



Universitat
de les Illes Balears

TRABAJO FIN DE GRADO

IMPACTO DE LA DEFORESTACIÓN EN ISLAS TROPICALES SOBRE LA INTENSIDAD DE LA INFECCIÓN POR *PLASMODIUM AVIAR* EN AVES

Cristina Gual Romero

Grado de biología

Facultad de ciencias

Año Académico 2020-21

IMPACTO DE LA DEFORESTACIÓN EN ISLAS TROPICALES SOBRE LA INTENSIDAD DE LA INFECCIÓN POR *PLASMODIUM AVIAR* EN AVES

Cristina Gual Romero

Trabajo de Fin de Grado

Facultad de ciencias

Universidad de las Illes Balears

Año Académico 2020-21

Palabras clave del trabajo:

Malaria aviar, mosquito, bosque, plantación, parasitemia, transmisión, hospedador, vector.

Nombre Tutor del Trabajo Rafael Gutiérrez López

Se autoriza la Universidad a incluir este trabajo en el Repositorio Institucional para su consulta en acceso abierto y difusión en línea, con fines exclusivamente académicos y de investigación

Autor		Tutor	
Sí	No	Sí	No
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

RESUMEN

La deforestación es una variable independiente que provoca la destrucción del hábitat y el aumento del carbono en la atmósfera, lo que eleva las temperaturas y acelera el cambio climático. Esta aceleración influye directamente en la presencia de insectos vectores y en la prevalencia de la parasitemia de enfermedades como la malaria aviar. El objetivo del presente proyecto se basó en el estudio de la parasitemia de la malaria en aves capturadas en dos hábitats (Bosque y Plantación) en la isla de Sao Tomé. Una captura de 97 aves con una infección de 33 aves en el hábitat Bosque y 12 aves en el hábitat Plantación y un análisis microscópico de 45 frotis sanguíneos determinó una mayor parasitemia en el hábitat Plantación, aunque no existió diferencias significativas entre hábitats en cuanto al grado de parasitemia. La masa corporal de las especies que habitan en la plantación tenían una correlación negativa con respecto a su parasitemia. Sólo se observaron parásitos del género *Plasmodium* debido a su carácter más generalista y a la ecología de su insecto vector. Por lo tanto, se concluyó que, a pesar de encontrar una menor parasitemia en el hábitat de bosque y una mayor cantidad de masa corporal por parte de las especies de aves, lo que favorece su sistema inmunológico, serían necesarios más estudios que abarquen un mayor número y tipo de hospederos, así como la ecología de su insecto vector.

ABSTRACT

Deforestation is an independent variable that leads to habitat destruction and increased carbon in the atmosphere, which raises temperatures and accelerates climate change. This acceleration directly influences the presence of insect vectors and the prevalence of parasitemia of diseases such as avian malaria. The objective of the present project was based on the study of malaria parasitemia in birds captured in two habitats (forest and plantation) on the island of São Tomé. A capture of 97 birds with an infection of 33 birds in the Forest habitat and 12 birds in the Plantation habitat and a microscopic analysis of 45 blood smears, determined a higher parasitemia in the Plantation habitat, although there were no significant differences between habitats in terms of the degree of parasitemia. The body mass of the species inhabiting the plantation had a negative correlation with respect to their parasitemia. Only parasites of the genus *Plasmodium* were observed due to their more generalist nature and the ecology of their insect vector. Therefore, it was concluded that, despite finding a lower parasitemia in the forest habitat and a greater amount of body mass on the part of the bird species, which favours their immune system, more studies covering a greater number and type of hosts, as well as the ecology of their insect vector, would be necessary.

ÍNDICE

Introducción	5-7
Materiales y métodos	7-10
Área de estudio	7
Recolección de las muestras	7
Preparación de muestras de sangre	8
Identificación de parásitos en muestras de sangre	8-9
Análisis estadístico de los datos	9-10
Resultados	10-16
Discusión	16-19
Conclusión	19
Referencias bibliográficas	19-24

INTRODUCCIÓN

La colonización de nuevos lugares y el aumento de la población humana a nivel global ha requerido de la adquisición de nuevas estrategias con las que satisfacer las necesidades nutricionales de la población, las cuales se han basado, principalmente, en cambios de usos del suelo (Laurance et al., 2014). Para ello se han realizado grandes deforestaciones causando la destrucción de hábitats, la alteración del cambio climático y la introducción de especies invasoras (Creutzig et al., 2019; He y Silliman, 2019). Los bosques son considerados ecosistemas de gran biodiversidad (Pimm y Raven, 2000) de los que se origina más de un tercio de la productividad terrestre y evapotranspiración (Malhi, 2012), por lo que su eliminación influye en las interacciones ecológicas y por consecuencia en la dinámica de transmisión de patógenos (Sehgal, 2010; Faust et al., 2018).

Las islas oceánicas son consideradas excelentes modelos de estudio debido a que presentan una menor cantidad de hábitats y diversidad de especies (MacArthur y Wilson, 1967), así como de insectos vectores, huéspedes y patógenos. La Isla de Sao Tomé, en el continente africano, además de presentar estas características, ha sufrido un gran cambio en su uso del suelo debido a la influencia antropogénica. Gran parte de sus grandes bosques tropicales se han convertido en extensivas plantaciones de monocultivos, principalmente como el aceite de palma. Estudios previos han relacionado el cambio del uso del suelo con una mayor transmisión de parásitos (Vittor et al., 2006; Loaiza et al., 2017). La isla presenta una gran diversidad de aves silvestres, muchas de ellas endémicas. Estas pueden presentar diferentes parásitos sanguíneos que pueden llegar a provocar patologías a las poblaciones (Senar, 2004; Thompson et al., 2010; Huijben et al., 2007). Los parásitos sanguíneos pertenecientes al filo Apicomplexa han sido los microorganismos parásitos más comunes encontrados entre las aves. Estos parásitos son los causantes de la malaria aviar (Rivero y Gandon, 2018), los cuales están estrechamente relacionados con los parásitos de la malaria humana. El filo Apicomplexa es un extenso y diverso grupo de protozoos endoparásitos que incluye los tres géneros causantes de la malaria aviar (*Plasmodium*, *Haemoproteus* y *Leucocytozoon*) (Perkins y Schall, 2002; Pérez-Tris et al., 2005). Sin embargo, varios estudios han considerado a los géneros *Plasmodium* y *Haemoproteus* como los verdaderos parásitos de la malaria aviar. Estos presentan diferencias relacionadas con los vectores de transmisión, ya que mientras *Plasmodium* es transmitido por mosquitos y *Haemoproteus* por

Culicoides y moscas planas, *Leucocytozoon* es transmitido por moscas negras (Simuliidae) (Garnham, 1966; Valkiūnas, 2005). A pesar de esta diferencia, su ciclo de vida presenta grandes similitudes, ya que está dividido en dos fases (sexual y asexual). La fase sexual se genera dentro del insecto vector, donde los gametocitos forman un cigoto que desencadena en esporozoitos, y la fase asexual se genera en el interior del hospedador, donde los esporozoitos se convierten en merozoitos y gametocitos (Morrissette y Sibley, 2002).

