



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIENCIAS Y
ARTES DE CHIAPAS**

INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

T E S I S

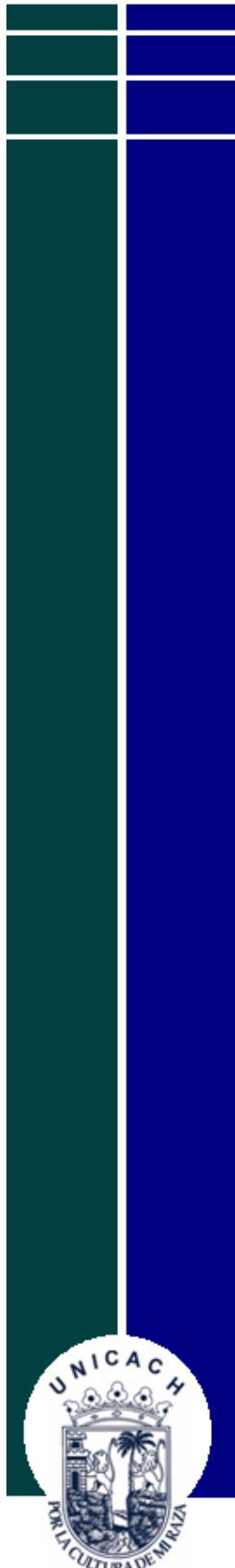
**Diferencia de estrés fisiológico en *Turdus grayi* por sexo y tipo de hábitat en
Chiapas**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN BIOLOGÍA

PRESENTA
ROCIO JHOSELINE RUIZ PÉREZ

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Enero de 2026



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIENCIAS Y
ARTES DE CHIAPAS**

INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

T E S I S

Diferencia de estrés fisiológico en *Turdus grayi* por sexo y tipo de hábitat en Chiapas

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN BIOLOGÍA

PRESENTA

ROCIO JHOSELINE RUIZ PÉREZ

DIRECTOR

DR. ESTEBAN PINEDA DIEZ DE BONILLA

INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS. UNICACH

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Enero de 2026



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS
Secretaría General
Dirección de Servicios Escolares
Departamento de Certificación Escolar
Autorización de impresión

Lugar: Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
Fecha: 13 de enero de 2026

C. **Rocio Jhoseline Ruiz Pérez**

Pasante del Programa Educativo de: **Licenciatura en Biología**

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

Diferencia de estrés fisiológico en *Turdus grayi* por sexo y tipo de hábitat en

Chiapas

En la modalidad de: **Tesis Profesional**

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Dr. Ernesto Velázquez Velázquez

Dra. Sara Elizabeth Domínguez Cisneros

Dr. Esteban Pineda Díez de Bonilla

Firmas:



2025, Año de la mujer indígena

Año de Rosario Castellanos



Ciudad Universitaria Libramiento
Norte Pte. 1150, Colonia Lajas Maciel.
CP. 29039, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
Tel. (961) 617 0440 ext. 4246
titulacion.biologia@unicach.mx

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, **Francisco y Roswita**, y a mi hermana **Jaqueline**, por su apoyo incondicional en cada etapa de este proceso, por su paciencia, comprensión y acompañamiento constante. Nada de esto habría sido posible sin ustedes. Gracias por ser mi motor, mi inspiración y por darme siempre la confianza y la fortaleza necesarias para perseguir y cumplir mis sueños. Su amor y respaldo han sido fundamentales para llegar hasta aquí.

Al **Dr. Esteban Pineda Diez de Bonilla**, mi director de tesis, quien me acompañó incansablemente a lo largo de todo el proceso. Con profundo respeto y cariño le agradezco por haber sido un gran mentor, consejero y amigo, así como por la guía constante y la confianza que depositó en mí durante el desarrollo de este trabajo.

A mis revisores, la **Dra. Sara Domínguez** y el **Dr. Ernesto Velázquez**, por su gran disposición para revisar esta tesis y por sus valiosas correcciones y observaciones, las cuales contribuyeron a mejorar el presente trabajo.

A la **Biól. Josefa Anahí Espinosa Jiménez** y al **Dr. Miguel Ángel Pérez Farrera**, por brindarme su confianza y facilitarme un espacio de trabajo en el Herbario, el cual fue fundamental para el desarrollo de una parte esencial de esta investigación.

A personas muy especiales para mí, de quienes nunca faltó la motivación, los consejos y el apoyo incondicional: **Carlos, Ceci, Adri, Mariana y Sergio**.

A **Edsel y Mario**, con quienes compartimos el inicio de la carrera y siguieron apoyándome hasta el final.

A quienes me acompañaron durante los muestreos y contribuyeron a hacerlos más amenos: **Daniel, Gladys, Alan, Fabi**, y todos aquellos que me brindaron su apoyo durante estas salidas de campo.

DEDICATORIA

A Jaqui, por apoyar mis sueños como si fueran los tuyos.

A mi familia y a todas las personas que hicieron posible que este trabajo llegara a su conclusión.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	III
RESUMEN	IV
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Homeostasis.....	3
2.2. Estrés fisiológico	3
2.2.1. Estrés agudo	3
2.2.2. Estrés crónico	4
2.3. Factores que inducen al estrés	4
2.3.1. Factores de perturbación lábiles	4
2.3.2. Factores de perturbación permanentes	5
2.3.3. Efectos ambientales y reproductivos	5
2.4. Respuestas al estrés en las aves	6
2.4.1 Efectos derivados del aumento de los niveles de GCs inducidos por estrés	7
2.5. Células sanguíneas del sistema inmunitario	8
2.6. Métodos para la evaluación del estrés	10
2.6.1. Cuantificación de glucocorticoides.....	10
2.6.2. Índice H/L	10
2.7. Condición corporal.....	13
2.7.1. Índice de Masa Escalada.....	14
2.8. Modelo biológico	14
III. ANTECEDENTES	16
3.1 Impacto de la urbanización en la fisiología de las aves.....	16
3.2 El estrés fisiológico en la reproducción	18
IV. OBJETIVOS	20
4.1 General	20
4.2 Particulares	20
V. HIPÓTESIS	21
VI. ÁREA DE ESTUDIO	22
6.1. Vegetación	22
VII. MÉTODOS	25
7.1 Toma de muestras	25
7.2 Índice H/L.....	26

7.3 Condición corporal.....	27
7.4 Análisis estadísticos	28
VIII. RESULTADOS.....	29
8.2 Condición corporal.....	29
8.3 Perfil leucocitario.....	30
8.3 Índice H/L.....	32
8.4 Variación del índice h/l y la condición corporal en función del sexo y el estado reproductivo.....	34
IX. DISCUSIÓN	36
X. CONCLUSIONES	39
XI. RECOMENDACIONES	40
REFERENCIAS DOCUMENTALES	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Células sanguíneas del sistema inmunitario A) Monocito, B) Linfocito, C) Heterófilo, D) Basófilo y E) Eosinófilo.....	9
Figura 2. Ubicación de la vena cubital cutánea y primer plano del lugar de la venopunción © Chris Sayers	12
Figura 5. Vegetación de la UMA “El Recuerdo”.	23
Figura 6. Vegetación del Parque “Joyyo Mayu”.	24
Figura 7. A) Colocación de redes de niebla, B) Extracción del ave de la red C) Obtención de datos morfométricos.	25
Figura 8. A) Asepsia del área de punción para la toma de muestra sanguínea, B) Elaboración del frotis sanguíneo.	26
Figura 9. A) Tinción de los frotis sanguíneos, B) Muestras teñidas, C) Observación de las muestras al microscopio 100X.	27
Figura 10. Distribución comparativa del Índice de masa escalada (IME) entre machos y hembras de <i>T. grayi</i>	29
Figura 11. Distribución comparativa del Índice de masa escalada (IME) entre estados reproductivos de <i>T. grayi</i>	30
Figura 12. Presencia de los tipos de leucocitos observados en las muestras de <i>T. grayi</i> :	31
Figura 13. Distribución de tipos de leucocitos en <i>T. grayi</i> entre los dos hábitats de estudio.....	31
Figura 14. Distribución comparativa del Índice H/L en <i>T. grayi</i> entre hábitats.	32
Figura 15. Distribución comparativa del Índice H/L en <i>T. grayi</i> entre machos y hembras.	33
Figura 16. Distribución comparativa del índice H/L en <i>T. grayi</i> entre sexos y estados reproductivos.	34
Figura 17. Relación entre el índice H/L y el índice de masa escalada (IME), diferenciada por sexo y estado reproductivo.	35

RESUMEN

El estrés fisiológico en aves constituye un indicador clave para comprender cómo los organismos responden a factores ambientales, especialmente en contextos de cambios de hábitat y urbanización. En este estudio se evaluó cómo los factores ambientales y reproductivos influyen en el estrés fisiológico y la condición corporal del Mirlo café (*Turdus grayi*), una especie residente ampliamente distribuida en ambientes naturales y urbanos de Chiapas. El trabajo se realizó en dos hábitats contrastantes de la Depresión Central de Chiapas, un sitio con vegetación de Selva Baja Caducifolia y un parque urbano dentro de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez. Durante los ciclos reproductivo y no reproductivo de 2024–2025 se capturaron individuos mediante redes de niebla y se registraron variables morfométricas y reproductivas. Se obtuvieron muestras sanguíneas por punción braquial y se elaboraron frotis teñidos para el conteo diferencial de leucocitos, calculando el índice heterófilos/linfocitos (H/L). La condición corporal se evaluó mediante el Índice de Masa Escalada (IME). Los análisis estadísticos incluyeron pruebas no paramétricas y modelos de regresión para comparar y relacionar los índices con variables como sexo, temporada reproductiva y localidad. Los resultados mostraron que las aves presentaron variaciones en la condición corporal y en los índices de estrés según el tipo de hábitat y la temporada reproductiva. En el área urbana se observaron valores más bajos de H/L, evidenciando que estos espacios no ejercen tanta presión ambiental como se podría imaginar. Asimismo, se identificaron diferencias entre sexos durante la reproducción, con las hembras mostraron mayor sensibilidad a los estresores debido a las demandas energéticas de la incubación y el cuidado parental. En conclusión, el estado reproductivo se identificó como el principal factor de estrés fisiológico en *T. grayi*, independientemente del hábitat, confirmando que la reproducción impone una carga fisiológica significativa.

Palabras clave: adaptación, condición corporal, fisiología, reproducción, urbanización

I. INTRODUCCIÓN

Turdus grayi es una especie de ave ampliamente distribuida en diversos hábitats de Chiapas, incluyendo bosques tropicales caducifolios, bosques tropicales medianos, bosques de galería y áreas de vegetación secundaria (Ramírez-Albores, 2010). Sin embargo, actividades como la tala, la agricultura y la urbanización han fragmentado de manera progresiva estos ambientes, orillando a ciertas poblaciones a integrarse a los espacios urbanos, donde la competencia por los recursos y los sitios de refugio aumenta considerablemente (Álvarez-Romero *et al.*, 2008).

La transformación de estos paisajes no solo modifica la calidad del hábitat original, sino que también afecta los procesos ecológicos y fisiológicos de los individuos que allí habitan (Burton *et al.*, 2006). De esta manera surge la necesidad de comprender cómo las respuestas fisiológicas de los organismos reflejan las presiones ambientales, especialmente si se considera que medir directamente la calidad del hábitat puede resultar poco factible (Milenkaya *et al.*, 2013).

Siguiendo la disciplina de la “fisiología de la conservación”, se han desarrollado múltiples métodos que permiten obtener información valiosa sobre la salud y el bienestar de las poblaciones de aves en diferentes condiciones (Labocha y Hayes, 2012; Davis y Maney, 2018). Entre ellos, el estudio del estrés fisiológico ha cobrado especial relevancia, pues constituye un indicador sensible de las condiciones ambientales y puede evaluarse mediante la cuantificación de hormonas en sangre o a través de la relación entre heterófilos y linfocitos, conocida como índice H/L (Vogelbacher *et al.*, 2024).

El índice H/L permite evaluar la actividad del sistema inmunológico y la respuesta fisiológica de los individuos ante eventos de estrés a corto y largo plazo inducidos por factores como el entorno, el estrés social y los parásitos sanguíneos, entre otros (Skwarska, 2019). Asimismo, esta relación puede variar en función del sexo y del estado reproductivo, ya que las hembras suelen experimentar un mayor gasto energético durante la reproducción, mientras que los machos enfrentan presiones derivadas de la competencia territorial y social (Vezina y Salvante, 2010).

Estas diferencias hacen necesario considerar ambos factores al evaluar la respuesta fisiológica de las poblaciones.

