

**ANÁLISIS DE FACTORES QUE INCIDEN EN LA COLISIÓN DE AVES CONTRA
EDIFICACIONES URBANAS EN CAMPUS UNIVERSITARIOS DE BOGOTÁ -
COLOMBIA**



GINA ALEJANDRA PATIÑO PESCADOR

Trabajo de grado para optar por el título de Magister en Conservación y Uso de Biodiversidad.
Modalidad de investigación

Director

Juan David Amaya Espinel, Ph.D

Codirector

Andrés M. Cuervo, Ph.D

Pontificia Universidad Javeriana
Facultad Estudios Ambientales y Rurales
Maestría en Conservación y Uso de Biodiversidad
2023

**Análisis de factores que inciden en la colisión de aves contra edificaciones urbanas en campus
universitarios de Bogotá - Colombia**

GINA ALEJANDRA PATIÑO PESCADOR

Trabajo de grado para optar por el título de Magister en Conservación y Uso de Biodiversidad.
Modalidad de investigación

Director

Juan David Amaya Espinel, Ph.D

Codirector

Andrés M. Cuervo, Ph.D

Evaluadora

María Ángela Echeverry Galvis, Ph.D

Evaluadora

Noemí Moreno Salazar, MSc.

Pontificia Universidad Javeriana
Facultad Estudios Ambientales y Rurales
Maestría en Conservación y Uso de Biodiversidad
2023

Nota de Advertencia: Artículo 23 de la Resolución N° 13 de Julio de 1946.

“La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de tesis. Solo velará por qué no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y por qué las tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien se vea en ellas el anhelo de buscar la Verdad y la Justicia”.

ANÁLISIS DE FACTORES QUE INCIDEN EN LA COLISIÓN DE AVES CONTRA EDIFICACIONES URBANAS EN CAMPUS UNIVERSITARIOS DE BOGOTÁ - COLOMBIA

RESUMEN

La urbanización y las consiguientes transformaciones en el suelo han dado lugar a una serie de problemáticas para la fauna silvestre, especialmente para las aves, debido a los cambios complejos en el paisaje. Una de estas problemáticas está relacionada con la colisión de aves con edificaciones, que se ha convertido en la segunda causa de muerte de aves en Norteamérica, ocasionando un estimado de alrededor de mil millones de aves muertas. A pesar de ello, en el Neotrópico no hay reportes de diferentes estudios que permitan analizar o determinar las causas de estas colisiones, lo que limita el conocimiento en esta región. En consecuencia, este estudio realizado entre octubre de 2022 y marzo de 2023 tiene como objetivo evaluar los factores de amenaza y vulnerabilidad que enfrentan las aves que chocan con estructuras en dos campus universitarios ubicados en Bogotá. Para ello, se han considerado variables relacionadas tanto con las características de las edificaciones como con los rasgos morfométricos de las aves. Los resultados obtenidos indican que las aves migratorias son las que mayor probabilidad tienen de colisionarse, y en el caso de las edificaciones, las variables que contribuyen significativamente a este fenómeno son: la orientación de la fachada teniendo mayor colisión en caras de edificios que dan al occidente y oriente de la ciudad y así mismo, el uso de ventanas reflejantes.

ABSTRACT

Urbanization and the resulting land transformations have led to a series of issues for wildlife, especially birds, due to complex changes in the landscape. One of these issues is related to bird collisions with buildings, which has become the second leading cause of bird mortality in North America, resulting in an estimated one billion bird deaths. However, in the Neotropics, there are no reports from different studies that allow analyzing or determining the causes of these collisions, which limits knowledge in this region. Consequently, this study conducted between October 2022 and March 2023 aims to assess the threat factors and vulnerability faced by birds colliding with structures on two university campuses located in Bogotá. For this purpose, variables related to both building characteristics and morphometric features of the birds have been considered. The obtained results indicate that migratory birds are the most likely to collide, and concerning buildings, the variables that significantly contribute to this phenomenon are the orientation of the facades, with higher collision rates on building sides facing the west and east of the city, as well as the use of reflective windows.