La parasitemia en aves o intensidad de infección, definida como la proporción de glóbulos rojos infectados por parásitos, se considera un determinante importante del éxito del desarrollo del parásito de la malaria en el hospedador y el insecto vector (Cornet et al., 2014). Varios estudios relacionan la parasitemia con las condiciones climáticas y la nutrición (Vale et al., 2013). El aumento de temperaturas originado por la destrucción del hábitat, así como una menor disponibilidad de nutrientes, debilita la condición corporal y el sistema inmunitario del hospedador teniendo una menor resistencia al parásito y por lo tanto, una mayor transmisión de parásitos (Hernández-Lara et al., 2017). Ello afectaría considerablemente al comportamiento y reproducción de las aves. Sin embargo, numerosos estudios han comparado la prevalencia de parásitos de la malaria aviar en aves de hábitats naturales o modificados antropológicamente, mostrando resultados contradictorios en cuanto a la prevalencia de hospedadores infectados. Mientras que Chasar et al. (2009) en Camerún, encontró una mayor prevalencia de parásitos del género *Haemoproteus* y *Leucocytozoon* en aves de hábitats naturales, y del género *Plasmodium* en hábitats modificados, Bonneaud et al. (2009) encontraron que el género *Plasmodium* presentaba una mayor prevalencia en hábitats naturales, mientras que *Haemoproteus* y *Leucocytozoon* se encontraron en hábitats modificados. Por otro lado también se encontraron resultados contradictorios entre Evans et al. (2009) y Belo et al. (2011), ya que mientras el primero encontró una mayor prevalencia de parásitos *Haemoproteus* y *Plasmodium* en zonas rurales, el segundo encontró una prevalencia mayor de estos parásitos en zonas urbanas. Estos estudios indican que no existe una conexión clara entre la prevalencia de parásitos y los diferentes usos de tierra, sino que hay varios factores influyentes como el insecto vector o las condiciones climáticas de la zona.

El objetivo del presente trabajo es estudiar la parasitemia de la malaria aviar en aves capturadas en dos hábitats con diferente impacto antropogénico en la isla de Sao Tomé (bosques y plantaciones). Mediante observación en el microscopio de frotis sanguíneos, se determinó si existían diferencias en la intensidad de infección por malaria aviar en las aves en función del hábitat.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Sao Tomé es una isla oceánica volcánica de 875 km² situada en el Golfo de Guinea, en África central, perteneciente a la República Democrática de Santo Tomé y Príncipe (0°14'00" N 6°36'00" E) (Figura 1). Tras la ocupación humana en 1471, la densidad de sus bosques se ha ido reduciendo, persistiendo sólo en zonas montañosas donde la presencia humana es limitada, convirtiéndose el 10% de la isla en tierras no forestales dedicados al monocultivo de aceite de palma. La isla se caracteriza por presentar un elevado grado de avifauna endémica (Jones, 1994; Le Saout et al., 2013) asociada con un paisaje dominado por bosques nativos (de Lima et al., 2013a), considerados como los terceros más importantes para la conservación de aves. Su topografía montañosa mantiene unas precipitaciones anuales de 600-700 mm y una temperatura anual media de 18-30°C.

La recolección de muestras se realizó teniendo en cuenta los diferentes usos de suelo que presentaba la isla, diferenciándose entre Bosques (zonas naturales no modificadas por el ser humano) y Plantaciones (zonas modificadas por el ser humano).

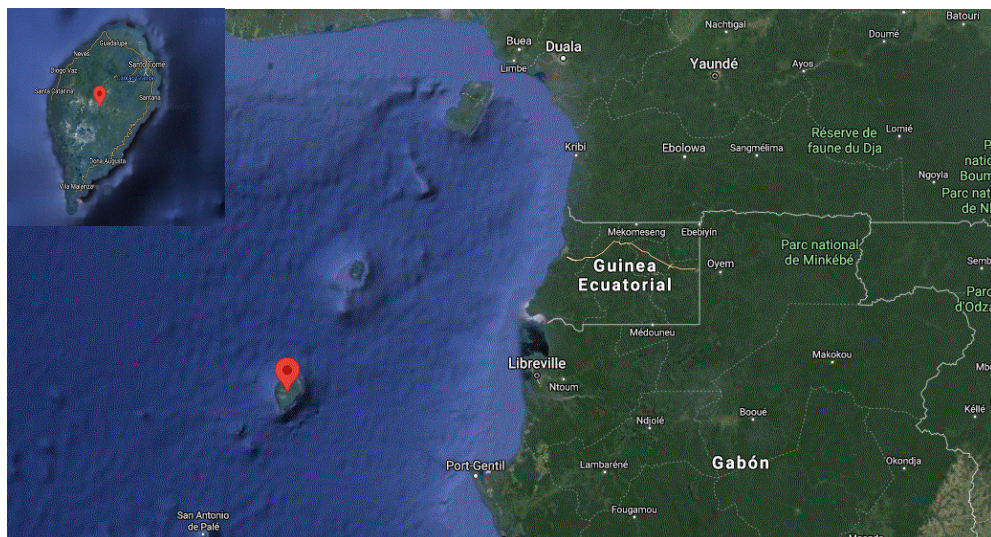


Figura 1. Localización de la zona de estudio (Isla de Sao Tomé) (Fuente: Google maps).

Recolección de muestras

Durante el año 2019 se capturaron 97 ejemplares de aves mediante redes de niebla (Ecotone, Polonia) las cuales fueron instaladas en dos hábitats diferenciados, Bosque (0° 08' 55" N; 6° 34' 52" E) y Plantación de aceite de palma (0° 06' 49" N; 6° 35' 39" E) separados entre sí por 4295 metros. Posteriormente estos ejemplares fueron identificados a nivel especie, se anillaron, se tomaron medidas morfológicas (largo de ala y tarso) y se pesaron con báscula de precisión. Además se les realizó una extracción de sangre a través de venopunción braquial recogiendo una muestra de sangre con un capilar de cristal. Una gota de sangre fue depositada sobre un portaobjeto de vidrio para la preparación de frotis sanguíneos. El resto de la muestra fue conservada mediante su introducción en etanol al 96% para su posterior análisis. Las aves fueron liberadas en el mismo sitio de captura tras su manipulación sin presentar ningún daño.

Preparación de las muestras de sangre

La preparación se basó en una extensión delgada de una gota de sangre, muestreada de cada ejemplar, sobre portaobjetos de vidrio para microscopio. Posteriormente, se dejó secar al aire libre y se realizó su fijación con metanol absoluto para su tinción con Giemsa al 6% (v/v) diluido en tampón fosfato 0.02M, pH 7.0 durante 1 hora, con la finalidad de poder observar cada preparación en el microscopio (Gering y Atkinson, 2004).

Identificación de parásitos en muestras de sangre

La identificación de parásitos se realizó en el laboratorio de Zoología de la Universidad de las Islas Baleares (UIB, Mallorca) y se basó en la estimación de la parasitemia (proporción de glóbulos rojos infectados por parásitos), mediante un reconocimiento y conteo de eritrocitos nucleados teñidos con Giemsa y los parásitos presentes en ellos. Previamente, se identificó mediante la realización de la técnica PCR la prevalencia de parásitos de la malaria aviar siguiendo el protocolo de Hellgren et al. (2004) a partir de las muestras de sangre conservadas en etanol con el fin de determinar las preparaciones positivas o negativas en malaria aviar y proceder a la observación e identificación únicamente de aquellos frotis sanguíneos positivos (N=45).

