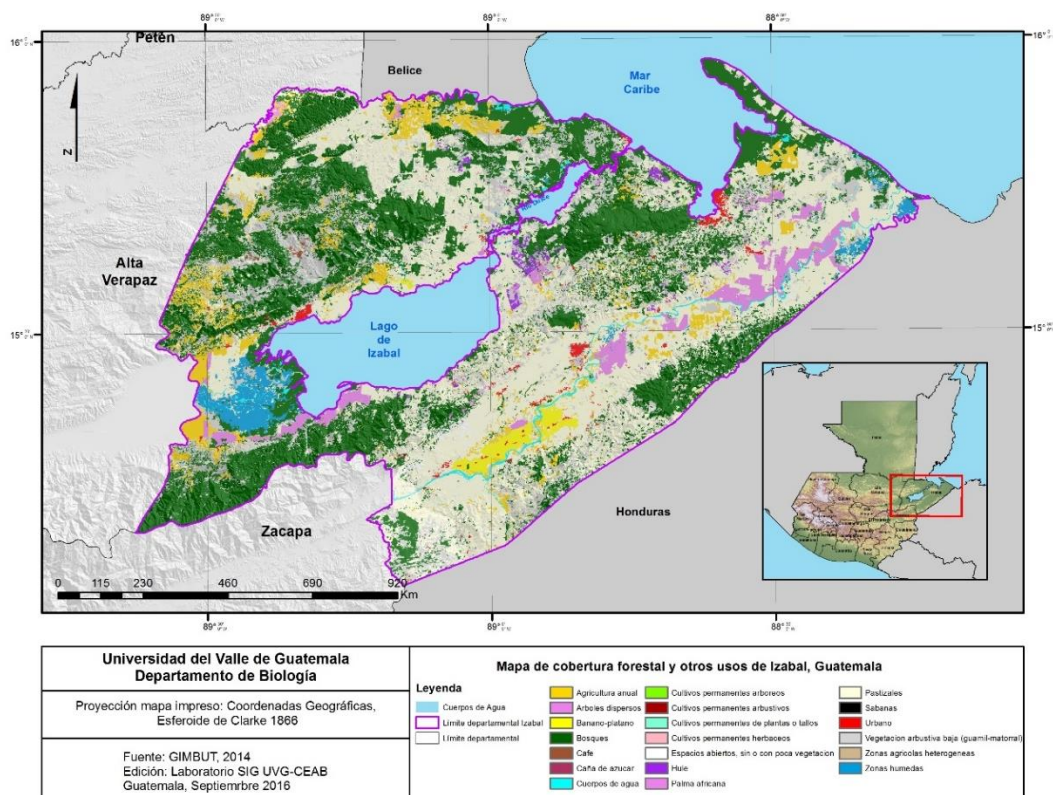
deforestación también es causada por el urbanismo, recolección de leña, tala de árboles tanto legal como ilegal, plagas y enfermedades (IARNA-URL 2012).

Por otra parte, también se han observado ganancias de bosque, de las cuales al menos 7,520 ha anuales son gracias a los incentivos otorgados por el Instituto Nacional de Bosques (INAB) (INAB 2006). Sin embargo, la mayoría de las ganancias de bosque se deben a regeneración natural, la cual no es controlada ni dirigida por alguna institución, por lo que estos eventos tampoco son planificados ni monitoreados. Otros eventos de ganancia también ocurren gracias a efectos naturales como incendios, los cuales están desligados completamente de la política forestal (IARNA-URL 2012).

**b. Dinámica en la cobertura forestal de Izabal.** El departamento de Izabal está cubierto en un 44.44% de bosques, de los cuales el 30.41% es latifoliado y el 12.8% consiste de matorrales y guamiles. Esto hace que Izabal sea uno de los departamentos con mayor concentración de bosque latifoliado a nivel nacional, el cual consta de 250,440 ha (MAGA-DIGEGR 2015). Sin embargo, junto con Petén, Chiquimula y Baja Verapaz conforma el grupo de los departamentos con mayores pérdidas de cobertura forestal en los últimos años (IARNA-URL 2012).

El 1.06% de este departamento está cubierto por zonas urbanizadas, industrias, minas e instalaciones deportivas. El 34.43% es ocupado por territorios agrícolas, principalmente por pastizales (23.3%) y cultivos permanentes (GIMBUT 2014; MAGA-DIGEGR 2015). Entre estos destacan el banano con 20,414 ha, equivalente al 2.48% del territorio, la caña de azúcar y la palma africana (Hurtado 2008; Carrera y Carrera 2011). El cultivo de la palma africana abarca por lo menos 18,816 ha del territorio, lo que equivale a 34.9% del área total. De esta área, desde el año 2006 se han deforestado al menos 3,589 ha para el cultivo de palma, y el resto ha sido cultivado en áreas que desde 1991 se encontraba sin bosque (MAGA-DIGEGR 2015).

**FIGURA 5.** Dinámica de la cobertura forestal en Izabal de 2006 a 2010.



Fuente: GIMBUT 2014.

El cultivo de la palma africana ha sido más notorio en el municipio de Puerto Barrios, en el cual 8,400 ha se encuentran ocupadas con esta especie. Seguido se encuentra El Estor, donde el cultivo ocurre en 7,790 ha. En menor manera se produce palma africana en Morales, donde ocupa 1647 ha, y en Los Amates con 391 ha (IARNA-URL 2012). Las áreas en los municipios que no están cubiertas por palma africana, poseen otros usos de suelo. En el caso de Puerto Barrios, el municipio se encuentra cubierto en un 14.42% de bosques y 54.41% de tierras agrícolas, mientras que El Estor está cubierto en un 50% por bosque latifoliado y 19.05 por otros cultivos. Los Amates posee el 46.39% de su territorio cubierto por territorios agrícolas, mientras que Livingston utiliza el 34.96% de su área para estos fines y Morales el 60%. En cambio, Los Amates cuenta con 22.54% de su territorio cubierto por bosque latifoliado, Livingston con el 46.26% y Morales el 20.8% (MAGA-DIGEGR 2015).

**c. Efectos de la deforestación y cambio de uso de suelo sobre la comunidad**

**aviar.** En el Neotrópico, la destrucción y fragmentación de los ecosistemas naturales representan la mayor amenaza sobre la biodiversidad aviar (Wilcove 1985; Jullien y Thiollay 1996; Turner 1996). En estos casos, cuando los hábitats son removidos, los animales son desplazados y algunos pueden eliminarse completamente del ambiente, lo cual provoca un declive poblacional en las especies afectadas. Asimismo, la fragmentación de las zonas forestales causa la subdivisión y reducción de los hábitats, por lo que se incrementa el efecto de borde y se pierde continuidad en el paisaje. Esto incrementa el riesgo para las especies sensibles o especialistas (With 1997).

En el caso de los bosques tropicales, es cada vez más común observar hábitats con diversos grados de complejidad de la vegetación y perturbación que se asemejan a los bosques originales. Debido a que la vegetación natural primaria está siendo reemplazada en los ecosistemas naturales, recae una gran importancia sobre la vegetación secundaria en la conservación de las especies (Janzen 1988; Vandermeer y Perfecto 1997).

La capacidad de los organismos de utilizar hábitats secundarios es variable entre las especies, y se deben ya sea a adaptaciones obtenidas por presiones de selección en el pasado, o a adaptaciones a perturbaciones frecuentes del hábitat, como bordes naturales (Estrada *et al.* 1997; Harris y Pimm 2004). En el Caribe de Guatemala se ha observado que los ecosistemas de bosque ribereño y cerco vivo, en conjunto, poseen una riqueza y abundancia de aves residentes similar a la del bosque tropical natural. Sin embargo, la composición de especies es diferente a la del bosque y consiste únicamente de especies generalistas. Además, las especies abundantes en el bosque, por lo general, tienen menos abundancia en los otros ecosistemas, y están totalmente ausentes en pastizales (Cerezo *et al.* 2009). Estos estudios denotan que los hábitats modificados, en conjunto, son capaces de sustentar biodiversidad, pero las especies que aportan son generalistas y dependen en cierto grado de los bosques tropicales para subsistir. En el caso de los pastizales, que dependen de la diversidad de los cercos vivos, no aportan ningún valor en diversidad (Cerezo *et al.* 2009).

Por otra parte, se ha observado que las aves terrestres insectívoras son las más sensibles a las perturbaciones (Stouffer y Bierregaard 1995; Gascon *et al.* 1999), y en el caso de las aves tropicales, al ser más sedentarias y especialistas que su contraparte de áreas templadas, tienden a ser menos persistentes en los fragmentos de bosque y por lo tanto más propensas a la extinción. Además, sus necesidades de área suelen ser más amplias en los trópicos lo cual da lugar a mayores adaptaciones en comportamiento que pueden verse amenazadas por la fragmentación (Terborgh *et al.* 1990; Robinson *et al.* 2000).

**4. Programa de monitoreo de aves de FUNDAECO en la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil.** La Fundación para el Ecodesarrollo y Conservación (FUNDAECO) desde 1996 realiza la labor de cuantificar la diversidad de aves residentes y migratorias de la RPMCSG. FUNDAECO, conjunto con Weber y Bucklin (1995) llevaron a cabo un estudio sobre la avifauna en la RPM Cerro San Gil, en el cual se evidenció la impresionante diversidad de aves en este sitio. Dada esta la importancia de esta información, surgió la necesidad de determinar cuantitativamente las aves migratorias y residentes que habitaban en la reserva (Cerezo *et al.*, 2014).

A partir de esta necesidad se determinaron tres sitios de monitoreo y anillamiento de aves, los cuales después se expandieron a seis sitios dentro de la RPMSCG. Eventualmente, se establecieron tres estaciones más de anillamiento en otras tres reservas. Asimismo, FUNDAECO ha determinado puntos de conteo tanto dentro de la RPMSCG como en sitios cercanos con diferentes grados de perturbación (Cerezo *et al.*, 2014).

Desde entonces, FUNDAECO se ha encargado de monitorear y documentar los estados poblacionales de aves migratorias y residentes, así como su uso de hábitats, con el propósito de proponer medidas para lograr su conservación a largo plazo. Hasta el año 2010, la base de datos del proyecto contenía 33,285 registros de anillamiento, con información de 21,047 aves capturadas y/o anilladas y 8,032 aves re capturadas. De estas, se han capturado en redes 227 especies y hasta el 2007 se habían detectado 280 especies en el programa de monitoreo reproductivo (Cerezo *et al.*, 2014).

## B. Justificación

Los bosques tropicales son zonas sumamente importantes para la estabilidad de los ecosistemas, la vida humana y su desarrollo, pues constituyen zonas de recarga hídrica y contribuyen al proceso de adaptación al cambio climático (Malhi y Wright 2004).

La RPMCSG provee una gran cantidad de servicios ambientales, de los cuales el agua es el servicio ambiental más valioso que proporciona el bosque (Rosales 1996). La cuenca del Río Las Escobas, al poseer un mayor porcentaje de bosque que los demás ríos de la reserva, puede prevenir grandes cantidades de sedimentación, por lo que se reducen los riesgos de erosión de suelos del área (USAID Central America s.f.). Además, este río es capaz de proveer 12.8 millones de metros cúbicos anuales de agua, lo cual beneficia a más de 50,000 personas (Fion 1993)

Por otra parte, la gran variedad de ecosistemas de la RPMCSG y el buen estado de conservación de estos contribuyen a que el área posea una gran diversidad faunística. Únicamente en la reserva se cuenta con 407 especies de aves, las cuales corresponden al 58% del total de las aves reportadas para Guatemala (Cerezo y Ramírez s.f.; Cerezo *et al.* 2005; FUNDAECO 2005).

Si bien el campo de investigación en la RPM Cerro San Gil es amplio, son pocos los estudios que se han llevado a cabo en este sitio. En aves, si bien se han recolectado datos poblacionales a través del anillamiento de las aves y puntos de conteo durante los últimos 20 años, se ha analizado principalmente la información obtenida a partir de los anillamientos (i.e. Cerezo *et al.* 2009, 2010). Asimismo, tanto en la RPMCSG como en el resto de la República de Guatemala, son escasos los estudios enfocados a los cambios poblacionales de taxa específicos, sobre todo si están relacionados con el cambio climático o reducción de la cobertura forestal. Esto implica que para la mayoría de los organismos no existe información ni predicciones sobre el futuro de sus poblaciones frente a condiciones ambientales cambiantes y la destrucción de sus hábitats.

Dada la información expuesta anteriormente, es necesario realizar estudios enfocados en los efectos del cambio climático y del deterioro del suelo sobre las poblaciones de especies de interés. Es importante también crear tendencias poblacionales de los taxa más representativos, pues puede ayudar a crear programas de conservación para las especies amenazadas y a generar soluciones que permitan incrementar las probabilidades de supervivencia de estas especies y mejorar la calidad de vida de las comunidades que dependen de sus servicios ecosistémicos.

## **C. Objetivos**

### **1. General**

Determinar si existen cambios poblacionales en las especies de aves registradas en Cerro San Gil a nivel de riqueza y frecuencia desde el año 2000 hasta 2012, y si estos se relacionan con cambios en los regímenes de precipitación, temperatura y densidad de vegetación en el periodo citado.

### **2. Específicos**

- a.** Determinar los cambios existentes en la riqueza de aves registradas en Cerro San Gil en un lapso de 13 años.
- b.** Determinar si hay variaciones en la frecuencia de las aves indicadoras.
- c.** Relacionar los cambios poblacionales de las aves indicadoras de Cerro San Gil con variaciones de temperatura, precipitación y densidad de vegetación.

## **D. Hipótesis**

### **1. Hipótesis nula**

a. No existe diferencia significativa en la variación de la riqueza y frecuencia de aves de Cerro San Gil desde el año 2000 al 2012.

### **2. Hipótesis alternativa**

a. Existe diferencia significativa en la variación de la riqueza y frecuencia de aves de Cerro San Gil desde el año 2000 al 2012.

### **3. Hipótesis secundarias**

a. Entre los años 2000 al 2012 ha habido cambios en la riqueza de especies de aves de Cerro San Gil.

b. Existen variaciones en la frecuencia de aves indicadoras de Cerro San Gil.

c. Los cambios poblacionales de las aves de Cerro San Gil están relacionados con la densidad de vegetación.

d. Los cambios poblacionales de las aves de Cerro San Gil están relacionados con las variaciones en los regímenes de precipitación y temperatura.