1. INTRODUCCIÓN

Existe un creciente interés por comprender y mitigar las transformaciones que los procesos de urbanización pueden generar en poblaciones de fauna silvestre (Güneralp et al., 2013; Artmann et al., 2019). Diversos estudios han venido mostrando la forma en que la urbanización conduce a la pérdida y homogenización de esta biodiversidad, a través de procesos de extirpación de fauna nativa (Grimm et al., 2008), así como a través del arribo y dominancia de unas pocas especies (Battisti, 2018)

usualmente generalistas y exóticas, que pueden verse favorecidas por la presencia de actividades e infraestructuras humanas (Bonebrake y Cooper, 2014).

Los posibles efectos que las transformaciones generadas por la urbanización tienen en la fauna silvestre, han estado usualmente relacionados con la fragmentación, degradación y el reemplazo de aquellos hábitats que esta requieren para su reproducción y alimentación. Sin embargo, los cambios que impone la urbanización pueden ser más complejos y diversos, por ejemplo, en el paisaje sonoro debido al incremento en los niveles de ruido (Klingbeil et al., 2020), o en la contaminación lumínica (Dominoni, 2015), o la depredación que ejercen especies domésticas como gatos (Klem et al., 2009). Todas estas transformaciones constituyen algunas de las presiones más importantes que pueden explicar la presencia o ausencia de diversas especies de fauna silvestre en los centros urbanos (Yang et al., 2023).

La consolidación de una matriz urbana construida con base en infraestructuras con grandes tamaños y volúmenes, así como mediante el uso de materiales artificiales, también alteran el entorno natural y generan cambios significativos en los hábitats y la movilidad de la fauna silvestre (Ferrarini et al., 2021; Fraissinet et al., 2023). Estos cambios han traído consigo afectaciones para grupos voladores de fauna tales como las aves, ya que se constituyen en barreras que dificultan su desplazamiento, y que a menudo pueden resultar en colisiones letales (Van Doren et al., 2021). Un fenómeno catalogado como la segunda causa de muerte por factores antrópicos de aves alrededor del mundo (Klem, 2010), debido a la ilusión de continuidad de paisaje que ofrecen materiales como las ventanas de las construcciones a las aves durante el vuelo (Klem, 2014).

Estudios realizados sobre la colisión de aves contra infraestructuras urbanas, los cuales alrededor del 70 % provienen de forma predominante de Norteamérica de acuerdo con la base de (Elsevier, 2023), han estimado que anualmente alrededor de 1000 millones de aves son víctimas letales de colisión contra edificios en esta región del mundo (Loss et al., 2014). Igualmente, han demostrado que la mayor amenaza está relacionada con edificaciones que presentan ventanas mayores a 2 m² (Klem, 2010). Además, que usualmente son más vulnerables a estas colisiones, aquellas aves consideradas como migratorias, principalmente aquellas con hábitos nocturnos (Hager et al., 2008; Winger et al., 2019).

La literatura a escala global sobre los efectos que tienen la infraestructura urbana en la colisión de aves usualmente está enfocada en registrar inventarios que detallan algunas de las especies más afectadas por este fenómeno (Fornazari et al., 2021). Lo anterior, es una tendencia más evidente en regiones como el Neotrópico, la cual muestra un importante vacío de conocimiento sobre la magnitud de esta problemática, a pesar de su ubicación en una de las zonas del mundo con mayor diversidad de fauna (Fornazari et al., 2021), pero también con una de las tasas de urbanización más elevadas a escala global (Montero & García, 2017). En tal sentido, la verdadera dimensión de esta problemática en esta parte del mundo sigue siendo relativamente desconocida, así como los factores que pueden estar explicando la misma (Santos et al., 2017) o como, a partir de ese conocimiento, es posible ofrecer medidas que prevengan y mitiguen de manera específica sus impactos.