La parasitemia de parásitos de malaria aviar fue estudiada en 45 frotis sanguíneos que presentaron un resultado positivo en la PCR. Treinta y cinco campos microscópicos fueron observados por frotis con un objetivo 100x, apertura numérica 1.25 y aceite de inmersión. En cada campo microscópico se

procedió a la observación de 200-300 eritrocitos, con la finalidad de observar 10000 eritrocitos por frotis sanguíneo (Ecuación 1). Los parásitos encontrados fueron fotografiados (Figura 2).

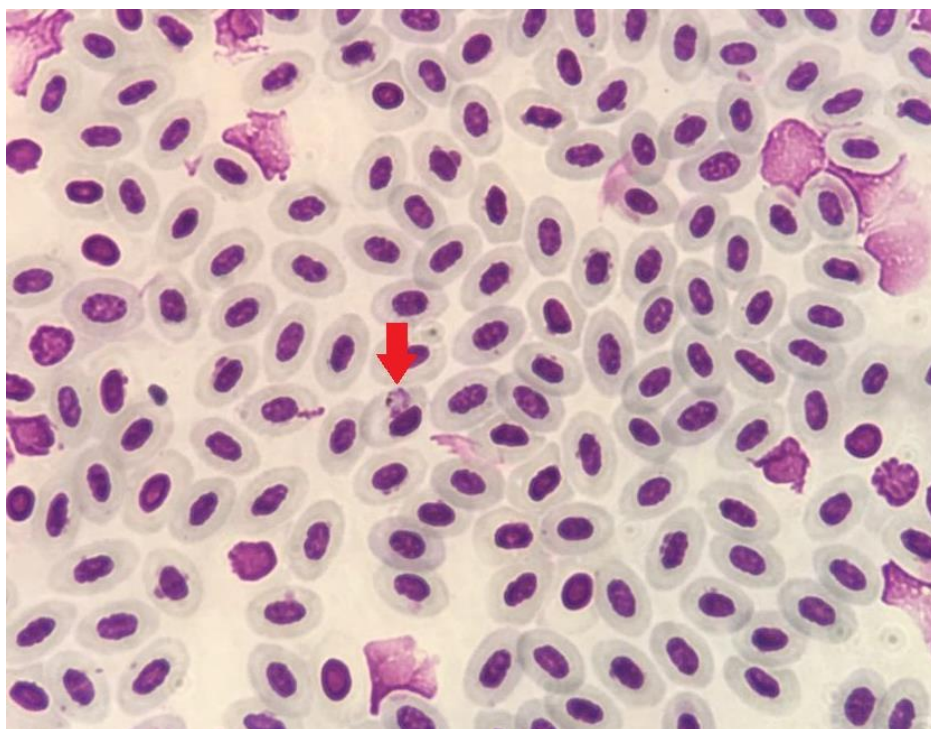


Figura 2. Preparación microscópica del parásito *Plasmodium* obtenida mediante la observación en el microscopio de frotis sanguíneos positivos. (Fuente: Cristina Gual).

Análisis estadístico de los datos

El porcentaje de parasitemia se obtuvo dividiendo el número de parásitos encontrados en frotis entre los 10000 eritrocitos contados (Ecuación 1).

$$\% \text{ parasitemia} = \left(\frac{\text{N}^{\circ} \text{ de parásitos encontrados en frotis}}{10000} \right) \times 100$$

Ecuación 1: Obtención del grado de parasitemia.

Se analizó la diferencia de parasitemia entre los diferentes hábitats mediante la realización de un Wilcoxon/Man-Whitney tests, dado que los datos no presentaron normalidad ni homogeneidad de varianza. Además, se estudió la

potencial correlación entre la parasitemia (variable dependiente) y la masa corporal de las aves (variable independiente) para cada especie y por hábitat.

RESULTADOS

Un total de 97 aves fueron capturadas a lo largo del estudio. Todas ellas correspondieron a individuos adultos pertenecientes al orden passeriforme (orden más numeroso y diversificado). Del total de aves capturadas 72 se capturaron en la zona de Bosque y 25 en la zona de Plantación. En total de 7 especies endémicas diferentes fueron capturadas. De los 45 individuos que presentaron infección por parásitos de la malaria aviar mediante la técnica de PCR, un total de 33 individuos fueron capturados en el Bosque y 12 en la Plantación. Sin embargo, sólo se observaron parásitos del género *Plasmodium* en los frotis sanguíneos de 8 individuos capturados en el Bosque, obteniéndose un valor de parasitemia de 0.002%. Por otro lado, en la zona de Plantación se observaron parásitos del género *Plasmodium* en los 5 individuos obteniéndose un porcentaje de parasitemia del 0.005%. Los análisis estadísticos demostraron que no existían diferencias significativas en las medias de parasitemias de las aves capturadas en Bosque y Plantación (d.f.=1, P=0,22). En ninguno de los dos hábitats se pudieron observar frotis sanguíneos con parásitos del género *Haemoproteus* y *Leucytozoon* (Tabla 1).

En cuanto a las correlaciones entre parasitemia y masa corporal de las aves, en el hábitat Bosque se observaron correlaciones negativas en las especies *Anabathmis newtonii* (Figura 3), *Ploceus grandis* (Figura 4), *Terpsiphone atrochalybeia* (Figura 5) y *Turdus olivaceofuscus* (Figura 6), indicando que a menor masa corporal del ave, mayor porcentaje de parasitemia (*Plasmodium*). Estos resultados no se dieron en el caso de *Ploceus sanctithomae* (Figura 7), el cual presentó una correlación positiva en el mismo hábitat. En el hábitat Plantación se observaron diferencias entre las especies coincidentes con el hábitat anterior ya que, en este caso, *Ploceus sanctithomae* (Figura 8) presentó una correlación negativa y *Turdus olivaceofuscus* (Figura 9) presentó una correlación positiva.

Tabla 1. Número de especies totales e infectadas con su respectiva media de masa corporal y porcentaje de parasitemia (*Plasmodium*) de cada hábitat.

Especies de aves	Especies totales (unidad)	Especies infectadas (unidad)	Media masa corporal infectados (g)	Parasitemia (<i>Plasmodium</i>) (%)
Bosque				
<i>Anabathmis newtonii</i>	23	7	7,27	0,0029
<i>Oriolus crassirostris</i>	2	0	0	0
<i>Ploceus grandis</i>	3	3	65,4	0,0033
<i>Ploceus sanctithomae</i>	8	7	22,33	0,0014
<i>Terpsiphone atrochalybeia</i>	18	3	13,03	0,0033
<i>Turdus olivaceofuscus</i>	17	13	82,12	0,0023
<i>Zosterops lugubris</i>	1	0	0	0
Plantación				
<i>Anabathmis newtonii</i>	5	0	0	0
<i>Ploceus grandis</i>	1	1	61	0
<i>Ploceus sanctithomae</i>	9	8	22,39	0,0062
<i>Terpsiphone atrochalybeia</i>	4	0	0	0
<i>Turdus olivaceofuscus</i>	6	3	75,93	0,0033