## II. METODOLOGÍA

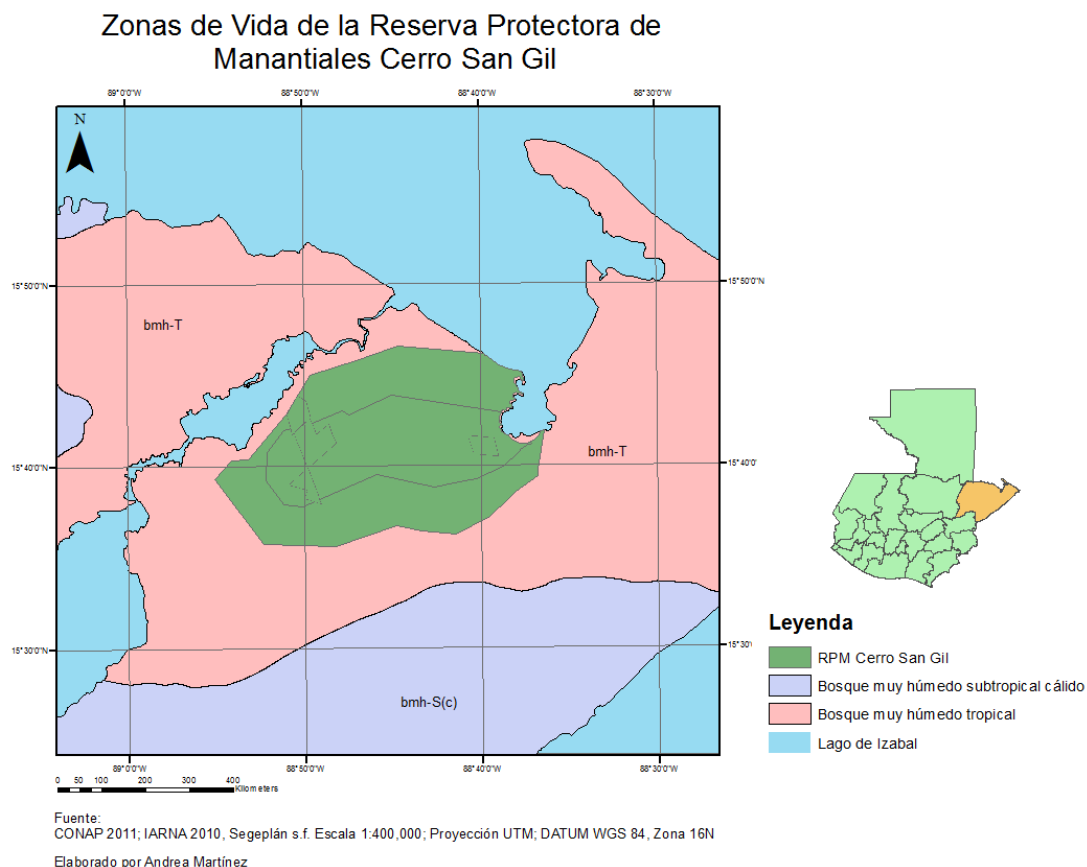
### A. Procedimiento

#### 1. Sitio de estudio

a. **Ubicación y clima.** La Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil (RPM Cerro San Gil) se ubica en el Departamento de Izabal, distribuyéndose en los municipios de Puerto Barrios, Livingston y Morales. La Reserva abarca el área de Cerro San Gil, que comprende la parte más alta de las Montañas del Mico, y que oscila entre los 0 y 1267 msnm (Rosales 1996; RECOSMO 2005).

Según la clasificación de Holdridge, la RPM Cerro San Gil posee las zonas de vida de Bosque Muy Húmedo Tropical (Bmh-T) a elevaciones de 0 a 900 msnm y Bosque Muy Húmedo Sub-tropical cálido (Bmh-S(c)) entre 900 y 1276 msnm (Holdridge 1967; Cerezo *et al.* 2005). Esta última clasificación incluye varios microclimas con características de bosque nuboso y abarca 406.91 ha; el bosque muy húmedo tropical comprende 46,291.50 ha (Díaz y Pérez 2005).

El clima de la RPM Cerro San Gil es cálido y húmedo, con temperaturas máximas y mínimas entre 36 y 14°C y una precipitación anual media entre 2000 y 4000 mm anuales (FUNDAECO 2005; INSIVUMEH 2015a; b), encontrándose la RPM en el área cálida más lluviosa del país, por lo que constituye el mayor remanente de bosque muy húmedo tropical en Guatemala (Bucklin 1990).

**FIGURA 6.** Mapa de las zonas de vida de Izabal.

Fuente: CONAP 2011; IARNA 2010; Segeplan s.f.

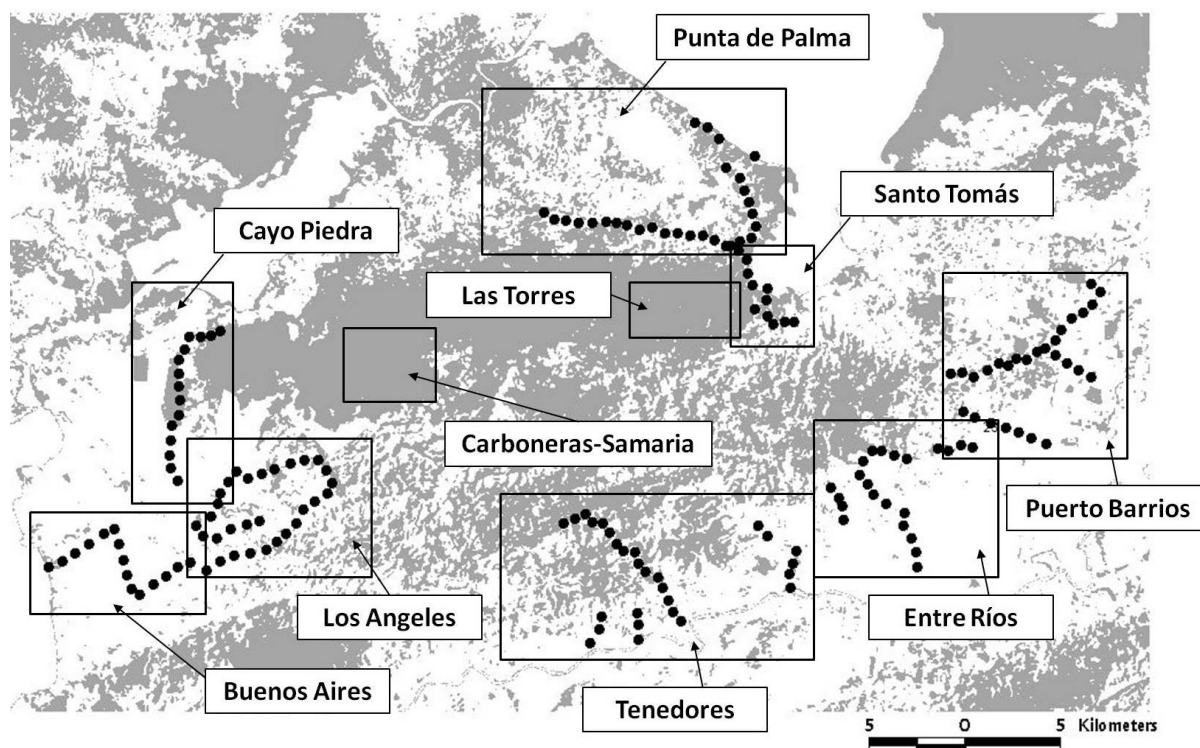
## 2. Variación en el número de especies registradas en Cerro San Gil desde 2000 a 2012.

**a. Puntos de conteo.** A lo largo de 20 años de estudio, FUNDAECO ha establecido en Cerro San Gil alrededor de 300 puntos de conteo, separados cada uno por 100m de distancia en el hábitat a estudiar. Cada punto consta de 5 minutos de observación, divididos en dos intervalos de 2.5 minutos cada uno, y se toman en cuenta los individuos en un radio de 30 metros. Esto se hace para diferenciar las especies que son más frecuentes. Durante los cinco minutos se anotan todas las aves detectadas, tanto visual como auditivamente, y se toman datos sobre las especies, cantidad de individuos y actividad. Todo esto se lleva a cabo durante el mes de abril, desde el amanecer hasta las 10 a.m. (Cerezo *et al.* 2014).

Si bien FUNDAECO ha realizado series de puntos de conteo en diferentes regiones de Izabal, se utilizaron únicamente las rutas ubicadas dentro de y en los alrededores de la RPM Cerro San Gil, incluyéndose en el análisis las rutas denominadas “Las Torres”, “Carboneras-Samaria”, “Buenos Aires”, “Tenedores”, “Punta de Palma”, “Santo Tomás” y “Cayo Piedra”. Estas rutas permitieron evaluar los cambios en las comunidades de aves en un gradiente desde sitios sin alteración (Las Torres y Carboneras-Samaria) hasta sitios altamente perturbados.

Si bien FUNDAECO ha realizado su trabajo durante 20 años, se tomará en cuenta únicamente la información entre 2000 y 2012. Esto se debe a que, hasta el momento de elaboración de este estudio, únicamente se encontraba disponible la información de los puntos de conteo hasta el 2012. Asimismo, se tomó como fecha de inicio el año 2000 debido a que la información de cobertura forestal (NDVI) con buena resolución únicamente está disponible a partir del 2000, y para Guatemala no existe información anual de este tipo.

**FIGURA 7.** Ubicación de los puntos de conteo en la RPMCSG.



Fuente: Cerezo 2015.

**b. Análisis de variación del número de especies.** En cada sitio de conteo se determinó el número de especies registradas anualmente y la riqueza de especies de aves. Para determinar los sitios y años con mayor riqueza se realizaron curvas de rarefacción utilizando el *software* EstimateS ver. 9.1.0., en el cual se estimó hasta un esfuerzo de muestreo de 60 puntos de conteo en cada sitio para cada año.

**3. Determinación de las aves indicadoras.** Para identificar las aves con la mayor capacidad para ser indicadoras de calidad de bosque se realizó una revisión literaria, principalmente de tres publicaciones (Cerezo *et al.* 2010; 2011; 2016 no pub.). Debido a la complementariedad de los objetivos y a la facilidad de comparación de este estudio con otros realizados por Cerezo, se seleccionaron las especies utilizadas en Cerezo *et al.* 2011.

Asimismo, se identificaron las aves indicadoras de posibles cambios ambientales. Esta se llevó a cabo utilizando el Listado de Campo de las Aves de Cerro San Gil (Weber y Bucklin 2005). Para esto se seleccionaron aquellas especies que fueran comunes o relativamente comunes en las altitudes bajas (0-300) y raras o ausentes en los demás rangos altitudinales; es decir, aquellas especies dependientes de los ambientes cálidos de los ecosistemas de tierras bajas y no a la calidad del bosque.

CUADRO 1. Listado de aves indicadoras a utilizar.

Hábitat	Familia	Especie	Nombre inglés	Nombre español	Estado
Interior	Columbidae	<i>Patagioenas nigrirostris</i>	Short Billed Pigeon	Paloma piquinegra	res
	Trogonidae	<i>Trogon massena</i>	Slaty-tailed trogon	Trogón grande	res
Borde	Tinamidae	<i>Crypturellus soui</i>	Little tinamou	Tinamú chico	res
	Psittacidae	<i>Eupsittula astec</i>	Aztec parakeet	Perico pechisucio	res
Cálido	Dendrocolaptidae	<i>Dendrocincla anabatina</i>	Tawny-winged Woodcreeper	Trepador alirrubio	res
	Pipridae	<i>Manacus candei</i>	White-collared Manakin	Saltarín collarejo	res

\*res=residente

Fuente: (Cerezo *et al.* 2011; Weber y Bucklin 2005)

La selección se llevó a cabo considerando que las especies de ambientes cálidos pueden colonizar territorios más altos con el aumento de la temperatura (Foster 2001). Durante este proceso se excluyeron las especies generalistas de bosque y aquellas adaptadas a ecosistemas perturbados y hábitats acuáticos (Cuadro 1).

#### **4. Determinación de las causas de los cambios poblacionales en la comunidad de aves de Cerro San Gil.**

**a. Obtención de datos de temperatura y precipitación.** La información sobre la temperatura y precipitación de Cerro San Gil se obtuvo, hasta el año 2012, del sitio web del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH). Los registros de los años 2011 y 2012 se solicitaron al INSIVUMEH ya sea de manera electrónica. Esta información fue obtenida de la estación meteorológica ubicada en la ciudad de Puerto Barrios (Ver Anexo).

Para los datos de precipitación y temperatura se hizo un promedio de octubre a diciembre del año anterior, tomando en cuenta que las fluctuaciones poblacionales en las aves son dependientes de la disponibilidad de alimento y patrones de lluvia durante la época reproductiva (Stutchbury and Noton 2001).

**b. Obtención de los índices de vegetación de diferencia normalizada.** Los NDVI se obtuvieron a través del satélite Terra (EOS AM-1) utilizando el sensor MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer) para enero de los años 2000 al 2012 (ORNL DAAC 2008). Las imágenes satelitales de las cuales se obtienen estos índices poseen una resolución de 250m, por lo que se utilizó el promedio de los índices que contuvieran al menos un punto de muestreo (Ver Anexo).

**c. Determinación de las variaciones poblacionales en las aves indicadoras de Cerro San Gil.** Las medias de temperatura y precipitación de los años a estudiar, así como los NDVI de las áreas correspondientes fueron comparados con las variaciones en la frecuencia de las aves indicadoras a través de un modelo lineal generalizado ( $p < 0.5$  y  $p < 1.0$ ) con una distribución binomial de los errores. Las rutas seleccionadas no son independientes entre sí y estas son medidas cada año, lo cual incumple con el supuesto de independencia de los errores de un modelo lineal. Por lo tanto, el modelo se ajustó a una estructura de autocorrelación temporal y se tomó en cuenta a la ruta, ya fuera bosque o paisaje heterogéneo, como un factor aleatorio. Los análisis se realizaron con el *software* R ver. 3.2.3.

### III. RESULTADOS

#### A. Cambios en la riqueza de aves registradas en Cerro San Gil desde el año 2000 al 2012.

Para cada ruta de observación se analizaron los datos colectados a través de los muestreos realizados por FUNDAECO. La cantidad de puntos de muestreo fueron diferentes por ruta, siendo estos 30 puntos para Tenedores, Las Torres y Punta de Palma; 15 para Buenos Aires y Cayo de Piedra; y 12 para Santo Tomás.

En todas las rutas se observó que la riqueza de especies de cada ruta cambió en el tiempo. Esto puede observarse en las figuras 8 a 11, donde se muestra, por cada ruta, los años con mayor y menor riqueza. En la ruta de Buenos Aires (Fig. 8) se puede observar que los años en los cuales se detectó un mayor número de especies fueron 2010 y 2011. Por el contrario, el año con menor riqueza detectada fue 2004. Los años 2001, 2003, 2005 y 2007 tuvieron una riqueza similar, siendo esta de 77, 79, 76 y 76 especies, respectivamente.

