

2020

Relación entre la condición fisiológica de aves frugívoras y la viabilidad de semillas que pasan a través de su tracto digestivo

Karol Daniela Dueñas Florian
Universidad de La Salle, Bogotá

Follow this and additional works at: <https://ciencia.lasalle.edu.co/biologia>



Part of the [Biology Commons](#)

Citación recomendada

Dueñas Florian, K. D. (2020). Relación entre la condición fisiológica de aves frugívoras y la viabilidad de semillas que pasan a través de su tracto digestivo. Retrieved from <https://ciencia.lasalle.edu.co/biologia/84>

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Escuela de Ciencias Básicas y Aplicadas at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Biología by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

RELACIÓN ENTRE LA CONDICIÓN FISIOLÓGICA DE AVES FRUGÍVORAS Y LA VIABILIDAD DE SEMILLAS QUE PASAN A TRAVÉS DE SU TRACTO DIGESTIVO.

KAROL DANIELA DUEÑAS FLORIAN.

**Universidad De La Salle
Departamento de Ciencias Básicas
Programa de Biología
Bogotá D.C., Colombia 2020**

RELACIÓN ENTRE LA CONDICIÓN FISIOLÓGICA DE AVES FRUGÍVORAS Y LA VIABILIDAD DE SEMILLAS QUE PASAN A TRAVÉS DE SU TRACTO DIGESTIVO.

KAROL DANIELA DUEÑAS FLORIAN.

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE BÍOLOGA.

DIRECTOR

CAMILO ESCALLON HERKRATH.

Biólogo M.Sc, Ph.D.

Profesor asistente.

CODIRECTORA

DIANA ALEXANDRA DELGADILLO MÉNDEZ.

Bióloga M.Sc.

Investigadora externa.

Universidad De La Salle

Departamento de Ciencias Básicas

Programa de Biología

Bogotá D.C., Colombia 2020

*Para mi abuelito,
por su compañía, paciencia y experiencia.*

Se que desde el cielo me acompañas.

Agradecimientos

El reconocimiento de este trabajo es para cada uno de mis familiares, maestros, colegas y amigos que han contribuido en mi vida y formación como profesional. En primer lugar, doy gracias a mis padres por enseñarme desde que tengo memoria las maravillas de la naturaleza y apoyarme en cada sueño. Por despertar en mi la curiosidad por los animales, por sentarme a escuchar los cantos de los pájaros y formarme como una mujer que puede lograr lo que se proponga. A mi hermanito por ser mi compañía desde el primer día, por hacerme reír en los momentos más caóticos. Gracias por tu invaluable ayuda en campo y tu ánimo durante la escritura de este documento. A los tres les doy mi gratitud por estar a mi lado en cada día bueno y malo, los amo.

Gracias a mi tía y a mi abuelo por abrir las puertas de su casa, por alojarnos durante el trabajo de campo. Estaré siempre agradecida por la comprensión y los cuidados. Gracias a toda mi familia por la paciencia durante estos años de formación, por el amor y el apoyo cada día.

Quiero agradecer de manera especial a Felipe, por ser más que un colega. Gracias por ser mi amigo y hermano. Por haberme abierto las puertas de tu casa y tu familia, te agradezco por cada momento en el que me has acompañado, por todas las risas y tu ánimo en los momentos más difíciles. Gracias por estudiar conmigo para los exámenes, para las sustentaciones y por tu compañía en los congresos. De igual manera, agradezco a cada uno de mis amigos y colegas a Emma y a Juana por su amistad. A cada uno de los que me ha regalado de su tiempo y ayuda en cada etapa de formación.

A Camilo, mi tutor le agradezco por su paciencia y comprensión, atesoro cada gramo de conocimiento que me has obsequiado, por enseñarme el valor de las aves, por todo el apoyo en campo y en el desarrollo de esta investigación. A Alexandra le agradezco por recibirme bajo su tutoría desde el inicio de mi formación académica, por su trabajo impecable y dedicación a la biología. Además de inspirarme y mostrarme lo maravilloso del conocimiento de la fisiología de la conservación, muchos éxitos en tu vida.

A la profesora Lucia Lozano, con quien estoy infinitamente agradecida por su apoyo y su admirable trabajo no solo como tutora sino como maestra y científica. Gracias profe, por tus palabras de ánimo y tu invaluable conocimiento. A la profesora Astrid Muñoz por todo su apoyo y el tiempo dedicado en esta investigación, y su impagable actividad como líder y representante de este proyecto.

Finalmente doy gracias a Leslie Moreno, bacterióloga de la Clínica Veterinaria de La Universidad de La Salle, por facilitarme el acceso a los protocolos correctos para la tinción de las láminas. Al programa de Biología por su confianza y apoyo en cada etapa. Por último, a la Vicerrectoría de Investigación y Transferencia de la Universidad de La Salle por financiar esta investigación.

Tabla de Contenido

| | |
|---|----|
| Resumen: | 1 |
| Introducción. | 1 |
| Fisiología de los dispersores de semillas | 2 |
| Interacción de la fisiología de aves dispersoras y las semillas consumidas..... | 3 |
| Objetivo general | 4 |
| Objetivos específicos | 4 |
| Materiales y métodos. | 4 |
| Área de estudio | 4 |
| Caracterización de las especies de aves..... | 5 |
| Caracterización de la especie de planta | 7 |
| Fase de campo y laboratorio | 7 |
| Estimación de la germinación, viabilidad y latencia de semillas..... | 9 |
| Porcentaje de germinación..... | 9 |
| Porcentaje de viabilidad | 9 |
| Estimación de la latencia..... | 10 |
| Determinación de la condición fisiológica de las aves | 10 |
| Índice de condición corporal..... | 10 |
| Índice de hematocrito | 10 |
| Concentración de glucosa | 10 |
| Evaluación de la infección por hemoparásitos..... | 11 |
| Análisis de datos | 11 |
| Estimación de parámetros de semillas | 11 |
| Determinación de la condición fisiológica | 11 |
| Evaluación de la infección por hemoparásitos..... | 12 |
| Resultados. | 12 |
| Germinación, viabilidad y latencia de las semillas | 12 |
| Relación entre la fisiología de las aves y la germinación de las semillas | 16 |
| Índice de Condición Corporal | 16 |
| Índice de Hematocrito | 16 |
| Concentración de Glucosa | 16 |
| Prevalencia y abundancia de hemoparásitos | 17 |

| | |
|--|----|
| Discusión de resultados | 20 |
| Germinación, viabilidad y latencia de semillas consumidas las especies de <i>Tangara</i> . | 20 |
| Índices fisiológicos | 21 |
| Infección por hemoparásitos | 22 |
| Relación entre la condición fisiológica y las semillas ingeridas por aves frugívoras | 22 |
| Conclusiones | 23 |
| Referencias bibliográficas | 23 |

Tabla de Figuras

| | |
|---|----|
| Fig. 1. Mapa de ubicación del área de estudio dentro del territorio de Colombia..... | 5 |
| Fig. 2. Especies de aves frugívoras dispersoras de semillas. A) <i>Tangara cyanicollis</i> . B) <i>Tangara gyrola</i> . C) <i>Tangara vitriolina</i> | 6 |
| Fig. 3. Metodología para colecta y medición de las aves en campo. A) Captura de aves mediante redes de niebla. B) Toma de muestra hematológica. C) Medición del tarsometatarso. D) Evaluación del peso de las aves colectadas. E) Marcaje de las aves con esmalte de uñas. F) Transporte de aves colectadas a través de bolsas de tela..... | 8 |
| Fig. 4. Número de semillas viables y no viables obtenidas de las heces de las aves frugívoras, las semillas no germinadas fueron sometidas a prueba de Cloruro de Tetrazolio..... | 13 |
| Fig. 5. Efecto del paso por el tracto digestivo sobre las semillas ingeridas por aves frugívoras. A) Efecto sobre el porcentaje de germinación de las semillas al pasar por el tracto digestivo de las aves. B) Efecto sobre el porcentaje de viabilidad de las semillas al pasar por el tracto digestivo de las aves. C) Efecto sobre la latencia de las semillas al pasar por el tracto digestivo de las aves..... | 15 |
| Fig. 6. Grafica de dispersión por puntos del estado fisiológico de las aves frugívoras y las semillas que pasan por su tracto digestivo. A) Índice de condición corporal con relación al porcentaje de germinación. B) Índice de hematocrito en relación con el porcentaje de germinación. C) Concentración de glucosa con relación al porcentaje de germinación de las semillas. D) Índice de condición corporal con relación al porcentaje de viabilidad. E) Índice de hematocrito con relación al porcentaje de viabilidad. F) Concentración de glucosa en relación con el porcentaje de viabilidad. G) Índice de condición corporal con relación a la latencia de las semillas. H) Índice de hematocrito en relación con la latencia de las semillas. I) Concentración de glucosa con relación a la latencia..... | 17 |
| Fig. 7. Glóbulos rojos de aves del género <i>Tangara</i> infectados por hemosporidios intracelulares observados a 1000 aumentos. En todas las imágenes el puntero indica la célula infectada. A) Individuo de <i>Tangara cyanicollis</i> (73). B-D) Individuos de <i>Tangara vitriolina</i> (41, 65 y 67)..... | 18 |
| Fig. 8. Efecto en las semillas al pasar por el tracto digestivo de aves infectadas y no infectadas por hemoparásitos. A) Porcentaje de germinación de semillas. B) Porcentaje de viabilidad de semillas. C) Latencia de semillas..... | 19 |

Listado de tablas

Tabla 1. Latencia y porcentaje de germinación de las semillas obtenidas de cada individuo..... 14

Resumen:

La endozoocoria ocurre cuando una semilla es ingerida por un dispersor. Sin embargo, este proceso puede verse afectado por múltiples factores. Recientemente se ha propuesto que la fisiología de los dispersores puede ser un componente importante, debido a que un desbalance fisiológico podría llegar a tener un efecto en las semillas que atraviesan el tracto digestivo de un dispersor. Con base a lo anterior, esta investigación pretende determinar si existe una relación entre la condición fisiológica de un ave frugívora y la germinación, viabilidad y latencia de las semillas que pasan a través de su tracto digestivo. Para ello se colectaron semillas de *Vaccinium meridionale* de las heces fecales de *Tangara cyanicollis*, *T. gyrola* y *T. vitriolina*. Las aves se capturaron usando redes de niebla, se tomaron datos morfométricos como longitud del tarsometatarso y el peso, con el fin de evaluar la condición corporal. Así mismo, se tomaron muestras hematológicas para realizar la prueba de hematocrito, la concentración de glucosa y la infección por hemoparásitos. Por otra parte, las semillas recolectadas fueron puestas a germinar para determinar su porcentaje de germinación y viabilidad, así como su latencia hasta la germinación. No se encontró una relación entre la condición fisiológica y el éxito de las semillas que son ingeridas por las aves. A pesar de esto, se determinó un efecto negativo en la germinación de las semillas al pasar por el tracto digestivo las aves. La infección parasitaria encontrada no fue alta, no obstante, se encontraron cuatro individuos con células infectadas por hemoparásitos. Concluimos que, el paso por el tracto digestivo de las semillas disminuye la germinación de las semillas, sin embargo, no hay correlación entre la condición fisiológica de las aves y la germinación de las semillas.

Palabras Clave: Aves, Endozoocoria, Germinación, Viabilidad, Estado fisiológico, Infección parasitaria.

INTRODUCCIÓN.

La dispersión de semillas mediada por animales, mejor conocida como zoocoria, se encuentra directamente relacionada con los procesos de sucesión ecológica (1). Además, influye sobre la estructura genética de las comunidades de plantas y su fitness (2), promoviendo en muchas ocasiones de manera benéfica la germinación de las semillas y el establecimiento de las plántulas (3). La importancia de la endozoocoria radica en las interacciones que han desarrollado los diferentes organismos a lo largo del tiempo (4, 5). Para que la dispersión suceda se requiere de unos agentes adecuados, que pueden variar de acuerdo al síndrome de dispersión (6). Los animales, son altamente reconocidos como agentes de dispersión relevantes, debido a que contribuyen en mayor medida en este proceso, especialmente en ecosistemas tropicales (7).

Las aves, como dispersoras de semillas, resultan importantes debido principalmente a dos factores. El primero es la diversidad de estos organismos, lo que provee a los bosques de múltiples dispersores a lo largo del tiempo (8, 9). En segunda instancia, la endozoocoria que ocurre gracias a la ingestión de las semillas permitiendo que estas sean transportadas dentro del tracto intestinal de las aves (10). Esta interacción resulta benéfica para las plantas, pues las semillas se dispersan lejos de la planta madre. Así mismo, el proceso de acaparamiento que expone a la semilla por la digestión en un tiempo específico, lo que en consecuencia genera cambios morfológicos en las semillas (11).