Por otro lado, la condición corporal también se ha utilizado como un indicador complementario de la salud y adecuación fisiológica de los individuos a su hábitat (Lemus-Ramírez, 2016). Estos índices no solo permiten comprender cómo las perturbaciones afectan el estado nutricional de las aves, sino que también han sido empleados para identificar poblaciones sometidas a estrés antes de que declinen y aportar evidencia sobre los mecanismos que conducen a la disminución poblacional (Milenkaya *et al.*, 2013).

Este trabajo se enfoca en *Turdus grayi* debido a su capacidad de adaptabilidad que le permite tolerar cambios en su hábitat y colonizar ambientes totalmente artificiales o alterados por la actividad humana (Álvarez-Romero *et al.* 2008; Matthews y Rodewald, 2010). Esta plasticidad ecológica lo convierte en un modelo ideal para estudiar los efectos de diferentes condiciones ambientales en el estrés fisiológico individual, especialmente considerando que machos y hembras podrían responder de manera distinta a las características del hábitat y a la temporada reproductiva.

Las aves desempeñan roles ecológicos esenciales como la transferencia de materia a través de la cadena trófica, el control de plagas, la dispersión de semillas y la polinización (Mariyappan *et al.*, 2023); por lo tanto, un impacto negativo en su salud puede desencadenar consecuencias en cadena para todo un ecosistema. Ante la preocupación por la disminución de las poblaciones de aves silvestres, índice H/L ha demostrado ser una herramienta útil, pero su aplicación en el contexto de la calidad de los hábitats en Chiapas aún no ha sido explorada, y menos considerando diferencias por sexo, a pesar de su importancia en la interpretación del estrés.

Por ello, este trabajo tiene como propósito evaluar los niveles de estrés y la condición física en aves bajo diferentes condiciones de hábitat, considerando además el sexo y el estado reproductivo como variables clave para interpretar la calidad de salud de individuos afectados por estrés crónico, con el fin de abrir el espacio a futuras investigaciones y acciones de conservación en la región.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Homeostasis

El término “homeostasis” fue acuñado por Walter Bradford Cannon en 1926 y surge de la necesidad de un término para referirse a la forma en que una serie de sistemas fisiológicos separados pueden trabajar juntos para restablecer la estabilidad después de una perturbación (Cummins, 2024). De esta manera, la homeostasis se puede definir como el conjunto de procesos fisiológicos coordinados que mantienen estable a un organismo (Davies, 2016).

2.2. Estrés fisiológico

El concepto de estrés ha sido modificado a lo largo de los años según el contexto en que se aplique. Romero (2012) indica que, el estrés puede referirse a los estímulos nocivos que desafían la homeostasis, a las respuestas fisiológicas y conductuales de los individuos para afrontar dichos estímulos o al estado crónico resultante de la perturbación continua.

Sin embargo, al considerar los conceptos de allostasis, se propuso que el término “estrés” se utilice únicamente para referirse a los estímulos que requieren de una respuesta energética de emergencia ante una sobrecarga. La allostasis se refiere al mantenimiento de la homeostasis a través de los cambios que se enfrenten; la carga alostática puede definirse como la capacidad del individuo para mantener las exigencias energéticas aun con factores de estrés; y la sobrecarga alostática corresponde al estado en el que dichas demandas exceden la capacidad del organismo para afrontarlas (Romero, 2004). A partir de lo anterior, el estrés puede clasificarse como agudo o crónico.

2.2.1. Estrés agudo

Se caracteriza por ser un estado de desequilibrio energético a corto plazo en el cual la carga alostática excede la energía disponible del entorno más las reservas internas.

Puede llegar a ser muy intenso pero la respuesta fisiológica desaparece rápidamente junto con el estímulo (Blas, 2015).

2.2.2. Estrés crónico

Es un estado de largo plazo en el que los desafíos ambientales o socialmente exigentes se vuelven crónicos y ejercen efectos nocivos sobre el individuo al obligarlo a presentar una respuesta fisiológica constante a los estímulos estresores, independientemente de la energía disponible (Blas, 2015; Donatelle y Davis, 2005 en Lemus-Ramírez, 2016).

2.3. Factores que inducen al estrés

Así como existe una clasificación para los tipos de estrés, los factores que llevan a este estado también se pueden clasificar. Wingfield (2013), propone clasificarlos en factores lábiles y permanentes.

2.3.1. Factores de perturbación lábiles

Son aquellos que se presentan en corto plazo o son transitorios. Éstos se dividen a su vez en dos grupos: indirectos, que duran de segundos a unos pocos minutos y directos, que duran de minutos a horas (Blas, 2015). Los factores lábiles indirectos se refieren a perturbaciones de muy corta duración que tienen poco o ningún efecto a largo plazo en un individuo, siempre que logre sobrevivir rápidamente a esa exposición repentina a estímulos nocivos. Algunos ejemplos pueden incluir un intento de depredación, persecución, la pérdida del nido/cría a causa de una tormenta o una breve perturbación humana. En este caso, se desencadena una respuesta de “lucha o huida” y la reanudación de las actividades normales tiene lugar en cuestión de minutos a horas (Blas, 2015; Wingfield, 2013).

Por otro lado, los factores lábiles directos son perturbaciones que duran horas o incluso días, el individuo se ve obligado a abandonar su etapa normal de vida por la reducción de recursos o el acceso restringido a un refugio debido a perturbaciones de

largo plazo. Ejemplos de estos factores son las tormentas prolongadas, los cambios climáticos intensos, los incendios a gran escala y la reducción de recursos alimenticios (Wingfield, 2013). En este tipo de perturbación el individuo dirige la fisiología y el comportamiento hacia un modo facultativo conocido como la etapa de emergencia del ciclo de vida que permite al individuo alejarse temporalmente de la fuente de perturbación o soportarla mientras adopta muchos comportamientos de ahorro de energía que le permiten afrontarla (Wingfield, 2013; Blas, 2015).

2.3.2. Factores de perturbación permanentes

Se refieren a perturbaciones que duran meses o años; se denominan permanentes porque la perturbación puede durar más que la vida media del organismo, imponen altas demandas energéticas al individuo y dan lugar a una interrupción permanente, incluso a la desintegración del ciclo vital normal. Entre los posibles ejemplos se incluyen las enfermedades crónicas y las infecciones, las lesiones que resultan en una discapacidad permanente, el cambio climático global y la perturbación antropogénica constante (Blas, 2015).

Cabe destacar que no todos los individuos dentro de una población perciben y responden a las perturbaciones de la misma manera. Como consecuencia, bajo escenarios particulares, que dependen de la especie y del tipo de perturbación; es posible que incluso ante una respuesta inicial drástica a estas perturbaciones, como la muerte de un porcentaje de la población, sea seguida por una recuperación de la misma a través de la selección diferencial de fenotipos de resistencia al estrés (Cockrem, 2013).

2.3.3. Efectos ambientales y reproductivos

La intensidad de las respuestas a los estímulos nocivos puede variar según el estado fisiológico del individuo, y se vuelve particularmente marcada durante la temporada reproductiva, cuando los costos energéticos y conductuales se incrementan. En este periodo, tanto machos como hembras modifican su comportamiento, su fisiología y su inversión energética para maximizar el éxito reproductivo, lo que puede reflejarse en

cambios en los niveles de glucocorticoides y otros indicadores de estrés (Wingfield y Romero, 2010).

En muchas especies, las hembras enfrentan demandas particularmente altas debido a la formación de huevos, la incubación y, en algunos casos, el cuidado parental. Estas actividades requieren un uso elevado de nutrientes y reservas corporales, lo que puede aumentar su sensibilidad a estresores ambientales (Vezina y Salvante, 2010). Los machos, por su parte, experimentan presiones relacionadas con la competencia territorial y social, de modo que las respuestas al estrés durante la reproducción pueden diferir claramente entre sexos (*Ídem*).

Además de los factores propios del ciclo reproductivo, las aves enfrentan estresores ambientales externos, entre los cuales la urbanización ha adquirido especial relevancia. Las áreas urbanas modifican profundamente los paisajes originales e introducen elementos como ruido constante, contaminación lumínica, presencia humana, presencia de mascotas y tránsito vehicular que reducen los sitios de nidificación. Estos factores pueden alterar los niveles de glucocorticoides, la actividad inmunológica e incluso algunos comportamientos reproductivos (Partecke *et al.*, 2006).

2.4. Respuestas al estrés en las aves

Los glucocorticoides (GC) son hormonas que funcionan como mediadores alostáticos importantes ya que permiten la regulación del equilibrio energético de las aves a lo largo de su vida. Estas hormonas facilitan cambios morfológicos y conductuales, además, cumplen un papel importante en el equilibrio del sistema inmunológico (Blas, 2015).

Durante la respuesta al estrés agudo, la glándula suprarrenal secreta glucocorticoides hasta que el factor estresante disminuye o cesa; esta respuesta se considera beneficiosa al proporcionar la energía necesaria para que el individuo reaccione con rapidez (Dickens *et al.*, 2009).

Por otro lado, si un factor estresante persiste, el organismo entra en un estado de estrés crónico, lo que puede desencadenar una serie de efectos nocivos como la supresión del sistema inmunológico, la alteración del eje reproductivo y una disminución de la respuesta de lucha o huida ante otros factores estresantes (Dickens *et al.*, 2009).

2.4.1 Efectos derivados del aumento de los niveles de GCs inducidos por estrés

De acuerdo a Blas (2015), existe una serie de efectos que se desencadenan tras el aumento constante de los niveles de glucocorticoides.

1. Aumento del catabolismo proteico y la gluconeogénesis. La degradación excesiva de proteínas puede inducir a la atrofia muscular en una variedad de especies aviares.
2. Mayor disponibilidad de energía lipídica de las reservas de tejido adiposo. Los triglicéridos almacenados pueden liberarse como ácidos grasos libres, ya sea a través de un aumento de la degradación de triglicéridos o una disminución de la tasa de reesterificación.
3. Disminución de la masa corporal. Esto puede ser consecuencia de los dos efectos metabólicos descritos anteriormente ya que existe una mayor movilización de energía además de una disminución del mantenimiento de los tejidos estructurales.
4. Reducción del comportamiento territorial y reproductivo. Diferentes estudios han demostrado que ante niveles altos de GC, algunas especies aviares reducen la agresión territorial, disminuyen la tasa de alimentación de los polluelos e incluso cesan todas las actividades reproductivas.

Otra reacción secundaria de la presencia constante de glucocorticoides es de desarrollo más lento y puede observarse en horas o incluso días. Esta reacción implica un cambio en el número de leucocitos presentes en el torrente sanguíneo, lo que resulta en un aumento relativo de heterófilos (heterofilia) y una disminución de

linfocitos (linfopenia), que son las células encargadas de combatir agentes patógenos (Gross y Siegel, 1983 en Lemus-Ramírez, 2016). Estos cambios en la proporción de leucocitos reflejan la manera en que el sistema inmunológico responde al estrés prolongado.

2.5. Células sanguíneas del sistema inmunitario

En la sangre de las aves se encuentran cinco tipos de leucocitos: heterófilos, eosinófilos, basófilos, linfocitos y monocitos. Como los heterófilos, eosinófilos y basófilos poseen gránulos citoplasmáticos distintivos, se les puede denominar de manera colectiva granulocitos, mientras que a los linfocitos y los monocitos se les denomina células mononucleares o agranulocitos (Clark *et al.*, 2009).

2.5.1. Heterófilos

Forman la primera línea de defensa celular contra los patógenos microbianos invasores y tienen capacidad fagocítica; son los homólogos de los neutrófilos en mamíferos (Davison *et al.*, 2008). Los heterófilos son típicamente leucocitos redondos irregulares con un núcleo lobulado, un núcleo basófilo y gránulos citoplasmáticos acidófilos prominentes, los cuales se caracterizan por su forma fusiforme y color "rojo ladrillo" a marrón, se encuentran distribuidos de manera uniforme y a menudo, ocultan la mayor parte del citoplasma (Figura 1-C) (Clark *et al.*, 2009).

2.5.2. Eosinófilos

Son los leucocitos que defienden contra los parásitos helmínticos, participan en la inmunidad innata, adquirida y adaptativa, la remodelación tisular y la biología del desarrollo (Marjory *et al.*, 2022). Son células típicamente redondas con un núcleo bilobulado, por lo general, el citoplasma es pálido y contiene gránulos cuya forma, tamaño, tono y densidad varían entre las especies (Figura 1-E) (Clark *et al.*, 2009).