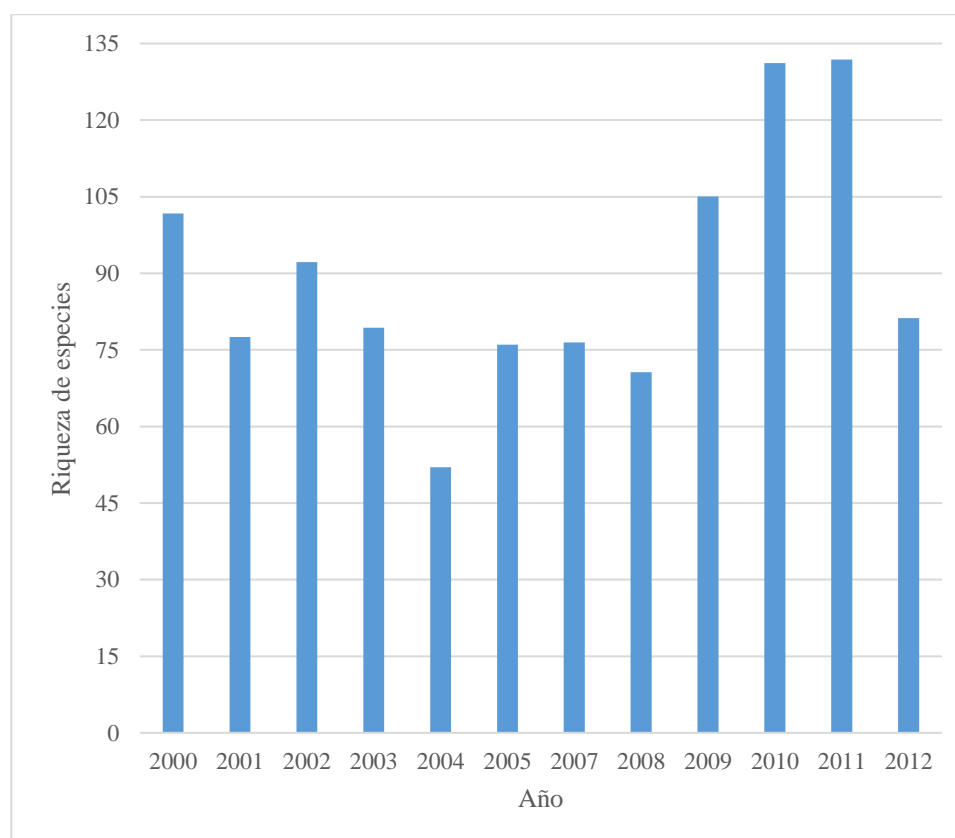
En la ruta de Cayo de Piedra (Fig. 9.a) se observa que durante el año 2012 se registró un mayor número de especies, mientras que los años con menor detección fueron 2001 y 2003. Los años 2002, 2005 y 2007 presentaron una riqueza de especies de 109, 108 y 106. Asimismo, se puede observar que a partir del 2009 la riqueza en el sitio fue aumentando hasta superar el número de especies observadas en el año 2000. Por su parte, la ruta de Tenedores (Fig. 9.b) muestra que los años con menor cantidad de especies detectadas fueron el 2004, con 80 especies, y el 2003 con 104. Por el contrario, los años con mayor riqueza fueron 2011 y 2012, con 120 y 134 especies, respectivamente.

La ruta de Punta de Palma (Fig. 10.a) muestra que los años en los cuales se contó con un mayor número de especies fueron 2009 y 2010, seguidos de los años 2001 y 2002. Por el contrario, el año con la menor riqueza fue el 2012. En la ruta de Santo Tomás (Fig.

10.b) se puede apreciar que los años con mayor riqueza fueron 2009 y 2011, mientras que el año con la riqueza más baja fue el 2007, seguido por el 2012.

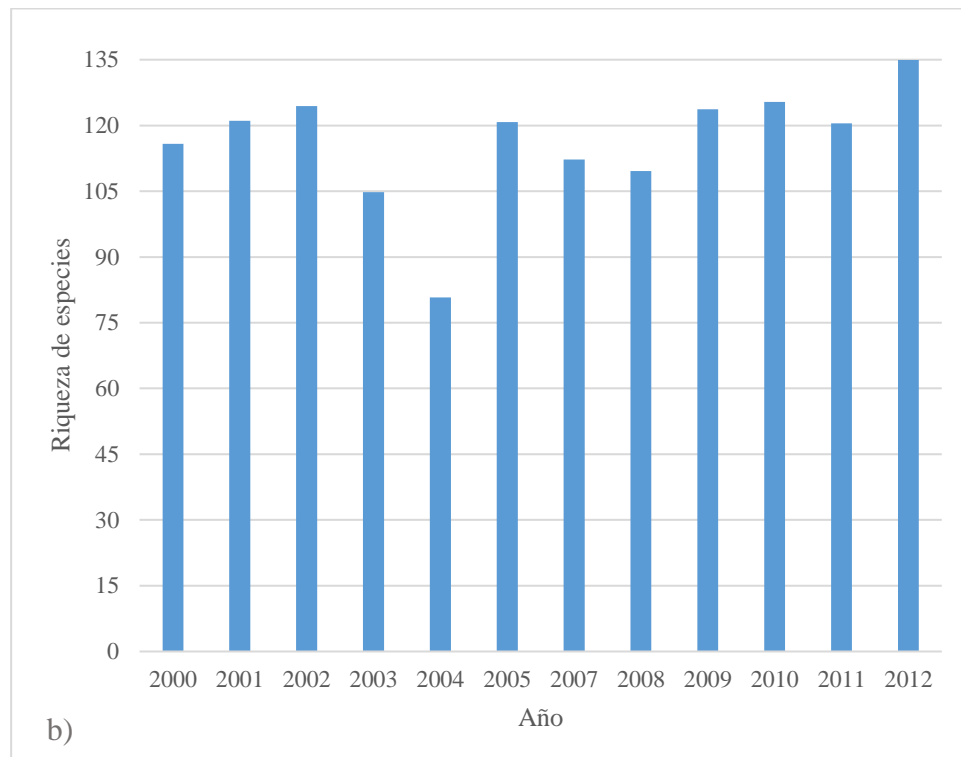
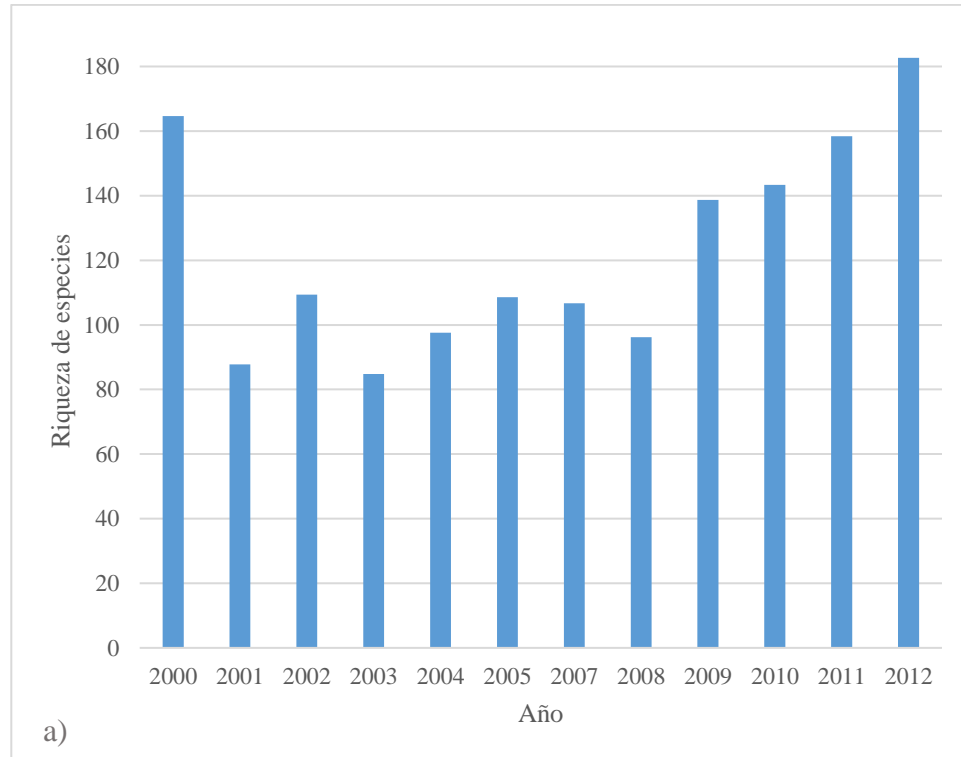
La Figura 11 muestra el número de especies registradas para las rutas de bosque. En Carboneras-Samaria (Fig. 11.a) se puede observar que los años con mayor riqueza de especies fueron 2009 y 2010, mientras que los años con menor riqueza fueron 2003 y 2007. Se observa que la riqueza parece ir en aumento hasta llegar a su máximo en 2009 y 2010, y luego desciende en los años siguientes. La ruta Las Torres (Fig. 11.b) muestra que los años con mayor número de especies detectadas fueron 2010 y 2012. Los años 2000 y 2001 presentaron 123 especies, mientras que los años con menor riqueza fueron 2004 y 2008, con 80 y 79 especies, respectivamente.

**FIGURA 8.** Riqueza de especies, por año, de la ruta con paisajes heterogéneos Buenos Aires.



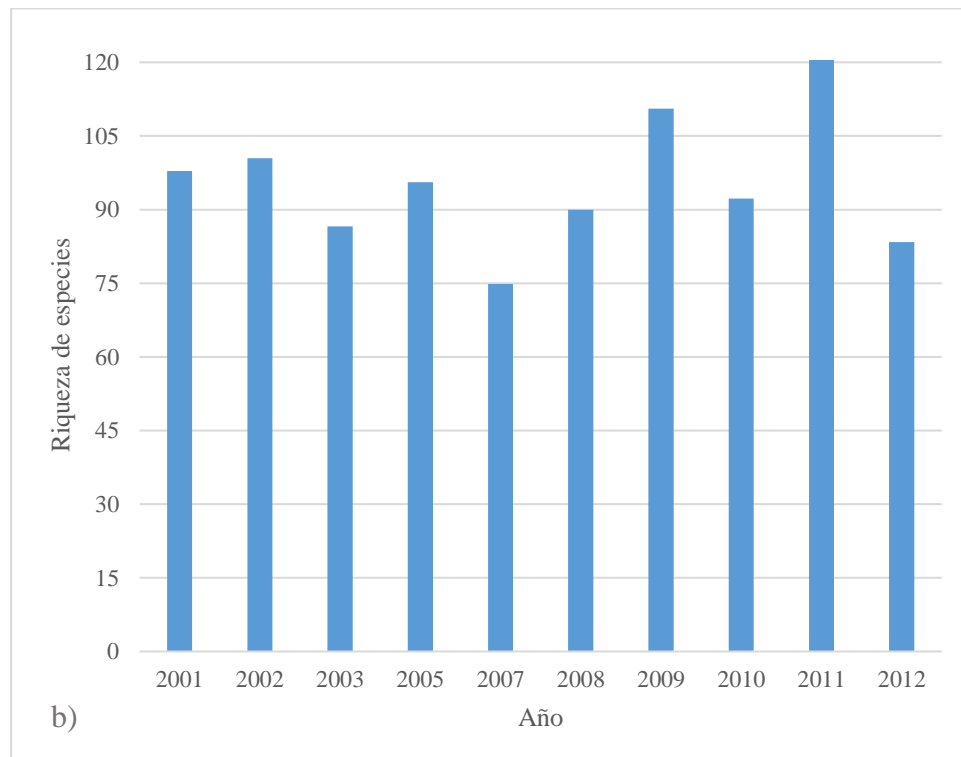
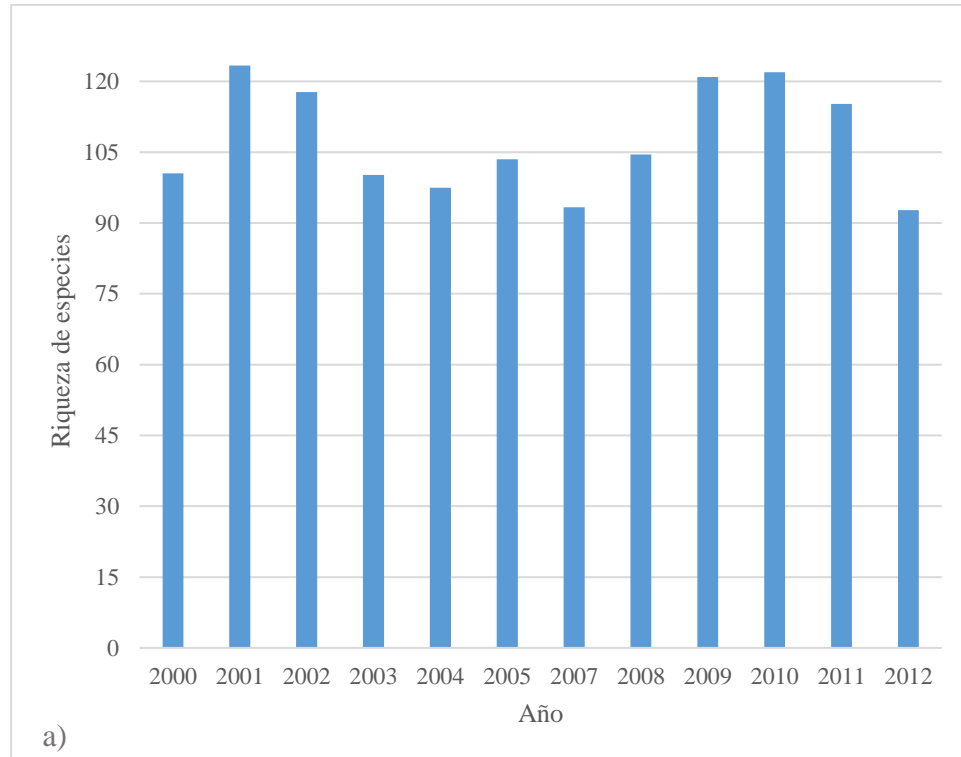
**FIGURA 9.** Riqueza de especies, por año, de las rutas con paisajes heterogéneos.

a) Cayo de piedra; b) Tenedores.