Estos vacíos de conocimiento y la magnitud del problema que el fenómeno de colisiones de aves contra edificaciones muestra que puede tener en ciudades neotropicales, hace prioritario el desarrollo de estudios que permitan tener una comprensión integral de esta problemática. Lo anterior, implica la necesidad de abordar estudios que contemplen de manera integral las amenazas que para las aves imponen aquellas condiciones estructurales de las edificaciones, en especial las ventanas (área y material), pero también, la vulnerabilidad que para algunas especies de aves puede representar sus características morfométricas o comportamentales. Es por esto, que el propósito de este estudio es avanzar en ese sentido, buscando responder: ¿Cómo inciden distintos factores de amenaza y vulnerabilidad en las colisiones que enfrentan las aves contra infraestructuras urbanas en dos campus universitarios de la ciudad de Bogotá?

Bogotá, capital de Colombia y lugar de concentración de cerca de 8 millones de personas, es un ejemplo a nivel neotropical donde pueden estar confluyendo factores que potenciarían las colisiones de grupos como las aves contra sus infraestructuras urbanas. En esta ciudad confluye en primer lugar, una de las mayores concentraciones de especies de aves urbanas a nivel global, con cerca de 160 especies registradas en el área urbana (Secretaría Distrital de Ambiente [SDA], 2021), de las cuales aproximadamente 35 % son migratorias (Bayly & Chaparro-Herrera, 2015). Sin embargo, al mismo tiempo Bogotá ha sufrido cambios drásticos en su matriz urbana en las últimas décadas, como resultado de un incremento de su población cercano al 10 % en los últimos 10 años (Secretaría Distrital de Planeación [SDP], 2022), llevando así a un significativo incremento de edificaciones e infraestructuras, muchas de ellas en altura, para suplir necesidades de vivienda, movilidad, educación y salud (Yunda, 2019).

Responder la pregunta planteada por este estudio, permitirá así aproximarse tanto a la magnitud con la que está ocurriendo este fenómeno y su comportamiento a nivel temporal en la ciudad, como la contribución que a este hacen factores estructurales y espaciales que definen las construcciones, o morfométricas asociadas con las aves que colisionan. La información recopilada en este estudio es de gran relevancia, ya que proporciona una perspectiva detallada del problema en áreas específicas de la ciudad. Estos datos son esenciales para evaluar y dimensionar posibles medidas que permitan prevenir y mitigar las colisiones de aves, lo que a su vez fomentará la conservación de la avifauna no solo a nivel local, sino también en el contexto regional.

2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo inciden distintos factores de amenaza y vulnerabilidad en las colisiones que enfrentan las aves contra infraestructuras urbanas en dos campus universitarios de la ciudad de Bogotá?

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo general

Evaluar los factores de amenaza y vulnerabilidad de aves a la colisión contra edificaciones urbanas en dos campos universitarios de la ciudad de Bogotá, para tener una perspectiva de la problemática en la ciudad y las posibles medidas de manejo para reducir su impacto.

2.1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar la frecuencia y variación temporal de eventos de colisión de aves contra edificaciones registradas en edificaciones con diferentes características estructurales ubicadas en dos campos universitarios en la ciudad de Bogotá.
- Analizar la contribución que hacen diferentes variables que describen las infraestructuras urbanas y las características morfométricas de la avifauna sobre los eventos de colisión de aves registradas contra edificaciones de dos campos universitarios en la ciudad de Bogotá.

ANÁLISIS DE FACTORES QUE INCIDEN EN LA COLISIÓN DE AVES CONTRA EDIFICACIONES URBANAS EN CAMPUS UNIVERSITARIOS DE BOGOTÁ - COLOMBIA

Gina Alejandra Patiño-Pescador¹

¹Maestría en Conservación y Uso de Biodiversidad, Facultad de Estudios Ambientales y Rurales, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.

ginaapatinop@javeriana.edu.co

RESUMEN

La expansión urbana ha causado desafíos para la vida silvestre, especialmente para las aves, debido a los cambios en el suelo y la transformación del entorno natural. La colisión con estructuras construidas ha surgido como la segunda causa principal de mortalidad de aves en Norteamérica, afectando fatalmente a aproximadamente mil millones de ellas. Sin embargo, en el Neotrópico, la falta de estudios sobre las causas de estas colisiones limita la comprensión en esta región, es por ello, que se desarrolló este estudio entre octubre de 2022 y marzo de 2023 en dos campus universitarios en Bogotá buscando abordar esta problemática mediante la evaluación de los factores que amenazan y ponen en riesgo a las aves al chocar con estructuras, teniendo en cuenta características de las edificaciones y rasgos morfológicos de las aves. Los resultados mostraron que la orientación de las fachadas en especial las caras de edificios que dan al oriente y occidente de la ciudad, y el tipo de ventanas son variables determinantes en este fenómeno de colisión.