Entre las modificaciones estructurales que pueden sufrir las semillas a causa de la endozoocoria, se reporta el incremento de la porosidad, ya que el paso por el tracto digestivo de las aves degrada las paredes anticlinales de las semillas (12–14). Este proceso que se conoce como escarificación y facilita que el agua, la luz y demás microelementos necesarios para que la germinación ocurra, lleguen hasta el embrión (15, 16). De hecho, los efectos reportados son especialmente notorios en la promoción del tiempo y velocidad de la germinación de las semillas consumidas por aves frugívoras (17–19).

La escarificación se da por procesos mecánicos y químicos de la digestión de las aves (20). Kleyheeg, et al., (21) determinaron que el paso por la molleja, la interacción con los ácidos intestinales, y adicionalmente el efecto que promueve la presencia de microorganismos del tracto digestivo de las aves, generan la porificación y degradación de las paredes anticlinales en las semillas que pasan por el tracto digestivo.

Fisiología de los dispersores de semillas

Como se mencionó anteriormente, la digestión de las aves tiene un efecto sobre las semillas. Sin embargo, este proceso digestivo puede verse alterado a causa de la deficiencia en los procesos de regulación interna del cuerpo, conocido como homeostasis fisiológica (22, 23). Es posible que las alteraciones en la condición fisiológica del animal desencadenen el mal funcionamiento del tracto digestivo. Lo que, genera deformaciones en el intestino delgado, acortando la longitud de las vellosidades y las criptas del yeyuno, además de una disminución en la dinámica celular intestinal (24, 25).

Se han descrito diversos factores que pueden modificar o afectar de manera negativa el estado fisiológico de las aves, el cual se define como la respuesta a estímulos externos que permiten mantener las funciones corporales. En primer lugar, el apareamiento y la cría son procesos que demandan un alto gasto energético. En aves Paseriformes se ha encontrado que en la temporada de apareamiento y cría los niveles de algunas hormonas se elevan, desmejorando el estado fisiológico de las aves (26). De igual manera se ha observado en golondrinas (*Tachycineta bicolor*) una reducción en la función del sistema inmune, durante el apareamiento (27).

Por otra parte, la disponibilidad de alimento es otro de los componentes que puede generar cambios en el estado fisiológico. Esto se debe a que, el metabolismo de lípidos y proteínas depende de la dieta, lo cual, repercute en la acumulación de reservas energéticas (28). En aves neotropicales, se ha encontrado que la disponibilidad de recursos y el gasto energético necesario para obtenerlos, tiene efectos en la condición fisiológica de algunas especies de aves (29).

En tercera instancia, las enfermedades como la malaria aviar causada por la infección de hemoparásitos, aumentan los niveles de hormonas asociadas a deficiencias en el estado fisiológico, como la corticosterona. Esto ha sido reportado en individuos de *Lepidothrix coronata* (saltarín coronado) (30). Del mismo modo, factores antrópicos como la fragmentación de bosques afecta a la condición fisiológica de las aves (31).

Adicionalmente, en individuos de *Passer domesticus* los niveles altos de hormonas asociadas a desbalances homeostáticos se atribuyen a procesos de urbanización (32). Por ende, el estado fisiológico del dispersor puede incidir en la calidad del proceso de dispersión de semillas, así como de la interacción entre plantas y animales (33). Es decir, sí la condición fisiológica se modifica, el efecto que genera a las semillas el paso a través del tracto digestivo del ave, se puede ver igualmente reducido e incluso anulado (34, 35).

Para evaluar la condición fisiológica de un ave se emplean distintas aproximaciones, la condición corporal es una de estas. La cual, consiste en estimar las reservas energéticas de un individuo, lo que permite entender la condición fisiológica de un animal (36, 37). Se ha encontrado que al establecerla relación que existe entre la longitud y el peso de un individuo, se puede determinar si se presenta un déficit de reservas energéticas, usualmente asociadas a la ausencia de recursos (38, 39). Por consiguiente, la disponibilidad de recursos, que permitan generar reservas energéticas, es un factor que afecta el estado fisiológico de las aves (40).

De igual manera, para metabolizar o conservar estas reservas energéticas es necesaria una cantidad precisa de oxígeno. Por lo que, al evaluar la tasa de suministro de oxígeno se puede tener una aproximación del estado fisiológico de un ave (41). La prueba de hematocrito que permite determinar el volumen que ocupan los eritrocitos en la sangre se ha utilizado recientemente para evaluar la condición fisiológica asociada al suministro de oxígeno (42). Pap, et al., (43) a través de una prueba de hematocrito en *Passer domesticus*, encontraron que valores bajos del índice de hematocrito se asocian a deficiencias en el estado fisiológico.

Así mismo, la concentración de glucosa emplea para determinar el grado nutricional de un individuo, pues, indica la demanda metabólica requerida. Por lo tanto, se ha establecido el rol de la glucosa como indicador bioquímico de la condición fisiológica en aves (44). Investigaciones realizadas en *Neopelma pallescens* han demostrado que existe una relación positiva entre la concentración de glucosa y la condición fisiológica (45).

Adicionalmente, la infección por parásitos afecta la condición fisiológica pues, desvía parte de la energía utilizada en diferentes procesos para combatir la infección (46). Los parásitos tienen la capacidad de desarrollar parte de su ciclo de vida dentro de un hospedero, uno de los más comunes en aves silvestres son los hemoparásitos (47). Garvín, et al., (48) encontraron que al comparar individuos de *Piranga rubra* y *P. olivácea* no infectados e infectados por *Haemoproteus*, los valores de acumulación de reservas energéticas eran inferiores en los organismos infectados. Asimismo, los valores de masa corporal de *Pheucticus ludovicianus* e *Icterus galbula* infectados con *Haemoproteus*, eran más bajos en comparación a los individuos no infectados.

Interacción de la fisiología de aves dispersoras y las semillas consumidas

Como se ha expresado, la endozoocoria es fundamental dentro de los ecosistemas. A pesar de esto, las variables que intervienen en dicho proceso son poco reconocidas y estudiadas (49). De modo que, recientemente se ha propuesto a la condición fisiológica de los dispersores de semillas como un factor clave que interviene y afecta a la endozoocoria (33). Ya que, el estado fisiológico de las aves no sólo afecta su supervivencia, sino que puede generar impactos directos en las interacciones que ocurren con las plantas dentro de su nicho ecológico (22). Por lo cual, el estado de homeostasis de la fisiología de un ave dispersora de semillas puede modificar los efectos que se generan en las semillas al pasar por su tracto digestivo, como el adecuado proceso de escarificación (33, 50, 51).

Por lo tanto, es posible, establecer el grado de afectación del estado fisiológico del ave frugívora y el impacto en el proceso de dispersión de semillas (52). Por lo que, el desbalance homeostático del ave puede tener consecuencias directas sobre los efectos en la promoción de la germinación de las semillas y el proceso de escarificación. Sin embargo, esta hipótesis no ha sido evaluada. En base a este hecho, se propone en esta investigación, que el estado fisiológico de las aves frugívoras afecta de manera directa a las semillas que han

atravesado su tracto digestivo, modificando la germinación, la viabilidad y el tiempo que tarda en germinar las semillas.

Objetivo General

Determinar si existe una relación entre la condición fisiológica de un ave frugívora y la viabilidad y germinación de las semillas que pasan a través de su tracto digestivo.

Objetivos Específicos

- Comparar la viabilidad, latencia y porcentaje de germinación de las semillas que pasan y no pasan por el tracto digestivo de las aves.
- Determinar el índice de condición corporal, el nivel de hematocrito y concentración de glucosa en sangre de las aves frugívoras.
- Evaluar la prevalencia y abundancia de hemoparásitos en las especies de aves frugívoras.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Área de estudio

Este estudio está amparado bajo el proyecto *“Influencia de la condición corporal de las aves y la microbiota endófito, en la viabilidad de semillas en una localidad colombiana”*. Se estableció como área de estudio, la zona oriental de la región del Tequendama en el departamento de Cundinamarca, Colombia. Específicamente en la vereda El Paraíso, ubicada en a 4.578351 Norte y al Oeste a -74.407211Fig. 1). Esta vereda se ordena dentro de la inspección Pradilla del Municipio de El Colegio.

La zona de estudio se encuentra a 1100 metros sobre el nivel del mar y las condiciones de temperatura fluctúan entre los 12°C hasta 31°C. La humedad promedio es de 81%, adicionalmente la precipitación anual es de 1650 milímetros (53). En esta zona se reporta un régimen pluviométrico bimodal, es decir, dos periodos lluviosos en el año. El primer periodo ocurre de abril a mayo y el segundo de septiembre a diciembre, por consiguiente, el periodo seco ocurre de enero a marzo y de junio a agosto (54).

El régimen bimodal es típico del altiplano cundiboyacense y del occidente de Boyacá y Cundinamarca, departamentos ubicados en el nororiente de la región Andina (55). En consecuencia, a la ubicación geográfica y las condiciones climatológicas, esta región muestra rasgos propios en la composición y riqueza vegetal del bosque andino, en donde son predominantes las familias Melastomataceae, Rubiaceae, Asteraceae, Fabaceae, Gesneriaceae y Solanaceae (56). Sin embargo, esta es una región altamente intervenida y habitada por comunidades humanas, por lo cual, se encuentran cultivos principalmente de café, banano y algunas otras plantas frutales.

El periodo de recolección y toma de datos en campo, se llevó a cabo entre los meses de diciembre de 2018 y febrero de 2019. Este periodo se reporta como temporada seca en la región de estudio. Este evento concuerda con el periodo general de fructificación de las especies presentes en el bosque andino (56).

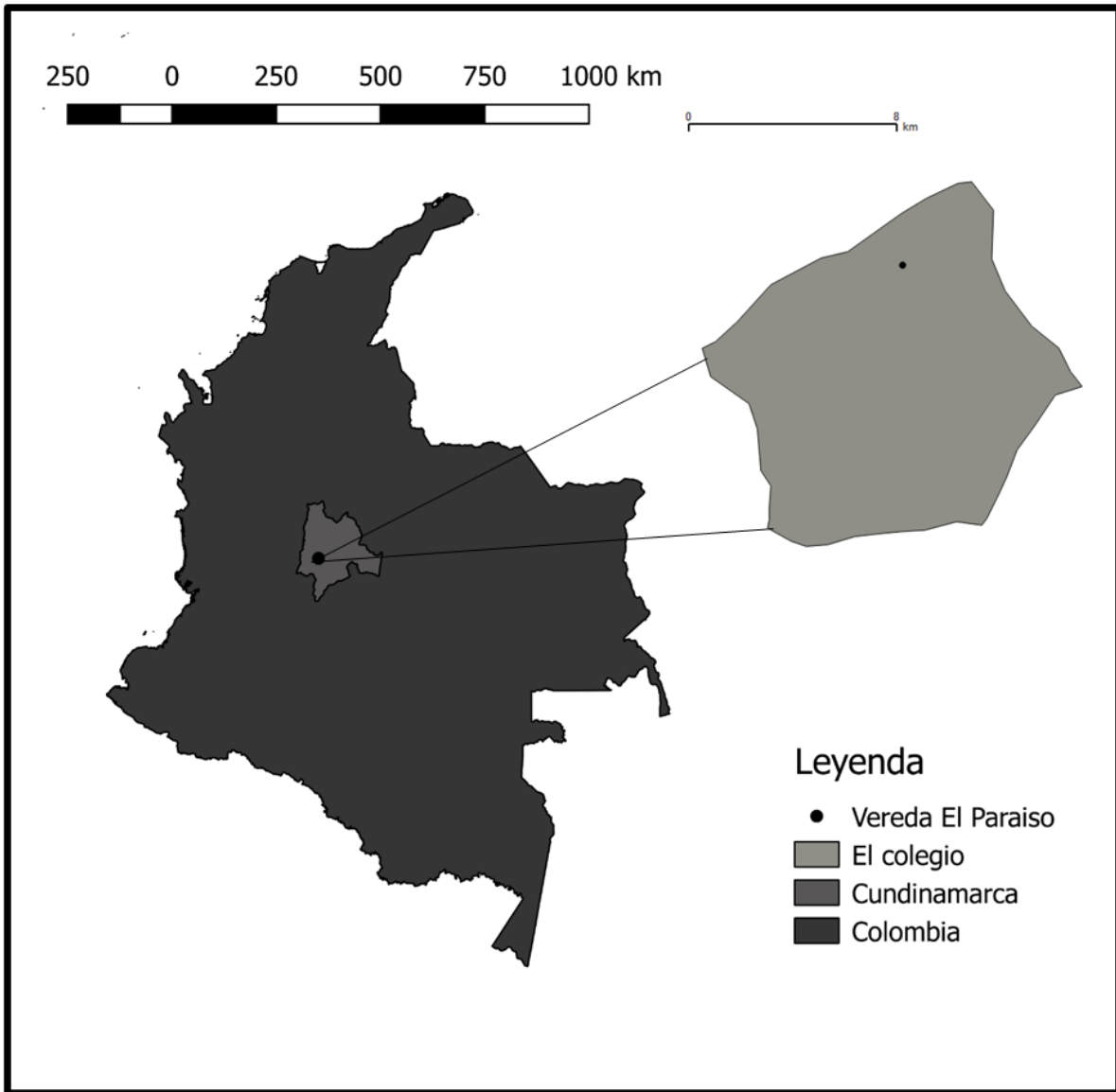


Fig. 1. Mapa de ubicación del área de estudio dentro del territorio de Colombia.