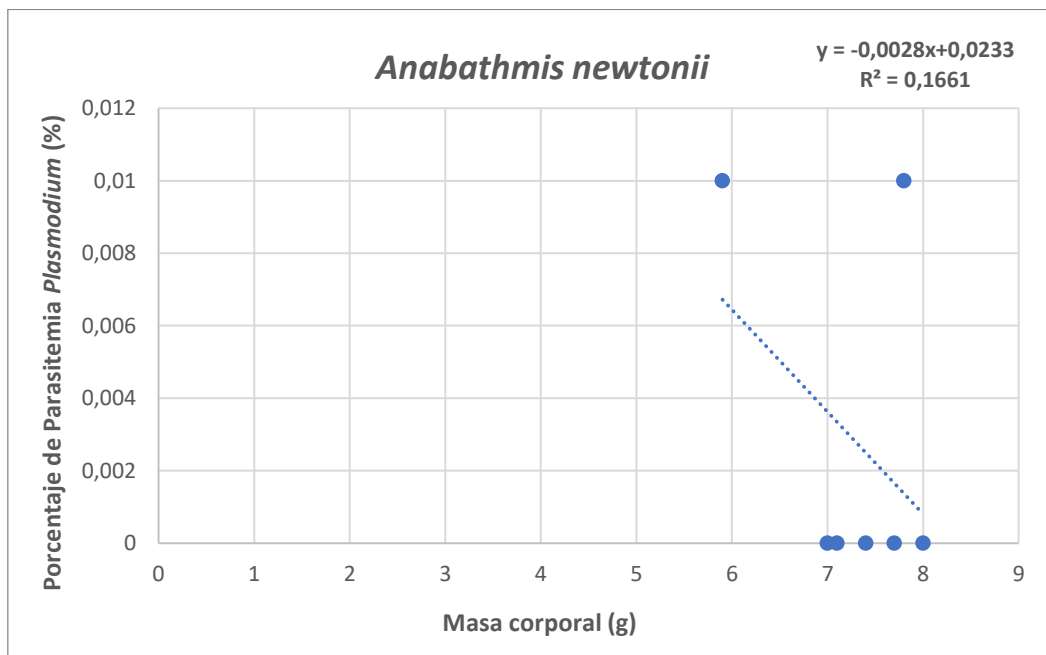


Figura 3. Correlación de X=masa corporal (g) y Y=porcentaje de parasitemia de *Plasmodium* (%) de la especie *Anabathmis newtonii* en el hábitat Bosque.

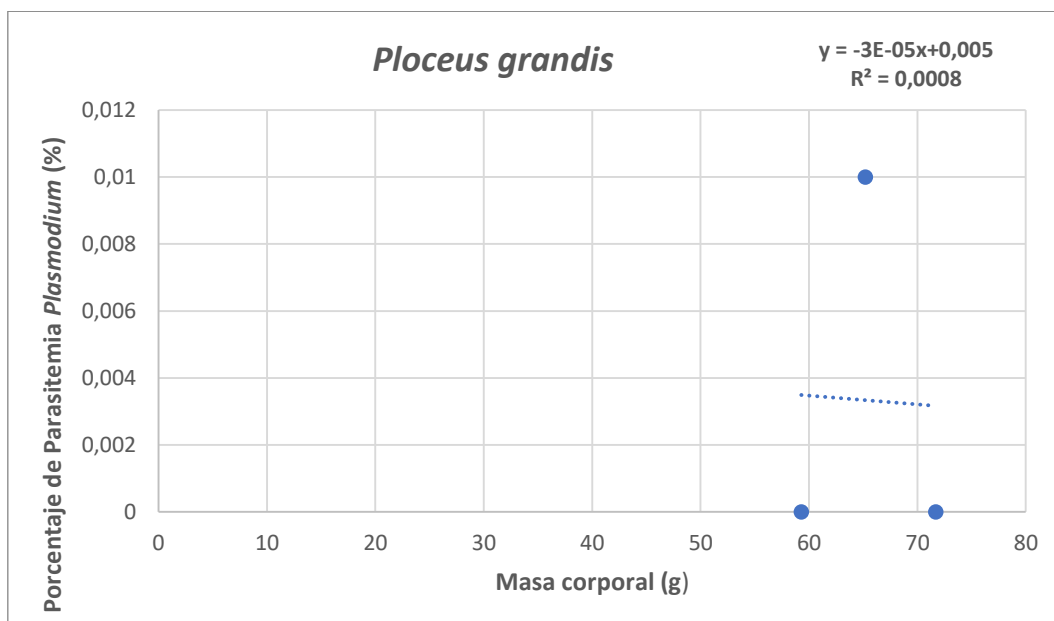


Figura 4. Correlación de X=masa corporal (g) y Y=porcentaje de parasitemia de *Plasmodium* (%) de la especie *Ploceus grandis* en el hábitat Bosque.

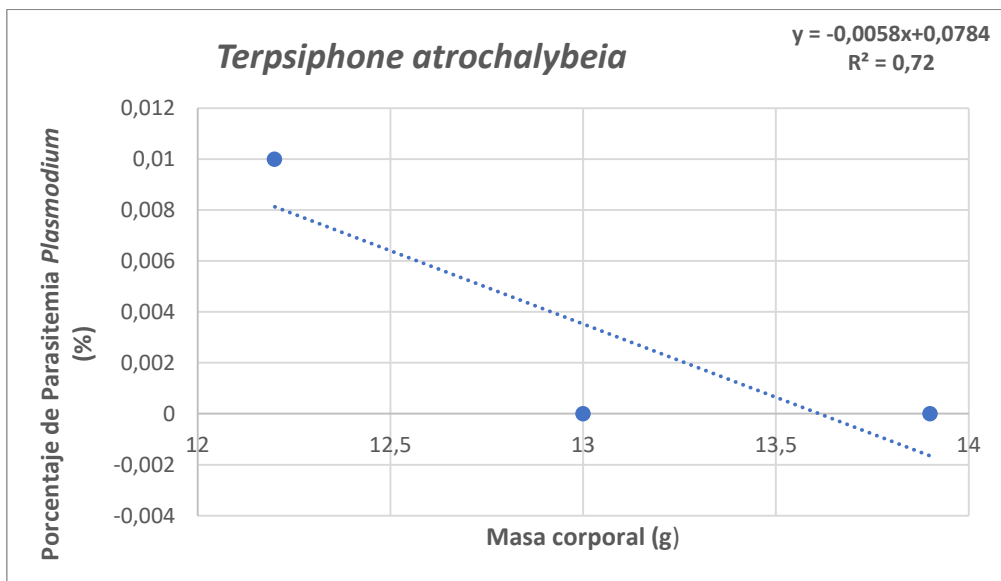


Figura 5. Correlación de X=masa corporal (g) y Y=porcentaje de parasitemia de *Plasmodium* (%) de la especie *Terpsiphone atrochalybeia* en el hábitat Bosque.