ABSTRACT

Urban expansion has caused challenges for wildlife, especially for birds, due to changes in the land and transformation of the natural environment. Collisions with built structures have emerged as the second leading cause of bird mortality in North America, fatally affecting approximately one billion birds. However, in the Neotropics, the lack of studies on the causes of these collisions limits the understanding in this region. Therefore, this study was conducted between October 2022 and March 2023 on two university campuses in Bogotá to address this issue by evaluating the factors that threaten and put birds at risk when colliding with structures, considering both building characteristics and bird morphological traits. The results showed that the orientation of the facades, particularly the sides of buildings facing east and west of the city, and the type of windows are determining variables in this collision phenomenon.

1. INTRODUCCIÓN

La urbanización representa en la actualidad una de las transformaciones humanas que mayor impacto ha tenido en los ecosistemas naturales a escala global (Tang et al., 2022). Un fenómeno que ha traído profundos cambios y alteraciones a escala local y regional en cuanto a coberturas vegetales y usos del suelo, ciclos biogeoquímicos, hidrológicos y climáticos, así como en la biodiversidad nativa, la cual ve reducidos y fragmentados sus hábitats naturales (Knap et al., 2008; Luck y Wu, 2002; Weber

et al., 2006). Con respecto a este último impacto, las modificaciones están provocando la extirpación de numerosas especies nativas (Battisti, 2018) y, a su vez, favoreciendo la dominancia de unas pocas especies que se adaptan bien a la presencia de infraestructuras y actividades humanas (Battisti, 2018; Bonebrake y Cooper, 2014). Igualmente, se han establecido cambios que a partir de la urbanización, pueden llegar a modificar aspectos tales como los hábitos de reproducción y de forrajeo de las especies (Borgmann y Rodewald, 2004; Reynolds et al., 2019).

Aunque los posibles efectos en la fauna silvestre generados por la urbanización han estado usualmente relacionados con la fragmentación, degradación y el reemplazo de sus hábitats naturales, estos cambios pueden llegar a ser más complejos y diversos (Dominoni, 2015; Klem et al., 2009; Klingbeil et al., 2020). Por ejemplo, la consolidación de una matriz urbana lleva a la dominancia de nuevas y diferentes infraestructuras con grandes volúmenes y alturas, en las que predominan materiales artificiales con características estructurales y funcionales que no guardan ninguna similitud con las coberturas naturales que antes eran predominantes (Weber et al., 2006). Estos cambios no solo afectan la disponibilidad de hábitats o de alimento para la fauna silvestre, sino también su capacidad de moverse a lo largo del paisaje o pueden representar importantes trampas que pueden llevar a reducir la supervivencia de diversos organismos. Esto incluye fenómenos como la colisión de grupos tales como las aves (Klem et al., 2009), el cual es catalogado como la segunda causa de muerte por factores antrópicos de aves alrededor del mundo (Klem, 2010).

Se han realizado diversos estudios sobre la colisión de aves con infraestructuras urbanas, y la mayoría de ellos (alrededor del 70 %), han tenido lugar en Norteamérica (Elsevier, 2023). Estas investigaciones han arrojado estimaciones alarmantes, sugiriendo que anualmente se producen alrededor de 1000 millones de fatalidades de aves debido a colisiones con edificios en esta región del mundo (Loss et al., 2014). Igualmente, se ha venido estableciendo que usualmente son más vulnerables a estas colisiones, aquellas aves consideradas como migratorias, principalmente aquellas con hábitos nocturnos (Hager et al., 2008; Winger et al., 2019). Sin embargo, la literatura a escala global sobre los efectos que tienen la infraestructura urbana en la colisión de aves sigue siendo escasa, y usualmente ha estado enfocada en registrar inventarios que detallan algunas de las especies más afectadas por este fenómeno (Fornazari et al., 2021).