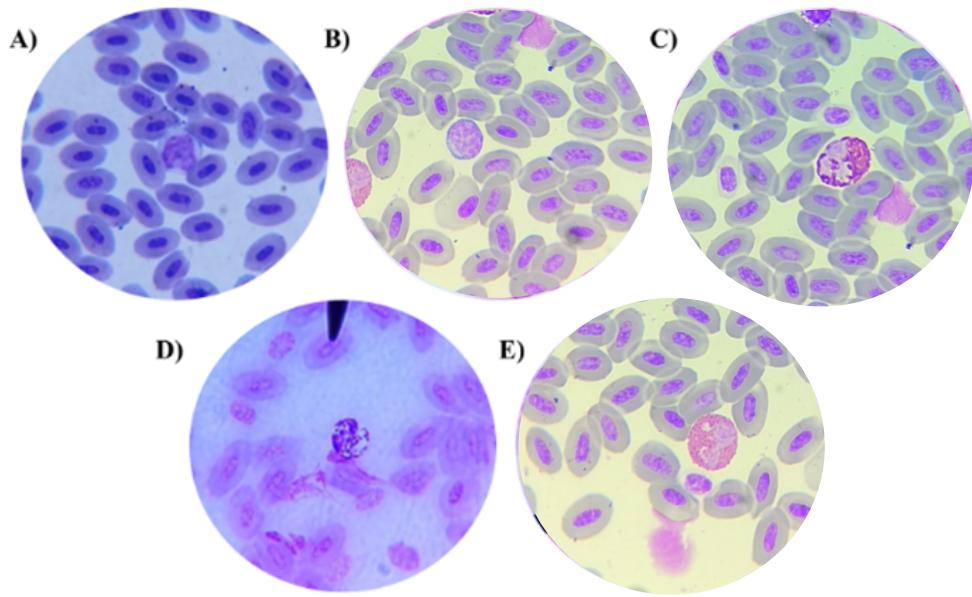


Figura 1. Células sanguíneas del sistema inmunitario de las aves A) Monocito, B) Linfocito, C) Heterófilo, D) Basófilo y E) Eosinófilo.

2.5.3. Basófilos

Se les reconoce por su participación en la inmunidad mediada por los linfocitos T y las reacciones de hipersensibilidad; son células redondas que, por lo general, tienen un núcleo con un solo lóbulo y el citoplasma contiene gránulos de tinción oscura en una densidad tan alta que no se pueden discernir los gránulos individuales (Figura 1-D) (Clark *et al.*, 2009; Marjory *et al.*, 2022).

2.5.4. Linfocitos

Son los leucocitos más comunes en la sangre periférica de la mayoría de las aves, así mismo, suelen ser los leucocitos más pequeños, son redondos y poseen poco citoplasma que se observa teñido de celeste (Figura 1-B). Son responsables de la inmunidad a patógenos, generan anticuerpos, activan macrófagos y participan en respuestas alérgicas (*ídem*).

2.5.5. Monocitos

Estas células protegen al organismo contra las infecciones bacterianas mediante la producción de compuestos microbicidas y funcionan para preservar la homeostasis tisular mediante la actividad depuradora; son leucocitos grandes con un núcleo que puede ser ovoide o reniforme y se pueden observar una o varias vacuolas pequeñas en el citoplasma (Figura 1-A) (Clark *et al.*, 2009; Marjory *et al.*, 2022).

2.6. Métodos para la evaluación del estrés

El estudio del estrés en animales se realiza mediante diversos indicadores para evaluar su bienestar, tanto en cautiverio como en vida silvestre.

2.6.1. Cuantificación de glucocorticoides

Uno de los métodos más comunes es medir los niveles de hormonas glucocorticoides, como la corticosterona en el plasma celular, orina o excretas. Los estudios que han utilizado este método reportan que los GC alcanzan su punto máximo una hora después del evento de estrés y que posteriormente estos niveles hormonales se vuelven a reducir (Davis y Maney, 2018).

De esta manera, la cuantificación de hormonas se propone como un buen método para evaluar la respuesta de emergencia de diferentes grupos biológicos, pero supone un desafío para estudios que buscan encontrar causalidad en factores de estrés crónico debido a que la respuesta de los GC de cada animal dependerá en gran medida de las experiencias durante el período de tiempo previo a su captura (Davis y Maney, 2018).

2.6.2. Índice H/L

Otro indicador alternativo de estrés fisiológico es la proporción de heterófilos a linfocitos en sangre (relación H/L), debido a que la producción de heterófilos actúa

como un efecto posterior a la elevación de la corticosterona (CORT). Se estima que los valores basales de H/L se encuentran alrededor de 0.5, ya que se ha reportado que la proporción más común de leucocitos en sangre periférica de los paseriformes es de un 60% de linfocitos, 30% de heterófilos y el 10% restante se compone de basófilos, eosinófilos y monocitos (Davis *et al.*, 2008). Por otro lado, valores cercanos o mayores a 1.0 indican elevación de los glucocorticoides y, por lo tanto, aumento en el estrés fisiológico (*ídem*).

La concentración basal de corticosterona y la relación H/L difieren en sensibilidad a varios estresores. Müller *et al.* (2011), descubrieron que las proporciones de H/L permanecieron altas en polluelos sometidos a estrés durante una semana mientras que los niveles plasmáticos de CORT habían vuelto a la normalidad. Por lo tanto, a escalas de tiempo más largas los niveles de CORT se relacionan negativamente con el estrés ambiental y el índice H/L presenta una correlación positiva (Davis y Maney, 2018).

La elección de una prueba u otra depende del propósito del estudio y se debe considerar que las muestras de sangre para la corticosterona basal en plasma deben recolectarse dentro de un tiempo muy corto después de la primera perturbación, generalmente dentro de los tres minutos, mientras que la relación H/L tiene un margen de hasta una hora (Müller *et al.*, 2011).

2.6.2.1 Toma de muestra

En aves, la toma de muestra sanguínea se realiza en la vena braquial (vena cubital cutánea), a la cual se accede en la parte inferior del ala del ave, cerca del codo. La punción se realiza antes de la bifurcación de la vena próxima al codo, entre los bíceps y los tríceps (Figura 2) (Kelly y Alworth, 2013).

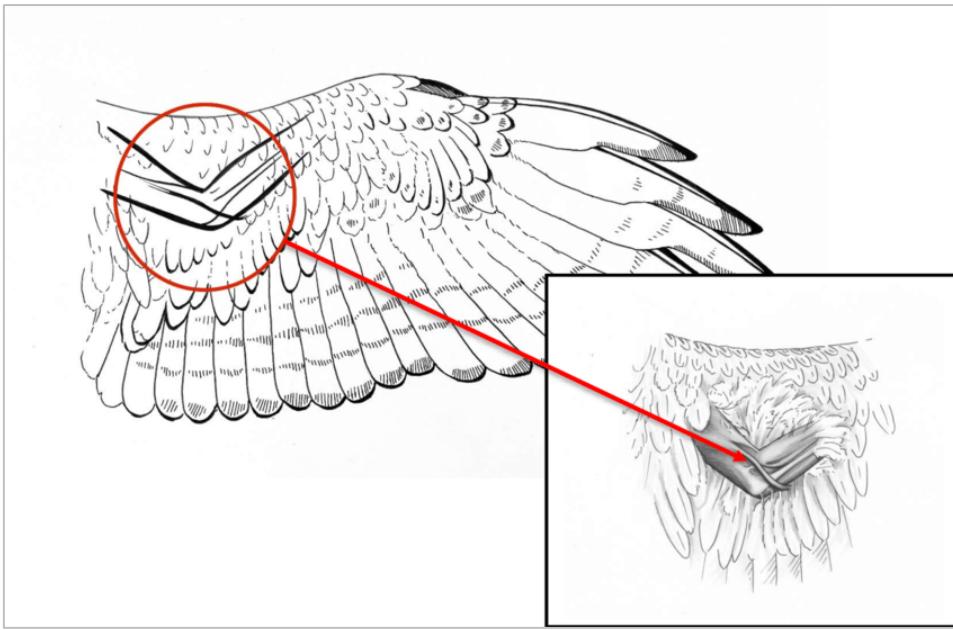


Figura 2. Ubicación de la vena cubital cutánea y primer plano del lugar de la venopunción © Chris Sayers

Antes de la extracción sanguínea, es fundamental preparar el material necesario. Para cada ave, se requieren agujas estériles de calibre superior a 25G, alcohol, algodón, tubos capilares con heparina, portaobjetos y una caja para almacenar los frotis sanguíneos (Rivas y Sánchez, 2022).

Al retirar el ave de la bolsa de tela en la que se colocó tras su liberación de la red, se debe sujetar cuidadosamente la zona de la nuca entre los dedos índice y anular (Figura 3-A). Luego, se extiende el ala para exponer el codo y localizar la vena braquial. Una vez identificada, se procede a la punción con una aguja inclinada aproximadamente 30 grados (Figura 3-B). Este procedimiento debe realizarse con rapidez y precisión (Rivas y Sánchez, 2022).

Cuando la sangre comienza a fluir, se recoge en un tubo capilar. A continuación, se aplica un algodón humedecido con alcohol sobre la zona de punción hasta que el sangrado se detenga, momento en el que el ave puede ser liberada. Mientras tanto, otra persona se encarga de la preparación de los frotis sanguíneos (Rivas y Sánchez, 2022).

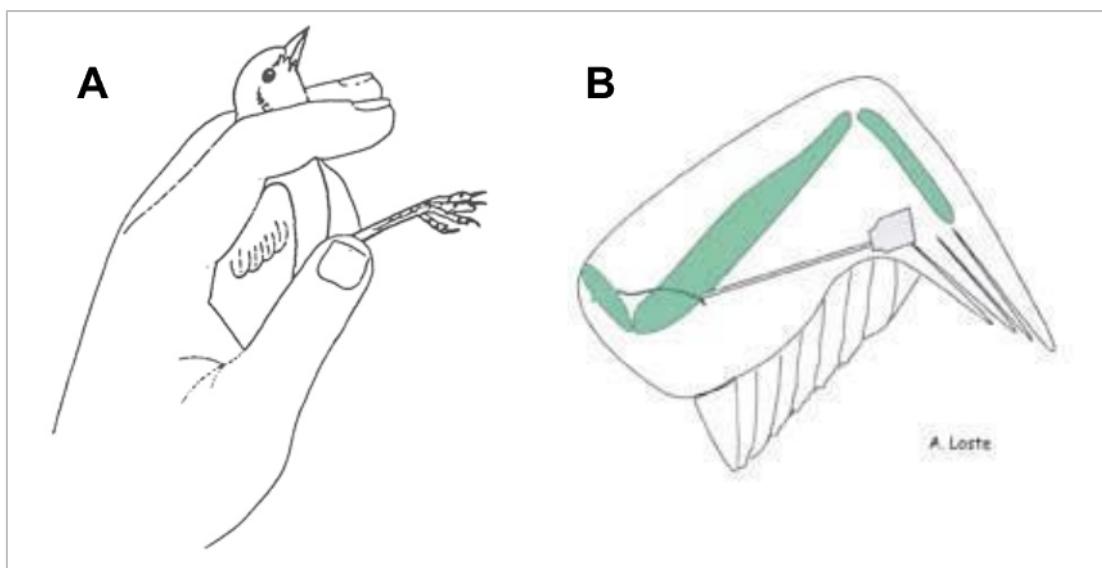


Figura 3. A) Método de Sujeción del Anillador © K.W. Lowe y B) Punción de la vena cutánea cubital © A. Loste

2.7. Condición corporal

La condición corporal representa el estado fisiológico de un individuo y muestra qué tan bien interactúa con su entorno, por lo que una buena condición se da cuando se obtienen y asimilan más recursos. Este concepto se utiliza de forma comparativa entre individuos de poblaciones, lugares o épocas diferentes (Milenkaya *et al.*, 2013).

Uno de los primeros métodos utilizados para evaluar la condición corporal fue el propuesto por Gosler *et al.* (1998). El método consiste en dividir la masa corporal entre la cuerda alar, dado que la longitud del ala es generalmente el mejor predictor de tamaño del ave en los paseriformes. Posteriormente han surgido otros índices, como el propuesto por Vitz y Rodewald (2011), que toma la medida del tarso en lugar de la cuerda alar. Estos datos son fáciles de obtener en campo y permiten tener una idea general del estado energético del ave.

Sin embargo, a pesar de que estos índices siguen utilizándose con frecuencia en estudios que evalúan los efectos del cambio climático (Sun *et al.*, 2017; Jirinec *et*

al., 2021) y la mortalidad de polluelos (Jirinec *et al.*, 2017), pueden verse afectados cuando existe mucha variación en el tamaño estructural entre individuos.

2.7.1. Índice de Masa Escalada

Peig y Green (2009) desarrollaron el índice de masa escalada (IME) para corregir las variaciones de tamaño entre individuos y obtener estimaciones más precisas. Este índice ajusta la masa de cada individuo a un tamaño corporal estandarizado, lo que permite hacer comparaciones más justas entre aves grandes y pequeñas dentro de la misma población. Entre sus beneficios destaca que refleja mejor las variaciones reales en reservas energéticas y suele ser más sensible para detectar cambios sutiles asociados a la disponibilidad de alimento, la calidad del hábitat o el estrés ambiental (*ídem*). Por ello, el índice de masa escalada se ha vuelto muy común en estudios de ecología y conservación.