Caracterización de las especies de aves

El gremio de las aves frugívoras está conformado por diversos taxones. La familia Thraupidae es uno de los más representativos en el área de estudio. Para el presente estudio, se seleccionaron tres especies de dicha familia que pertenecen al género *Tangara* (*T. cyanicollis*, *T. gyrola* y *T. vitriolina*). Estas especies fueron seleccionadas bajo parámetros de abundancia de los individuos en el sitio de estudio y a la capacidad reportada de dichas especies como dispersoras de semilla (57). Adicionalmente, las tres especies según la IUCN, se encuentran en el estado de conservación catalogado como preocupación menor (58).

La distribución de *Tangara cyanicollis* (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**A) abarca desde Colombia hasta Brasil atravesando por Ecuador, Bolivia, Perú y Venezuela. En Colombia se encuentra en hábitats como bosque andino, bosque seco, bosque de galería, bosque húmedo e incluso zonas intervenidas. Esta especie ha sido registrada en las tres cordilleras, especialmente entre los 900-2400 msnm (59). Morfológicamente se caracteriza por presentar una longitud de 12 centímetros y un promedio de 17 gramos. El pico, las piernas y pies son negros, al igual que el cuerpo. En contraste la cabeza es azul turquesa, así como la terminación de las alas. Los hombros presentan una coloración verde platinado y amarillo (59).

Tangara gyrola (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** B) comparte la distribución descrita de *T. cyanicollis*. En Colombia, se registra desde los 500 hasta los 2100 msnm, habitando principalmente bosques secos, bosques húmedos, bordes de bosques, sabanas, bosques secundarios y áreas intervenidas (59). Su cuerpo puede alcanzar 14 centímetros de longitud y pesar 22 gramos aproximadamente. En cuanto a los colores de su plumaje la cabeza es roja mientras que el cuerpo es color verde y el pecho azul turquesa. Así mismo, presenta una gargantilla color amarillo alrededor, rabadilla de tono azul marino, el cual se torna verde en el abdomen, las patas son grises y el pico de color negro (59).

Con respecto a *Tangara vitriolina* (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** C) su distribución se restringe a Ecuador y Colombia, considerándola como una especie casi endémica. En Colombia, se ha registrado en bosques húmedos, bosques de galería y áreas intervenidas. Se ubica entre los 500 y los 2000 msnm (59). La longitud de su cuerpo es de 14 centímetros promedio y llega a pesar 23 gramos. El plumaje de la cabeza es mayormente naranja, con antifaz negro, el cuerpo se encuentra entre tonos azul opaco a verde plata. La parte inferior es blancuzca en el abdomen mientras que color de las alas es verde (59).



Fig. 2. Especies de aves frugívoras dispersoras de semillas. A) *Tangara cyanicollis*. B) *Tangara gyrola*. C) *Tangara vitriolina*.

Caracterización de la especie de planta

Vaccinium meridionale es una especie de la familia Ericaceae. Presenta hábito arbustivo, que puede alcanzar hasta 8 metros de altura. Tallo erecto, con hojas alternas, pecíolo de 3 milímetros de largo, lámina elíptica, y margen serrado (60). Presenta inflorescencias tipo racimo, flores con pedicelo y bractéolas. Ostenta cuatro a cinco sépalos de color blanco o rosado, al igual que pétalos, un aproximado de diez estambres y ovario con cuatro lóbulos. Los frutos de esta planta poseen un diámetro de cinco a diez milímetros de color granate y pueden contener entre ocho a diez semillas, de aproximadamente 1 milímetro de longitud, con testa rugosa y paredes delgadas. En Colombia, su distribución abarca los departamentos de Antioquia, Boyacá, Cundinamarca, La Guajira, Huila, Magdalena, Nariño y Santander (61).

Fase de campo

Con el fin de coleccionar las aves se siguió la metodología de captura a través de redes de niebla, las cuales se ubicaron en lugares estratégicos cerca de las zonas de forrajeo, identificadas previamente (Fig. 3A). Las redes fueron abiertas solo en horas de la mañana entre las 5 am y las 10 am. Los individuos capturados fueron marcados con esmalte de uñas en las garras y las falanges (Fig. 3E). Esta metodología de marcaje se implementó con el fin de no afectar la supervivencia del animal, puesto que no es invasiva (62).

Tras retirar cada individuo de la red de niebla se procedió a tomar muestras fisiológicas y a medir características morfológicas. En primera instancia se tomaron las muestras hematológicas, adicionalmente, el área dispuesta para recolectar la muestra fue desinfectada con alcohol no tóxico especializado para aves (Fig. 3B). Posteriormente, se coleccionaron los datos morfológicos incluyendo la longitud del tarsometatarso y el peso (Fig. 3C-D). Consecutivamente fueron introducidos en una bolsa de tela marcada con el número de colecta (Fig. 3F).



Fig. 3. Metodología para colecta y medición de las aves en campo. A) Captura de aves mediante redes de niebla. B) Toma de muestra hematológica. C) Medición del tarsometatarso. D) Evaluación del peso de las aves colectadas. E) Marcaje de las aves con esmalte de uñas. F) Transporte de aves colectadas a través de bolsas de tela.

Las aves fueron trasladadas a jaulas dispuestas con agua y frutos de *Vaccinium meridionale*. Lo anterior, siguiendo la metodología de Traveset, Rodríguez, & Pías, (2008), las jaulas se construyeron con dimensiones de 60x60x60 centímetros. Los individuos permanecieron dentro de las jaulas entre tres a cuatro horas, siendo monitoreados cada 30 minutos. Adicionalmente las aves permanecían aisladas entre si con el fin de que no aumentara el nivel de estrés y evitar posibles daños físicos.

Las heces fecales fueron colectadas en frascos eppendorf rotulados con el número de campo correspondiente a cada ave. Posteriormente fueron lavadas con agua destilada, retirando las semillas de las heces fecales. Las semillas se conservaron en frascos de eppendorf con glicerina, para ser transportadas. De igual manera, los recipientes fueron rotulados con el número de campo correspondiente para cada individuo.

Estimación de la germinación, viabilidad y latencia de semillas

Aleatoriamente se seleccionaron frutos de siete plantas de *V. meridionale*, posteriormente los frutos fueron despulpados y se extrajeron de ellos las semillas. Tras esto fueron lavadas con agua destilada y conservadas en glicerina (63). De las heces fecales de las aves se empleó un promedio de 14 semillas por cada ave para realizar los experimentos de germinación, viabilidad y latencia. De manera aleatoria, se seleccionaron la mitad de las semillas para realizar una réplica por cada grupo de semillas obtenidas de cada individuo.

Todas las semillas fueron lavadas en el laboratorio con agua destilada y se ubicaron en cajas de Petri estériles, sobre papel absorbente humedecido con agua destilada. Las semillas se mantuvieron en condiciones naturales de luz y a una temperatura de entre 16 a 20 grados centígrados, durante 60 días.

Porcentaje de germinación

Las semillas obtenidas del ave se ubicaron en una caja de Petri. Al cabo de 60 días del inicio del experimento, se realizó el conteo del total de semillas germinadas en cada caja de Petri. Se tomó como semilla germinada, los ejemplares cuya radícula presentó una longitud de 0.5 milímetros. De cada caja se tomó como 100% el número inicial de semillas, posteriormente se calculó el porcentaje del total de las semillas que germinaron, en base al valor inicial.

Porcentaje de viabilidad

Tras evaluar el porcentaje de germinación se tomó el remanente de las semillas que no germinaron. Dichas semillas se lavaron con agua destilada y posteriormente fueron introducidas dentro de tubos de eppendorf que contenían una disolución de cloruro de tetrazolio en agua destilada a una concentración de 1:100. Este reactivo tiñe de color rojizo los tejidos que realizan actividad metabólica, permitiendo encontrar las semillas cuyo embrión realiza respiración celular y tiene el potencial de germinar, es decir, es viables (64).

Las semillas permanecieron sumergidas en esta solución por 24 horas a una temperatura de 25 grados centígrados. Al terminar el tiempo de tinción las semillas se ubicaron bajo el estereoscopio óptico de luz y se practicó un corte longitudinal a cada semilla, con la finalidad de identificar el color adquirido por el embrión tras la tinción con cloruro de tetrazolio (65).

El porcentaje total de semillas viables se determinó adicionando las semillas que arrojaron un resultado positivo en la prueba de cloruro de tetrazolio a las semillas que germinaron.

Estimación de la latencia

A partir del inicio del experimento, se realizó revisión diaria de cada caja de Petri, registrando el número de semillas germinadas que se encontró cada día. Esto se ejecutó desde el día cero hasta el día 60.

Determinación de la condición fisiológica de las aves

Índice de condición corporal

Tras capturar las aves, se tomó la medida del tarsometatarso mediante un calibrador. Esta medida se tomó desde la base de la articulación metatarsiana hasta la articulación del tarso, tras esto se registró la longitud en milímetros (Fig. 3C). Al tomar la medida de longitud del tarsometatarso se inmovilizó al individuo. Posteriormente se realizó el pesaje del individuo a través de una pesola de 100 gramos. El ave se introdujo dentro de una bolsa para pesaje, la cual no afectaba físicamente al individuo. Dicha bolsa se adhirió a la pesola y se registró el peso en gramos (Fig. 3D). El índice de condición corporal se calculó al dividir la longitud del tarsometatarso entre el peso de cada ave.

Índice de hematocrito

Se utilizó una aguja limpia y estéril diferente para cada sujeto, con la finalidad de evitar la transmisión de posibles infecciones entre las aves. Dicha aguja tenía un diámetro de 0.30 y longitud de 12 milímetros aproximadamente. Se introdujo la punta de la aguja en la zona desinfectada de la vena branquial con el fin de extraer la muestra hematológica (66). Dicha muestra fue colectada en tubos para hematocrito heparinizados marca VITREX®, los cuales tienen una capacidad volumétrica de 75 μ l (Fig. 3B). Se completó el 60% volumen del capilar heparinado y posteriormente los tubos capilares fueron sellados con plastilina y fueron rotulados con el número de colecta. Para cada individuo se tomaron dos muestras.

Posteriormente, los tubos capilares fueron introducidos dentro de una centrifuga manual, la cual fue construida bajo los estándares de Bhamla, et al., (67). La muestra hematológica fue centrifugada durante dos minutos, tras este tiempo se midió la cantidad de plasma y de eritrocitos, a través de una regla de medida para hematocrito. Finalmente se determinó la relación entre los glóbulos rojos y la muestra total de sangre, por ende, se dividió la cantidad de eritrocitos entre el 100% de la muestra de sangre.

Concentración de glucosa

Tras tomar la muestra de sangre dentro de un capilar heparinado, se obtuvo la medida de la concentración de glucosa en sangre. Para ello, se utilizó un glucómetro Freestyle Optium® del laboratorio Abbott, el cual calcula el número de miligramos de glucosa por cada décima parte de un litro de sangre (mg/dL). Para cada individuo se utilizó una tira para glucómetro limpia y estéril. Allí se depositó una gota de sangre hasta completar el aforo para la lectura del glucómetro.

Evaluación de la infección por hemoparásitos

Se tomó la muestra de sangre obtenida de la vena branquial del ala y se ubicó una gota en una lámina para microscopio biselada, la cual fue extendida a través de toda la lámina. De tal manera, que las células se ubicaran de manera equidistante, sin que se dispusieran unas sobre otras. Los portaobjetos fueron rotulados con el número de colecta, realizando dos extendidos por cada individuo. Posteriormente las láminas fueron fijadas con metanol, con fin de evitar el desplazamiento celular. Para esto, fueron introducidas dentro de una cámara para portaobjetos la cual se llenó completamente con metanol al 90% por cinco minutos.

En el laboratorio cada lamina fue teñida con una dilución del reactivo Giemsa, diluyendo 0.2 mililitros del colorante en siete mililitros en agua destilada. Cada lámina fue cubierta totalmente con esta dilución durante 45 minutos. Posteriormente, se retiró el exceso de colorante y observadas a través de un microscopio óptico. Visualizadas a 1000 aumentos, realizando un transecto ondulatorio a lo largo de la lámina. En total para cada individuo se evaluó un total de 20.000 células. Las células infectadas por hemoparásitos fueron capturadas a través de fotografía. Se registró el total de células infectadas por hemoparásitos para cada individuo.

Análisis de datos

Para cada variable fisiológica (índice de condición corporal, índice de hematocrito y concentración de glucosa) y cada variable de semillas (porcentaje de germinación, porcentaje de viabilidad latencia), primero se determinó la normalidad a través de la prueba de Shapiro-Wilk. Todos los análisis de datos se realizaron en el software estadístico The R Project for Statistical Computing versión 3.6.1. para Windows. Tras realizar los análisis estadísticos, todos los resultados y valores obtenidos se graficaron en el software GraphPad Prism, versión 6 para Windows.