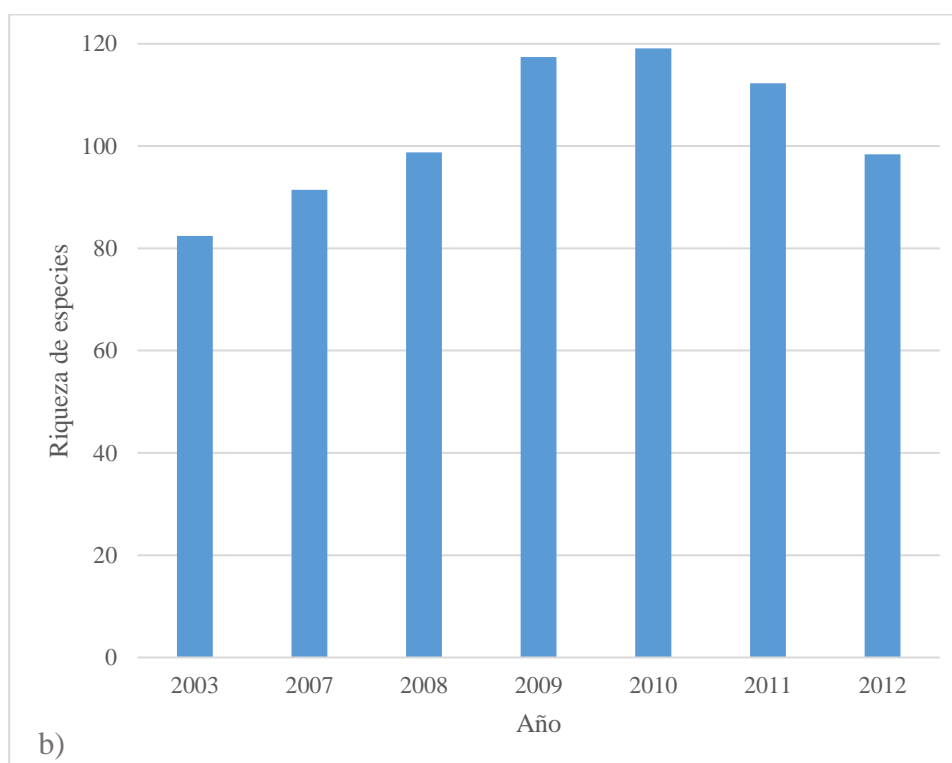
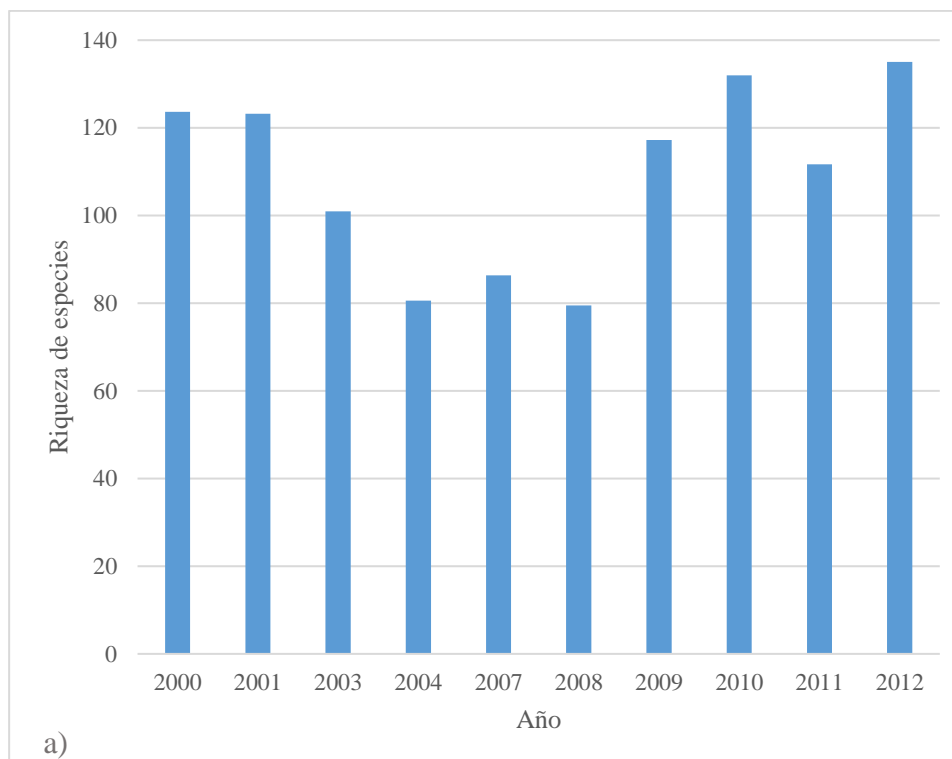
**FIGURA 10.** Riqueza de especies, por año, de las rutas con paisajes heterogéneos.

a) Punta de Palma; b) Santo Tomás.



**FIGURA 11.** Riqueza de especies, por año, de las rutas con bosque continuo.

a) Las Torres; b) Carboneras-Samaria.



## B. Variaciones en la frecuencia de las aves indicadoras y su relación con los cambios en temperatura, precipitación y densidad de vegetación.

De las seis especies de aves indicadoras estudiadas, se observó que en la mitad han habido cambios en sus frecuencias en el tiempo y que estos sí mantienen algún tipo de relación con las variables climáticas y forestales consideradas para este estudio. Las especies que mostraron cambios poblacionales en las rutas de bosque fueron *Patagioenas nigrirostris*, *Eupsittula astec* y *Dendrocincla anabatina*, mientras que las poblaciones de *Crypturellus soui*, *Trogon massena* y *Manacus candei* no parecen haber demostrado un cambio significativo en el tiempo (Cuadro 2).

CUADRO 2. Tendencia poblacional y relación de la frecuencia de las aves indicadoras con los factores ambientales y densidad de vegetación en las rutas de bosque continuo.

Especie	Variable	Relación	Valor p	Tendencia poblacional	Valor p
<i>Crypturellus soui</i>	Año	0.061	0.176	0.064	0.121
	NDVI	-31.495	<b>0.004</b>		
	Precipitación	0.005	0.358		
	Temperatura	0.424	0.395		
<i>Patagioenas nigrirostris</i>	Año	-0.027	<b>0.023</b>	-0.025	<b>0.033</b>
	NDVI	-3.373	0.399		
	Precipitación	0.003	<b>0.088</b>		
	Temperatura	-0.374	<b>0.056</b>		
<i>Trogon massena</i>	Año	-0.012	0.255	-0.011	0.362
	NDVI	-0.892	0.839		
	Precipitación	0.003	0.227		
	Temperatura	-0.319	0.183		
<i>Eupsittula astec</i>	Año	0.064	<b>0.008</b>	0.081	<b>0</b>
	NDVI	6.919	0.314		
	Precipitación	-0.001	0.849		
	Temperatura	-0.537	0.121		
<i>Dendrocincla anabatina</i>	Año	-0.029	<b>0.087</b>	-0.025	<b>0.102</b>
	NDVI	-4.173	0.381		
	Precipitación	0.005	<b>0.072</b>		
	Temperatura	-0.363	0.218		
<i>Manacus candei</i>	Año	0.018	0.476	0.017	0.591
	NDVI	-11.691	<b>0.068</b>		
	Precipitación	0.01	<b>0.029</b>		
	Temperatura	-1.778	<b>0.068</b>		

Las poblaciones de *P. nigrirostris* y *D. anabatina* en las áreas de bosque no perturbado mostraron tendencia a disminuir, mientras que en la población de *E. astec* se percibe un incremento. Esto indica que *E. astec*, una especie predominante de borde, está incrementando su presencia en el área de bosque. Esta especie no mostró relación alguna con las variables ambientales estudiadas en ninguna de las rutas, contrario a la paloma de pico negro cuya población mantiene una relación inversa con la temperatura del entorno y una relación positiva con la cantidad de lluvia. La población de *D. anabatina*, al igual que la de *P. nigrirostris*, se ve favorecida por las precipitaciones (Cuadros 3 y 4).

CUADRO 3. Tendencia poblacional y relación de la frecuencia de las aves indicadoras con los factores ambientales y densidad de vegetación en las rutas con paisajes heterogéneos.

Especie	Variable	Relación	Valor p	Tendencia poblacional	Valor p
<i>Crypturellus soui</i>	Año	-0.018	0.355	-0.024	0.187
	NDVI	-5.64	<b>0.009</b>		
	Precipitación	0.003	<b>0.081</b>		
	Temperatura	-0.025	0.897		
<i>Patagioenas nigrirostris</i>	Año	-0.015	0.441	-0.021	0.224
	NDVI	0.559	0.787		
	Precipitación	0.002	0.106		
	Temperatura	-0.241	<b>0.085</b>		
<i>Trogon massena</i>	Año	-0.009	0.52	-0.004	0.778
	NDVI	2.534	0.281		
	Precipitación	0	0.79		
	Temperatura	-0.248	<b>0.099</b>		
<i>Eupsittula astec</i>	Año	0.012	0.411	0.011	0.386
	NDVI	1.773	0.338		
	Precipitación	0.001	0.422		
	Temperatura	-0.043	0.741		
<i>Dendrocincla anabatina</i>	Año	-0.017	0.511	-0.023	0.323
	NDVI	-1.178	0.679		
	Precipitación	0.004	<b>0.033</b>		
	Temperatura	-0.34	<b>0.058</b>		
<i>Manacus candei</i>	Año	-0.006	0.62	-0.003	0.8
	NDVI	-1.519	0.308		
	Precipitación	0	0.768		
	Temperatura	-0.164	0.198		

Si bien *D. anabatina* demostró un descenso en su población en el área de bosque, cabe resaltar que la población en los paisajes heterogéneos se mantuvo estable. Esto mismo

se observó en las demás especies cuya presencia no depende de la calidad de hábitat. Estas especies, a excepción de *T. massena*, no mostraron cambios en sus poblaciones; sin embargo, sí se observó algún tipo de relación con las variables ambientales (Cuadros 2 y 3).

Se observó que *C. soui* mantiene una relación inversa con el NDVI, indicando que su población podría disminuir al incrementarse la densidad forestal. La población del trogón grande, por su parte, podría reducirse al aumentar la temperatura de manera significativa para esta especie. El saltarín collarejo podría incrementar su población en áreas con menos densidad boscosa, y disminuir con temperaturas altas (Cuadros 2 y 4).

CUADRO 4. Tendencia poblacional y relación de la frecuencia de las aves indicadoras con los factores ambientales y densidad de vegetación en todos los gradientes de perturbación de hábitat.

Especie	Variable	Relación	Valor p	Tendencia poblacional	Valor p
<i>Crypturellus soui</i>	Año	-0.018	0.355	-0.024	0.187
	NDVI	-5.64	<b>0.009</b>		
	Precipitación	0.003	<b>0.081</b>		
	Temperatura	-0.025	0.897		
<i>Patagioenas nigrirostris</i>	Año	-0.015	0.441	-0.021	0.224
	NDVI	0.559	0.787		
	Precipitación	0.002	0.106		
	Temperatura	-0.241	<b>0.085</b>		
<i>Trogon massena</i>	Año	-0.009	0.52	-0.004	0.778
	NDVI	2.534	0.281		
	Precipitación	0	0.79		
	Temperatura	-0.248	<b>0.099</b>		
<i>Eupsittula astec</i>	Año	0.012	0.411	0.011	0.386
	NDVI	1.773	0.338		
	Precipitación	0.001	0.422		
	Temperatura	-0.043	0.741		
<i>Dendrocincla anabatina</i>	Año	-0.017	0.511	-0.023	0.323
	NDVI	-1.178	0.679		
	Precipitación	0.004	<b>0.033</b>		
	Temperatura	-0.34	<b>0.058</b>		
<i>Manacus candei</i>	Año	-0.006	0.62	-0.003	0.8
	NDVI	-1.519	0.308		
	Precipitación	0	0.768		
	Temperatura	-0.164	0.198		

## IV. DISCUSIÓN

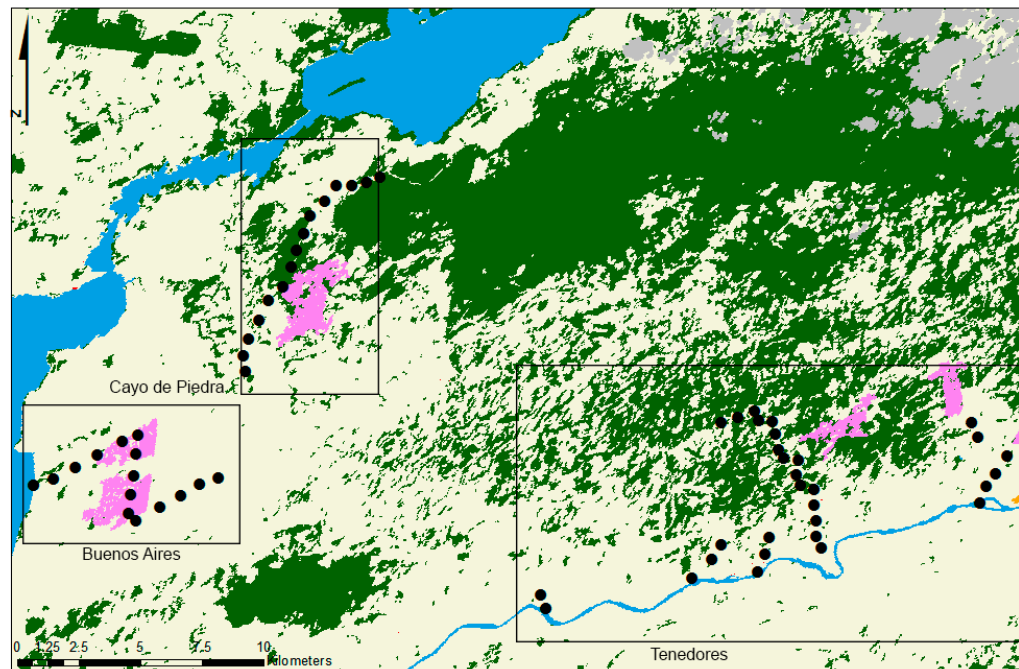
### A. Cambios en la riqueza de aves registradas en Cerro San Gil desde el año 2000 al 2012.

En los sitios estudiados se observó que la riqueza en todas las rutas fue variable a través de los años. Las rutas de bosque demostraron un incremento en la riqueza en los años más recientes, mientras que en las rutas con paisajes heterogéneos este patrón solo se observó en Buenos Aires, Tenedores y Cayo de Piedra (Figs. 8 y 9). Esto podría deberse a que los técnicos encargados de realizar los conteos, han tomado mayor experiencia a través de los años y por lo tanto son capaces de detectar y reconocer a una mayor cantidad de aves.

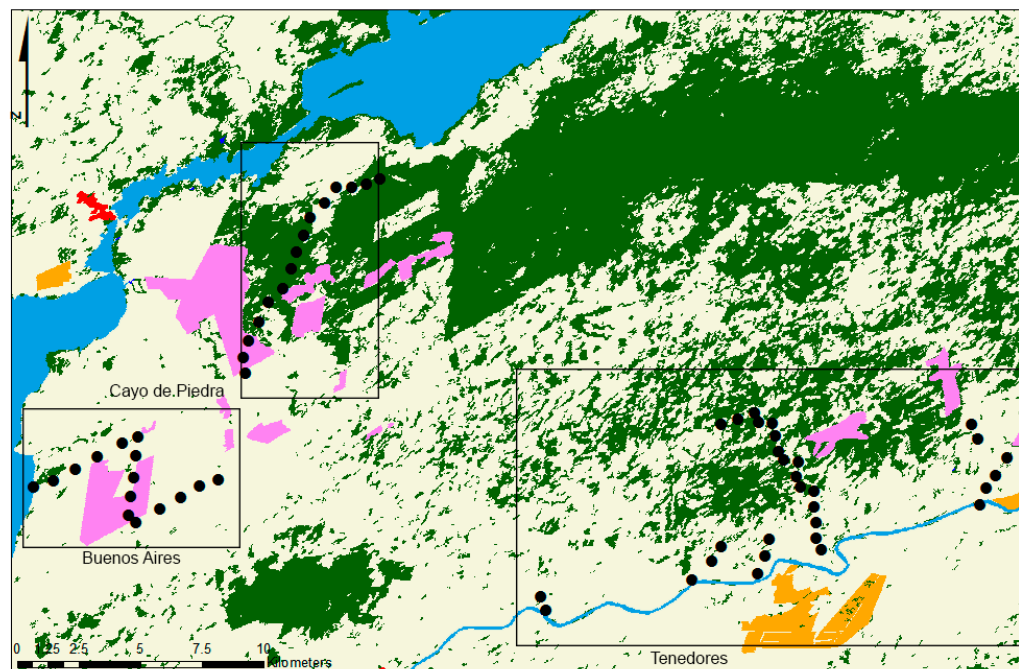
Por otra parte, la diferencia de la riqueza en las rutas de paisajes heterogéneos podría deberse al manejo de los suelos, pues se ha demostrado que la pérdida de diversidad de usos de suelo está asociada con el incremento en las tasas de extinción de algunas especies (Chamberlain y Fuller 1999). Por lo tanto, es probable que la baja riqueza de especies en algunos años esté relacionada con la implementación de monocultivos o la eliminación de la agrobiodiversidad en cultivos mixtos.