La existencia de diferentes índices permite elegir el método que mejor se adapte a la especie, a las condiciones de muestreo y al tipo de preguntas que se buscan responder.

2.8. Modelo biológico

El mirlo café (*Turdus grayi*) es una especie de ave paseriforme perteneciente a la familia Turdidae. Es un ave residente con una distribución muy amplia, por la vertiente del Golfo de México y el Atlántico se extiende desde Nuevo León hasta Honduras, mientras que por la vertiente del Pacífico se encuentra desde Chiapas hasta el norte de Colombia (Álvarez-Romero *et al.*, 2008).

De forma natural habita por debajo de los 2,100 m s. n. m., principalmente en bosques tropicales secos, aunque en la actualidad también se le encuentra en ambientes urbanos. Su dieta es generalista e incluye diversos tipos de alimentos,

aunque muestra una marcada preferencia por frutas pequeñas y por insectos que obtiene removiendo la hojarasca. (*Ídem*)

La temporada reproductiva de esta especie es de marzo a junio, donde cada sexo cumple diferentes roles para asegurar la supervivencia de los polluelos. Las hembras pasan más tiempo en el nido y se encargan de su construcción y mantenimiento, así como de la incubación de los huevos. Los machos, por su parte, utilizan su repertorio de cantos para defender el territorio y de manera conjunta, ambos padres se encargan de la alimentación de los polluelos y la limpieza del nido (Dyrcz, 1983; Sánchez *et al.*, 2018).

III. ANTECEDENTES

Los primeros estudios donde se hizo uso de la relación de H/L para evaluar el estrés en aves se llevaron a cabo en la década de 1980, estos estudios se centraron en aves criadas para el consumo humano. Los investigadores se enfocaron en evaluar el estrés inducido por factores como la temperatura, el aislamiento, el transporte, la socialización y otras condiciones de manejo en la industria avícola (Maxwell, 1993). Estos estudios iniciales fueron fundamentales para comprender cómo el estrés afecta a las aves y establecieron una base importante para futuros trabajos sobre el bienestar animal.

En décadas posteriores, el interés de estas investigaciones se dirigió con mayor frecuencia a las aves de vida silvestre con el propósito de evaluar su respuesta fisiológica frente a distintos factores, tales como lesiones (Vleck *et al.*, 2000), enfermedades (Davis *et al.*, 2004), infecciones parasitarias (Whiteman y Parker, 2004), la manipulación humana (Davis, 2005) y las diferencias estacionales en aves migratorias (Owen y Moore, 2006).

3.1 Impacto de la urbanización en la fisiología de las aves

El acelerado avance de la urbanización ha generado preocupación debido a sus efectos sobre la fauna silvestre y ha motivado múltiples investigaciones orientadas a comprender el impacto de estas transformaciones de hábitat. Uno de los primeros trabajos de esta índole comparó el estado de las poblaciones de *Zonotrichia capensis* en ambientes urbanos y rurales, encontrando de manera consistente mayores proporciones del índice H/L en las aves que habitan entornos urbanos, lo que sugiere una respuesta fisiológica asociada al incremento de factores de estrés (Ruiz *et al.*, 2002).

Posteriormente, Liker *et al.* (2008) evaluaron cómo la urbanización afecta la morfología y la condición corporal del gorrión común (*Passer domesticus*). Sus resultados mostraron que los individuos en hábitats más urbanizados presentan menor tamaño y peor condición corporal en comparación con los de áreas rurales. Incluso bajo condiciones controladas en aviarios con alimento constante, los gorriones urbanos mantuvieron una masa corporal baja, lo que indica que esta diferencia no se explica por la disponibilidad de alimento, sino por factores asociados al desarrollo de los polluelos en entornos urbanos.

Otros estudios han incorporado, además de la urbanización, las cargas parasitarias como variable para evaluar la condición corporal. Jiménez-Peña et *al.* (2019) también analizaron individuos de *Passer domesticus* capturados en localidades con distintos niveles de urbanización, evaluando la relación entre la masa corporal y la infección por *Plasmodium*, *Haemoproteus* y *Leucocytozoon*. Los resultados mostraron que la condición corporal se redujo en aves juveniles de hábitats urbanos, mientras que en ambientes rurales tendió a mejorar. De manera inesperada, los ejemplares infectados por *Plasmodium* o *Haemoproteus* presentaron una mejor condición corporal que los no infectados, lo que los autores explican como desaparición selectiva de las aves más debilitadas en entornos urbanos. Además, señalan la importancia de incluir factores secundarios que ayuden a entender mejor la condición en la que se encuentran los individuos (Jiménez-Peña et *al.*, 2019).

Los efectos de la contaminación auditiva también se han puesto a prueba. Walthers y Barber (2020), analizaron los efectos del ruido del tráfico en el estrés fisiológico de los polluelos de estornino pinto (*Sturnus vulgaris*), midiendo la proporción H/L como indicador de respuesta al estrés. Se compararon dos grupos, uno expuesto a un aumento del ruido urbano y otro bajo condiciones ambientales típicas. Los resultados no marcaron diferencias significativas entre los grupos por lo que se sugirió que el ruido constante del tráfico no representa un factor de estrés significativo para esta especie. En caso contrario, Ribeiro *et al.* (2022) encontraron una proporción H/L más alta en seis especies de aves capturadas en zonas urbanas o periurbanas con

altos niveles de ruido antropogénico y contaminación por monóxido de carbono (CO), mientras que las aves de áreas alejadas de la urbanización mostraron proporciones H/L más bajas.

En México, Carbo-Ramírez y Zuria (2025), compararon el perfil leucocitario, la relación H/L y la masa corporal de cinco especies de aves residentes en dos espacios verdes con diferente nivel de urbanización. *Thryomanes bewickii* y *Melozone fusca* no mostraron diferencias para ningún parámetro leucocitario entre los espacios comparados; *Columbina inca* y *Passer domesticus* registraron porcentajes más altos de basófilos en el área conservada, mientras que *Haemorhous mexicanus* mostró porcentajes más altos de linfocitos y eosinófilos en el área urbana. En cuanto a la masa corporal, dos especies mostraron diferencias con valores más bajos en el área conservada.

Los distintos resultados obtenidos refuerzan la idea de que cada especie de ave presenta una respuesta fisiológica diferente, posiblemente relacionada con rasgos específicos de su ciclo de vida o con la variación en las condiciones ambientales (Carbo-Ramírez y Zuria, 2025). Por ello, resulta necesario incrementar los estudios en especies locales, ya que su respuesta al estrés y a las transformaciones del hábitat puede diferir de la observada en modelos ampliamente estudiados.

3.2 El estrés fisiológico en la reproducción

Los primeros estudios sobre la temporada reproductiva en aves y la diferencia entre machos y hembras fueron principalmente en la etapa de anidación. Vleck *et al.*, (2000) registraron en pingüinos que el índice H/L es significativamente menor durante la etapa de crianza del polluelo que en las etapas de cortejo o incubación, independientemente del sexo.

Posteriormente, Kilgas *et al.* (2006), reportaron que las hembras de Carboneros comunes (*Parus major*) se encontraban en peores condiciones y probablemente más

estresadas que los machos durante la temporada reproductiva sin importar el ambiente en que se encontraran. Además, descubrieron que las hembras en una segunda puesta se estresan menos que aquellas que son primerizas, explicando así la variación del índice H/L en un mismo sexo.

En la búsqueda de un trabajo de investigación integral, Milenkaya *et al.* (2013), evaluaron la variación en los índices de condición corporal de los pinzones carmesí (*Neochmia phaeton*) según sexo, etapa reproductiva, edad, hora del día y año. Los resultados indican que no existen diferencias entre los sexos en los niveles de estrés medidos con el índice H/L para ninguna de las variables, aunque en general, los machos reportan valores más elevados en todas las etapas de la reproducción. Por otro lado, la condición corporal medida por el índice de masa escalado sí mostró diferencias significativas en una de las etapas, las hembras presentaron mejores puntuaciones de condición corporal, pero se explicó por el aumento de peso que supone la formación de los huevos.

Por su parte, Valdebenito *et al.* (2021), realizaron un metaanálisis con 41 especies de aves silvestres de 24 familias aviares para investigar las diferencias sexuales y las variaciones estacionales (reproductivas/no reproductivas) en el estado inmunitario. Sus resultados reforzaron la idea de que la temporada reproductiva aumenta los niveles de estrés en las aves, sin embargo, la tendencia que registraron fue que los machos se ven sometidos a más estrés en comparación con las hembras.

En el caso de *Turdus grayi*, Dyracz (1983) describió el comportamiento de ambos性os durante la temporada reproductiva. No obstante, en esa época los estudios sobre la respuesta fisiológica de las aves apenas comenzaban, y actualmente aún no existen trabajos que aborden de manera específica este aspecto en la especie.

IV. OBJETIVOS

4.1 General

Evaluar la respuesta fisiológica de *Turdus grayi* con relación al sexo, hábitat y estado reproductivo.

4.2 Particulares

- Estimar la condición corporal de los individuos con relación a los niveles de estrés fisiológico.
- Determinar la asociación entre las condiciones del hábitat y los valores del índice H/L.
- Analizar la variación del índice H/L y la condición corporal en función del sexo y el estado reproductivo

V. HIPÓTESIS

La temporada reproductiva implica un gran conjunto de demandas energéticas para todas las aves, por ello, se espera que los niveles de estrés fisiológico se incrementen durante este periodo, con mayor prevalencia en las hembras al ser el sexo que generalmente asume los cuidados asociados a la anidación. También se considera que los individuos del sitio urbano presenten índices H/L más elevados en contraste con aquellos que se encuentren en el sitio de vegetación nativa. Finalmente, se espera encontrar una correlación negativa entre la condición corporal y el estrés fisiológico, de modo que los individuos con mejor condición presenten valores más bajos de estrés.

VI. ÁREA DE ESTUDIO

Este trabajo se realizó en la Unidad de Manejo Ambiental “El Recuerdo”, municipio de Chiapa de Corzo y en el Parque Ecológico y Recreativo “Joyyo Mayu”, ubicado dentro de la zona urbana de Tuxtla Gutiérrez (Figura 4). Ambos sitios se encuentran dentro de la Depresión Central de Chiapas, cuya vegetación dominante corresponde a la Selva Baja Caducifolia (SBC) (Rocha-Loredo *et al.*, 2010).

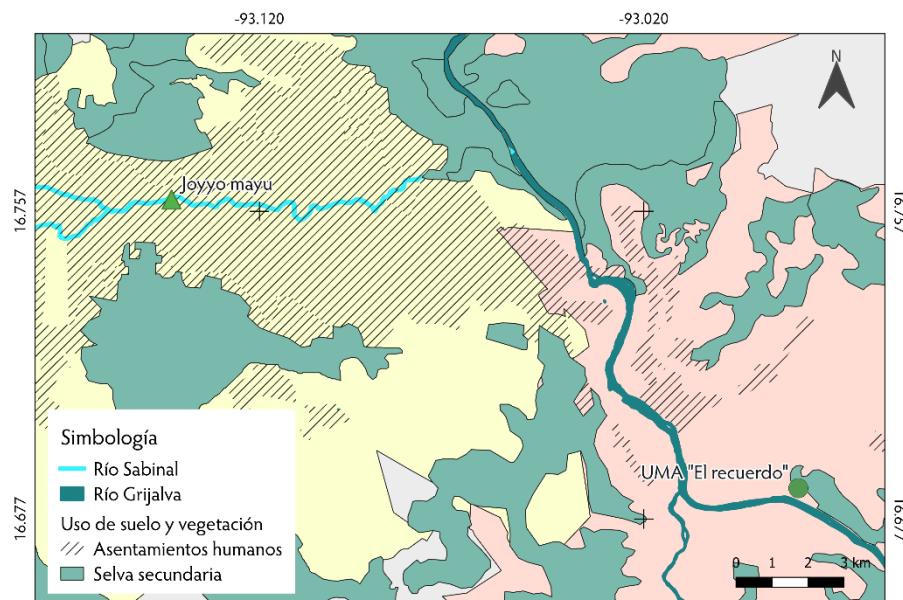


Figura 4. Parque Joyyo Mayu y UMA “El Recuerdo”, municipios de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

6.1. Vegetación

La UMA “El Recuerdo” conserva parches de vegetación nativa y mantiene espacios de cultivo de Teca (*Tectona grandis*) así como sectores de vegetación secundaria derivada de la sucesión ecológica. Por ello, en este estudio se la considera como el hábitat representativo de la Selva Baja Caducifolia (Figura 5).