Estimación de parámetros de semillas

Con el fin de evaluar el efecto de la ingestión de las semillas por aves frugívoras sobre el porcentaje de germinación, porcentaje de viabilidad y latencia se realizaron tres pruebas de ANOVA. Como variable dependiente se tomó el porcentaje de germinación, viabilidad y la latencia de las semillas, mientras que se estableció como variable independiente el paso por el tracto digestivo de los individuos.

Determinación de la condición fisiológica

Se empleó una regresión lineal para comprender el efecto de cada variable independiente de las aves (índice de condición corporal, índice de hematocrito y concentración de glucosa) y se usaron como variables dependientes el porcentaje de germinación, porcentaje de viabilidad y latencia. Se registraron los valores de R^2 y probabilidad obtenidos mediante esta prueba. Posteriormente, para determinar el valor de probabilidad en conjunto de los datos se ejecutó una corrección de False Discovery Rate (FDR), ya que, esta prueba pretende evitar los errores de falsos positivos causados por los análisis entre múltiples variables.

Evaluación de la infección por hemoparásitos

Se llevó a cabo la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, con el fin de encontrar si existen diferencias en el porcentaje de germinación, porcentaje de viabilidad y latencia de las semillas (variable dependiente) al ser ingeridas por aves infectadas y no infectadas por hemoparásitos (variable independiente).

RESULTADOS.

Germinación, viabilidad y latencia de las semillas

Se capturaron 19 individuos de las tres especies de *Tangara* (*T. cyanicollis*, *T. gyrola* y *T. vitriolina*). Se obtuvieron cinco individuos de *T. cyanicollis*, tres individuos de *T. gyrola*, y once individuos de *T. vitriolina*. Sin embargo, del total de individuos solamente se colectó heces fecales con semillas de 13 aves.

Del total de las 229 semillas colectadas de las heces fecales germinaron 106 (46%) mientras que 123 (54%) semillas no germinaron. Tras someter estas 123 semillas que no germinaron a la prueba de viabilidad, se obtuvo resultado positivo para 33 semillas (Fig. 4) mientras que 90 semillas no presentaron embrión viable. Es decir, se obtuvo un total de 139 semillas viables, que equivalen al 61% de las semillas obtenidas de las heces fecales de las aves.

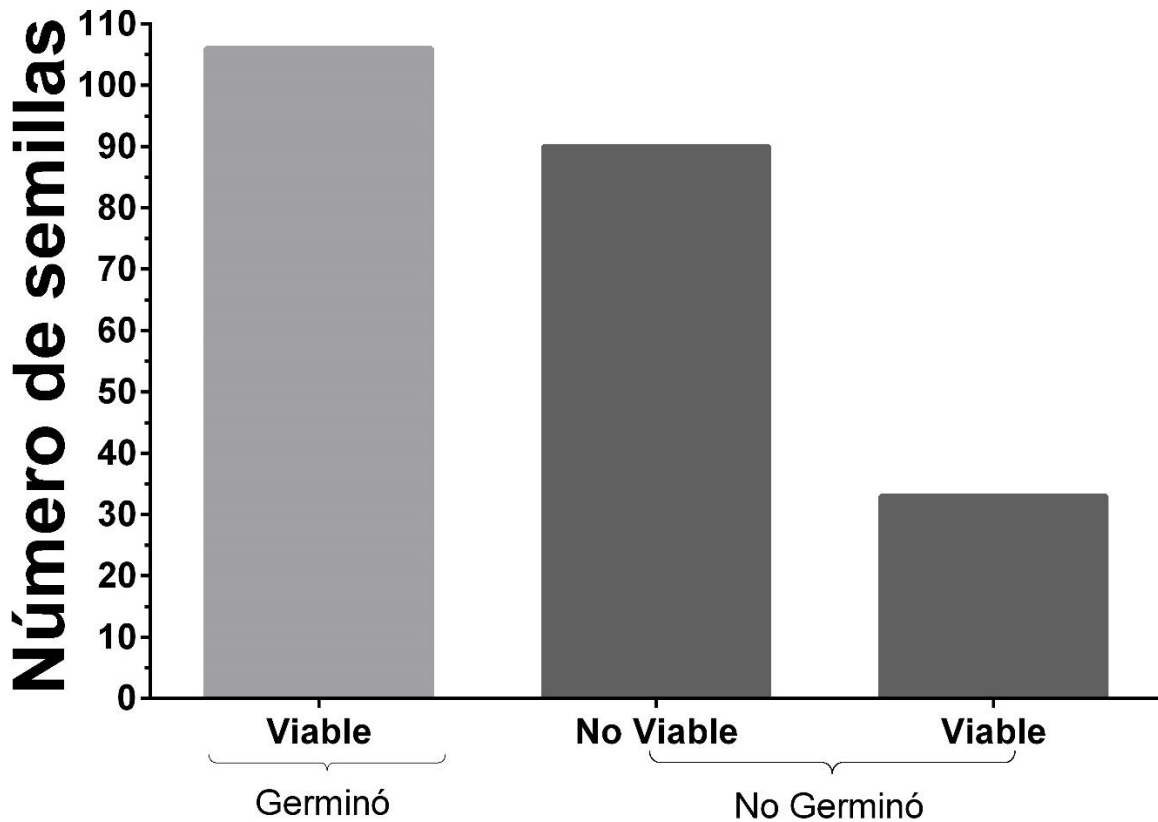





Fig. 4. Número de semillas viables y no viables obtenidas de las heces de las aves frugívoras, las semillas no germinadas fueron sometidas a prueba de Cloruro de Tetrazolio.

Por otra parte, el valor de probabilidad registrado de la prueba Shapiro-Wilk ($p < 0.05$), sugiere la normalidad estadística. Así mismo, se identificó que las semillas obtenidas de *T. cyanicollis* germinaron entre un 79,75% y 10,5%, mientras que de las semillas obtenidas de *T. gyrola* solo germinaron las obtenidas de un individuo. Las semillas obtenidas de *T. vitriolina* germinaron en un porcentaje, desde el 28,72% al 90% de las semillas (Tabla 1) ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.. La viabilidad de las semillas obtenidas de *T. cyanicollis* fue de 23,07%, a 88,5%. Mientras que las conseguidas de *T. gyrola* abarcaron desde el 24,5% hasta el 64,5%. Para *T. vitriolina* el porcentaje de viabilidad encontrado fue 37,07% hasta el 100% (Tabla 1). Así mismo, se encontró que la germinación ocurrió en un rango de entre 29 y 30 días para las semillas obtenidas de *T. cyanicollis*. Las obtenidas de *T. gyrola* germinaron a partir de los 26 días, entre tanto, la germinación de las semillas de *T. vitriolina* ocurrió desde el día 20 al 33 (Tabla 1).

Tabla 1. Latencia y porcentaje de germinación de las semillas obtenidas de cada individuo.

| Especie | Porcentaje de germinación | Porcentaje de viabilidad | Latencia (Días) |
|--|---------------------------|--------------------------|-----------------|
|  <i>T. cyanicollis</i> | 79,75 | 88,5 | 30 |
| | 10,5 | 25 | 29 |
| | 0 | 23,07 | N.G. |
|  <i>T. gyrola</i> | 0 | 37,65 | N.G. |
| | 0 | 24,5 | N.G. |
| | 40,5 | 64,5 | 26 |
|  <i>T. vitriolina</i> | 65 | 87,5 | 30 |
| | 57,45 | 68,35 | 25 |
| | 49,95 | 75 | 20 |
| | 71,5 | 97 | 25 |
| | 28,72 | 37,07 | 27 |
| | 90,25 | 100 | 33 |
| | 85 | 85 | 26 |

Latencia referenciada como (N.G.) representa las semillas que no germinaron al cabo de los 60 días desde el inicio del experimento de germinación.

Las semillas no ingeridas por las aves frugívoras (N= 320) en promedio germinaron un 70%, se encontró que 73% de estas semillas eran viables y tuvieron una latencia de 30 días. Por otra parte, las semillas que pasaron por el tracto digestivo de las aves (N= 229) germinaron en promedio 46%, en cuanto a la viabilidad superan el 61%, mientras que la germinación ocurrió a los 27 días. A través de la prueba ANOVA, se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de germinación de las semillas ingeridas y las no ingeridas (**Fig. 1** Fig. 5), estas últimas germinan en un mayor porcentaje ($p= 0.001$; $F=11.26$). Sin embargo, para el porcentaje viabilidad ($p=0.007$; $F=7.73$) y latencia ($p=0.985$; $F=0.42$) no hubo diferencias estadísticamente significativas.

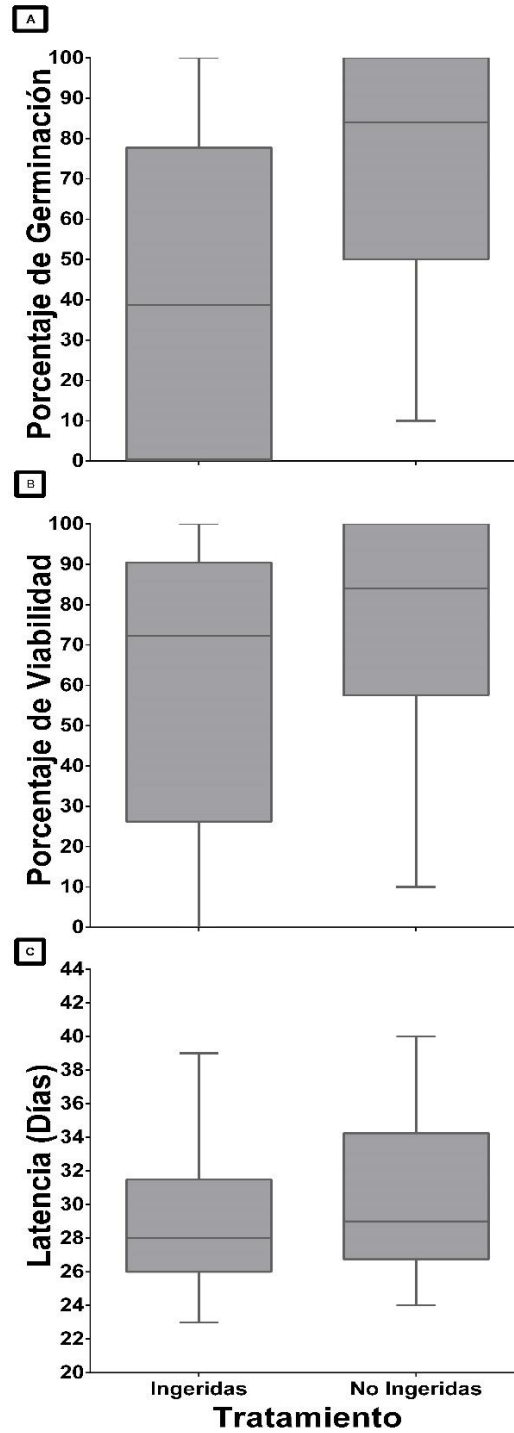


Fig. 5. Efecto del paso por el tracto digestivo sobre las semillas ingeridas por aves frugívoras. A) Efecto sobre el porcentaje de germinación de las semillas al pasar por el tracto digestivo de las aves. B) Efecto sobre el porcentaje de viabilidad de las semillas al pasar por el tracto digestivo de las aves. C) Efecto sobre la latencia de las semillas al pasar por el tracto digestivo de las aves.

Relación entre la fisiología de las aves y la germinación de las semillas

Índice de Condición Corporal

La relación establecida entre la masa y la longitud del tarsometatarso de las aves, evidencia que los valores que se registraron para el índice de condición corporal se encuentran desde 0.9 hasta 1.3 mm/gr. La influencia de la condición corporal de las aves y los parámetros de semillas ingeridas no fue estadísticamente significativo para el porcentaje de germinación ($p=0.932$, Fig. 6A), porcentaje de viabilidad ($p=0.776$, Fig. 6D) y latencia ($p=0.817$, Fig. 6G). Por lo cual, no existe una relación entre el estado de la condición corporal de las aves frugívoras y las semillas ingeridas.

Índice de Hematocrito

El índice de hematocrito registra que los porcentajes de células sanguíneas de los individuos evaluados oscilan entre el 46% y 69% del total de la muestra de sangre, ubicándose en promedio en 54.77%. Al determinar este índice no se obtuvieron valores de probabilidad significativos. Por ende, la germinación ($p=0.770$, Fig. 6B), viabilidad ($p=0.650$, Fig. 6E) y la latencia ($p=0.857$, Fig. 6H) no se encuentra correlacionada con el índice de hematocrito.