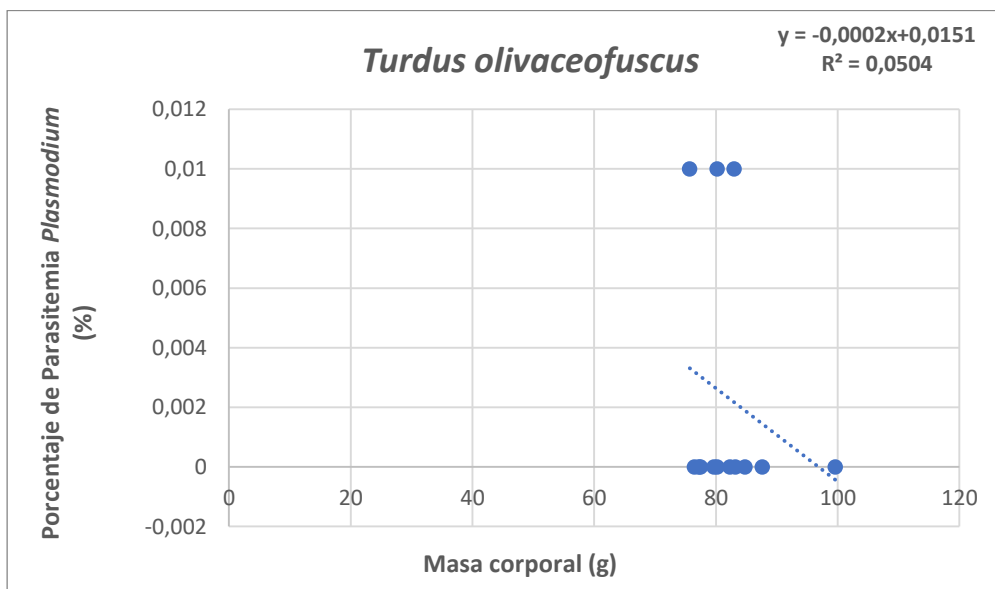


Figura 6. Correlación de X=masa corporal (g) y Y=porcentaje de parasitemia de *Plasmodium* (%) de la especie *Turdus olivaceofuscus* en el hábitat Bosque.

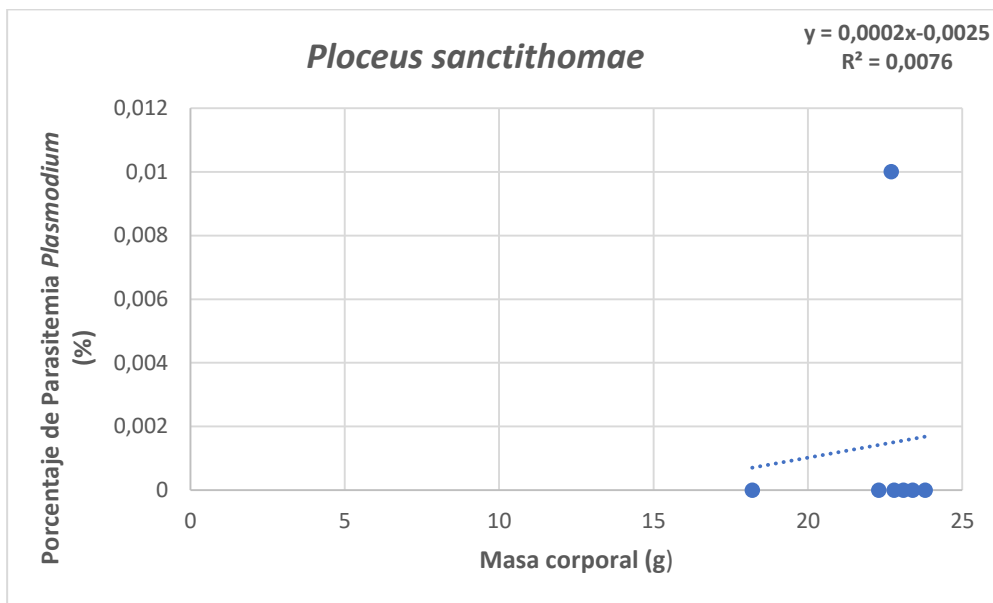


Figura 7. Correlación de X=masa corporal (g) y Y=porcentaje de parasitemia de *Plasmodium* (%) de la especie *Ploceus sanctithomae* en el hábitat Bosque.

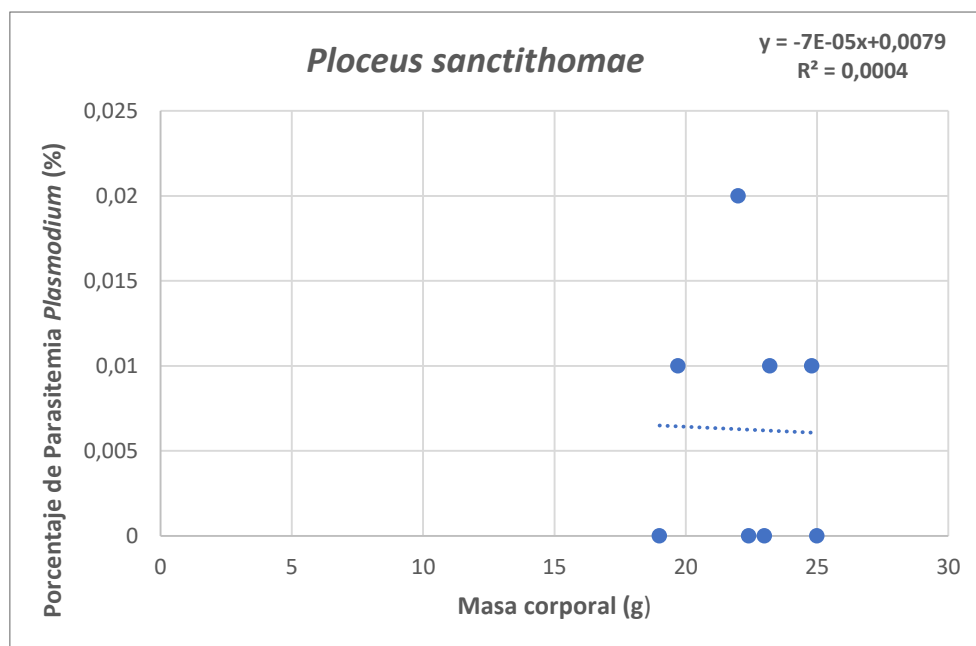


Figura 8. Correlación de X=masa corporal (g) y Y=porcentaje de parasitemia de *Plasmodium* (%) de la especie *Ploceus sanctithomae* en el hábitat Plantación.

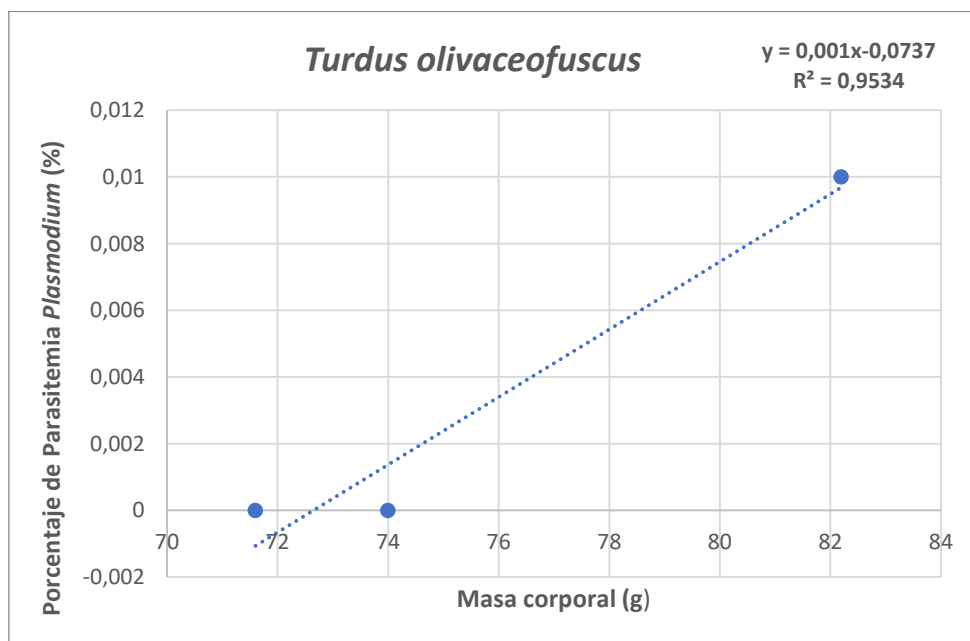


Figura 9. Correlación de X=masa corporal (g) y Y=porcentaje de parasitemia de *Plasmodium* (%) de la especie *Turdus olivaceofuscus* en el hábitat Plantación.