Entre las especies vegetales representativas del sitio se encuentran *Ficus sp.*, *Bonellia macrocarpa*, *Caesalpinia pulcherrima*, *Cordia dodecandra* y *Ceiba pentandra*.



Figura 5. Vegetación de la UMA “El Recuerdo”. A) Área de cultivo de Tecas © Guillermo Sánchez, B) Vegetación secundaria © Sergio Siliceo y C) Vegetación con cobertura densa de sotobosque © Guillermo Sánchez

Por otro lado, el hábitat urbano está representado por el Parque “Joyyo Mayu” al encontrarse inmerso en una matriz de asentamientos humanos. Aunque originalmente este espacio estaría dominado por selva baja caducifolia y bosques de galería, la expansión urbana y la introducción de infraestructura han modificado de manera drástica el uso de suelo y la estructura de la vegetación (Silva *et al.*, 2015; Gordillo-Ruiz y Castillo Santiago, 2017)

Actualmente, la fisonomía del parque parece estar dominada por palmas de la familia Arecaceae, mientras que a lo largo del cauce del Río Sabinal predominan los sabinos (*Taxodium huegelii*). Además, se registran otras especies como *Inga vera*, *Muntingia calabura*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Delonix regia* y *Ceiba pentandra*. Dentro del parque el estrato arbustivo es escaso y la cobertura vegetal del suelo es mínima (Figura 6).



Figura 6. Vegetación del Parque “Joyyo Mayu”. A) Interior del parque © Cecilia Muñoz, B) Vegetación ribereña © Gullermo Sánchez y C) Zonas arboladas al interior del parque © Carlos Solís

VII. MÉTODOS

7.1 Toma de muestras

El trabajo de campo se llevó a cabo durante un ciclo reproductivo – no reproductivo de *Turdus grayi*, entre 2024 y 2025. Durante este periodo de tiempo, se capturaron aves utilizando redes de niebla que permanecieron abiertas durante seis horas, de 06:00 a 12:00 horas (Figura 7-A).

Para determinar la condición corporal de cada individuo capturado (Figura 7-B), se registraron los siguientes datos: edad, sexo, protuberancia cloacal, parche de incubación, cuerda alar y masa corporal (Figura 7-C). Los criterios utilizados para determinar estas variables se basaron en Pyle *et al.* (1997).



Figura 7. A) Colocación de redes de niebla, B) Extracción del ave de la red y C) Obtención de datos morfométricos.

La toma de muestras sanguíneas se realizó mediante punción en la vena braquial, utilizando agujas calibre 27G x 13 mm (Figura 8-A). La sangre se recolectó en tubos capilares con heparina e inmediatamente se realizaron frotis sanguíneos (Figura 8-B), los cuales al secar fueron colocados en cajas de almacenamiento especiales (Lemus-Ramírez, 2016).



Figura 8. A) Asepsia del área de punción para la toma de muestra sanguínea y B) Elaboración del frotis sanguíneo.

7.2 Índice H/L

Para la tinción de los frotis sanguíneos se utilizó colorante Wright-Giemsa, siguiendo el método indicado en el inserto de la marca. Los portaobjetos se cubrieron con colorante y se dejó actuar por 8 minutos, posteriormente, se le agregó la solución buffer y después de 10 minutos las muestras se lavaron con agua destilada (Figura 9-A y B).

Cada muestra se examinó dos veces utilizando un microscopio óptico Leica ICC50 (Figura 9-C) y empleando el método de barrido en zig-zag, contabilizando un total de 100 leucocitos por muestra, incluyendo heterófilos, eosinófilos, basófilos, linfocitos y monocitos; después se calculó el promedio de cada tipo de leucocito por muestra. Para obtener el índice H/L se calculó la relación entre el número de heterófilos y el número de linfocitos (Pereda-Solís *et al.*, 2022).

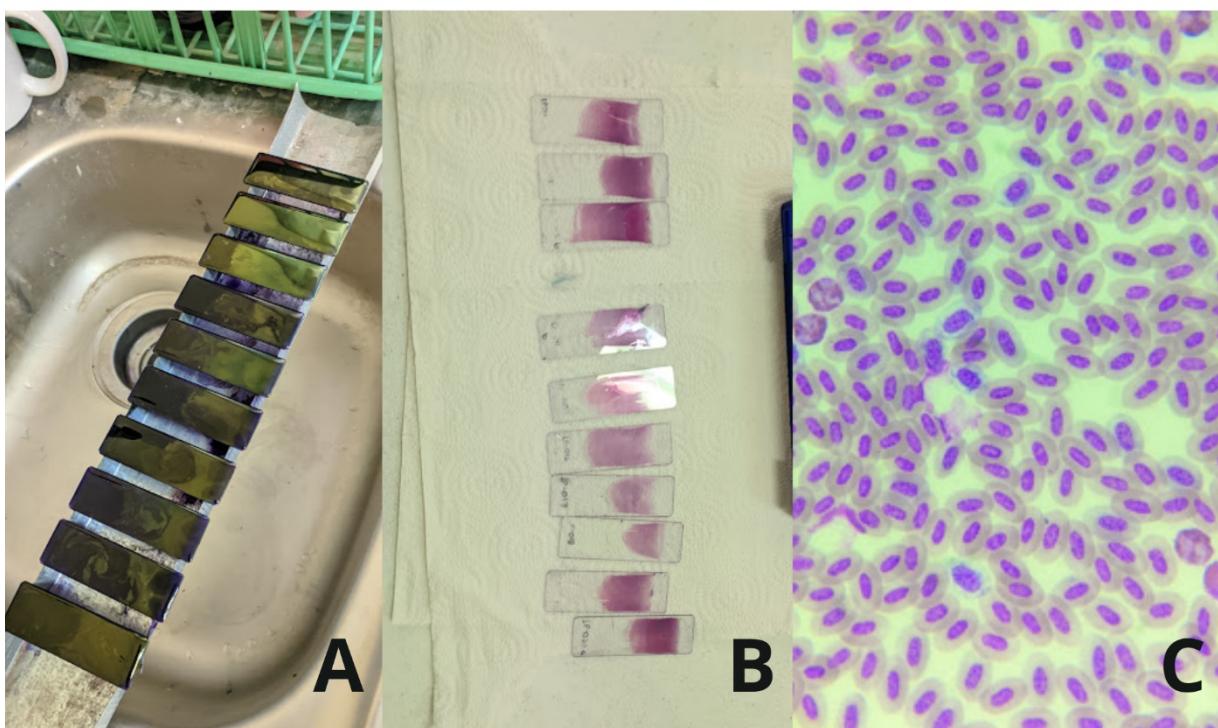


Figura 9. A) Tinción de los frotis sanguíneos, B) Muestras teñidas y C) Observación de las muestras al microscopio 100X.

7.3 Condición corporal

Se determinó el Índice de Masa Escalado (IME) para evaluar la condición corporal, siguiendo el método propuesto por Peig y; Green (2009). Para ello, se emplearon los logaritmos naturales de la masa corporal y la longitud de la cuerda alar. A partir de la regresión lineal de dichos valores transformados se obtuvo la pendiente, que posteriormente se incorporó a la fórmula estandarizada del IME.

7.4 Análisis estadísticos

Se aplicaron pruebas U de Mann-Whitney para comparar la distribución del índice de masa escalada, el índice H/L y los tipos de leucocitos entre los diferentes grupos. La relación entre los índices y las variables sexo, temporada reproductiva y localidad se evaluó mediante regresiones lineales y correlaciones de Spearman. Todos los análisis se efectuaron en R (R Core Team, 2021) utilizando RStudio versión 2024.04.0.

VIII. RESULTADOS

Durante el periodo de muestreo se capturaron en total 31 individuos adultos, de los cuales, 16 correspondieron a machos y 15 a hembras. El esfuerzo de muestreo en campo fue de 1080 horas/red.

8.2 Condición corporal

El índice de masa escalada presentó un rango de valores entre 69.7 y 81.64. Estos valores reflejaron diferencias en la condición general de las aves dentro de la población estudiada. Se observa una mejor condición corporal en las hembras que en los machos con diferencias estadísticamente significativas según la prueba de Mann-Whitney ($U= 186$, $p= 0.002$) (Figura 10). Para el estado reproductivo no se registraron diferencias significativas ($U= 195.5$, $p= 0.144$); sin embargo, los individuos no reproductivos mostraron menor variabilidad en su condición corporal y una mediana más elevada (Figura 11).

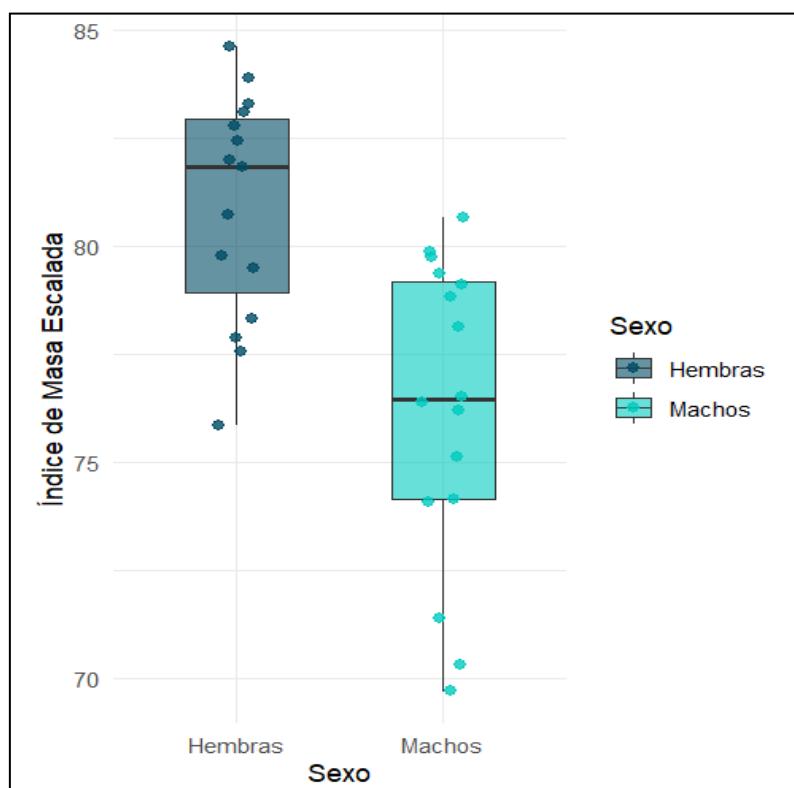


Figura 10. Distribución comparativa del Índice de masa escalada (IME) entre machos y hembras de *T. grayi*. Las hembras presentan una mediana significativamente mayor ($81.83 \pm EE 2.62$) que los machos ($76.45 \pm EE 3.51$).

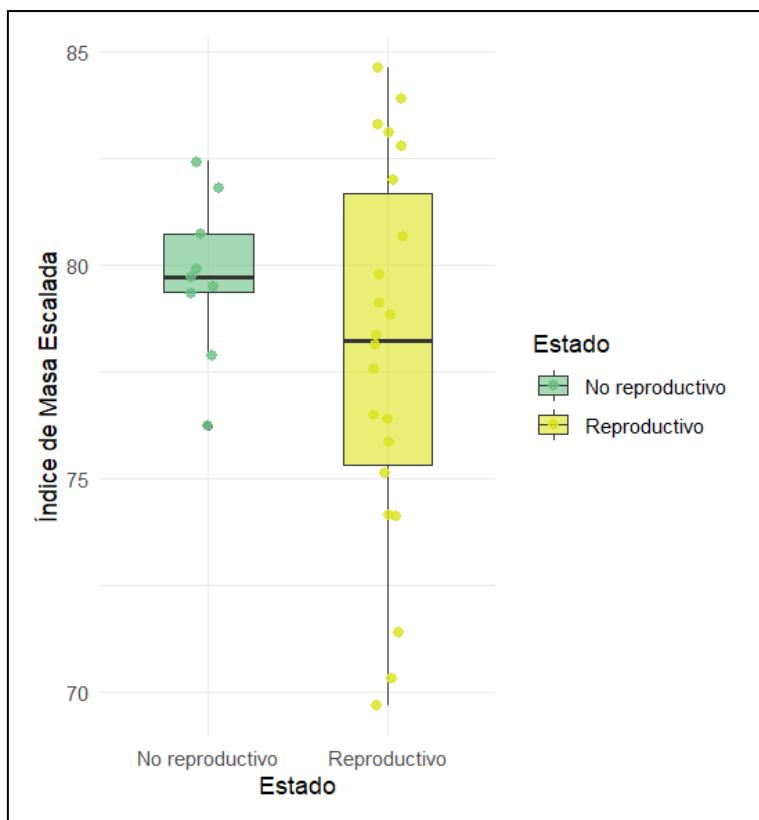


Figura 11. Distribución comparativa del Índice de masa escalada (IME) entre estados reproductivos de *T. grayi*. No existen diferencias entre individuos reproductivos ($78.23 \pm$ EE 4.38) y no reproductivos ($79.73 \pm$ EE 1.88).