Concentración de Glucosa

Los datos de concentración de glucosa se distribuyen entre los 117 mg/dL a los 401 mg/dL, en promedio se ubica en los 297 mg/dL. Los valores de probabilidad no son estadísticamente significativos para el porcentaje de germinación ($p=0.412$), porcentaje viabilidad ($p=0.238$) y latencia ($p=0.737$). De modo que no hay correlación entre la concentración de glucosa y el porcentaje de germinación (Fig. 6C), el porcentaje de viabilidad (Fig. 6F) y la latencia (Fig. 6I). de las semillas que pasaron a través del tracto digestivo de las aves.

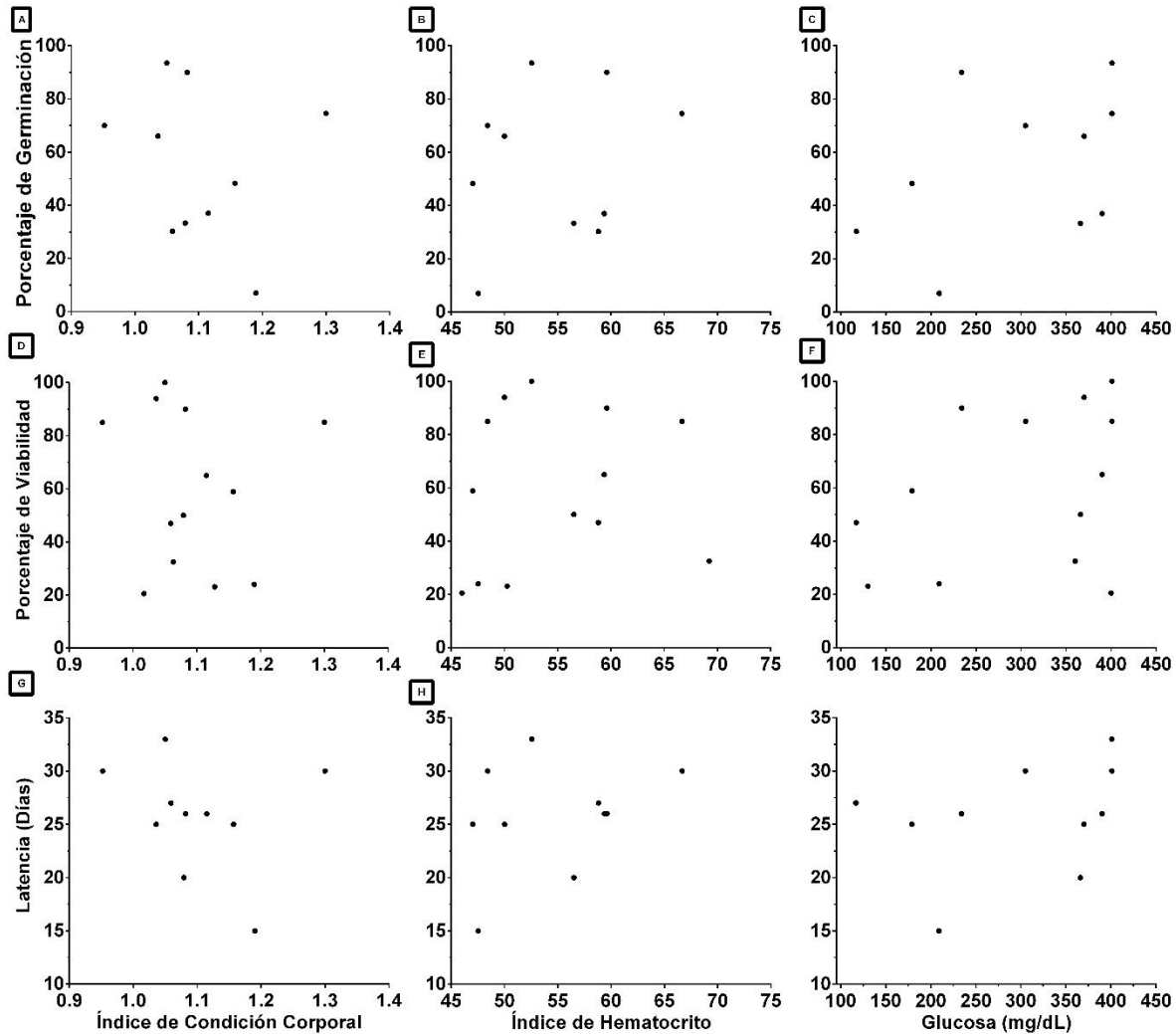


Fig. 6. Grafica de dispersión por puntos del estado fisiológico de las aves frugívoras y las semillas que pasan por su tracto digestivo. A) Índice de condición corporal con relación al porcentaje de germinación. B) Índice de hematocrito en relación con el porcentaje de germinación. C) Concentración de glucosa con relación al porcentaje de germinación de las semillas. D) Índice de condición corporal con relación al porcentaje de viabilidad. E) Índice de hematocrito con relación al porcentaje de viabilidad. F) Concentración de glucosa en relación con el porcentaje de viabilidad. G) Índice de condición corporal con relación a la latencia de las semillas. H) Índice de hematocrito en relación con la latencia de las semillas. I) Concentración de glucosa con relación a la latencia.

Prevalencia y abundancia de hemoparásitos

Del total de aves evaluadas se encontró cuatro individuos infectados por hemoparásitos intracelulares (Fig. 7). Uno de *T. cyanicollis* y tres de *T. vitriolina*, para *T. gyrola* no se encontró individuos infectados. Se halló, un rango de infección que va desde tres células hasta ocho células infectadas. El mayor número de células infectadas se encontró en un individuo de *T. cyanicollis*.

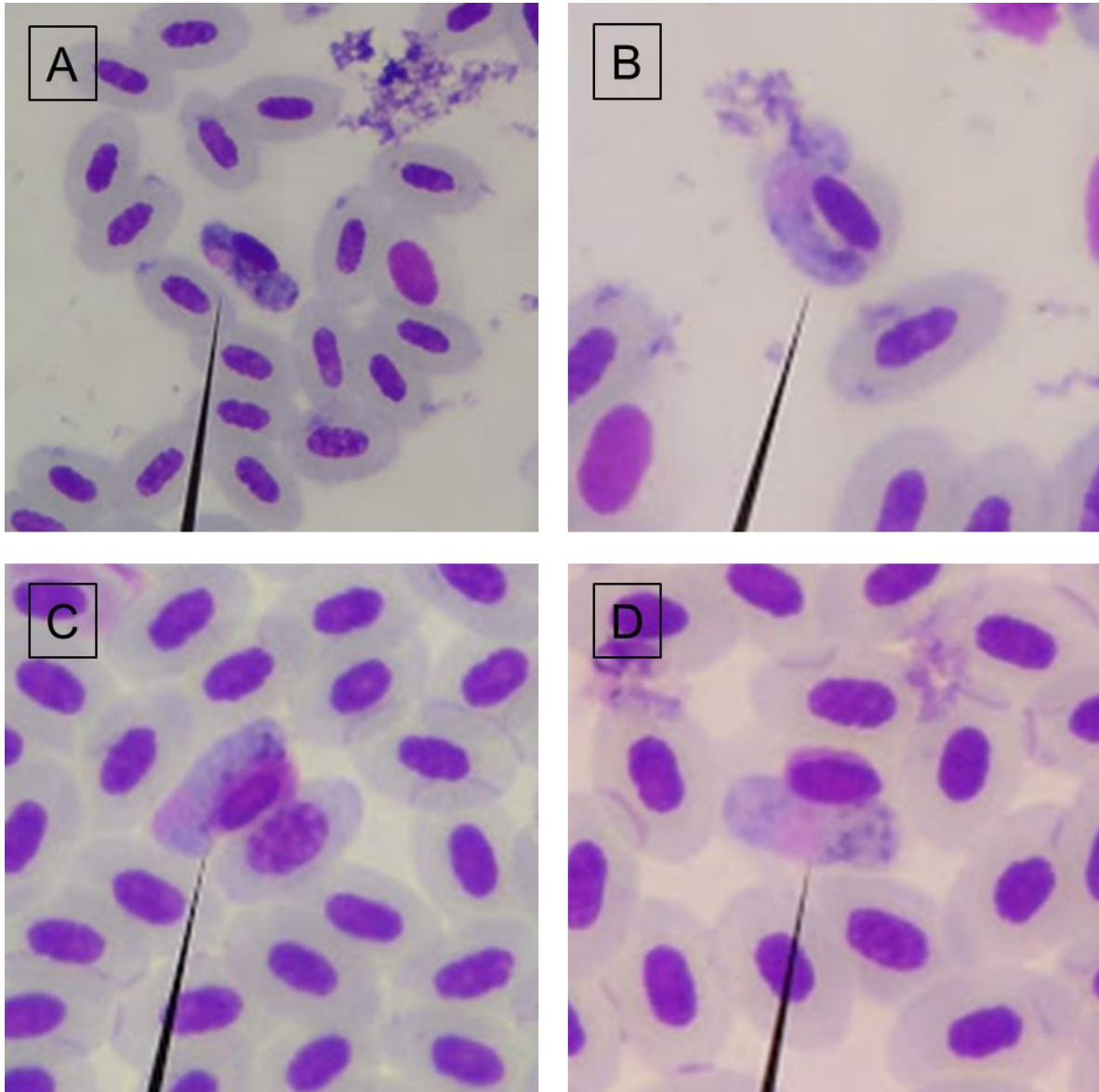


Fig. 7. Glóbulos rojos de aves del género *Tangara* infectados por hemosporidios intracelulares observados a 1000 aumentos. En todas las imágenes el puntero indica la célula infectada. A) Individuo de *Tangara cyanicollis*. B-D) Individuos de *Tangara vitriolina*.

Las semillas ingeridas por las cuatro aves infectadas en promedio presentaron un porcentaje de germinación de 42,14% y de 71,27% para el índice de viabilidad, mientras que la latencia fue de 29 días. En contraste, los valores obtenidos de las semillas de aves no infectadas se ubicaron en 58,01% para el índice de germinación y viabilidad del 56,73%, mientras que la latencia de estas semillas fue de 24 días. No se encuentran diferencias significativas en el porcentaje de germinación (Fig. 8A, $p=0.631$), porcentaje de viabilidad (Fig. 8B, $p=0.521$) y latencia (Fig. 8C, $p=0.849$) de las semillas ingeridas por aves infectadas y no infectadas por hemoparásitos.

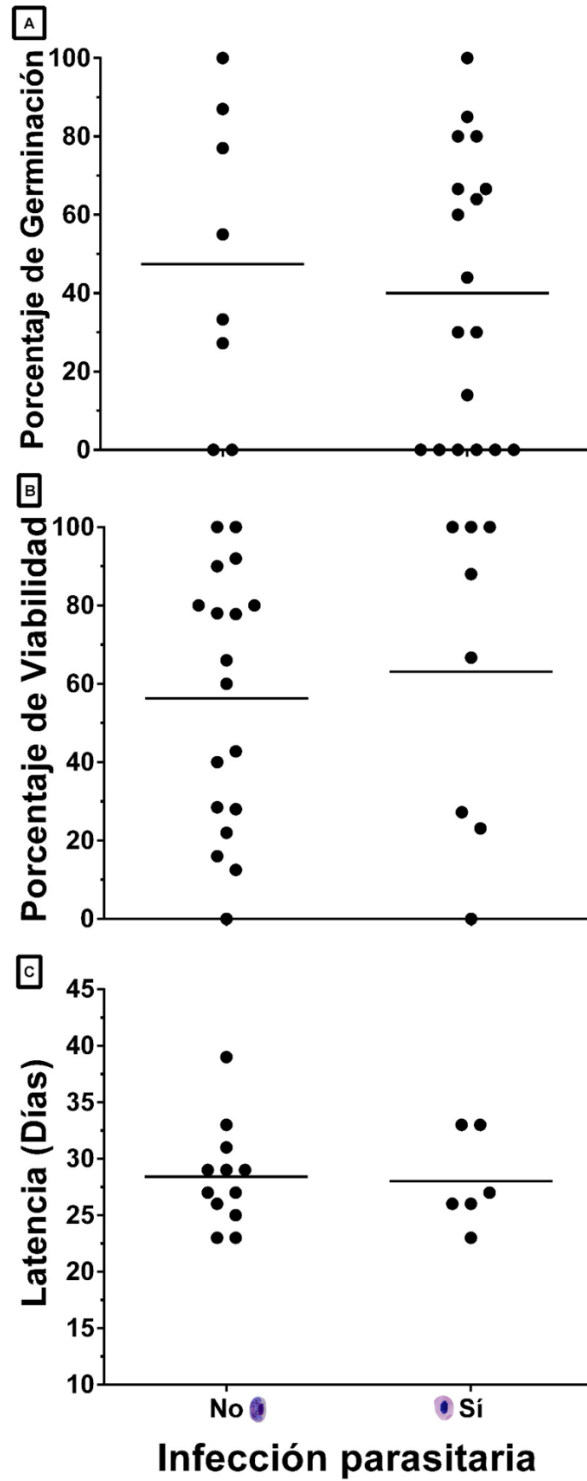


Fig. 8. Efecto en las semillas al pasar por el tracto digestivo de aves infectadas y no infectadas por hemoparásitos. A) Porcentaje de germinación de semillas. B) Porcentaje de viabilidad de semillas. C) Latencia de semillas.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

En primer lugar, se encontró que el paso a través del tracto digestivo, de *Tangara cyanicollis*, *T. gyrola* y *T. vitriolina*, disminuye la germinación de las semillas de *V. meridionale*. Sin embargo, no modifica la viabilidad ni la latencia. No se encontró correlación entre la condición fisiológica (índice de condición corporal, índice de hematocrito y concentración de glucosa) con la germinación, viabilidad y latencia de las semillas ingeridas por las aves frugívoras. Se determinó que el 30,77% de las aves evaluadas presentan infección por hemoparásitos. Así mismo, se estableció que la ingestión por parte de aves infectadas por hemoparásitos no tiene un efecto en la germinación, viabilidad y latencia de las semillas.