DISCUSIÓN

La deforestación es un proceso de destrucción de la superficie terrestre que puede ser causado por el ser humano. Está relacionada con la pérdida de biodiversidad de especies animales y vegetales, la destrucción del hábitat, el aumento del carbono atmosférico y, por lo tanto, el aumento de temperaturas que incrementan el cambio climático. El cambio climático, a su vez, es un proceso medioambiental que puede influenciar directamente otros factores como mayor abundancia de insectos vectores de enfermedades, y por lo tanto un cambio en la dinámica de transmisión de patógenos (Vale et al., 2013; Cumming y Van Vuuren, 2006) pudiendo llegar a producirse la aparición de enfermedades (Reye et al., 2010) que podrían llevar a la extinción de numerosas especies como en el caso de Hawaii (Benning et al., 2002), afectando por lo tanto a la biodiversidad. Actualmente, esta biodiversidad es un factor de gran preocupación, principalmente en las islas tropicales donde la llegada de especies alóctonas es limitada (Cumming y Van Vuuren, 2006). Inicialmente, se observó una menor avifauna causada en el hábitat Plantación, debido a una menor captura de individuos (N=25) en dicho hábitat en comparación con el número de individuos capturados en el hábitat Bosque (N=72). La destrucción del hábitat afecta a las especies vegetales, productoras

de semillas y refugio de numerosos insectos que son elementos indispensables en la dieta de las aves. Por lo tanto, se observó una media de la masa corporal menor en las especies encontradas en el hábitat Plantación en comparación con las encontradas en el hábitat Bosque (Tabla 1). La pérdida de masa corporal no es un factor limitante en condiciones normales, pero la destrucción del hábitat, la aceleración del cambio climático y la pérdida de recursos nutricionales, características propias de la destrucción del ambiente y de una plantación de monocultivo producen condiciones estresantes y de falta de recursos para las aves que les puede afectar gravemente disminuyendo sus condiciones corporales y la capacidad de su sistema inmunitario (Combes, 2001). Estos factores graves se suman a una menor densidad de especies (mayor contacto con insectos vectores de enfermedades como la malaria aviar) y provocan un aumento en la prevalencia de los parásitos (Keesing et al., 2006), un aumento del riesgo de infección (Beldomenico et al., 2008; Blanchet et al., 2009; Beldomenico y Begon, 2016) y del desarrollo de la enfermedad (Hernández-Lara et al., 2017). Estas afirmaciones se pudieron observar mediante el cálculo de la parasitemia o grado de infección de eritrocitos, donde el hábitat Plantación obtuvo un porcentaje mayor (0.005%) con respecto al hábitat Bosque (0.002%). En ambos casos el porcentaje de parasitemia fue inferior al 1%, ya que solo se observó 1-2 ejemplares de parásitos del género *Plasmodium* para cada 10000 eritrocitos positivos encontrando una presencia nula de ejemplares en algunos frotis sanguíneos. La observación manual por microscopía es una técnica muy utilizada para el estudio de parásitos del filo Apicomplexa (Braga et al., 2011) pero puede ser limitante en cuanto al estudio de la diversidad y prevalencia de los parásitos, siendo más precisas las técnicas moleculares (Clayton y Walther, 1997). Los porcentajes de parasitemia menores al 1% correspondieron a infecciones leves, es decir, la sintomatología presente en las aves fue inexistente, lo que indicaría que los parásitos mantienen un equilibrio con su hospedador, permitiendo así la supervivencia de ambos. El hecho de que las aves presenten parasitemias bajas hace que no se detecte realmente una diferencia significativa en las intensidades de infección de las aves que habitan en los diferentes hábitats estudiados aquí.

En cuanto a las correlaciones de datos entre la masa corporal y el porcentaje de parasitemia se observaron correlaciones negativas en la mayoría de las especies de aves, presentando estas una menor masa corporal conforme mayor porcentaje de parasitemia presentaban. Sin embargo, este resultado no se pudo observar en todas las especies, ya que la especie *Turdus olivaceofuscus* en el hábitat Plantación y *Ploceus sanctithomae* en el hábitat

Bosque presentaron una correlación positiva y especies como *Zosterops lugubris* en el hábitat Bosque y *Anabathmis newtonii* y *Terpsiphone sanctithomae* en el hábitat Plantación no fueron infectados por parásitos de la malaria aviar, indicando que muchos otros factores ambientales como pueden ser la susceptibilidad a infección pueden influir en el porcentaje de parasitemia. Otro factor observado durante el estudio de frotis sanguíneos fue la única presencia de parásitos del género *Plasmodium*, sin presenciar ningún parásito del género *Haemoproteus* y *Leucocytozoon*, predecesores también de la malaria aviar. Pese a no haber contemplado dicha variable en el estudio, la ecología del insecto vector podría ser un factor determinante. El género *Plasmodium* presenta una tasa de colonización mayor, más elevada y generalista permitiendo infectar mayor diversidad de aves (Van Rooyen et al., 2012). El insecto vector de este género son los mosquitos, los cuales presentan preferencias por zonas abiertas o modificadas (Githeko et al., 2000; Yasuoka y Levins, 2007; Vittor et al., 2009) y altas temperaturas. Estas características son causadas por deforestaciones que favorecen la alimentación y reproducción del mosquito (Githeko et al., 2000) causando una mayor probabilidad de transmisión de infección. Por otro lado, los insectos vectores de los parásitos del género *Haemoproteus* son los *Culicoides* y moscas planas y los del género *Leucocytozoon* son las moscas negras (Garnham, 1966). Estos tienen preferencia por hábitats distintos a los mosquitos, lo que podría hacer que su probabilidad de transmisión sea menor en la zona de estudio (Docile et al., 2015). Además, la mayor diversidad del hábitat Bosque hace que el contacto continuo del insecto vector con los hospedadores sea menor y por lo tanto se observe un porcentaje de parasitemia menor, aunque en este caso no es significativo.

Finalmente, tal y como se observó en otros estudios (Vittor et al., 2006; Loaiza et al., 2017) el incremento de variables como la deforestación y el cambio climático influyen directamente sobre la parasitemia, pero la parasitemia no es una variable independiente, sino que viene determinada por varios factores como el hospedador, la ecología del insecto vector, el clima y el hábitat. Aunque, el porcentaje de parasitemia en aves capturadas en la Plantación es mayor que en las aves capturadas en el Bosque, este no presenta diferencias significativas entre ellas, por lo que la deforestación no influye en el grado de parasitemia de las aves infectadas por *Plasmodium*. Por lo tanto, es necesario una mayor cantidad de estudios que permita abarcar todas las variables influyentes en la parasitemia y esclarezca los resultados contradictorios en estudios como Evans et al. (2009) y Belo et al. (2011).