8.3 Perfil leucocitario

Se registró la presencia de los cinco tipos de leucocitos: linfocitos, basófilos, heterófilos, monocitos y eosinófilos (Figura 12). En general, los resultados reflejaron una distribución celular típica en aves silvestres, con predominio de linfocitos y variaciones en los demás tipos celulares.

Los individuos de la Selva Baja Caducifolia (SBC) presentaron una distribución acorde a lo esperado que corresponde a mayor proporción de linfocitos en sangre, mientras que los individuos del sitio urbano mostraron una distribución atípica, caracterizada por la abundancia de eosinófilos cuya mediana (32.0) se encontró muy cercana a la de los linfocitos (35.0) (Figura 13). Además, los heterófilos también mostraron diferencias significativas ($U= 204.5$, $p= 0.018$), siendo la SBC el sitio con mayor abundancia.

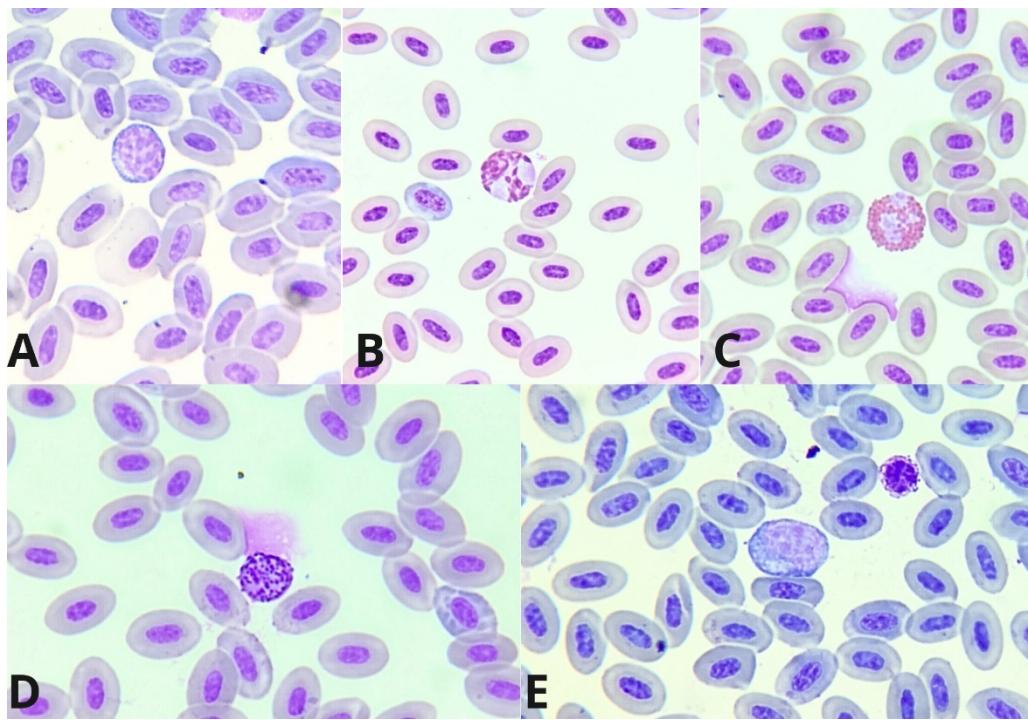


Figura 12. Presencia de los tipos de leucocitos observados en las muestras de *T. grayi*: A) Linfocito, B) Heterófilo, C) Eosinófilo, D) Basófilo y E) Monocito.

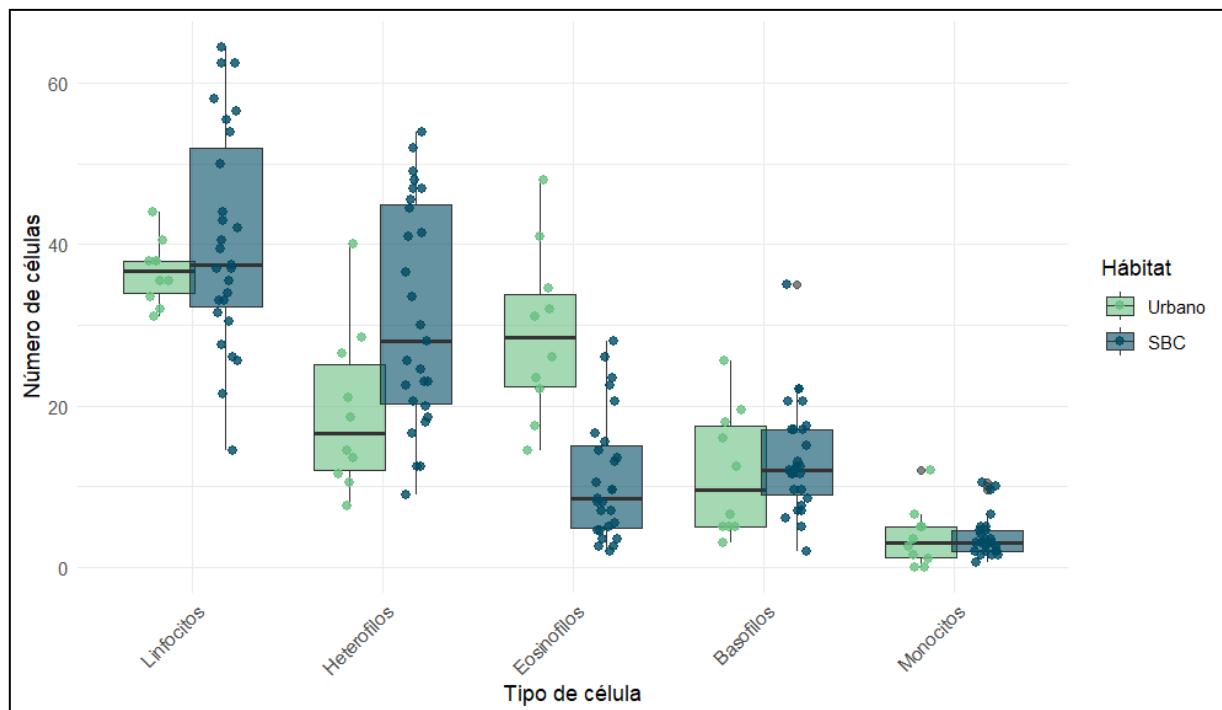


Figura 13. Distribución de tipos de leucocitos en *T. grayi* entre los dos hábitats de estudio. Se registraron diferencias significativas en heterófilos ($U= 204.5$, $p = 0.018$) y en eosinófilos ($U= 20.5$, $p= <0.001$). En linfocitos, basófilos y monocitos no existen diferencias significativas para la distribución de células.

8.3 Índice H/L

El índice heterófilo/linfocito (H/L) presentó valores que oscilaron entre 0.14 y 1.84 (EE: 0.48). Más de la mitad de los individuos presentaron valores menores a 1.0; en este conjunto se encuentran todos los ejemplares del sitio urbano, los cuales difirieron significativamente de las aves capturadas en la SBC ($U= 117.5, p= 0.019$) (Figura 14). Al contrastar los sexos no se observaron diferencias significativas en la distribución del H/L, con medianas más cercanas entre sí; 0.50 en machos y 0.75 en hembras (Figura 15).

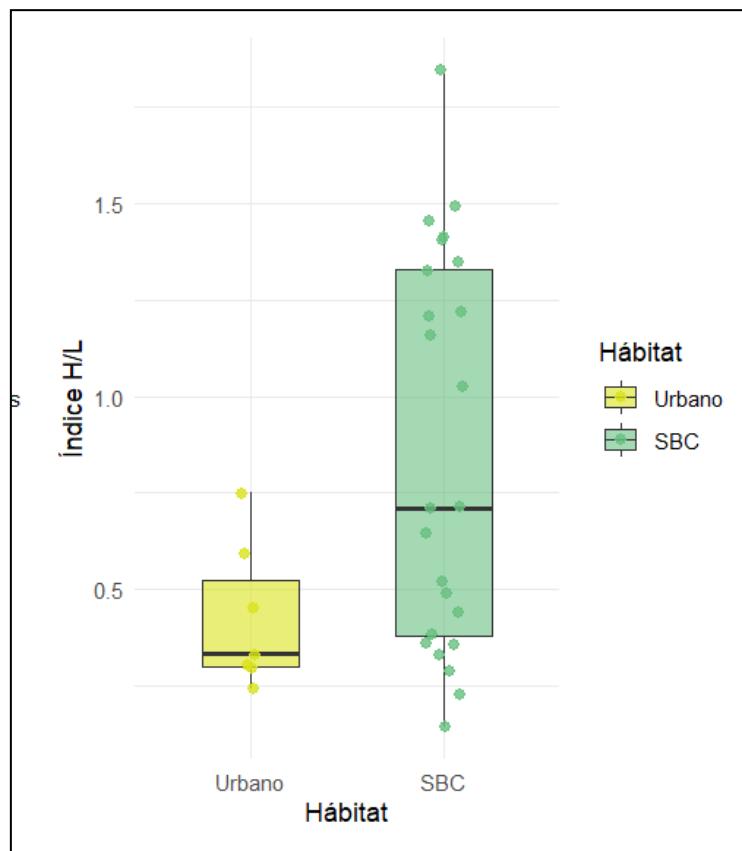


Figura 14. Distribución comparativa del Índice H/L en *T. grayi* entre hábitats. Los sitios difieren significativamente ($U= 117.5, p= 0.019$). Los valores más altos se registran en la SBC ($0.71 \pm \text{EE } 0.50$) y los más bajos en el sitio urbano ($0.33 \pm \text{EE } 0.18$).

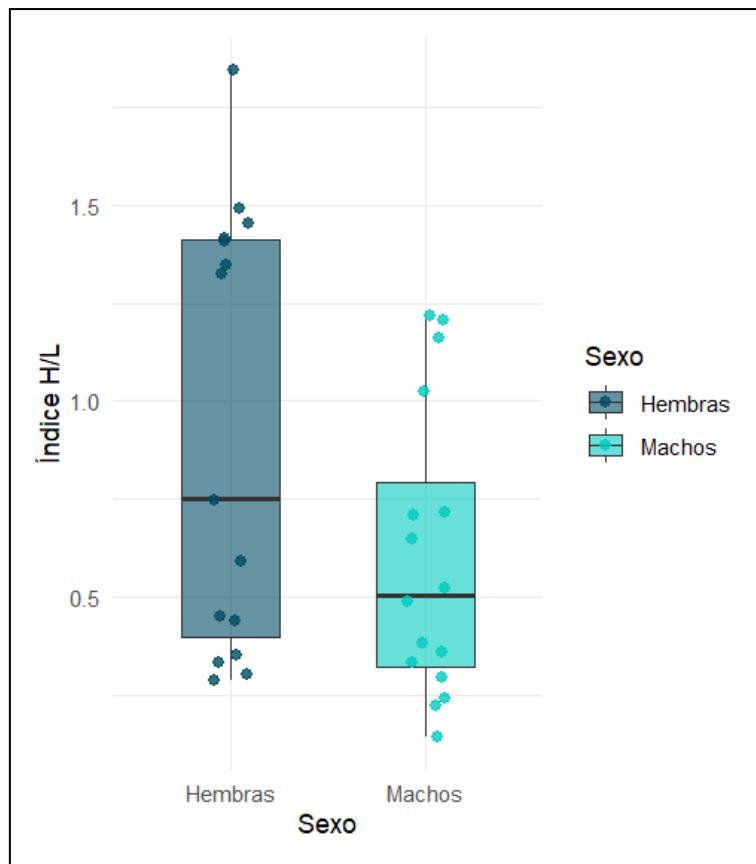


Figura 15. Distribución comparativa del Índice H/L en *T. grayi* entre machos y hembras. En ambos sexos la distribución es similar ($\text{♀} = 0.75 \pm \text{EE } 0.55$, $\text{♂} = 0.50 \pm \text{EE } 0.36$, $U= 155.5$, $p= 0.07$).

Al separar los individuos por sexo y estado reproductivo, se observó que las hembras reproductivas presentaron los valores más elevados del índice, mientras que los machos no reproductivos mostraron los valores más bajos. No obstante, dichas variaciones no alcanzaron significancia estadística ni en machos ($U= 11$, $p= 0.177$) ni en hembras ($U= 8$, $p= 0.077$) (Figura 16).