Germinación, viabilidad y latencia de semillas consumidas las especies de *Tangara*

Son diversos los factores que afectan a la germinación de las semillas, siendo el paso por el tracto digestivo de un dispersor uno de ellos (20, 68). Este hecho se evidencia en los resultados obtenidos, ya que en este estudio encontramos que las semillas ingeridas germinan en promedio (39%) menos que las semillas ingeridas. Puesto que *V. meridionale* posee una capacidad intrínseca para germinar, reportada en promedio en un 80% (69), e incluso los valores más bajos reportados en un 60% (70), se infiere que el paso por el tracto digestivo disminuye la germinación.

Se ha registrado que el éxito de la germinación radica en las reservas energéticas que posee la semilla (71). Se ha encontrado que el tiempo de acaparamiento puede deteriorar las paredes de la semilla eliminando las reservas energéticas (72). Por ende, es posible atribuir la disminución en el porcentaje de germinación de las semillas ingeridas por las aves frugívoras a un exceso en el tiempo de acaparamiento. Pereira & Mourato (73) evaluaron el efecto que causa sobre las semillas de *Vaccinium cylindraceum*, la ingestión por parte de aves, y encontró que el paso por el tracto digestivo de las aves estudiadas (*Erithacus rubecula*, *Turdus merula* y *Fringilla coelebs*) disminuía significativamente la germinación de las semillas.

Así mismo, la disminución en el porcentaje de germinación puede suceder porque la escarificación de la semilla no ocurre igual en todas las especies de plantas, ni se genera en la misma proporción por parte de todas las aves. Lo anterior, se corrobora en una evaluación ejecutada en dos especies diferentes de aves (*Turdus merula* y *Sylvia melanocephala*), en el que se encontró que, para algunas especies de plantas, *Turdus merula* aceleraba la germinación, mientras que en otros casos la disminuía. Incluso se evidencia que para algunas especies de plantas, ambas aves disminuyen el porcentaje de germinación de las semillas que atraviesan su tracto digestivo (10). Lo que sugiere que la relación entre semilla y ave influye en el efecto que se genera al pasar por el tracto digestivo.

Por otra parte, aunque la viabilidad de las semillas depende de su genética y el desarrollo que ocurre dentro del fruto, existen factores ambientales que pueden afectar su supervivencia (74, 75). Los resultados encontrados en esta investigación evidencian que en promedio las semillas no ingeridas son un 12% más viables que las ingeridas (Fig. 5B), sin embargo, esta diferencia no es significativa estadísticamente. En *V. meridionale* se ha encontrado que las semillas son viables en su mayoría, llegando a superar el 80% de semillas viables (70, 76), lo que puede mostrar la viabilidad no se afecta al pasar por el tracto digestivo, sino que depende de la capacidad de la semilla.

La latencia de una semilla se refiere al tiempo que tarda en activarse la maquinaria genética, para que ocurra la germinación, hasta que la radícula emerge (77). En varias investigaciones se ha encontrado que *V. meridionale* tarda en promedio 30 días en latencia (70, 75, 78). No se encontraron investigaciones en las que se sometiera a evaluación la latencia de las semillas de *V. meridionale* tras ser ingeridas por aves frugívoras. A pesar de esto, se reporta que *V. myrtillus* y *V. cylindraceum* no manifiestan efectos en la latencia después de pasar por el tracto digestivo de aves frugívoras (73, 79), lo que se relaciona con lo observado en este trabajo.

Índices fisiológicos

La homeostasis fisiológica depende de varios factores internos del individuo, que responden a estímulos externos (80). El desbalance homeostático podría ocasionar una baja en la calidad de la dispersión ejercida por aves frugívoras (33). Sin embargo, no se encontró correlación entre los parámetros fisiológicos y los parámetros de las semillas (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Esto puede ocurrir por ejemplo por la poca variabilidad en la fisiología de los individuos.

La disponibilidad de recursos es uno de los principales factores que afecta a la condición fisiológica. La condición corporal evalúa la similaridad entre tamaño y estructura de un ave (38, 81). Del mismo modo, se ha encontrado que al aumentar el tamaño corporal la demanda metabólica aumenta (82), esto es corroborado en el atrapamoscas *Cyanistes caeruleus*, ya que se encontraron tamaños corporales mayores al aumentar los recursos disponibles (83). Además, al evaluar la variación en el nivel de hematocrito en aves passeriformes, se ha encontrado que los niveles bajos se asocian a la falta de alimento. De igual manera, se ha reportado que al ingerir alimento no se altera los valores de esta prueba. Mientras que al aumentar el tiempo de ayuno disminuye el porcentaje de glóbulos rojos (84). Esto se puede atribuir, a que la toma de los datos se realizó en las primeras horas de la mañana. Por lo cual, es probable que al momento de la toma de datos las aves se encontraran en ayuno.

Se ha planteado que para aves Passeriformes tropicales, la condición corporal cambia por la estacionalidad (85). Puesto que esta investigación, se realizó en el periodo de temporada seca, correspondiente a la temporada de fructificación de las especies presentes en los bosques andinos (56), la disponibilidad de alimento puede ser un factor que influye en los resultados. El factor ambiental contribuye los cambios en la condición fisiológica (86). Puesto que las condiciones ambientales no variaron en el periodo de colecta de datos y que las condiciones ambientales afectan directamente a la disponibilidad de recursos y que adicionalmente se asocian los valores de la glucosa en las aves (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**C, F, I) y condición corporal (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**A, D, G) de las aves evaluadas a la disponibilidad de recursos. Inferimos que es un factor que puede influir en la condición fisiológica de las aves.

La resiliencia de algunas especies de aves a estresores externos puede limitar las diferencias en los datos obtenidos de la condición corporal. Así se ha sugerido por Injaian et al., (2020) quienes encontraron que procesos de urbanización o estresantes antrópicos, pueden no verse reflejados en el estado fisiológico del ave, específicamente en relación a la condición corporal. Hormonas encargadas de la homeostasis fisiológica se han encontrado asociadas a la condición corporal de las aves. Estudios han afirmado que condiciones crónicas de estrés influyen en el tamaño corporal, reduciéndolo significativamente. A pesar de ello, solo ocurre en especies sensibles o especialistas (88,

89). Sin embargo, las especies evaluadas en esta investigación no se encuentran catalogadas dentro de estos grupos.

Infección por hemoparásitos

Se ha registrado que la infección por hemoparásitos afecta de manera importante a la condición corporal (90). Sin embargo, para las especies de estudio, se han realizado pocas publicaciones en la que se determine el porcentaje de infección. Valkiūnas (91) realizó una investigación en la que *Tangara cyanicollis* presenta un porcentaje de infección equivalente al 0.3%. El porcentaje de células infectadas por hemoparásitos determinado en este estudio fue en promedio de 0.05%, inferior a lo reportado. En nuestro caso, atribuimos que los datos de infección por hemoparásitos pueden variar por tres factores principales, las condiciones ambientales, la especificidad parasito hospedero y los posibles casos de falsos negativos.

Dentro de las variables ambientales más importantes se ha reportado la precipitación como un factor que promueve la incidencia de la infección (92). Ya que, la pluviosidad influye en el aumento de los vectores. Debido a que las muestras hematológicas se colectaron durante el periodo seco, se puede atribuir a este factor los resultados obtenidos (93). Así mismo, la diversidad de los parásitos y la especificidad que desarrollan con el hospedero es un factor que limita la prevalencia de la infección (94). De igual manera, aunque las estimaciones de la infección por hemosporidios no se relacionan con las estimaciones de semillas, existe una pequeña posibilidad de incurrir en falsos negativos. Esto a causa, del número alto de células evaluadas, por lo tanto, es probable incidir en el error de no inferir el estado verdadero de la infección por hemoparásitos en la comunidad de aves estudiadas.

Relación entre la condición fisiológica y las semillas ingeridas por aves frugívoras

En algunas especies de aves se ha encontrado una alta resiliencia a las perturbaciones ambientales, lo cual, puede estar asociado a la condición fisiológica. Latimer, et al., (95) encontró que no hay diferencias significativas en la condición fisiológica de las aves que habitan cerca o sobre las granjas agrícolas. De allí los autores concluyen que algunas especies no se ven afectadas por las presiones antrópicas. Así mismo, se ha reportado que las características del hábitat urbano o rural no influyen en los niveles de la condición corporal de *Melospiza melodia* (96). Es probable, que sí existen estresores naturales o antrópicos, en el entorno de las especies de estudio estén generando un bajo impacto sobre la condición fisiológica de las aves.

Para que haya un efecto sobre las semillas tras el paso por el tracto digestivo de un ave frugívora, es necesaria la existencia de historias naturales compartidas. Es decir, la historia natural de cada especie permite forjar relaciones interespecíficas en un espacio determinado donde el nicho de cada una interactúa (97). Recientemente se ha reportado que no hay efecto por parte de las aves estudiadas al ingerir semillas cultivadas de *V. meridionale* (98), puesto que, la planta ha sido introducida en la zona de estudio debido a su importancia económica (99). Inferimos, que la ausencia de historia de vida compartida tiene impacto sobre los resultados obtenidos. Sin embargo, no se descartan los beneficios de entender desde la fisiología el funcionamiento de los mecanismos que interactúan dentro de los ecosistemas, especialmente con fines de conservación (100).

Los métodos utilizados en este estudio permiten evaluar la condición fisiológica de aves frugívoras neotropicales. Además de entrever aspectos que afectan las interacciones dentro de una comunidad, especialmente en zonas de impacto antrópico. Esta investigación abre

la puerta al estudio de la fisiología como un factor ecológico que interactúa dentro de la dispersión de semillas. Específicamente como el grado de impacto sobre la estabilidad fisiológica de un dispersor de semillas en una comunidad y explicar desde la fisiología de la conservación el estado de las interacciones de algunos ecosistemas importantes. En perspectiva a estudios futuros se pretende evaluar a través de la metodología desarrollada en esta investigación, especies de plantas pioneras y comparar poblaciones de aves diferentes.

CONCLUSIONES.

Evaluar la calidad de un dispersor de semillas a través de su fisiología, permite aproximarse de una mejor manera al grado de impacto de los cambios en su hábitat y el papel que desempeña un animal en su nicho ecológico. Así como la importancia de las especies dentro de las interacciones, con el fin de conservar ecosistemas de interés. Con base a los objetivos planteados en esta investigación se puede inferir puntualmente que el paso de las semillas de *V. meridionale* por el tracto digestivo de las aves evaluadas tiene un efecto negativo en la germinación. A pesar de esto, la viabilidad y la latencia de las semillas no se ve alteradas al pasar por el tracto digestivo. De igual manera, la condición fisiológica, medida a través del índice de condición corporal, índice de hematocrito y la concentración de glucosa, no se correlaciona con la germinación, viabilidad y latencia de las semillas de *V. meridionale* que son ingeridas por las especies de aves estudiadas. Igualmente, la infección por hemoparásitos no parece tener un efecto en el éxito de las semillas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Wunderle J. (1997) The role of animal seed dispersal in accelerating native forest regeneration on degraded tropical lands. *For Ecol Manage* 99:223–235.
2. Hamrick J., Murawski D., Nason J. (1993) The influence of seed dispersal mechanisms on the genetic structure of tropical tree populations. *Vegetatio* 107(108):281–297.
3. Pizo M. (2007) Frugivory by birds in degraded areas of Brazil. *Seed Dispersal: Theory and Its Application in a Changing World*, eds Dennis AJ, Schupp EW, Green RJ, Westcott DA (CABI, Oxfordshire), pp 615–627.
4. Tiffney B. (2004) Vertebrate dispersal of seed plants through time. *Annu Rev Ecol Evol Syst* 35:1–29.
5. Lambert J., Garber P. (1998) Evolutionary and ecological implications of primate seed dispersal. *Am J Primatol* 45(1):9–28.
6. Nagendra M. (2020) Seed dispersal and its ecological significance. *Agric Food* 2(1):244–248.
7. Muñoz M., Schaefer M., Böhning-Gaese K., Schleuning M. (2017) Importance of animal and plant traits for fruit removal and seedling recruitment in a tropical forest. *Oikos* 126(6):823–832.
8. Heleno R., Ross G., Everard A., Memmott J., Ramos J. (2010) The role of avian ‘seed predators’ as seed dispersers. *Ibis (Lond 1859)* 153:199–203.