Los cambios en el uso del suelo han sido más evidentes en las rutas de Cayo de Piedra, Buenos Aires y Tenedores, los cuales a su vez coinciden con una mayor variabilidad de la riqueza a través de los años (Fig. 10). El incremento en la riqueza en las áreas de bosque fue evidente en los años más recientes, lo cual podría deberse a un incremento en la heterogeneidad de hábitat en estas rutas (Fig. 10) (Guégan *et al.* 1998; Hansson *et al.* 1995). Esto puede confirmarse con el tendencia poblacional positiva de *E. astec* en las rutas de bosque, pues esta especie es indicadora de borde y su población parece estar aumentando en el bosque.

**FIGURA 12.** Cambio en el uso del suelo de la Reserva Protectora de Manantiales en tres rutas de paisajes heterogéneos en 2001 y 2010.



**Uso de suelo de la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil y sus alrededores en 2001**



**Uso de suelo de la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil y sus alrededores en 2010**

Fuente: GIMBUT 2014  
Edición: Andrea Martínez



## **B. Variaciones en la frecuencia de las aves indicadoras y su relación con los cambios en temperatura, precipitación y densidad de vegetación.**

De las seis especies estudiadas se observaron cambios poblacionales significativos en tres especies y algún tipo de relación con las variables ambientales propuestas (Cuadros 2 y 3). Estas relaciones fueron estadísticamente significativas e indicaron que la población que presenta mayor riesgo es *P. nigrirostris*, seguida por *D. anabatina* (Cuadro 2).

La vulnerabilidad que padece *P. nigrirostris* es elevada, ya que su población está disminuyendo y muestra fuertes relaciones con el cambio climático. En esta paloma se observó una relación positiva con la precipitación y una negativa con la temperatura, por lo que la población puede verse perjudicada considerando que en el futuro se prevén el descenso en la cantidad de lluvia y el incremento en la temperatura (Oglesby y Rowe sf.). Asimismo, dado que la paloma de pico negro está adaptada únicamente al bosque, sus probabilidades de sobrevivencia disminuyen aún más, pues no es capaz de colonizar otros ambientes ante algún cambio en su ambiente.

Al igual que *P. nigrirostris*, la población de *D. anabatina* parece estar disminuyendo en el área del bosque y estos cambios son perceptibles a través de los años. Sin embargo, el descenso poblacional del trepatroncos presenta un valor de significancia con menor fuerza que la paloma de pico negro ( $p < 0.1$ ). Una observación similar se hizo respecto a la relación de esta ave con la precipitación, lo cual indica un posible descenso poblacional al disminuir las lluvias en el futuro.

Si se compara el riesgo de extinción del trepatroncos alirrubio con el de la paloma de pico negro, se puede observar que el primero posee un riesgo menor, ya que sus relaciones con los factores climáticos no presentan la misma fuerza estadística que la paloma. Sin embargo, esto no descarta la vulnerabilidad del trepatroncos frente al cambio climático y la degradación del bosque, ya que esta ave también necesita de las lluvias y requiere de ambientes no perturbados para su sobrevivencia.

Las aves generalistas, como *E. astec*, poseen una menor dependencia a la calidad del hábitat y están adaptadas a condiciones ambientales variables, por lo que el efecto de los cambios en su entorno es mínimo (Gascon *et al* 1999; Ricketts 2001). En el caso del perico pechisucio, el aumento significativo de su población en las áreas de bosque podría indicar un incremento en el efecto de borde de estas rutas. Sin embargo, también es posible que este crecimiento poblacional se deba a la regeneración del bosque que está ocurriendo en algunas áreas de la Reserva (Figura 12), lo cual podría facilitar que el perico ingrese al bosque.

*C. soui*, *T. massena* y *M. candei* no mostraron cambios poblacionales significativos; sin embargo, en las primeras dos especies sí se observó una relación significativa ( $p < 0.1$ ) con la densidad forestal y precipitación, respectivamente. Considerando que en las próximas décadas se espera que la temperatura en Guatemala incremente entre 1 y 3°C, y que se reduzca significativamente la precipitación en las zonas altas y medias del país (Oglesby y Rowe *sf.*), es probable que eventualmente estas especies se vean afectadas negativamente y comiencen a reducir sus poblaciones.

El saltarín de collar, por su parte, no parece responde a ninguna variable y su población no muestra ningún cambio en el tiempo, lo cual sugiere que esta especie no estará en riesgo a corto plazo. No obstante, también es probable que esta ave responda a otras variables que no fueron consideradas en este estudio y que puedan afectar a las poblaciones en el futuro.

Los cambios poblacionales observados para *D. anabatina*, *T. massena*, *E. astec*, *M. candei* y *C. soui* y su relación con las variables ambientales y de cobertura no demuestran una amenaza inmediata, probablemente porque las aves de borde y generalistas se encuentran bien adaptadas a los cambios en sus entornos y el trabajo de FUNDAECO por conservar la RPMCSG ha sido efectivo para proteger a las especies del interior. Sin embargo, es muy probable que el cambio climático y la degradación del suelo en las cercanías de la reserva afecten negativamente a algunas de las poblaciones de aves en esta región y amenace con su eliminación definitiva.

En el caso de *P. nigrirostris*, su desaparición en el bosque podría suceder en una escala de tiempo menor que las otras aves, considerando su fuerte relación con las variables climáticas. Sin embargo, debido a que la correlación no implica causalidad (Aldrich 1995), también es probable que los cambios poblacionales observados, especialmente en *P. nigrirostris*, no se deban necesariamente a las variables utilizadas. De cualquier manera, esta investigación ofrece indicios de cambios poblacionales y futuras amenazas que podrían comprometer la supervivencia y resiliencia no solo de las especies ya mencionadas, sino de otras que no fueron incluidas en este estudio.

## V. CONCLUSIONES

- Se evidenció la existencia de cambios poblacionales en la comunidad de aves de la RPMCSG y zonas adyacentes.
- Se confirmaron cambios en la riqueza de especies tanto en las rutas con paisajes heterogéneos como en las rutas de bosque, presentando estas últimas un incremento en el número de especies entre los años 2010 a 2012.
- Se confirmaron cambios poblacionales en tres especies indicadoras, de las cuales *P. nigrorostris* y *D. anabatina*, mostraron tendencias poblacionales negativas. El perico de pecho sucio (*E. astec*), por el contrario, parece estar incrementando sus poblaciones dentro de las rutas del bosque.
- Se confirmó cierta relación entre las especies indicadoras y la temperatura, precipitación y/o cobertura forestal.
- No se puede afirmar que los factores climáticos y de suelo han afectado de alguna forma a las especies utilizadas para este estudio; sin embargo, dada las relaciones observadas, es probable que, en el futuro, el cambio climático, la expansión de la frontera agrícola y la deforestación afecten significativamente a la comunidad de aves de la RPMCSG y sus cercanías.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Con el propósito de velar por el bienestar de la RPMCSG y de la comunidad de aves que habita dentro de esta se recomienda monitorear y prevenir las causas de la degradación del bosque, a manera de controlar el posible efecto de borde. Asimismo, se recomienda continuar con los monitoreos de aves, tanto a través de puntos de conteo como de anillamientos.

Considerando que para este estudio se realizó un exhaustivo ordenamiento de las bases de datos de todos los conteos realizados, se recomienda aprovechar esta facilidad para estudiar otras especies indicadoras que fueron excluidas, especialmente de las residentes. Asimismo, es importante que en futuros estudios se incluya toda la información recolectada desde el 2013 hasta el presente.

Finalmente, se recomienda replicar este estudio utilizando grupos de especies según su hábito alimenticio y tomar en cuenta la habilidad de los técnicos de campo en el análisis estadístico para evitar más fuentes de sesgo.

## VII. LITERATURA CITADA

- Aldrich, J. 1995. *Correlations Genuine and Spurious in Pearson and Yule*. Statistical Science 4:364-376.
- Beever, E., C. Ray, J. Wilkening, P. Brusard y P. Mote. 2011. *Contemporary climate change alters the pace and drivers of extinction*. Global Change Biology 17:2054–2070.
- Boegh, E., H. Broge, C. Hasager, B. Jensen y K. Schelde. 2002. *Airborne multispectral data for quantifying leaf area index, nitrogen concentration, and photosynthetic efficiency in agriculture*. Remote Sensing of Environment 81:179–193.
- Both, C. y M. Visser. 2001. *Adjustment to climate change is constrained by arrival date in a long-distance migrant bird*. Nature 411:296–298.
- Bucklin, J. 1990. *Estudio Técnico del Área de Protección Especial Cerro San Gil*. Guatemala. 181 Pp.
- Carrera, J. y J. Carrera. 2011. *Dinámicas en el mercado de la tierra y procesos de concentración del uso de la tierra en América Latina*. Guatemala.
- Cerezo, A., S. Perelman y C. Robbins. 2010. *Landscape-level impact of tropical forest loss and fragmentation on bird occurrence in eastern Guatemala*. Ecological Modelling 221:512–526.
- Cerezo, A. y M. Ramírez. Sin fecha. *Evaluación de la avifauna del área protectora de manantiales Cerro San Gil*. Guatemala. FUNDAECO, Guatemala. 24 Pp.
- Cerezo, A., M. Ramírez y H. Enríquez. 2005. *Aves de Cerro San Gil: Listado de campo*. Guatemala. 52Pp.
- Cerezo, A., C. Robbins y B. Dowell. 2009. *Uso de hábitats modificados por aves dependientes de bosque tropical en la región caribeña de Guatemala*. Revista de Biología Tropical 57:401–419.
- Cerezo, A., S. Perelman y C. Robbins. 2011. *The effects of landscape-scale habitat modification on tropical bird community structure in eastern Guatemala*. Advances in Environmental Research. 14: 123-152.

Cerezo, A., M. Ramírez, A. López y O. Javier. 2014. *The Resident and Migratory Bird Monitoring Program of the Caribbean region of Guatemala*. Fundación para el Ecodesarrollo y la Conservación (FUNDAECO). Guatemala. 23 Pp.

Cerezo, A. 2015. Transacción personal.

Chamberlain, D. y R. Fuller. 1999. *Local extinctions and changes in species richness of lowland farmland birds in England and Wales in relation to recent changes in agricultural land-use*. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 78:1-17.

Chen, I., H. Shiu, S. Benedick, J. Holloway, V. Khen, H. Barlow, J. Hill y C. Thomas. 2009. *Elevation increases in moth assemblages over 42 years on a tropical mountain*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106:1479–1483.

Consejo Nacional de Áreas Protegidas. 2010. *Agenda de Cambio Climático para las Áreas Protegidas y la Diversidad Biológica de Guatemala*. Documento Técnico No. 83, Guatemala. 71 Pp.

Convention on Biological Diversity. 2007. *Biodiversity and Climate Change*. Secretarial of the Convention on Biological Diversity.

Crick, H., S. Baillie y D. Leech. 2003. *A review of its methodology, analytical procedures and uses*. *Bird Study* 50:254–270.

Crick, H., C. Dudley, D. Glue y D. Thomson. 1997. *UK birds are laying eggs earlier*. *Nature* 388:526.

Crick, H., D. Gibbons y R. Magrath. 1993. *Seasonal variation in clutch size in British Birds*. *Journal of Animal Ecology* 62:263–273.

Díaz, M. y G. Pérez. 2005. *Identificación y priorización de corredores forestales en Guatemala. Estudio piloto en la Región Nororiental: Las Verapaces, Izabal, Zacapa y El Progreso*. Guatemala. 62 Pp.

Didan, K., A. Barreto, R. Solano y A. Huete. 2015. *Modis Vegetation Index Users's Guide (MOD13 Series)*. Vegetation Index and Phenology Lab, The University of Arizona, Arizona. 35 Pp.

Dymond, J. y J. Shepherd. 1999. *Correction of the topographic effect in remote sensing*. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on* .

Easterling, D., G. Meehl, C. Parmensan, S. Changnon, T. Karl y L. Mearns. 2000. *Climate extremes: observations, modeling and impacts*. *Science* 289:2068–2070.

Epstein P. *et al.* 1998. *Biological and physical signs of climate change: focus on mosquito borne diseases*. Bulletin of the American Meteorological Society 79:405–417.

Estrada, A., R. Coates-Estrada y D. Meritt. 1997. *Anthropogenic landscape changes and avian diversity at Los Tuxtlas, Mexico*. Biodiversity & Conservation 6:19–43.

Foster, P. 2001. *The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests*. Earth-Science Reviews 55(2001): 73-106.

Fundación para el Ecodesarrollo y Conservación. 2005. *Plan Maestro 2004-2008 de la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil*. Izabal, Guatemala.

Gascon, C., T. Lovejoy, R. Bierregaard, J. Malcom, P. Stouffer, H. Vasconcelos, W. Laurance, B. Zimmerman, M. Tocher y S. Borges. 1999. *Matrix habitat and species richness in tropical forest remnants*. Biological Conservation 91:223–229.

Gilyazov, A. y T. Sparks. 2002. *Change in the timing of migration of common birds at the Lapland nature reserve (Kola Peninsula, Russia) during 1931-1999*. Avian Ecology and Behaviour 8:35-47.

Griffith, B. 2002. *The porcupine caribou herd*. pp. 8-37. En: Griffith, B., D. Douglas, N. Walsh, D. Young, T. McCabe, D. Russell, R. White, R. Cameron y K. Witten. (eds). Biological Science Report. US Geological Survey.

Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la tierra. 2014. *Mapa de bosques y uso de la tierra 2012 y Mapa de cambios en uso de la tierra 2001-2010 para estimación de emisiones de gases de efecto invernadero*. Guatemala. 16 Pp.

Guégan, J.; S. Lek y T. Oberdorff. 1998. *Energy availability and habitat heterogeneity predict global riverine fish diversity*. Nature 391:382-384.

Hansson, L.; L. Fahrig y G. Merriam. 1995. *Mosaic Landscapes and Ecological Processes*. Champan & Hall. Springer Netherlands. 356pp.

Harris, G. y S. Pimm. 2004. *Bird species' tolerance of secondary forest habitats and its effects on extinction*. Conservation Biology 18:1607–1616.

Hoegh-Guldberg, O. 1999. *Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs*. Marine and Freshwater Research 50:839–866.

Hoffman, A. y P. Parsons. 1997. *Extreme Environmental Change and Evolution*. Cambridge University Press, Cambridge. 272 Pp.

Holben, B. y C. Justice. 1981. *An examination of spectral band ratioing to reduce the topographic effect on remotely sensed data*. International Journal of Remote Sensing 2:115–133.

Holdridge, L. 1967. *Life zone ecology*. Tropical Science Center. San José, Costa Rica. 206 Pp.

Holm, A., S. Cridland y M. Roderick. 2003. *The use of time-integrated NOAA NDVI data and rainfall to assess landscape degradation in the arid shrubland of Western Australia*. Remote Sensing of Environment 85:145–158.