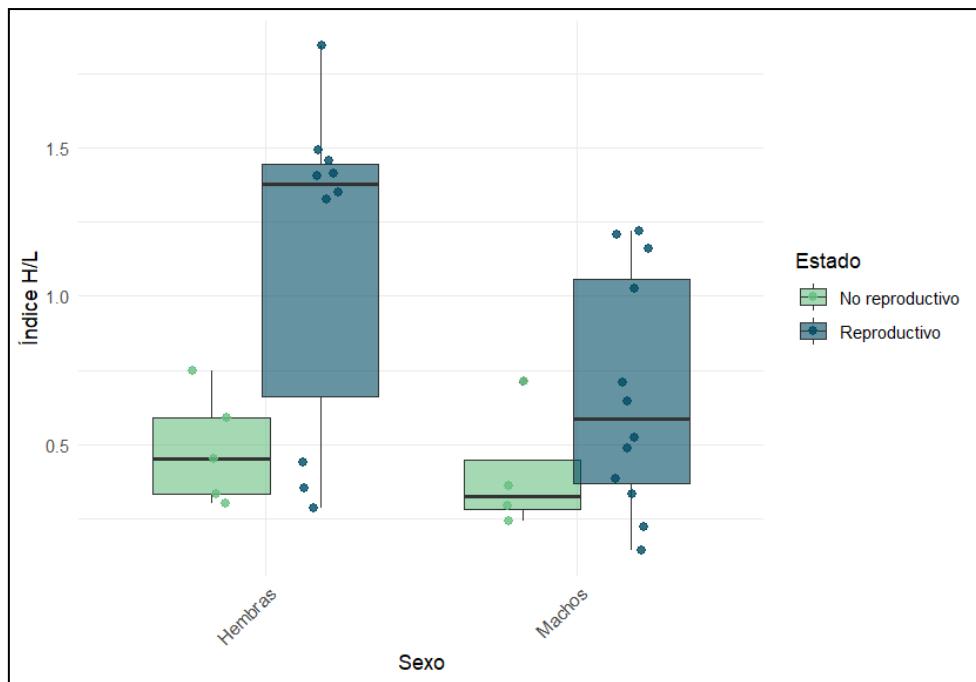


Figura 16. Distribución comparativa del índice H/L en *T. grayi* entre sexos y estados reproductivos. Individuos de ambos sexos en estado reproductivo presentaron los valores más altos ($\text{♀} = 1.37 \pm \text{EE } 0.055$, $\text{♂} = 0.58 \pm \text{EE } 0.39$). Mientras que los no reproductivos se mantuvieron en niveles basales ($\text{♀} = 0.45 \pm \text{EE } 0.18$, $\text{♂} = 0.32 \pm \text{EE } 0.21$).

8.4 Variación del índice h/l y la condición corporal en función del sexo y el estado reproductivo

La relación entre el índice H/L y el índice de masa escalada mostró patrones diferenciados según el sexo. En las hembras la condición corporal se mantiene relativamente constante independientemente de los niveles de estrés que puedan registrarse. Por el contrario, la condición corporal de los machos se ve afectada visiblemente conforme el índice H/L alcanza cifras más elevadas (Figura 17).

Asimismo, se observó que los individuos no reproductivos presentan valores altos en el IME y bajos en el índice H/L, lo que se puede interpretar como bajos niveles de estrés fisiológico con buena condición corporal. Mientras que, los individuos reproductivos fueron los únicos que mostraron valores elevados de H/L y valores bajos de IME, lo sugiere la presencia de ejemplares con altos niveles de estrés y otros una condición corporal disminuida (Figura 17).

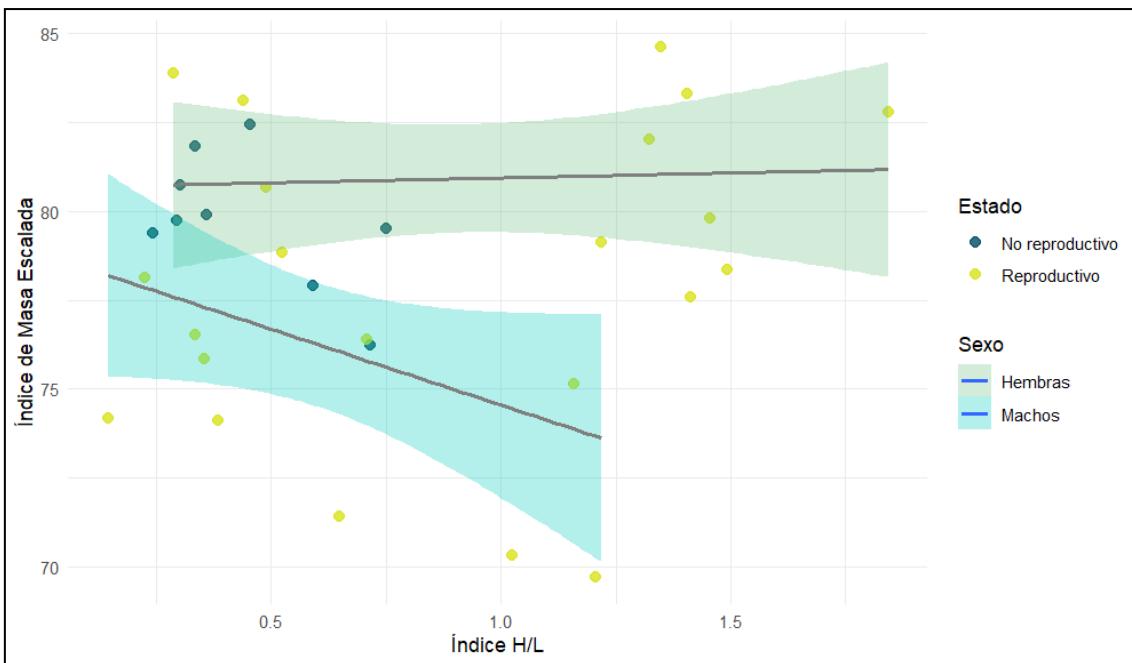


Figura 17. Relación entre el índice H/L y el índice de masa escalada (IME), diferenciada por sexo y estado reproductivo. En machos se observa una tendencia negativa (Correlación de Spearman, $rs = -.374$), mientras que en hembras la pendiente es ligeramente positiva ($rs = -.093$).

IX. DISCUSIÓN

Los resultados muestran diferencias fisiológicas marcadas entre sexos y estados reproductivos. En particular, las hembras de *Turdus grayi* presentan una condición corporal significativamente mayor que los machos, un patrón que coincide parcialmente con lo reportado para otras especies; Milenkaya *et al.* (2013) documentaron en pinzones un incremento similar en las hembras durante la temporada reproductiva, aunque limitado al periodo previo a la incubación.

Se ha propuesto que el aumento en la condición corporal antes de la incubación se asocia directamente con los procesos de formación del huevo (Milenkaya *et al.*, 2013), por lo que no necesariamente refleja una mejora fisiológica. Sin embargo, el mantenimiento de una buena condición en ambos estados reproductivos sugiere que las demandas energéticas no sobrepasan la carga alostática (Romero, 2004), reflejando la capacidad de las hembras para realizar ajustes fisiológicos rápidos frente a fluctuaciones ambientales (Vézina y Salvante, 2010).

Estos ajustes no se restringen a la estacionalidad ni a la especie. Le V Dit Durell *et al.* (2001) registraron que hay un aumento significativo en la condición corporal de las hembras en la temporada pre-migratoria y prenupcial asociado tanto a la mayor disponibilidad de alimento como la especialización en técnicas de forrajeo, lo que refuerza la idea de que estos cambios responden a múltiples presiones ecológicas.

Asimismo, la variación en las células del sistema inmune revela las respuestas fisiológicas a estas presiones ambientales (Davison *et al.*, 2008). En la Selva Baja Caducifolia (SBC) se registró un perfil leucocitario normal con dominancia de linfocitos, mientras que las muestras del sitio urbano presentaron eosinofilia, es decir, mayor proporción de eosinófilos. Estudios anteriores han documentado casos similares en tres especies de paseriformes: *Mimus polyglottos*, *Toxostoma curvirostre* (Fokidis *et al.*, 2008) y *Haemorhous mexicanus* (Carbó-Ramírez y Zuria, 2025), sugiriendo una asociación a respuestas inmunes frente a parásitos o contaminantes ambientales propios de entornos urbanos (Marjory *et al.*, 2022).

A pesar de que se esperaba que las aves del entorno urbano mostrasen mayores niveles de estrés como se ha documentado en otras especies (Ribeiro *et al.*, 2022), los resultados revelaron lo contrario. En la Selva Baja Caducifolia se registraron los valores más altos del índice H/L, pero no es suficiente para determinar que las aves urbanas tienen una mejor calidad de vida ya que las variaciones en el estrés se pueden ver afectadas por otros factores temporales como las fluctuaciones climáticas que afectan la disponibilidad de alimento (Banbura *et al.*, 2012) y los eventos de reproducción (Kilgas *et al.*, 2006).

Así pues, se registró que los individuos con los niveles más altos de estrés fueron aquellos que estaban en estado reproductivo, sin importar el sexo ni el sitio. Este patrón coincide con lo reportado por Nimra *et al.* (2023), quienes encontraron que la reproducción impone una carga fisiológica significativa que se refleja en biomarcadores como el H/L. En otras palabras, el esfuerzo reproductivo parece ser el principal factor que eleva el estrés en *Turdus grayi*, más que el lugar donde habita.

Además, se encontró que las hembras reproductivas fueron las más estresadas, lo cual cobra sentido si consideramos que invierten más energía en la formación de huevos y en el cuidado parental. Valdebenito *et al.* (2021) incluso mencionan que los niveles de estrés son mayores en la primera nidada y disminuye en los eventos reproductivos posteriores, lo cual puede explicar la variación de datos obtenidos en la temporada reproductiva.

En este caso resulta interesante destacar que, a pesar de su alto H/L, las hembras de *T. grayi* mantuvieron una condición corporal estable porque sugiere una capacidad de compensación fisiológica como lo explican Milenkaya *et al.* (2013), una buena condición corporal no siempre indica baja carga de estrés, ya que algunas aves pueden mantener su masa corporal a costa de otros sistemas fisiológicos. En contraste, los machos mostraron una tendencia clara: a mayor H/L, menor condición corporal. Esto podría indicar que ellos son más sensibles a los efectos del estrés sobre su estado físico.

En resumen, los resultados sugieren que, para *Turdus grayi*, el estrés fisiológico está más relacionado con el estado reproductivo que con el tipo de hábitat. Aunque el entorno urbano mostró algunas señales inmunológicas atípicas como la eosinofilia, no fue el sitio con mayor estrés. Más bien, fue la combinación del estado reproductivo y el sexo lo que se asoció con los valores más altos de H/L. Tal como indican Davis *et al.* (2008), el índice H/L es un indicador sensible de estrés crónico, pero su interpretación debe considerar el contexto ecológico y reproductivo del individuo.

X. CONCLUSIONES

- Las hembras de *Turdus grayi* mantienen una condición corporal significativamente mejor que los machos, lo que refleja diferencias fisiológicas ligadas al sexo y su capacidad de compensación frente a demandas energéticas.
- Los bajos valores del índice H/L registrados en el hábitat urbano evidencian que estos espacios no ejercen la presión ambiental esperada sobre la especie de estudio, lo que contradice parcialmente la hipótesis inicial.
- Los perfiles leucocitarios reflejaron diferencias claras entre hábitats: en la Selva Baja Caducifolia predominó la proporción esperada de linfocitos, mientras que en el sitio urbano se registró eosinofilia, lo que indica respuestas inmunológicas atípicas posiblemente asociadas a contaminantes o parásitos.
- El estado reproductivo se identificó como el principal determinante del incremento en el índice H/L, independientemente del hábitat, confirmando que la reproducción impone una carga fisiológica significativa.
- El índice H/L se confirma como un biomarcador sensible de estrés fisiológico, pero su interpretación requiere considerar simultáneamente el sexo, el estado reproductivo y las condiciones ecológicas del hábitat.

XI. RECOMENDACIONES

- Realizar muestreos simultáneos en ambos hábitats durante las mismas etapas reproductivas para evaluar comparativamente la respuesta fisiológica de *Turdus grayi* bajo condiciones ambientales equivalentes.
- Incluir variables ambientales complementarias como cobertura vegetal, disponibilidad de alimento, ruido ambiental o infecciones parasitarias para interpretar con mayor precisión las causas del estrés.
- Replicar este enfoque en otras especies de aves urbanas y nativas de Chiapas, para determinar si los patrones observados en *Turdus grayi* son generalizables o específicos de su plasticidad ecológica.