CONCLUSIÓN

El trabajo centrado en el estudio de la parasitemia de la malaria en aves capturadas en dos hábitats de la isla de Sao Tomé (Bosque y Plantación), mostró una mayor intensidad de infección de malaria aviar en el hábitat Plantación (modificado) en contraposición al hábitat Bosque (natural), aunque estas diferencias no fueron significativas. La diferencia de resultados en las correlaciones y porcentaje de infección de las diferentes especies de aves capturadas, así como la presencia única de parásitos del género *Plasmodium* en ambos hábitats, estableció dos factores influyentes en el porcentaje de parasitemia. Estos dos factores fueron la diversidad, densidad y condición corporal del hospedador, así como la ecología del insecto vector. A estos dos factores se les sumó las condiciones climáticas y el hábitat. Por lo que se establece la necesidad de nuevos estudios que abarquen dichos factores influyentes en la intensidad de infección de la malaria aviar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Beldomenico, P.M., y Begon, M. (2009). Disease spread, susceptibility and infection intensity: Vicious Circle? *Trends in Ecology & Evolution*, 25, 21-7. doi: [10.1016/j.tree.2009.06.015](https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.06.015)

Beldomenico, P.M., y Begon, M. (2016). Stress-Host-Parasite interactions: a vicious triangle? *FAVE Sección Ciencias Veterinarias*, 14, 42-56. doi: [10.14409/favecv.v14i1/2.5693](https://doi.org/10.14409/favecv.v14i1/2.5693)

Beldomenico, P.M., Telfer, S., Gebert, S., Lukomski, L., Bennett, M., y Begon, M. (2009). The vicious circle and infection intensity: The case of *Trypanosoma microti* in field vole populations. *Epidemics*, 1, 162-167. doi: [10.1016/j.epidem.2009.05.002](https://doi.org/10.1016/j.epidem.2009.05.002)

Beldomenico, P.M., Telfer, S., Gebert, S., Lukomski, L., Bennett, M., y Begon, M. (2008). Poor condition and infection: a vicious circle in natural populations. *Proceedings of the royal society*, 275, 1753-1759. doi: [10.1098/rspb.2008.0147](https://doi.org/10.1098/rspb.2008.0147)

Belo, N.O., Pinheiro, R.T., Reis, E.S., Ricklefs, R.E., y Braga, E.M. (2011). Prevalence and Lineage Diversity of Avian Haemosporidians from Three Distinct

Cerrado Habitats in Brazil. *PLOS One*, 6, e17654. doi: [10.1371/journal.pone.0017654](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017654)

Benning, T.L., Lapointe, D., Atkinson, C.T., y Vitousek, P.M. (2002). Interactions of climate change with biological invasions and land use in the Hawaiian Islands: Modeling the fate of endemic birds using a geographic information system. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99, 14246-14249. doi: [10.1073/pnas.162372399](https://doi.org/10.1073/pnas.162372399)

Blanchet, S., Rey, O., Etienne, R., Lek, S., y Loot, G. (2010). Species-specific responses to landscape fragmentation: implications for management strategies. *Evolutionary Applications*, 3, 291-304. doi: [10.1111/j.1752-4571.2009.00110.x](https://doi.org/10.1111/j.1752-4571.2009.00110.x)

Bonneaud, C., Sepil, I., Milá, B., Buermann, W., Pollinger, J., Sehgal, R.N.M., Valkiūnas, G., Iezhova, T.A., Saatchi, S., y Smith, T.B. (2009). *Journal of Tropical Ecology*, 25, 439-447. doi: [10.1017/S0266467409006178](https://doi.org/10.1017/S0266467409006178)

Braga, E.M., Silveira, P., Belo, N.O., y Valkiūnas, G. (2011). Recent advances in the study of avian malaria: An overview with an emphasis on the distribution of *Plasmodium* spp. in Brazil. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 106, 3-11. doi: [10.1590/s0074-02762011000900002](https://doi.org/10.1590/s0074-02762011000900002)

Chasar, A., Loiseau, C., Valkiūnas, G., Iezhova, T., Smith, T.B., y Sehgal, R.N.M. (2009). Prevalence and diversity patterns of avian blood parasites in degraded African rainforest habitats. *Molecular ecology*, 18, 4121-4133. doi: [10.1111/j.1365-294X.2009.04346.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2009.04346.x)

Clayton, D.H., y Walther, B.A. (1997). *Collection and quantification of arthropod parasites of birds*. Recuperado de: https://butk.pw/index_538.pdf

Combes, C. (2001). Parasitism: The ecology and evolution of intimate interactions. Chicago: The University Press.

Cornet, S., Nicot, A., Rivero, A., y Gandon, S. (2014). Evolution of Plastic Transmission Strategies in Avian Malaria. *PLOS Pathogens*, 10, e1004308. doi: [10.1371/journal.ppat.1004308](https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1004308)

Creutzig, F., Bren d'Amour, C., Weddige, U., Fuss, S., Beringer, T., Gläser, A., y

Edenhofer, O. (2019). Assessing human and environmental pressures of global land-use change 2000–2010. *Global Sustainability*, 2, 1-17. doi: [10.1017/sus.2018.15](https://doi.org/10.1017/sus.2018.15)

Cumming, G.S., y Van Vuuren, S.P. (2006). Will climate change affect ectoparasite species range? *Global Ecology and Biogeography*, 15, 486-497. doi: [10.1111/j.1466-822X.2006.00241.x](https://doi.org/10.1111/j.1466-822X.2006.00241.x)

De Lima, R.F., Sampaio, H., Dunn, J.C., Cabinda, G., Fonseca, R., Oquiongo, G., Oquiongo, J., Samba, S., Santana, A., Soares, E., Viegas, L., Ward-Francis, A., Costa, L.T., Palmeirim, J.M., y Buchanan, G.M. (2017). Distribution and habitat associations of the critically endangered bird species of São Tomé Island (Gulf of Guinea). *Bird Conservation International*, 27, 455-469. doi: [10.1017/S0959270916000241](https://doi.org/10.1017/S0959270916000241)

Docile, T.N., Figueiró, R., Gil-Azevedo, L.H., y Nessimian, J.L. (2015). Water pollution and distribution of the black fly (Diptera: Simuliidae) in the Atlantic Forest, Brazil. *Revista de Biología Tropical*, 63, 683-693. doi: [26666125](https://doi.org/26666125)

Faust, C.L., McCallum, H.I., Bloomfield, L.S.P., Gottdenker, N.L., Gillespie, T.R., Torney, C.J., Dobson, A.P., y Plowright, R.K. (2018). Pathogen spillover during land conversion. *Ecology Letters*, 21, 471-483. doi: [10.1111/ele.12904](https://doi.org/10.1111/ele.12904)

Garnham P.C.C. (1966). *Malaria Parasites and other Haemosporidia*. Blackwell 570 Scientific Publications, Oxford, UK.