Huete, A., K. Didan, Y. Shimabukuro, P. Ratana, S. Saleska, L. Hutya, W. Yang, R. Nemani y R. Myneni. 2006. *Amazon rainforests green-up with sunlight in dry season*. Geophysical Research Letters 33:L06405.

Hugues, L. 2000. *Biological consequences of global warming: is the signal already apparent?* Trends of Ecological Evolution 15:56–61.

Hurtado, L. 2008. *Las plantaciones para agrocomestibles y la pérdida de tierras para la producción de alimentos en Guatemala*. Guatemala.

Instituto de Ciencias Ambientales y Agrícolas (IARNA) - Universidad Rafael Landívar (URL). 2006. *Estado del uso de la tierra y ordenamiento territorial en Guatemala*. Guatemala. 39 Pp.

Instituto de Ciencias Ambientales y Agrícolas (IARNA) - Universidad Rafael Landívar (URL). 2012. *Perfil Ambiental de Guatemala 2010-2012: Vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo*. Guatemala. 468 Pp.

Instituto Nacional de Bosques (INAB). 2006. *Boletín de estadística forestal 2005*. Guatemala.

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. 2015a. *Estación Puerto Barrios: Datos de temperatura promedio en grados centígrados*. En: <[http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/ESTACIONES/IZABAL/PuertoBarrios/temp.media\\_PUERTO\\_BARRIOS.htm](http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/ESTACIONES/IZABAL/PuertoBarrios/temp.media_PUERTO_BARRIOS.htm)> [con acceso el 02-10-2015].

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. 2015b. *Estación Puerto Barrios: Acumulados mensuales y anuales de precipitación en milímetros*. En: <<http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/ESTACIONES/IZABAL/Puerto%20Barrios/lluvia%20en%20mm.%20%20PUERTO%20BARRIOS.htm>> [con acceso el 02-10-2015]

IPCC. 2001. *Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.

- Janzen, D. 1988. *Tropical dry forests: the most endangered major tropical*. pp. 130-137. En: Wilson, E. (ed.). *Biodiversity*. National Academy of Sciences Press, Washington, D.C.
- Jiang, Z., A. Huete, K. Didan y T. Miura. 2008. *Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band*. *Remote Sensing of Environment* 112:3833–3845.
- Jullien, M. y M. Thiollay. 1996. *Effects of rain forest disturbance and fragmentation: comparative changes of the raptor community along natural and human-made gradients in French Guiana*. *Journal of Biogeography* 23:7–25.
- Malhi, Y. y J. Wright. 2004. *Spatial patterns and recent trends in the climate of tropical rainforest regions*. *Biological Sciences* 359:311–329.
- Matsushita, B., W. Yang, J. Chen, Y. Onda y G. Qiu. 2007. *Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Topographic Effects: A Case Study in High-density Cypress Forest*. *Sensors* 7:2636–2651.
- McCarthy, J. 2001. *Ecological consequences of recent climate change*. *Conservation Biology* 15:320–331.
- Meyer, P., K. Itten, T. Kellenberger, S. Sandmeier y R. Sandmeier. 1993. *Radiometric corrections of topographically induced effects on Landsat TM data in an alpine environment*. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 48:17–28.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) - Dirección de Información Geográfica, Estratégica y Gestión de Riesgos (DIGEGR). 2015. *Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra, a escala 1:50,000 de la República de Guatemala Año 2,010*. Guatemala. 219 Pp.
- Morales, P., J. López, A. Nájera y D. Ariano. Sin fecha. *Distribución altitudinal de reptiles a 100-400, 500-800 y 900-1200 msnm en las laderas Este y Oeste de Cerro San Gil, Izabal, Guatemala*. Guatemala. 16 Pp.
- Myneni, R. y F. Hall. 1995. *The interpretation of spectral vegetation indexes*. *Geoscience and Remote Sensing*. IEEE Transactions 33:481–486.
- Myneni, R., C. Keeling, C. Tucker, G. Asrar y R. Nemani. 1997. *Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991*. *Nature* 386:698–702.
- Newton, I. 1998. *Habitat and Density Regulation*. En: Newton, I. (ed.). *Population limits in birds*. Pergamon Oxford Geographies, Oxford, London. Pp. 45–73.

- Oglesby, R. y C. Rowe. Sin fecha. *Informe Final Impactos Climáticos para Guatemala: Resultados preliminares de los modelos climáticos regionales y globales IPCC AR5*. University of Nebraska. 40pp.
- ORNL DAAC. 2008. *MODIS Collection 5 Land Products Global Subsetting and Visualization Tool*. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA. En: <  
[http://daac.ornl.gov/cgi-bin/dsvviewer.pl?ds\\_id=1241](http://daac.ornl.gov/cgi-bin/dsvviewer.pl?ds_id=1241)> [Con acceso el 21/01/2016].
- Parmesan, C. 2006. *Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change*. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics 37:637–669.
- Pounds, J., M. Fogden y J. Campbell. 1999. *Biological response to climate change on a tropical mountain*. Nature 398:611–615.
- RECOSMO. 2005. *Crecimiento de una red ambientalista regional en Guatemala*. Guatemala. 210 Pp.
- Reed, B., J. Brown, D. VanderZee, T. Loveland, J. Merchant y D. Ohlen. 1994. *Measuring phenological variability from satellite imagery*. Journal of vegetation science 5:703–714.
- Regalado, O., X. Villagrán, G. Pérez y E. Castellanos. 2012. *Mapa de Cobertura Forestal de Guatemala 2010 y Dinámica de la Cobertura Forestal 2006-2010*. Guatemala. 112 Pp.
- Ricketts, T. 2001. *The matrix matters: effective isolation in fragmented landscapes*. American Naturalist 158:87-99.
- Robinson, W., J. Brawn y S. Robinson. 2000. *Forest bird community structure in Central Panama: Influence of spatial scale and biogeography*. Ecological Monographs 70:209–235.
- Rosales, O. 1996. *Propuesta de manejo de las tierras de uso agrícola en la zona de uso múltiple del área de protección especial del Cerro San Gil, Departamento de Izabal*. Trabajo de Graduación de Ingeniería, Facultad de Agronomía. Universidad de San Carlos de Guatemala. 97 Pp.
- Saleska, S., K. Didan, A. Huete y H. da Rocha. 2007. *Amazon Forests Green-Up During 2005 Drought*. Science 318:612.
- Smith, J., T. Lin y K. Ranson. 1980. *The Lambertian assumption and Landsat data*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 46:1183–1189.
- Sokolov, L., M. Markovets, A. Shapoval y Y. Morozov. 1998. *Long-term trends in the timing of spring migration of passerines on the Courish Spit of the Baltic Sea*. Avian Ecology and Behaviour 1:1–21.

Sparks, T. y C. Mason. 2001. *Dates of arrivals and departures of spring migrants taken from Essex Bird Reports 1950–1998*. Essex Bird Report 1999:154–164.

Stouffer, P. y O. Bierregaard. 1995. *Use of Amazonian Forest Fragments by Understory Insectivorous Birds*. Ecology 76:2429–2445.

Stutchbury, B. y E. Morton. 2008. *Recent advances in the behavioral ecology of tropical birds*. The Wilson Journal of Ornithology. 120: 26-37.

Terborgh, J., S. Robinson, A. Munn y N. Pierpont. 1990. *Structure and Organization of an Amazonian Forest Bird Community*. Ecological Monographs 60:213–238.

Thiam, A. 2003. *The causes and spatial pattern of land degradation risk in southern Mauritania using multitemporal AVHRR-NDVI imagery and field data*. Land Degradation & Development 14:133–142.

Trotter, C. 1998. *Characterising the topographic effect at red wavelengths using juvenile conifer canopies*. International Journal of Remote Sensing 19:2215–2221.

Tucker, C., J. Pinzón, M. Brown, D. Slayback, E. Pak, R. Mahoney, E. Vermote y N. Saleous. 2005. *An extended AVHRR 8-km NDVI dataset compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data*. International Journal of Remote Sensing 26:4485–4498.

Turner, I. 1996. *Species Loss in Fragments of Tropical Rain Forest: A Review of the Evidence*. Journal of Applied Ecology 33:200–209.

Universidad del Valle de Guatemala (UVG) - Instituto Nacional de Bosques (INAB) - Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) - Universidad Rafael Landívar (URL). 2011. *Mapa de cobertura forestal de Guatemala 2006 y dinámica de la cobertura forestal 2001-2006*. Guatemala. 97 Pp.

USAID Central America. Sin fecha. *Propuesta de esquemas de pago por servicios ambientales en la cuenca baja del Río Las Escobas, Zona recreativa del área protegida: Una estrategia para la sostenibilidad financiera del Área Protegida de Cerro San Gil*. Guatemala.

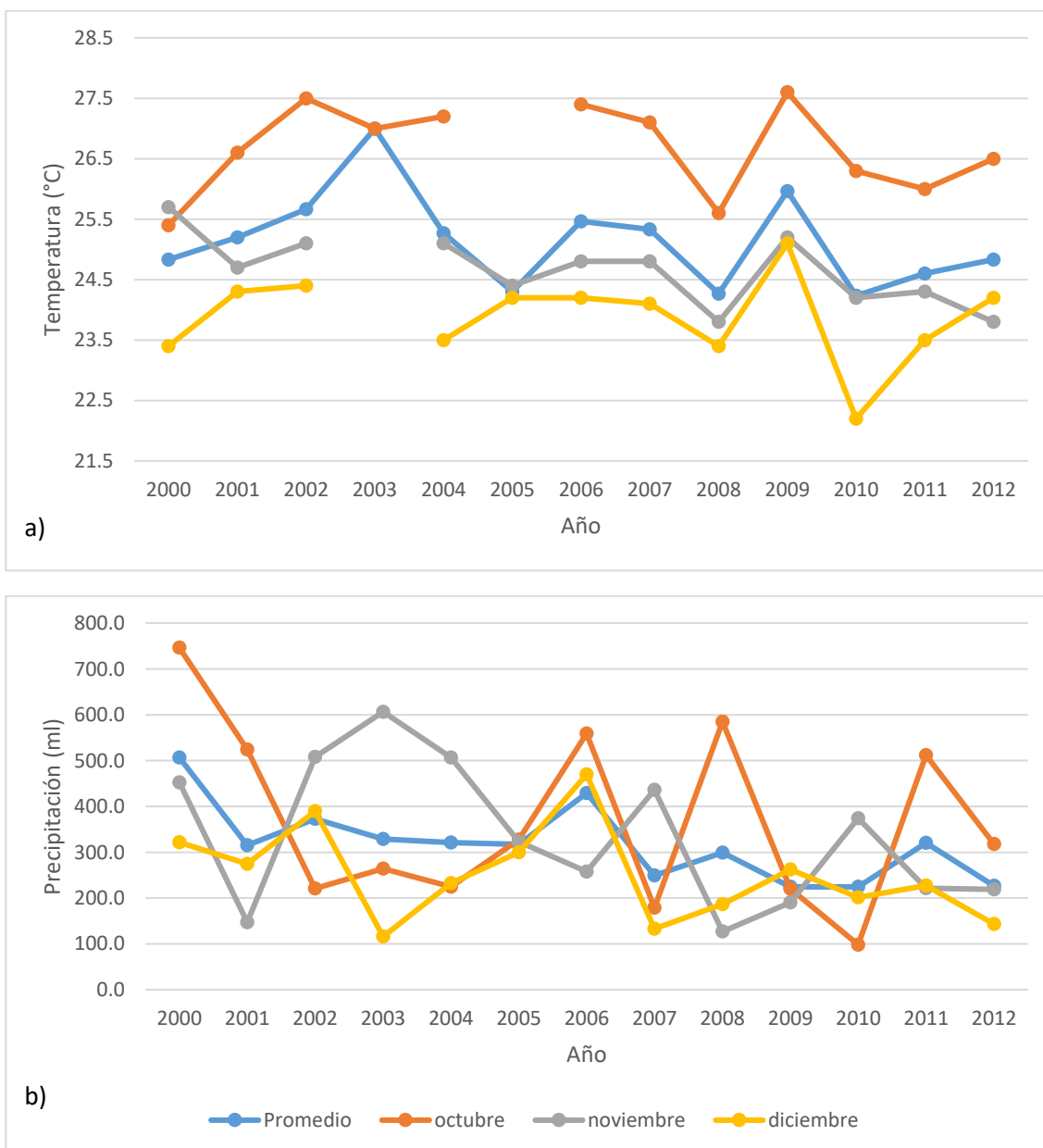
US. Geological Survey. 2015. *NDVI, the Foundation for Remote Sensing Phenology*. En: < [http://phenology.cr.usgs.gov/ndvi\\_foundation.php](http://phenology.cr.usgs.gov/ndvi_foundation.php)>. Con acceso el 23/01/2016.

Vandermeer, J. y I. Perfecto. 1997. *The Agroecosystem: A Need for the Conservation Biologist's Lens*. Conservation Biology 11:591–592.

- Viña, A., A. Gitelson, A. Nguy-Robertson y Y. Peng. 2011. *Comparison of different vegetation indices for the remote assessment of green leaf area index of crops*. Remote Sensing of Environment 115:3468–3478.
- Visser, M. y L. Holleman. 2001. *Warmer springs disrupt the synchrony of oak and winter moth phenology*. Biological Sciences 268:289–294.
- Visser, M., A. Van Noordwijk, J. Tinbergen y C. Lessells. 1998. *Warmer springs lead to mistimed reproduction in great tits (Parus major)*. Biological Sciences 265:1867–1870.
- Vourlitis, G., J. Verfaillie, W. Oechel, A. Hope, D. Stow y R. Engstrom. 2003. *Spatial variation in regional CO<sub>2</sub> exchange for the Kuparuk River Basin, Alaska over the summer growing season*. Global Change Biology 9:930–941.
- Walther, G., C. Burga y P. Edwards. 2001. *Fingerprints of Climate Change: Adapted Behavior and Shifting Species Ranges*. Springer US, New York.
- Watson, J. 2014. *Human responses to climate change will seriously impact biodiversity conservation: It's time we start planning for them*. Conservation Letters 7:1–2.
- Weber, D. y J. Bucklin. 2005. *Aves de Cerro San Gil*. The Nature Conservancy (TNC), National Fish and Wildlife Foundation (NFWF), Fundación para el Ecodesarrollo y la Conservación (FUNDAECO). Guatemala. 52 Pp.
- Whitmarsh, J. 1999. *The photosynthetic process*. pp. 11-51. En: Singhal, G., G. Renger, S. Sopory, K. Irrgang y S. Govindjee (eds.) *Concepts in Photobiology*. Springer, Netherlands.
- Wilcove, D. 1985. *Nest Predation in Forest Tracts and the Decline of Migratory Songbirds*. Ecology 66:1211–1214.
- With, K. 1997. *The Application of Neutral Landscape Models in Conservation Biology*. Conservation Biology 11:1069–1080.
- Woodward, F. 1987. *Climate and Plant Distribution*. Cambridge University Press, Cambridge, London. 188 Pp.
- Wylie, B. D. Johnson, E. Laca, N. Saliendra, T. Gilmanov, B. Reed, L. Tieszen, B. Worstell. 2003. *Calibration of remotely sensed, coarse resolution NDVI to CO<sub>2</sub> fluxes in a sagebrush–steppe ecosystem*. Remote Sensing of Environment 85:243–255.
- Xiao, X., D. Hollinger, J. Aber, M. Goltz, E. Davidson, Q. Zhang, B. Moore. 2004. *Satellite-based modeling of gross primary production in an evergreen needleleaf forest*. Remote Sensing of Environment 89:519–534.