REFERENCIAS DOCUMENTALES

- Álvarez-Romero, J., Medellín, R., Oliveras de Ita, A., Gómez de Silva, H. y Sánchez, Ó. 2008. *Animales exóticos en México: una amenaza para la biodiversidad.* Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
- Banbura, J., Skwarska, J., Banbura, M., Gladalski, M., Holysz, M., Kalinski, A., Markowski, M., Wawrzyniak, J. y Zielinski, P. 2013. Spatial and temporal variation in heterophil-to-lymphocyte ratios of nestling passerine birds: Comparison of blue tits and great tits. *PLOS ONE.* 8(9): e74226.
- Blas, J. 2015. Stress in Birds. En: Scanes, C. G. (Ed.). *Sturkie's Avian Physiology.* Elsevier. Pp. 769–810.
- Burton, N. H. K., Rehfisch, M. M., Clark, N. A. y Dodd, S. G. 2006. Impacts of sudden winter habitat loss on the body condition and survival of redshank *Tringa totanus.* *Journal of Applied Ecology.* 43(3): 464–473.
- Carbó-Ramírez, P. y Zuria, I. 2025. Leucocyte profile and H/L ratio of birds between contrasting urban green spaces with emphasis in five common resident urban birds in Mexico. *Animal Biodiversity and Conservation.* 48(1): 6–15.
- Clark, P., Boardman, W. y Radial, S. 2009. *Atlas of Clinical Avian Hematology.* Blackwell Publishing. United Kingdom.
- Cockrem, J. F. 2013. Individual variation in glucocorticoid stress responses in animals. *General and Comparative Endocrinology.* 181(1): 45–58.
- Cummins, R. A. 2023. Homeostasis. *Encyclopedia of Quality of Life and Well-Being Research.* 3165–3168.
- Davies, K. J. A. 2016. Adaptive homeostasis. *Molecular Aspects of Medicine,* 49, 1–7.
- Davis, A. K., Cook, K. C. y Altizer, S. 2004. Leukocyte profiles in wild house finches with and without Mycoplasmal conjunctivitis, a recently emerged bacterial disease. *EcoHealth.* 1(4): 362–373.
- Davis, A. K. y Maney, D. L. 2018. The use of glucocorticoid hormones or leucocyte profiles to measure stress in vertebrates: What's the difference? *Methods in Ecology and Evolution.* 9(6): 1556–1568.

- Davis, A. K., Maney, D. L. y Maerz, J. C. 2008. The use of leukocyte profiles to measure stress in vertebrates: A review for ecologists. *Functional Ecology*. 22(5): 760–772.
- Davison, F., Kaspers, B. y Schat, K. 2008. Avian Immunology. Academic Press. London, UK.
- Dickens, M. J., Delehanty, D. J. y Romero, L. M. 2009. Stress and translocation: alterations in the stress physiology of translocated birds. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 276(1664): 2051–2056.
- Dyrcz, A. 1983. Breeding ecology of the Clay-coloured Robin *Turdus grayi* in lowland Panama. *Ibis*. 125(3): 287–304.
- Fokidis, H. B., Greiner, E. C. y Deviche, P. 2008. Interspecific variation in avian blood parasites and haematology associated with urbanization in a desert habitat. *Journal of Avian Biology*. 39(3): 300–310.
- Gordillo-Ruiz, M. C. y Castillo-Santiago, M. Á. 2017. Cambio de uso del suelo en la cuenca del río Sabinal, Chiapas, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 4(10): 39–49.
- Gosler, A. G., Greenwood, J. J. D., Baker, J. K. y Davidson, N. C. 1998. The field determination of body size and condition in passerines: A report to the British Ringing Committee. *Bird Study*. 45(1): 92–103.
- Jiménez-Peña, J., Ferraguti, M., Martínez-de la Puente, J., Soriguer, R. y Figuerola, J. 2019. Urbanization and blood parasite infections affect the body condition of wild birds. *Science of the Total Environment*. 651: 3015–3022.
- Jiménez-Peña, J., Santamaría-Cervantes, C., Fernández-Vizcaíno, E., Mateo, R. y Ortiz-Santaliestra, M. E. 2025. Integrating adverse effects of triazole fungicides on reproduction and physiology of farmland birds. *Journal of Avian Biology*. 2025(1): e03313.
- Jirinec, V., Burner, R. C., Amaral, B. R., Bierregaard, R. O., Fernández-Arellano, G., Hernández-Palma, A., Johnson, E. I., Lovejoy, T. E., Powell, L. L., Rutt, C. L., Wolfe, J. D. y Stouffer, P. C. 2021. Morphological consequences of climate change for resident birds in intact Amazonian rainforest. *Science Advances*. 7(46): eabk1743.

- Kelly, L. M. & Alworth, L. C. 2013. Techniques for collecting blood from the domestic chicken. *Lab Animal*. 42.
- Kilgas, P., Mänd, R., Mägi, M. y Tilgar, V. 2006. Hematological parameters in brood-rearing great tits in relation to habitat, multiple breeding and sex. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular y Integrative Physiology*. 144(2): 224–231.
- Labocha, M. K. y Hayes, J. P. 2012. Morphometric indices of body condition in birds: A review. *Journal of Ornithology*. 153(1): 1–22.
- Le V Dit Durell, S. E. A., Goss-Custard, J. D., Caldow, R. W. G., Malcolm, H. M. y Osborn, D. 2001. Sex, diet and feeding method-related differences in body condition in the oystercatcher *Haematopus ostralegus*. *Ibis*. 143(1): 107–119.
- Lemus-Ramírez, K. I. 2016. Efecto remanente de la industria minera en comunidades de aves de bosque templado del estado de Michoacán, México. Tesis de Maestría. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán.
- Liker, A., Papp, Z., Bókony, V. y Lendvai, Á. Z. 2008. Lean birds in the city: Body size and condition of house sparrows along the urbanization gradient. *Journal of Animal Ecology*. 77(4): 789–795.
- Mariyappan, M., Rajendran, M., Velu, S., Johnson, A. D., Dinesh, G. K., Solaimuthu, K., Kaliyappan, M. y Sankar, M. 2023. Ecological role and ecosystem services of birds: A review. *International Journal of Environment and Climate Change*. 13(6): 76–87.
- Marjory B., Kendal, E., Davis, M., Jane W., y Douglas J. 2022. Schalm's Veterinary Hematology. John Wiley y Sons, Inc. Hoboken, USA.
- Matthews, S. N. y Rodewald, P. G. 2010. Movement behaviour of a forest songbird in an urbanized landscape: The relative importance of patch-level effects and body condition during migratory stopover. *Landscape Ecology*. 25(6): 955–965.
- Maxwell, M. H. 1993. Avian blood leucocyte responses to stress. *World's Poultry Science Journal*. 49(1): 34–43.

- Milenkaya, O., Weinstein, N., Legge, S. y Walters, J. R. 2013. Variation in body condition indices of crimson finches by sex, breeding stage, age, time of day, and year. *Conservation Physiology*. 1(1)
- Müller, C., Jenni-Eiermann, S. y Jenni, L. 2011. Heterophils/Lymphocytes-ratio and circulating corticosterone do not indicate the same stress imposed on Eurasian kestrel nestlings. *Functional Ecology*. 25(3): 566–576.
- Nimra, S., Kayani, A. R., Irfan, M. y Ahmed, M. S. 2023. Seasonal changes in hematological parameters in house sparrows of subtropical Pakistan. *Integrative Organismal Biology*. 5(1): 1–9.
- Owen, J. C. y Moore, F. R. 2006. Seasonal differences in immunological condition of three species of thrushes. *The Condor*. 108(2): 389–398.
- Partecke, J., Schwabl, I. y Eberhard, G. 2006. Stress and the city: Urbanization and its effects on the stress physiology in European blackbirds. *Ecology*. 87(8): 1945–1952.
- Peig, J. y Green, A. J. 2009. New perspectives for estimating body condition from mass/length data: The scaled mass index as an alternative method. *Oikos*. 118(12): 1883–1891.
- Pereda-Solís, M. E., Guillén-González, C. S., Ramírez-Carreño, K., Martínez-Guerrero, J. H., Sierra-Franco, D., Salazar-Borunda, M. A. y Torres-Bugarín, O. 2022. Leukocyte profile, micronucleus and erythrocytic nuclear protrusions in sparrows (*Centronyx bairdii* y *Ammodramus savannarum*) of the Chihuahuense desert during the winter. *Agrociencia*. 56(1): 46–60.
- Pyle, P., Howell, S., DeSante, D., Yunick, R. y Gustafson, M. 1997. Identification guide to North American Birds. Slate Creek Press. Point Reyes Station, CA, USA.
- R Core Team 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- Ramírez-Albores, J. E. 2010. Diversidad de aves de hábitats naturales y modificados en un paisaje de la Depresión Central de Chiapas, México. *Revista de Biología Tropical*. 58(1): 511–528.

- Ribeiro, P. V. A., Gonçalves, V. F., de Magalhães Tolentino, V. C., Baesse, C. Q., Pires, L. P., Paniago, L. P. M. y de Melo, C. 2022. Effects of urbanisation and pollution on the heterophil/lymphocyte ratio in birds from Brazilian Cerrado. *Environmental Science and Pollution Research*. 29(26): 40204–40212.
- Rivas, R. y Sánchez, J. S. 2022. Estandarización de protocolos para el monitoreo del estado de salud de aves como reservorios de hemoparásitos en el Bosque Protector La Prosperina. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias de la Vida. Escuela Superior Politécnica Del Litoral. Guayaquil, Ecuador
- Rocha-Loredo, A. G., Ramírez-Marcial, N. y González-Espinosa, Y. M. 2010. Riqueza y diversidad de árboles del bosque tropical caducifolio en la depresión central de Chiapas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 87(87): 89–103.
- Romero, L. M. 2004. Physiological stress in ecology: Lessons from biomedical research. *Trends in Ecology and Evolution*. 19(5): 249–255.
- Romero, L. M. 2012. Using the reactive scope model to understand why stress physiology predicts survival during starvation in Galápagos marine iguanas. *General and Comparative Endocrinology*. 176(3): 296–299.
- Ruiz, G., Rosenmann, M., Novoa, F. F. y Sabat, P. 2002. Hematological parameters and stress index in Rufous-collared sparrows dwelling in urban environments. *The Condor*. 104(1): 162–166.
- Sánchez, N. V., Vargas-Castro, L. E. y Barrantes, G. 2018. Nestling feeding, nest success, and notes of parental care in the Clay-colored Thrush (*Turdus grayi*): The role of females and males. *Wilson Journal of Ornithology*. 130(2): 437–444.
- Silva, M., García, A. y Hernando, A. 2015. Crecimiento de la mancha urbana en la Zona Metropolitana de Tuxtla Gutiérrez (Chiapas, México). *QueHacer Científico en Chiapas*. 10(2): 35–41.
- Skwarska, J. 2019. Variation of heterophil-to-lymphocyte ratio in the Great Tit *Parus major*—a review. *Acta Ornithologica*. 53(2): 103–114.
- Sun, Y., Li, M., Song, G., Lei, F., Li, D. y Wu, Y. 2017. The role of climate factors in geographic variation in body mass and wing length in a passerine bird. *Avian Research*. 8(1): 1–10.

- Valdebenito, J. O., Halimubieke, N., Lendvai, Á. Z., Figuerola, J., Eichhorn, G. y Székely, T. 2021. Seasonal variation in sex-specific immunity in wild birds. *Scientific Reports*. 11(1): 1–11.
- Vézina, F. y Salvante, K. G. 2010. Behavioral and physiological flexibility are used by birds to manage energy and support investment in the early stages of reproduction. *Current Zoology*. 56(6): 767–792.
- Vleck, C. M., Vernalino, N., Vleck, D. y Bucher, T. L. 2000. Stress, corticosterone, and heterophil to lymphocyte ratios in free-living Adélie penguins. *The Condor*. 102(2): 392–400.
- Vitz, A. C. y Rodewald, A. D. 2011. Influence of Condition and Habitat use on Survival of Post-Fledging Songbirds Free. *The Condor: Ornithological Applications*. 113 (2): 400–411.
- Vogelbacher, M., Strehmann, F., Bellafkir, H., Mühling, M., Korfhage, N., Schneider, D., Rösner, S., Schabo, D. G., Farwig, N. y Freisleben, B. 2024. Identifying and counting avian blood cells in whole slide images via deep learning. *Birds*. 5(1): 48–66.
- Walther, A. R. y Barber, C. A. 2020. Traffic noise as a potential stressor to offspring of an urban bird, the European Starling. *Journal of Ornithology*. 161(2): 459–467.
- Whiteman, N. K. y Parker, P. G. 2004. Body condition and parasite load predict territory ownership in the Galápagos Hawk. *The Condor*. 106(4): 915–921.
- Wingfield, J. C. 2013. Ecological processes and the ecology of stress: The impacts of abiotic environmental factors. *Functional Ecology*. 27(1): 37–44.
- Wingfield, J. C. y Romero, L. M. 2010. Adrenocortical responses to stress and their modulation in free-living vertebrates. *Comprehensive Physiology*. 211-234