Estos vacíos de conocimiento son aún mayores en regiones como el neotrópico, donde son escasas las evidencias sobre la magnitud de esta problemática (Fornazari et al., 2021). En tal sentido, la verdadera dimensión de esta problemática en esta parte del mundo sigue siendo relativamente desconocida, así como los factores que pueden estar explicando la misma (Santos et al., 2017) o como a partir de ese conocimiento es posible ofrecer medidas que prevengan y mitiguen de manera específica sus impactos. Esto hace prioritario el desarrollo de estudios que permitan tener una comprensión integral de esta problemática en ciudades de la región. Lo cual implica abordar el estudio de este fenómeno a partir tanto de la comprensión de las amenazas que pueden generar diferentes condiciones estructurales de las edificaciones y ventanas urbanas (altura de las edificaciones, área de las ventanas y tipos de ventanas), pero también, tomando en cuenta la vulnerabilidad que para algunas especies de aves puede representar sus características morfológicas o comportamentales.

Para avanzar en la comprensión de este fenómeno en ciudades del Neotrópico, surge esta investigación, buscando responder a la pregunta: ¿Cómo inciden distintos factores de amenaza y vulnerabilidad en las colisiones que enfrentan las aves contra infraestructuras urbanas en dos campus universitarios de la ciudad de Bogotá? Responder a esta pregunta planteada, permitirá aproximarse tanto a la magnitud con la que está ocurriendo este fenómeno y su comportamiento a nivel temporal en un área pequeña de la ciudad, como la contribución que a este hacen factores estructurales y espaciales que definen las construcciones, o morfométricas asociadas con las aves que colisionan. La información obtenida puede así ser clave para tener una perspectiva del problema en la ciudad de Bogotá, así como para dimensionar posibles decisiones que permitan prevenir y mitigar las colisiones de las aves en dicha ciudad, promoviendo la conservación de estas a escala local y regional.

3. MÉTODOS

3.1 Área de estudio

Este estudio se llevó a cabo en la ciudad de Bogotá, Colombia, específicamente en edificaciones ubicadas en dos campus universitarios de la ciudad: la Universidad Nacional de Colombia y la Pontificia Universidad Javeriana (PUJ) (ver figura 1), los cuales se encuentran aproximadamente a 2 km de distancia entre ellos.

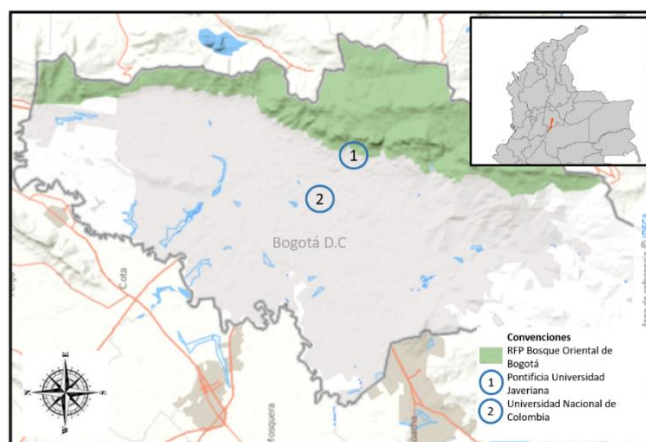


Figura 1. Mapa donde se evidencia la ubicación espacial en Bogotá de los dos campus universitarios donde fue realizado el estudio. 1. Pontificia Universidad Javeriana y 2. Universidad Nacional de Colombia. Fuente: Elaboración propia con base en IDECA, 2021.