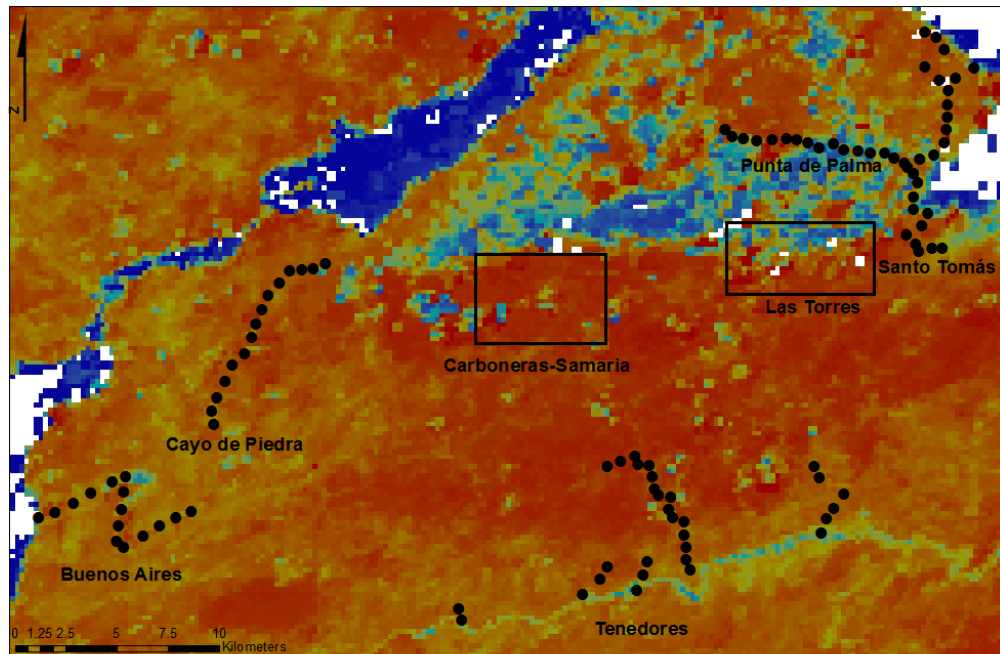
## VIII. ANEXOS

**FIGURA 13.** Variaciones climáticas del 2000 al 2012 en la estación meteorológica de Puerto Barrios.



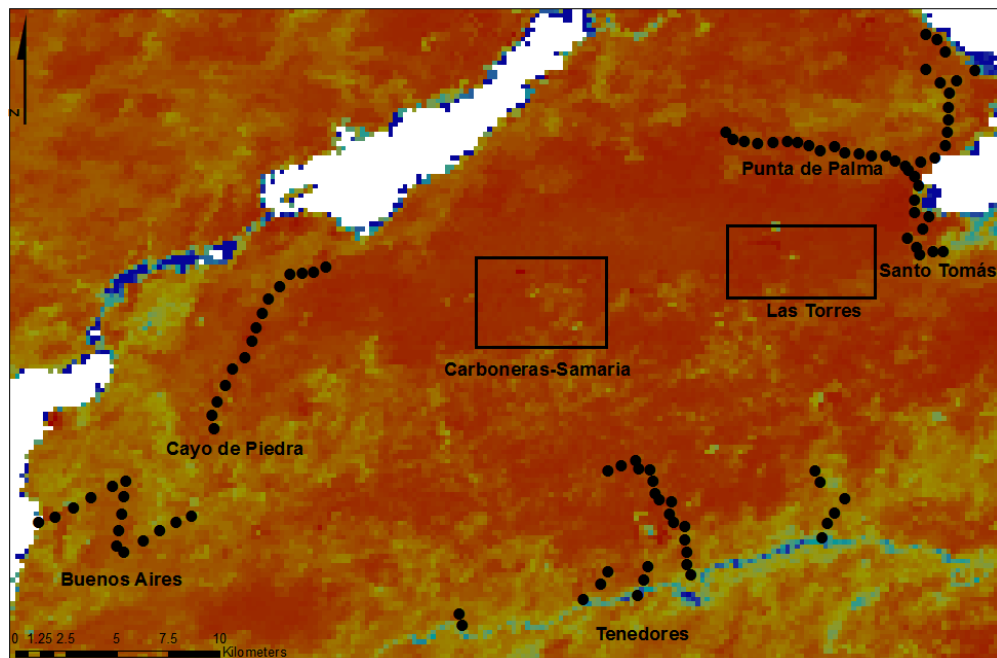
a. Temperatura; b. Precipitación

**FIGURA 14.** NDVI de la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil y alrededores en el 2000 y 2001.



**Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada en la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil y sus alrededores en 2000.**

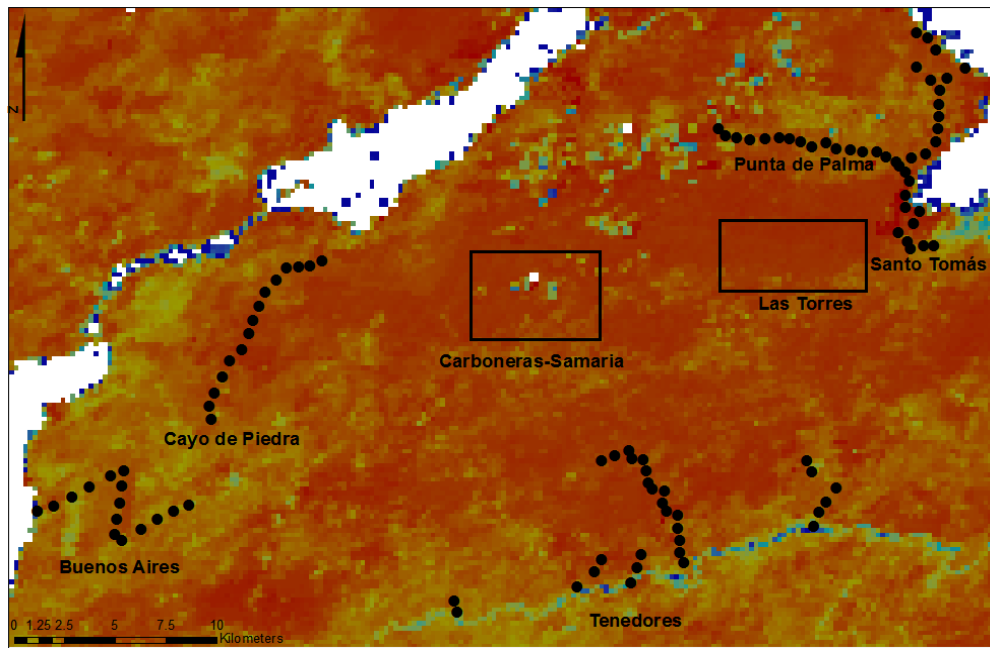
Fuente: ORNL DAAC 2008  
Edición: Andrea Martínez



**Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada en la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil y sus alrededores en 2001.**

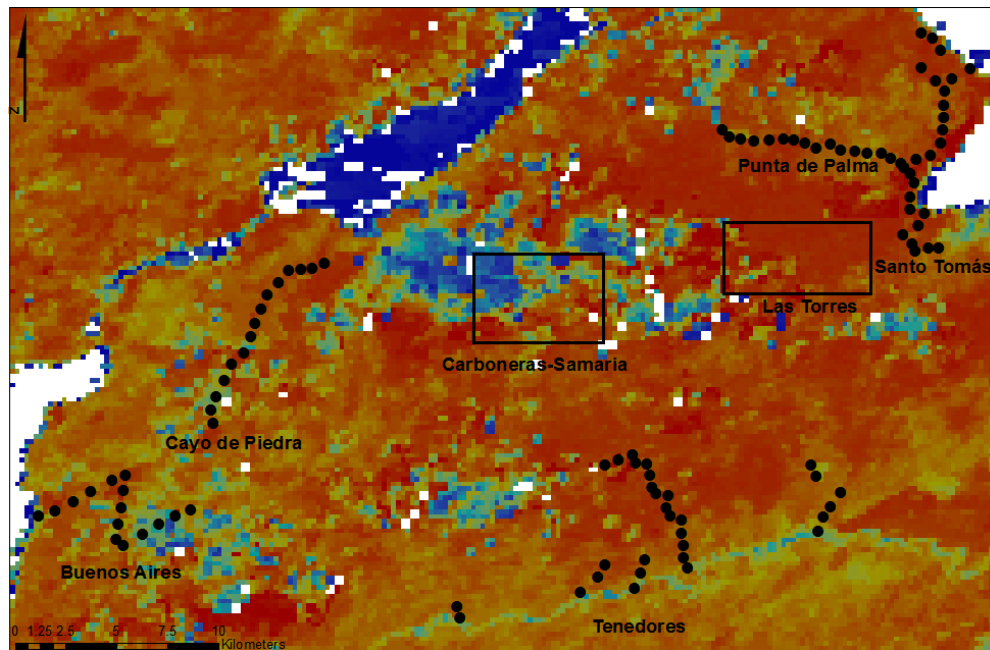
Fuente: ORNL DAAC 2008  
Edición: Andrea Martínez

**FIGURA 15.** NDVI de la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil y alrededores en el 2002 y 2003.



**Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada en la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil y sus alrededores en 2002.**

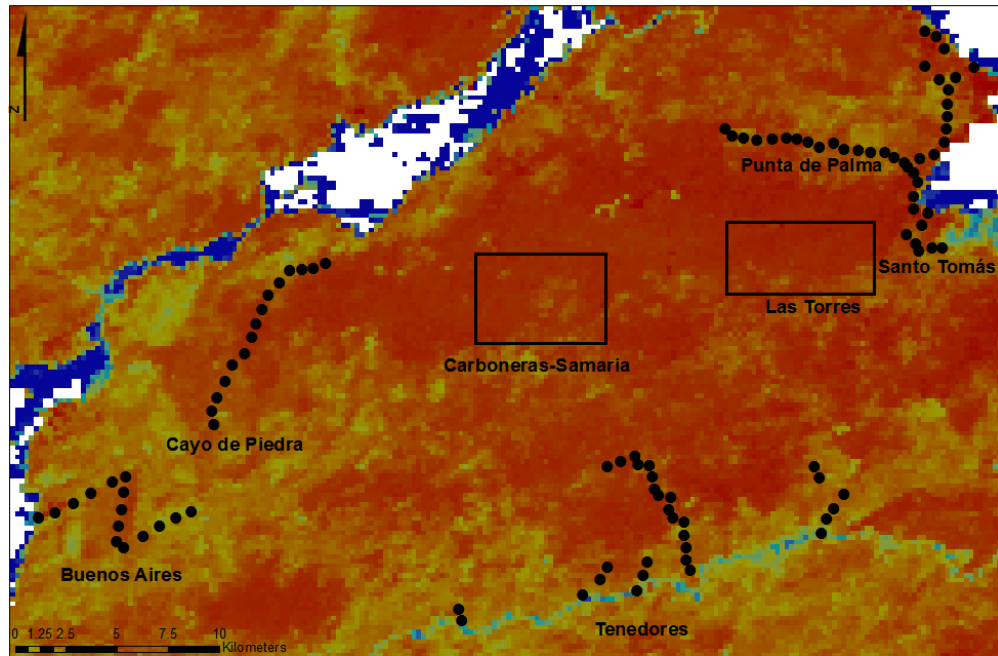
Fuente: ORNL DAAC 2008  
Edición: Andrea Martínez



**Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada en la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil y sus alrededores en 2003.**

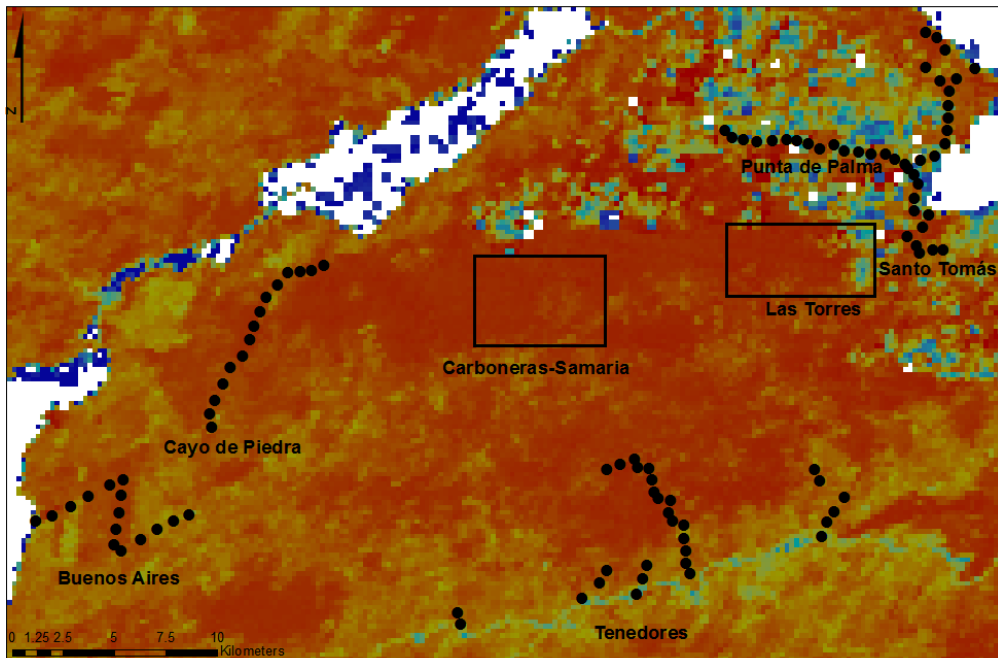
Fuente: ORNL DAAC 2008  
Edición: Andrea Martínez

**FIGURA 16.** NDVI de la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil y alrededores en el 2004 y 2005.



**Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada en la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil y sus alrededores en 2004.**