Gering, E., y Atkinson, C.T. (2004). A rapid method for counting nucleated erythrocytes on stained blood smears by digital image analysis. *Journal of Parasitology*, 90, 879-881. doi: [10.1645/GE-222R](https://doi.org/10.1645/GE-222R)

Githeko, A.K., Lindsay, S.W., Confalonier, V.E., y Patz, J.A. (2000). Climate change and vector-borne diseases: A regional analysis. *Bulletin of the World Health Organization*, 78, 1136–1147. doi: [PMC2560843](https://doi.org/PMC2560843)

He, Q., y Silliman, B.R. (2019). Climate change, human impacts, and coastal ecosystems in the Anthropocene. *Current Biology*, 29, R1021–R1035. doi: [10.1016/j.cub.2019.08.042](https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.08.042)

Hellgren, O., Waldenström, J., y Bensch, S. (2004) A new PCR assay for simultaneous studies of *Leucocytozoon*, *Plasmodium*, and *Haemoproteus* from avian blood. *Journal of Parasitology*, 90, 797-802. doi: [10.1645/GE-184R1](https://doi.org/10.1645/GE-184R1)

Hernández-Lara, C., González-García, F., y Santiago-Alarcón, D. (2017). Spatial and seasonal variation of avian malaria infections in five different land use types within a Neotropical montane forest matrix. *Landscape and Urban Planning*, 157, 151-160. doi: [10.1016/j.landurbplan.2016.05.025](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.05.025)

Huijben, S., Wargo, A.R., Roode, J.C., Drew, D.R., y Read, A.F. (2007). Transmission stage investment of malaria parasites in response to in-host competition. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274, 2629-2638. doi: [10.1098/rspb.2007.0873](https://doi.org/10.1098/rspb.2007.0873)

Jones, P.J. (1994). Biodiversity in the Gulf of Guinea: an overview. *Biodiversity and conservation*, 3, 772-784. doi: [10.1007/BF00129656](https://doi.org/10.1007/BF00129656)

Keesing, F., Holt, R.D., y Ostfeld, R.S. (2006). Effects of species diversity on disease risk. *Ecology Letters*, 9, 485-498. doi: [10.1111/j.1461-0248.2006.00885.x](https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00885.x)

Laurance, W.F., Sayer, J., y Cassman, K.G. (2014). Agricultural expansion and its impacts on tropical nature. *Trends in Ecology & Evolution*, 29, 107–116. doi: [10.1016/j.tree.2013.12.001](https://doi.org/10.1016/j.tree.2013.12.001)

Le Saout, S., Hoffmann, M., Shi, Y., Hughes, A., Bernard, C., Brooks, T.M., Bertzky, B., Butchart, S.H.M., Stuart, S.N., Badman, T., y Rodrigues, A.S.L. (2013). Protected areas and effective biodiversity conservation. *Science*, 342, 803-805. doi: [10.1126/science.1239268](https://doi.org/10.1126/science.1239268)

Loaiza, J.R., Dutari, L.C., Rovira, J.R., Sanjur, O.I., Laporta, G.Z., Pecor, J., Foley, D.H., Eastwood, G., Kramer, L.D., Radtke, M., y Pongsiri, M. (2017). Disturbance and mosquito diversity in the lowland tropical rainforest of central Panama. *Scientific Reports*, 7, 7248. doi: [10.1038/s41598-017-07476-2](https://doi.org/10.1038/s41598-017-07476-2)

MacArthur, R.H., Wilson, E.O., 1967. The Theory of Island Biogeography. Recuperado de: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1023/A:1016393430551.pdf>

Malhi, Y. (2012). The productivity, metabolism and carbon cycle of tropical forest vegetation. *Journal of Ecology*, 100, 65-75. doi: [10.1111/j.1365-2745.2011.01916.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2011.01916.x)

Morrisette, N.S., y Sibley, L.D. (2002). Cytoskeleton of Apicomplexan Parasites. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 66, 21-38. doi: [10.1128/MMBR.66.1.21-38.2002](https://doi.org/10.1128/MMBR.66.1.21-38.2002)

Pérez-Tris, J., Hasselquist, D., Hellgren, O., Krizanauskiene, A., Waldenström, J., y Bensch, S. (2005). What are malaria parasites? *Trends in Parasitology*, 21, 209-211. doi: [10.1016/j.pt.2005.03.007](https://doi.org/10.1016/j.pt.2005.03.007)

Perkins, S.L., y Schall, J.J. (2002). A molecular phylogeny of malarial parasites recovered from cytochrome b gene sequences. *The Journal of parasitology*, 88, 972-978. doi: [10.1645/0022-3395\(2002\)088\[0972:ampomp\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1645/0022-3395(2002)088[0972:ampomp]2.0.co;2)

Pimm, S.L., Raven, P. (2000). Extinction by numbers. *Nature*, 403, 843-845. doi: [10.1038/35002708](https://doi.org/10.1038/35002708)

Reye, A.L., Hubschen, J.M., Sausy, A., y Muller, C.P. (2010). Prevalence and seasonality of tick-borne pathogens in questing Ixodes ricinus ticks from Luxembourg. *Applied and Environmental Microbiology*, 76, 2923-2931. doi: [10.1128/AEM.03061-09](https://doi.org/10.1128/AEM.03061-09)

Rivero, A., y Gandon, S. (2018). Evolutionary ecology of avian malaria: past to present. *Trends in Parasitology*, 34, 712-726. doi: [10.1016/j.pt.2018.06.002](https://doi.org/10.1016/j.pt.2018.06.002)

Sehgal, R.N. (2010). Deforestation and avian infectious diseases. *Journal of Experimental Biology*, 213, 955-960. doi: [10.1242/jeb.037663](https://doi.org/10.1242/jeb.037663)

Senar, J. (2004). *Mucho más que plumas*. Recuperado de <http://monografies.museuciencesjournals.cat/files/MMCN-volum-2-Mucho-mas-que-plumas.pdf>

Thompson, R.C.A., Lymbery, A.J., Smith, A. (2010). Parasites, emerging disease and wildlife conservation. *International Journal for Parasitology*, 40, 1163-1170. doi: [10.1016/j.ijpara.2010.04.009](https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2010.04.009)

Vale, P.F., Choisy, M., y Little, T.J. (2013). Host nutrition alters the variance in parasite transmission potential. *Biology letters*, 9, 20121145. doi: [10.1098/rsbl.2012.1145](https://doi.org/10.1098/rsbl.2012.1145)

Valkiūnas, G. (2011). Haemosporidian vector research: marriage of molecular and 683 microscopical approaches is essential. *Molecular Ecology*, 20, 3084-6. Doi: [10.1111/j.1365-294x.2011.05187.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-294x.2011.05187.x)

Van Rooyen, C., Stewart, R.J., y De Wet, T. (2012). The impact of microfinance in Sub-Saharan Africa: A systematic review of the evidence. *World development*, 40, 2249-2262. doi: [10.1016/j.worlddev.2012.03.012](https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2012.03.012)

Vittor, A.Y., Gilman, R.H., Tielsch, J., Glass, G., Shields, T., Lozano, W.S., Pinedo-Cancino, V., Cobos, E.S., Flores, S., y Patz, J.A. (2009). Linking deforestation to malaria in the Amazon: characterization of the breeding habitat of the principal malaria vector, *Anopheles darlingi*. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 81, 5-12. Doi: [19556558](https://doi.org/10.4269/ajtmh.2009.81.5)

Vittor, A.Y., Gilman, R.H., Tielsch, J., Glass, G., Shields, T., Lozano, W.S., Pinedo-Cancino, V., y Patz, J.A. (2006). The effect of deforestation on the human biting rate of *Anopheles darlingi*, the primary vector of *Falciparum malaria* in the Peruvian Amazon. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 74, 3-11. doi: [10.4269/ajtmh.2006.74.3](https://doi.org/10.4269/ajtmh.2006.74.3)

Yasuoka, J., y Levins, R. (2007). Impact of deforestation and agricultural development on anopheline ecology and malaria epidemiology. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 76, 450-60. doi: [10.4269/ajtmh.2007.76.450](https://doi.org/10.4269/ajtmh.2007.76.450)