El campus de la PUJ está situado en la localidad de Chapinero, colindando con el Parque Nacional Enrique Olaya Herrera (ver figura 2). En total tiene 43,11 ha, de los cuales el área construida corresponde al 56,43 % (46 edificaciones), el área ocupada al 10,01 % y las áreas libres que la componen las plazoletas y las zonas verdes equivale al 33,56 % (Pontificia Universidad Javeriana, 2020a). Por otro lado, la universidad cuenta con una guía de aves en donde se encuentra información de 35 especies tanto ocasionales como comunes registradas dentro del campus (Echeverry-Galvis et al., 2019).



Figura 2. Campus Pontificia Universidad Javeriana. *Nota: El campus de la Pontificia Universidad Javeriana se encuentra en un área de transición entre área verde Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá y la matriz urbana de la ciudad.* Fuente: elaboración propia con base en Pontificia Universidad Javeriana, 2020b.

El campus de la Universidad Nacional de Colombia se encuentra ubicada en la localidad de Teusaquillo. Cuenta con un área total de 121,35 ha de las cuales 31 ha pertenecen al área construida compuesta por 129 edificaciones y el área restante (75 %) pertenece a áreas verdes (ver figura 3) (Grupo de Ornitología de la Universidad de Colombia [GOUN], 2014). La Universidad cuenta con un grupo de ornitología (GOUN) quienes para el año 2014 publicaron una guía de aves con el registro de 73 especies en total, 44 especies residentes, 27 migratorias y 2 introducidas (Grupo de Ornitología de la Universidad Nacional de Colombia, 2014).



Figura 3. Campus Universidad Nacional de Colombia. *Nota: Mapa del campus de la Universidad Nacional sede Bogotá.* Fuente: elaboración propia con base en recursos físicos - UNAL.

La selección de estos dos campus universitarios como fuente de información sobre colisiones de aves, permitió contar con una muestra que representara en un espacio delimitado y controlado, diferentes tipos de edificaciones, alturas construidas y ventanas, entre otras características estructurales contra las que está ocurriendo este fenómeno. Contar con dicho espacio proporcionó un entorno propicio y seguro que permitiera en primer lugar, acceder a información usualmente restringida sobre las dimensiones, volúmenes y características de las edificaciones contra las cuales se daban las colisiones. En segundo lugar, permitió hacer un seguimiento permanente en un menor espacio y tiempo a las colisiones contra la infraestructura, así como aprovechar la participación de la comunidad universitaria en los procesos de monitoreo. Esto incluyó a vigilantes, personal de mantenimiento y aseo, quienes colaboraron en la identificación y reporte de aves que chocaban con las edificaciones que fueron incluidas en el estudio.

2.2 Selección de edificios

Inicialmente, se recopiló información detallada, así como cartografía sobre la ubicación, el número de pisos y el área de los edificios de ambos campus universitarios. En el caso de la PUJ, esta información fue entregada por la oficina de recursos físicos, mientras que en la Universidad Nacional, lo hizo la Dirección de Ordenamiento y Desarrollo Físico.

Una vez obtenida la información, se procedió a seleccionar ocho (8) edificios por cada universidad, para tener una muestra total de 16 edificaciones (Anexo 1. Edificios seleccionados para monitoreos

y ubicación geográfica). Esta selección se hizo de manera aleatoria, pero estratificada, tomando como referencia tres (3) grupos de alturas basadas en el número de pisos. La altura ha sido señalada en la literatura como una variable altamente influyente en la ocurrencia de colisiones de aves contra edificaciones (Machtans et al., 2013). Por este motivo, se buscaba mediante la estratificación, representar edificaciones que tuvieran una muestra de diferentes alturas. Para ello, se tuvieron tres (3) rangos que fueron de 1 – 3 pisos, 4 – 6 pisos y más de 7 pisos, dentro de estos rangos se clasificaron las edificaciones y se procedió a seleccionar aleatoriamente. Adicionalmente, para la selección también se consultó a profesores de ornitología, personas encargadas del aseo y vigilantes si tenían conocimiento de áreas donde se han reportado colisiones, y en el caso de la PUJ, se tuvo en cuenta los edificios muestreados en el estudio de (Agudelo-Álvarez et al., 2010).