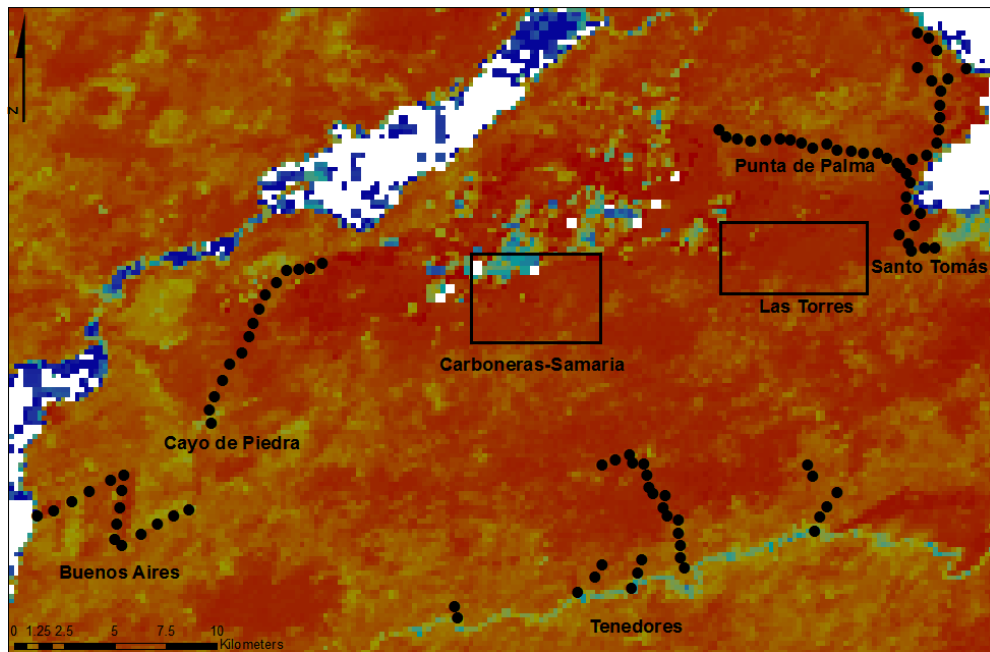
Fuente: ORNL DAAC 2008  
Edición: Andrea Martínez



**Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada en la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil y sus alrededores en 2005.**

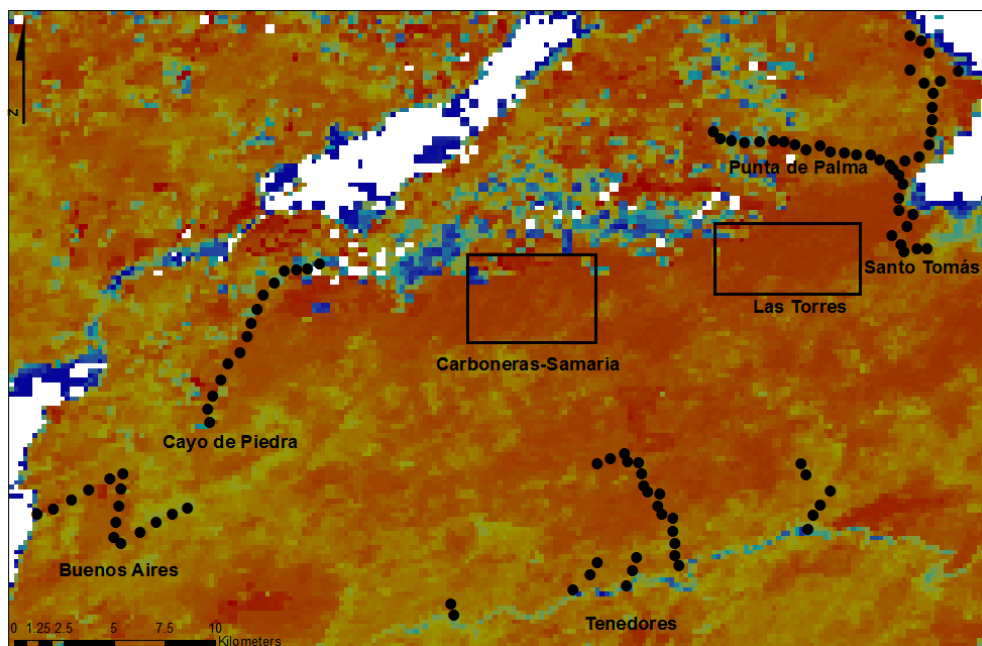
Fuente: ORNL DAAC 2008  
Edición: Andrea Martínez

**FIGURA 17.** NDVI de la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil y alrededores en el 2006 y 2007.



**Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada en la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil y sus alrededores en 2006.**

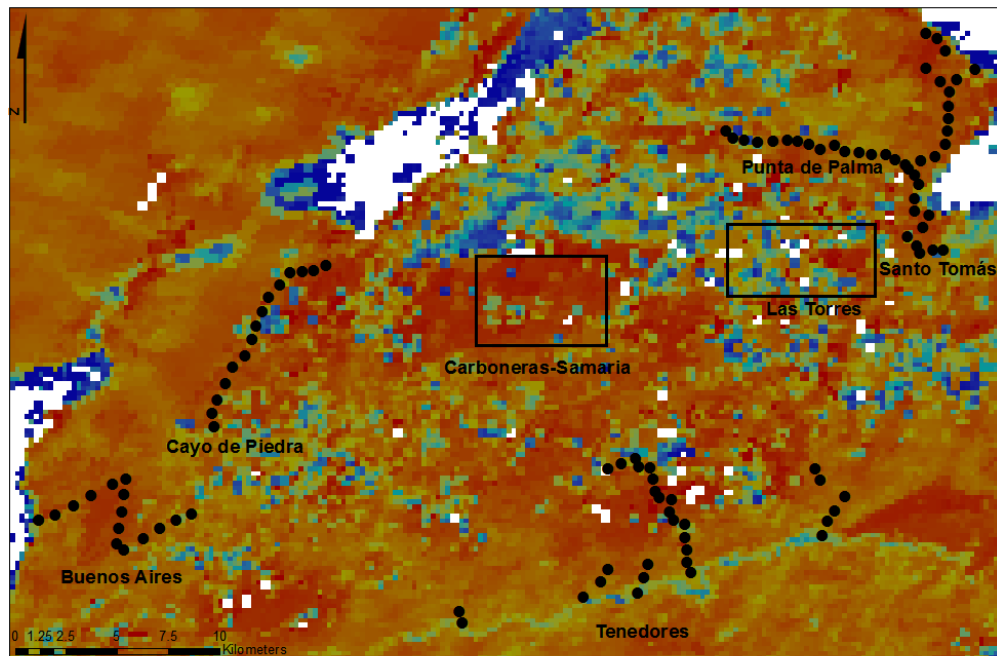
Fuente: ORNL DAAC 2008  
Edición: Andrea Martínez



**Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada en la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil y sus alrededores en 2007.**

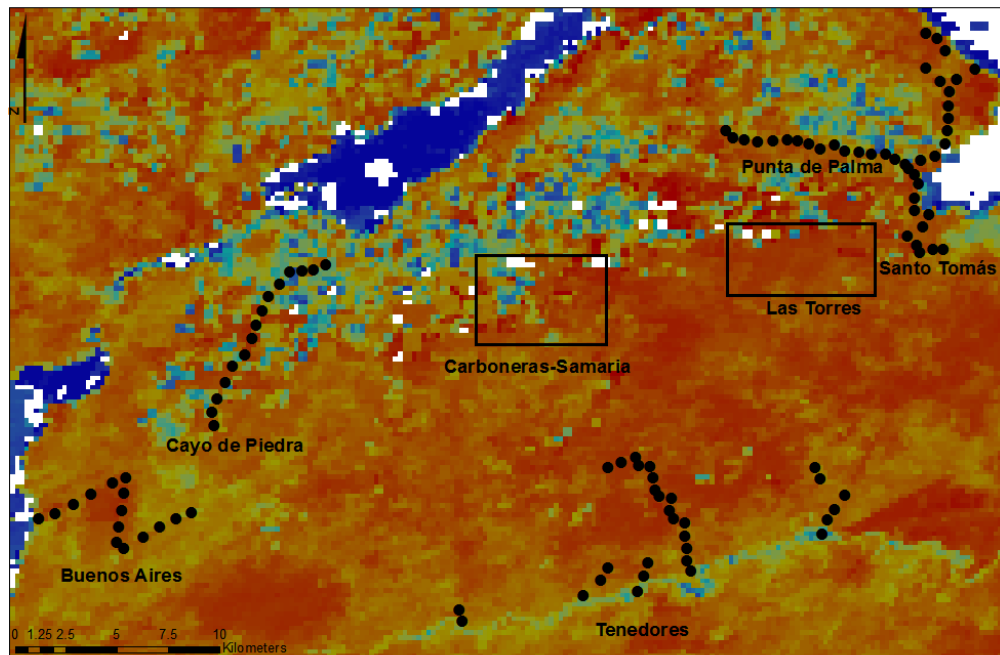
Fuente: ORNL DAAC 2008  
Edición: Andrea Martínez

**FIGURA 18.** NDVI de la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil y alrededores en el 2008 y 2009.



**Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada en la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil y sus alrededores en 2008.**

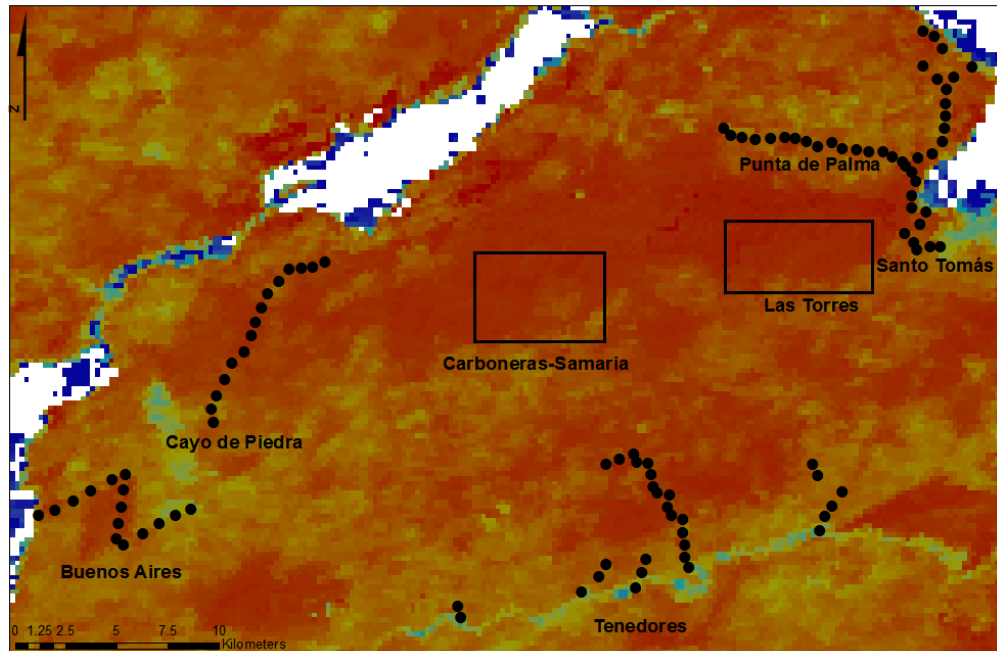
Fuente: ORNL DAAC 2008  
Edición: Andrea Martínez



**Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada en la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil y sus alrededores en 2009.**

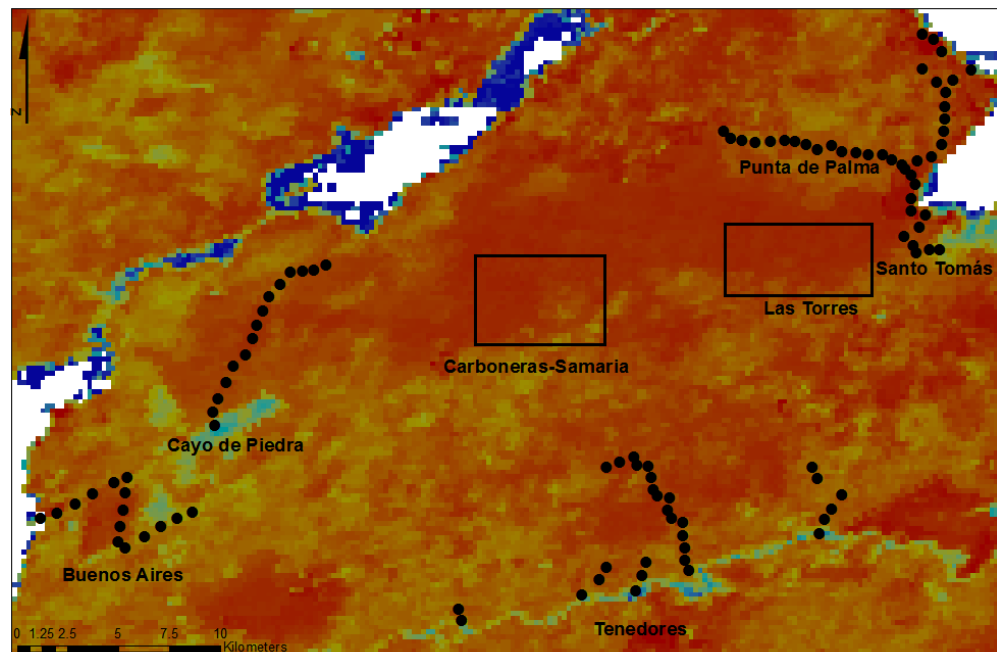
Fuente: ORNL DAAC 2008  
Edición: Andrea Martínez

**FIGURA 19.** NDVI de la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil y alrededores en el 2010 y 2011.



**Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada en la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil y sus alrededores en 2010.**

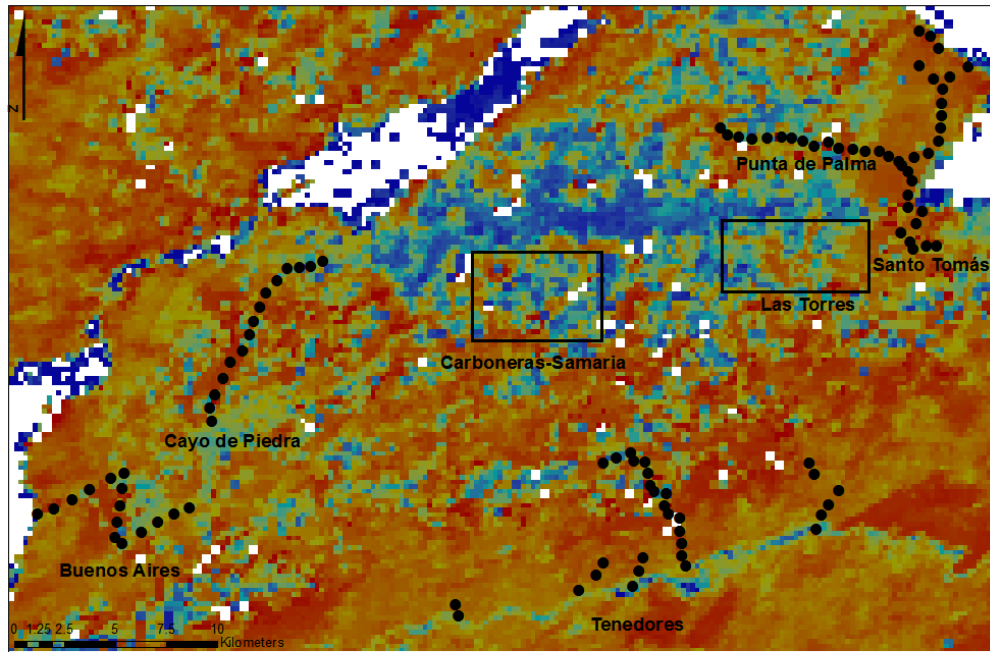
Fuente: ORNL DAAC 2008  
Edición: Andrea Martínez



**Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada en la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil y sus alrededores en 2011.**

Fuente: ORNL DAAC 2008  
Edición: Andrea Martínez

**FIGURA 20.** NDVI de la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil y alrededores en el 2012.



**Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada en la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil y sus alrededores en 2012.**

Fuente: ORNL DAAC 2008  
Edición: Andrea Martínez