9. Carlo T., Morales J. (2016) Generalist birds promote tropical forest regeneration and increase plant diversity via rare-biased seed dispersal. *Ecology* 97(7):1819–1831.
10. Traveset A., Riera N., Mas R. (2001) Passage through bird guts causes interspecific differences in seed germination characteristics. *Funct Ecol* 15(5):669–675.
11. Kissling W., Böhning-Gaese K., Jetz W. (2009) The global distribution of frugivory in birds. *Glob Ecol Biogeogr* 18(2):150–162.
12. Schupp E., Jordano P., Gómez J. (2010) Seed dispersal effectiveness revisited: a conceptual review. *New Phytol* 188(2):333–353.
13. Traveset A., Robertson A., Rodríguez-Pérez J. (2007) A review on the role of endozoochory in seed germination. *Seed Dispersal: Theory and Its Application in a Changing World*, eds Dennis AJ, Schupp EW, Green RJ, Westcott DA (CABI, Oxfordshire), pp 78–103.
14. Verdú M., Traveset A. (2004) Bridging meta-analysis and the comparative method: A test of seed size effect on germination after frugivores gut passage. *Oecologia* 138(3):414–418.
15. Traveset A., Rodríguez-Pérez J., Pías B. (2008) Seed trait changes in dispersers' guts and consequences for germination and seedling growth. *Ecology* 89(1):95–106.
16. Traveset A., Verdú M. (2002) A meta-analysis of the effect of gut treatment on seed germination. *Seed Dispersal and Frugivory: Ecology, Evolution and Conservation*, eds Levey DJ, Silva WR, Galetti M (CABI, London), pp 339–350.
17. Barnea A., Yom-Tov Y., Friedman J. (1991) Does ingestion by birds affect seed germination? *Funct Ecol* 5:394–402.
18. Barnea A., Yom-tov Y., Friedman J. (1992) Effect of frugivorous birds on seed dispersal and germination of multi-seeded fruits. *Acta Oecologica* 13(2):209–219.
19. Diaz Velez M., Ferrearras A., Rodriguez Silva W., Galetto L. (2017) Does avian gut passage favour seed germination of woody species of the Chaco Serrano woodland in Argentina? *Botany* 95(5):493–501.
20. Reid S., Armesto J. (2011) Avian gut-passage effects on seed germination of shrubland species in Mediterranean central Chile. *Plant Ecol* 212:1–10.
21. Kleyheeg E., Claessens M., Soons M. (2018) Interactions between seed traits and digestive processes determine the germinability of bird-dispersed seeds. *PLoS One* 13(4):1–15.
22. Kleyheeg E., Leeuwen CHA Van., Morison M., Nolet B., Soons M. (2015) Bird-mediated seed dispersal : reduced digestive efficiency in active birds modulates the dispersal capacity of plant seeds. *Oikos* 124:899–907.
23. McEwen B. (2017) Stress: Homeostasis, rheostasis, reactive scope, allostasis and allostatic load. *Ref Modul Neurosci Biobehav Psychol* (January 2016):1–5.
24. Hu X., Guo Y. (2008) Corticosterone administration alters small intestinal morphology and function of broiler chickens. *Asian-Australasian J Anim Sci* 21(12):1773–1778.
25. Marchini C., Café M., Araújo E., Nascimento M. (2016) Physiology, cell dynamics of small intestinal mucosa, and performance of broiler chickens under heat stress: a

review. *Rev Colomb Ciencias Pecu* 29(3):159–168.

26. Hau M., Ricklefs R., Wikelski M., Lee K., Brawn J. (2010) Corticosterone , testosterone and life-history strategies of birds. *Proc R Soc B Biol Sci* 277:3203–3212.
27. Ardia D., Schat K., Winkler D. (2003) Reproductive effort reduces long-term immune function in breeding tree swallows (*Tachycineta bicolor*). *Proc R Soc B Biol Sci* 270:1679–1683.
28. Smith S., McWilliams S. (2010) Patterns of fuel use and storage in migrating passerines in relation to fruit resources at autumn stopover sites. *Auk* 127(1):108–118.
29. Sánchez-Guzmán J., Losada-Prado S. (2019) Body condition in birds in two landscapes of the upper Magdalena Valley. *Rev Ciencias* 23(1):25–40.
30. Gil D., Weckstein J., Dispoto J., Fecchio A. (2020) Individual variation in feather corticosterone levels and its influence on haemosporidian infection in a Neotropical bird. *Ibis (Lond 1859)* 162:215–226.
31. Bicudo T., Ancaes M., Arregui L., Gil D. (2020) Effects of forest fragmentation on feather corticosterone levels in an amazonian avian community. *Int J Ornithol* 67(2):229–245.
32. Beaugeard E., et al. (2018) Does urbanization cause stress in wild birds during development? Insights from feather corticosterone levels in juvenile house sparrows (*Passer domesticus*). *Ecol Evol* 9:640–652.
33. Ruxton G., Schaefer H. (2012) The conservation physiology of seed dispersal. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 367(1596):1708–18.
34. Kleyheeg E., Nolet B., Otero Ojea S., Soons .B (2018) A mechanistic assessment of the relationship between gut morphology and endozoochorous seed dispersal by waterfowl. *Ecol Evol* 8(22):10857–10867.
35. Hu XF., et al. (2010) Effect of corticosterone administration on small intestinal weight and expression of small intestinal nutrient transporter mRNA of broiler chickens. *Asian-Australasian J Anim Sci* 23(2):175–181.
36. Warner DA., Johnson MS., Nagy TR. (2016) Validation of body condition indices and quantitative magnetic resonance in estimating body composition in a small lizard. *J Exp Zool Part A, Ecol Genet Physiol* 325(9):588–597.
37. Dantzer B., Fletcher Q., Boonstra R., Sheriff M. (2014) Themed issue article : Stress in vertebrates measures of physiological stress : a transparent or opaque window into the status, management and conservation of species ? *Conserv Physiol* 2:1–18.
38. Labocha MK., Hayes JP. (2012) Morphometric indices of body condition in birds : a review. *J Ornithol* 153:1–22.
39. Milenkaya O., Weinstein N., Legge S., Walters J. (2013) Variation in body condition indices of crimson finches by sex, breeding stage, age, time of day, and year. *Conserv Physiol* 1(1):1–14.
40. Ikenaara C., Egemannb A., Ackmora F., Leudgena I. (2020) Not just fuel: energy

stores are correlated with immune function and oxidative damage in a long-distance migrant. *Curr Zool* 66(1):21–28.

41. Box J., Alan L., Baldwin J. (2002) Seasonal variation in body mass and blood oxygen carrying capacity of the superb fairy-wren (*Malurus cyaneus*). *Aust J Zool* 50(3):313–323.
42. Minias P. (2015) The use of haemoglobin concentrations to assess physiological condition in birds: a review. *Conserv Physiol* 3(1):1–15.
43. Pap L., Vincze O., Mure C. (2018) Experimental increase in baseline corticosterone level reduces oxidative damage and enhances innate immune response. *PLoS One* 13(2):1–17.
44. Minias P. (2014) High glucose concentrations are associated with symptoms of mild anaemia in Whiskered Terns: consequences for assessing physiological quality in birds. *J Ornithol* 155:1067–1070.
45. Azeredo L., Oliveira T., Lopez L. (2016) Blood metabolites as predictors to evaluate the body condition of *Neopelma pallescens* (Passeriformes: Pipridae) in northeastern Brazil. *Zool* 33(6):1–9.
46. Schoenle L., Kernbach M., Haussmann M., Boiner F., Moore I. (2017) An experimental test of the physiological consequences of avian malaria infection. *J Anim Ecol* 86:1483–1496.
47. Clark N., Clegg S. (2014) A review of global diversity in avian haemosporidians (*Plasmodium* and *Haemoproteus*: Haemosporida): New insights from molecular data. *Int J Parasitol* 44(February):329–338.
48. Garvin M., Szell C., Moore F. (2006) Blood parasites of nearctic–neotropical migrant passerine birds during spring trans-gulf migration: impact on host body condition. *J Parasitol* 92(5):990–996.
49. Society B., Ecology F. (2012) Effects of gut passage on seed germination: do experiments answer the questions they ask? *19(2):365–368*.
50. McConkey KR., O’Farrill G. (2016) Loss of seed dispersal before the loss of seed dispersers. *Biol Conserv* 201:38–49.
51. Neuschulz E., Mueller T., Schleuning M., Böhning-gaese K (2016) Pollination and seed dispersal are the most threatened processes of plant regeneration. *Sci Rep* 6:6–11.
52. Cooke S., et al. (2013) What is conservation physiology? Perspectives on an increasingly integrated and essential science. *Conserv Physiol* 1(1):1–23.
53. Novoa Vaca D. (1996) *Estatutos de zonificación de usos del suelo*. (El Colegio).
54. Guzman D, Ruiz J., Cadena M (2014) *Regionalización de Colombia según la estacionalidad de la precipitación media mensual, a través análisis de componentes principales (ACP)* (Grupo de Modelamiento de Tiempo, Clima y Escenarios de Cambio Climático).
55. Urrea V., Ochoa A., Mesa O. (2016) Estacionalidad de la lluvia en Colombia. 10.
56. Rodríguez Santamaría M., Puentes-Aguilar J., Cortés-Pérez F. (2006)

- Caracterización temporal de la lluvia de semillas en un bosque nublado del cerro de Mamapacha (Boyacá - Colombia). *Rev Acad Colomb Ciencias* 30(117):619–625.
57. Acevedo Guerrero M., González Moreno J. (2019) Red de interacciones entre plantas y aves del género *Tangara* (Passeriformes: Thraupidae) presentes en el parque natural los tunos, San Antonio del Tequendama, Cundinamarca-Colombia. Dissertation (Universidad Distrital Francisco José de Caldas).
 58. IUCN (2018) The IUCN Red List of Threatened Species. 2018-2. Available at: www.iucnredlist.org. [Accessed December 20, 2019].
 59. Hilty S., Brown W., Alvarez Lopez H. (2001) *Guía de las aves de Colombia* ed Asociacion Colombiana de Ornitologia (Cali). Primera.
 60. Ávila Rodríguez H., Cuspoca Riveros J., Fischer G., Ligarreto Moreno G., Quicazán de Cuenca MC (2007) Caracterización fisicoquímica y organoléptica del fruto de agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz) almacenado a 2 ° C. *Rev Fac Nac Agron Medellín* 60(2):4179–4193.
 61. Ramírez Abril D. (2010) Las ericáceas con frutos comestibles del altiplano cundiboyacense. Dissertation (Pontificia Universidad Javeriana).
 62. Zimmerling J., Craigie G., Robinson A. (2004) A comparison of techniques for marking passerine nestlings. *Wilson Bull* 116(3):240–245.
 63. Carvalho N, Raizer J, Fischer E (2017) Germination of *Cecropia pachystachya* (Urticaceae) Dispersed by *Artibeus lituratus* (Olfers , 1818) and *Artibeus planirostris* Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brazil. *Trop Conserv Sci* 10:1–8.
 64. França-Neto J., Krzyzanowski F. (2019) Tetrazolium: an important test for physiological seed quality evaluation. *J Seed Sci* 41(3):359–366.
 65. Verma P., Majee M. (2013) Prueba de germinación y viabilidad de semillas en el ensayo de tetrazolio (TZ). *Bio-protocolo* 3:1141–1157.
 66. Rose K., Newman S., Uhart M., Lubroth J. (2007) *Vigilancia de la influenza aviar altamente patógena en las aves silvestres: Toma de muestras de aves sanas, enfermas y muertas* (FAO, Roma).
 67. Bhamla M., et al. (2017) Hand-powered ultralow-cost paper centrifuge. *Nat Biomed Eng* 1:1–7.
 68. Bareke T. (2018) Biology of seed development and germination physiology. *Adv Plant Agric Res* 8(4):336–346.
 69. Garcia M., Ligarreto M. (2014) Effect of fruit size on the growth and development of Andean blueberry (*Vaccinium meridionale* Swartz) seedlings from four locations in the Colombian Andes. *Agron Colomb* 32(1):1–10.
 70. Hernandez P., Lobo A., Medina C., Cartagena V., Delgado P. (2009) Comportamiento de la germinación y categorización de la latencia en semillas de mortiño (*Vaccinium meridionale* Swartz). *Agron Colomb* 27(1):15–23.
 71. Finkelstein R. (2015) The role of hormones during seed development and germination. *Plant Hormones*, ed Davies PJ (Springer, Dordrecht), pp 549–573.
 72. Traveset A. (1998) Effect of seed passage through vertebrate frugivores guts on

germination : a review. *Perspect Plant Ecol Evol Syst* 1:151–190.

73. Pereira M., Mourato C. (2012) Effects of bird ingestion on seed germination of *Vaccinium cylindraceum* (Ericaceae), an endemic species of the Azores archipelago. *Botany* 90:373–377.
74. Rezvani M., Sadatian S., Nikkhahkouchaksarei H. (2018) Factors affecting seed dormancy and germination of greater bur-parsley (*Turgenia latifolia*). *Planta Daninha* 36:1–12.
75. Suárez-Ballesteros C., Calderón-Hernández M., Mancipe-Murillo C. (2018) Propagación sexual y tolerancia a la desecación del agraz (*Vaccinium meridionale* Sw.) de tres fuentes semilleras localizadas en Ráquira, San Miguel de Sema (Boyacá) y Gachetá (Cundinamarca). *Rev Acad Colomb Ciencias Exactas Fis Nat* 42(163):207–215.
76. Vaza K., Münzbergová Z. (2013) Simulation of seed digestion by birds: How does it reflect the real passage through a pigeon's gut? *Folia Geobot* 48:257–269.
77. Matthews S., Khajeh-Hosseini M. (2007) Length of the lag period of germination and metabolic repair explain vigour differences in seed lots of maize (*Zea mays*). *Seed Sci Technol* 35:200–212.
78. Castro C., Olarte Y., Rache L., Pacheco J. (2012) Development of a germination protocol for blueberry seeds (*Vaccinium meridionale* Swartz). *Agron Colomb* 30(2):196–203.
79. Honkavaara J., Siitari H., Saloranta V., Viitala J. (2007) Avian seed ingestion changes germination patterns of bilberry, *Vaccinium myrtillus*. *Ann Bot Fenn* 44(1):8–17.
80. Remage-Healey L., Romero L. (2001) Corticosterone and insulin interact to regulate glucose and triglyceride levels during stress in a bird. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 281:994–1003.
81. Ardia D. (2005) Super size me: an experimental test of the factors affecting lipid content and the ability of residual body mass to predict lipid stores in nestling European Starlings. *Funct Ecol* 19:414–420.
82. Lill A. (2011) Sources of variation in blood glucose concentrations of free-living birds. *Avian Biol Res* 4(2):78–87.
83. Fletcher K., Xiong Y., Fletcher E., Gustafsson L. (2018) Glucocorticoid response to both predictable and unpredictable challenges detected as corticosterone metabolites in collared flycatcher droppings. *PLoS One* 13(12):1–15.
84. Krause J., Pérez J., Meddle S., Wing J. (2017) Physiology & behavior effects of short-term fasting on stress physiology, body condition, and locomotor activity in wintering male white-crowned sparrows. *Physiol Behav* 177:282–290.
85. Sanchez-Guzman J., Losada-Prado S., Moreno-Palacios M. (2018) Análisis de la condición corporal de aves Passeriformes en zonas secas del norte del Alto Valle del Magdalena, Colombia. *Caldasia* 40(1):1–17.
86. Mclean N., Jeugd H Van Der., Pol M Van De (2018) High intra-specific variation in avian body condition responses to climate limits generalisation across species. *PLoS One* 13(2):1–25.

87. Injaian A., et al. (2020) Baseline and stress-induced corticosterone levels across birds and reptiles do not reflect urbanization levels. *Conserv Physiol* 8:1–18.
88. Deikumah J., Mcalpine C., Maron M. (2015) Matrix intensification affects body and physiological condition of tropical Forest- dependent Passerines. *PLoS One* 10(6):1–17.
89. Braun E., Sweazea K. (2008) Glucose regulation in birds. *Comp Biochem Physiol - Part B* 151:1–9.
90. Ishtiaq F., Barve S. (2018) Do avian blood parasites influence hypoxia physiology in a high elevation environment? *BMC Ecol* 18(15):1–12.
91. Valkiūnas A. (2003) Paucity of Hematozoa in Colombian Birds. *J Wildl Dis* 39(2):445–448.
92. Cadena-Ortiz H., et al. (2018) Avian haemosporidian infections in rufous-collared sparrows in an Andean dry forest: diversity and factors related to prevalence and parasitaemia. *Parasitology* 146(6):765–773.
93. Chang van Oordt D. (2017) Factores que afectan la prevalencia de parásitos hemosporidios en una población silvestre del gorrión de collar rufo, *Zonotrichia capensis*. Dissertation (Universidad Peruana Cayetano Heredia).
94. Svensson-Coelho M., et al. (2013) Diversity, prevalence, and host specificity of avian *Plasmodium* and *Haemoproteus* in a Western Amazon Assemblage. *Ornithol Monogr* 76:1–47.
95. Latimer C., et al. (2020) Landscape context mediates the physiological stress response of birds to farmland diversification. *J Appl Ecol* 57(4):671–680.
96. Foltz S., et al. (2015) Across time and space: Effects of urbanization on corticosterone and body condition vary over multiple years in song sparrows (*Melospiza melodia*). *J Exp Zool* 323(A):109–120.
97. Memmott J., et al. (2007) The conservation of ecological interactions. *Insect Conservation Biology*, eds Steward AJA, New TR, Lewis OT (University of Bristol, Bristol), pp 226–244.
98. Cruz Suárez DF (2020) Pasar o no pasar por el tracto digestivo de un ave: consecuencias para la Microbiota Endófito de semillas. Dissertation (Universidad de La Salle).
99. Cano C. (2019) Phenological scale for the mortiño or agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz) in the high Colombian Andean area. *Fac Nac Agron* 72(3):8897–8908.
100. Madliger C., et al. (2016) Success stories and emerging themes in conservation physiology. *Conserv Physiol* 4(November 2015):1–17.
64. França-Neto JDB, Krzyzanowski FC (2019) Tetrazolium: an important test for physiological seed quality evaluation. *J Seed Sci* 41(3):359–366.
65. Verma P, Majee M (2013) Prueba de germinación y viabilidad de semillas en el ensayo de

- tetrazolio (TZ). *Bio-protocolo* 3:1141–1157.
66. Rose K, Newman S, Uhart M, Lubroth J (2007) *Vigilancia de la influenza aviar altamente patógena en las aves silvestres: Toma de muestras de aves sanas, enfermas y muertas* (FAO, Roma).
 67. Bhamla MS, et al. (2017) Hand-powered ultralow-cost paper centrifuge. *Nat Biomed Eng* 1:1–7.
 68. Bareke T (2018) Biology of seed development and germination physiology. *Adv Plant Agric Res* 8(4):336–346.
 69. Garcia M CL, Ligarreto M GA (2014) Effect of fruit size on the growth and development of Andean blueberry (*Vaccinium meridionale Swartz*) seedlings from four locations in the Colombian Andes. *Agron Colomb* 32(1):1–10.
 70. Hernandez P MI, Lobo A M, Medina C CI, Cartagena V JR, Delgado P OA (2009) Comportamiento de la germinación y categorización de la latencia en semillas de mortiño (*Vaccinium meridionale Swartz*). *Agron Colomb* 27(1):15–23.
 71. Finkelstein RR (2015) The Role of Hormones during Seed Development and Germination. *Plant Hormones*, ed Davies PJ (Springer, Dordrecht), pp 549–573.
 72. Traveset A (1998) Effect of seed passage through vertebrate frugivores ' guts on germination : a review. *Perspect Plant Ecol Evol Syst* 1:151–190.
 73. Pereira MJ, Mourato C (2012) Effects of bird ingestion on seed germination of *Vaccinium cylindraceum* (Ericaceae), an endemic species of the Azores archipelago. *Botany* 90:373–377.
 74. Rezvani M, Sadatian SA, Nikkhahkouchaksarei H (2018) Factors Affecting Seed Dormancy and Germination of Greater Bur-Parsley (*Turgenia latifolia*). *Planta Daninha* 36:1–12.
 75. Suárez-Ballesteros CI, Calderón-Hernández M, Mancipe-Murillo C (2018) Propagación sexual y tolerancia a la desecación del agraz (*Vaccinium meridionale Sw*) de tres fuentes semilleras localizadas en Ráquira , San Miguel de Sema (Boyacá) y Gachetá (Cundinamarca). *Rev Acad Colomb Ciencias Exactas Fis Nat* 42(163):207–215.
 76. Vaza K, Münzbergová Z (2013) Simulation of Seed Digestion by Birds: How Does It Reflect the Real Passage Through a Pigeon's Gut? *Folia Geobot* 48:257–269.
 77. Matthews S, Khajeh-Hosseini M (2007) Length of the lag period of germination and metabolic repair explain vigour differences in seed lots of maize (*Zea mays*). *Seed Sci Technol* 35:200–212.
 78. Castro C, Olarte Y, Rache L, Pacheco J (2012) Development of a germination protocol for blueberry seeds (*Vaccinium meridionale Swartz*). *Agron Colomb* 30(2):196–203.
 79. Honkavaara J, Siitari H, Saloranta V, Viitala J (2007) Avian seed ingestion changes germination patterns of bilberry, *Vaccinium myrtillus*. *Ann Bot Fenn* 44(1):8–17.
 80. Remage-Healey L, Romero LM (2001) Corticosterone and insulin interact to regulate glucose and triglyceride levels during stress in a bird. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 281:994–1003.

81. Ardia DR (2005) Super size me : an experimental test of the factors affecting lipid content and the ability of residual body mass to predict lipid stores in nestling European Starlings. *Funct Ecol* 19:414–420.
82. Lill A (2011) Sources of variation in blood glucose concentrations of free-living birds. *Avian Biol Res* 4(2):78–87.
83. Fletcher K, Xiong Y, Fletcher E, Gustafsson L (2018) Glucocorticoid response to both predictable and unpredictable challenges detected as corticosterone metabolites in collared flycatcher droppings. *PLoS One* 13(12):1–15.
84. Krause JS, Pérez JH, Meddle SL, Wing JC (2017) Physiology & Behavior Effects of short-term fasting on stress physiology , body condition , and locomotor activity in wintering male white-crowned sparrows. *Physiol Behav* 177:282–290.
85. Sanchez-Guzman JN, Losada-Prado S, Moreno-Palacios M (2018) Análisis de la condición corporal de aves Passeriformes en zonas secas del norte del Alto Valle del Magdalena, Colombia. *Caldasia* 40(1):1–17.
86. Mclean N, Jeugd HP Van Der, Pol M Van De (2018) High intra-specific variation in avian body condition responses to climate limits generalisation across species. *PLoS One* 13(2):1–25.
87. Injaian AS, et al. (2020) Baseline and stress-induced corticosterone levels across birds and reptiles do not reflect urbanization levels. *Conserv Physiol* 8:1–18.
88. Deikumah JP, Mcalpine CA, Maron M (2015) Matrix Intensification Affects Body and Physiological Condition of Tropical Forest- Dependent Passerines. *PLoS One* 10(6):1–17.
89. Braun EJ, Sweazea KL (2008) Glucose regulation in birds. *Comp Biochem Physiol - Part B* 151:1–9.
90. Ishtiaq F, Barve S (2018) Do avian blood parasites influence hypoxia physiology in a high elevation environment? *BMC Ecol* 18(15):1–12.
91. Valkiūnas A (2003) Paucity of Hematozoa in Colombian Birds. *J Wildl Dis* 39(2):445–448.
92. Cadena-Ortiz H, et al. (2018) Avian haemosporidian infections in rufous-collared sparrows in an Andean dry forest : diversity and factors related to prevalence and parasitaemia. *Parasitology* 146(6):765–773.
93. Chang van Oordt DA (2017) Factores que afectan la prevalencia de parásitos hemosporidios en una población silvestre del gorrión de collar rufo, *Zonotrichia capensis*. Dissertation (Universidad Peruana Cayetano Heredia).
94. Svensson-Coelho M, et al. (2013) Diversity, Prevalence, and Host Specificity of Avian Plasmodium and Haemoproteus in a Western Amazon Assemblage. *Ornithol Monogr* 76:1–47.
95. Latimer CE, et al. (2020) Landscape context mediates the physiological stress response of birds to farmland diversification. *J Appl Ecol* 57(4):671–680.
96. Foltz SL, et al. (2015) Across Time and Space: Effects of Urbanization on Corticosterone and Body Condition Vary Over Multiple Years in Song Sparrows (*Melospiza melodia*). *J Exp Zool*

323(A):109–120.

97. Memmott J, et al. (2007) The conservation of ecological interactions. *Insect Conservation Biology*, eds Steward AJA, New TR, Lewis OT (University of Bristol, Bristol), pp 226–244.
98. Cruz Suárez DF (2020) Pasar o no pasar por el tracto digestivo de un ave: consecuencias para la Microbiota Endófito de semillas. Dissertation (Universidad de La Salle).
99. Cano CIM (2019) Phenological scale for the mortiño or agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz) in the high Colombian Andean area. *Fac Nac Agron* 72(3):8897–8908.
100. Madliger CL, et al. (2016) Success stories and emerging themes in conservation physiology. *Conserv Physiol* 4(November 2015):1–17.