Posteriormente, en los edificios seleccionados se procedió a tomar medidas relacionadas con variables que de acuerdo con literatura previa (Agudelo-Álvarez et al., 2010; D. Klem, 1989; Ocampo-Peñuela et al., 2016) pueden estar influyendo en la ocurrencia de colisiones de aves contra edificaciones. Estas se clasificaron en cuatro (4) hipótesis relacionadas con: a) aspectos estructurales de la edificación tales como altura (m^2), número de pisos, volumen, tipo de ventana (translúcida o reflejante), área de ventana y número de ventanas, cabe mencionar que para estas dos últimas variables, diferentes fachadas contaban con más de un tipo de ventana, por lo que se manejaron 3 datos: mínimo, promedio y máximo. b) En aspectos espaciales tales como el campus donde estaba localizado (PUJ o Universidad Nacional), c) en aspectos del tiempo que estas infraestructuras pueden estar representando una barrera con base en el año de construcción, y por último, d) en aspectos sobre su entorno en cuanto a la cobertura de áreas naturales que pueden ser utilizadas como hábitat por las aves a su alrededor. De acuerdo con lo anterior, hubo un total de 13 variables.

Para obtener información relacionada con la cobertura de áreas naturales entorno a las edificaciones, se realizó un buffer de 50 metros alrededor de cada edificio utilizando ArcGIS 10.5, con el fin de calcular el porcentaje correspondiente a coberturas como pastos, vegetación y cuerpos de agua. En cuanto al área de ventanas, se realizaron mediciones in situ utilizando el láser Bosch GLM-50C en cada uno de los edificios, en este caso se registró tanto el área mínima promedio y máximo de las ventanas en cada fachada. Asimismo, durante la medición, se contó la cantidad de ventanas en cada cara del edificio, registrando esta información de la misma manera que se indicó para el área de ventanas. Para obtener la altura de los edificios, se utilizó el hipsómetro Nikon Forestry. Por último, se observó directamente si las ventanas eran translúcidas o reflejantes para determinar el tipo de ventana (figura 4).



Ventana reflejante



Ventana traslúcida

Figura 4. Diferencias entre ventana reflejante y traslúcida

A continuación, se presenta en la tabla 1 los datos generales que describen las características de los grupos de edificaciones seleccionadas en cada uno de los campus universitarios. Así mismo, se realizó una prueba t-student para determinar diferenciaciones entre áreas de estudio para cada una de las variables medidas ($\alpha=0.05$). Con base en esta prueba, se evidenció que entre los dos campus hay diferencias significativas en las variables relacionadas con área de ocupación.

Tabla 1. Diferenciaciones entre áreas de estudio

Variable	Universidad Nacional			Desv. Estand	Pontificia Universidad Javeriana			Desv. Estand	Diferencias campus Prueba T - student	
	Mínimo	Máximo	Promedio		Mínimo	Máximo	Promedio		Valor P	Valor T
Altura edificación (m)	5.8	40	16.62	10.61	4.4	72.7	24.91	22.89	0.72	-0.373
Área de ocupación (m ²)	4741.47	17070.1	7855.86	4060.11	737	3955	1661.37	1053.02	3.10E-03	4.177
Número de pisos	2	11	4.25	3.01	1	15	4.37	5.75	0.43	-0.79
Porcentaje área construida (%)	10.46	82.54	41.78	23.9	2.36	95.73	48.14	45	0.731	-0.353
Porcentaje área verde (%)	17.46	89.54	58.22	23.9	4.28	97.64	51.86	45	0.301	1.111
Área de ventana (m ²)	2.31	420.86	54.93	30.34	1.07	58.57	13.22	14.31	0.085	1.809

2.3 Registro de colisiones

Para el registro de colisiones ocurridas en los edificios seleccionados en los campus de la PUJ y la Universidad Nacional de Colombia, se siguió la metodología propuesta por Hager y Cosentino (2014). Esta se basa en recorridos a pie alrededor de las edificaciones, buscando encontrar evidencias (cadáveres o partes de aves) de colisiones de aves contra infraestructuras. En este caso, los recorridos se llevaron a cabo desde el 19 de septiembre de 2022 hasta el 31 de marzo de 2023. Se programaron dos recorridos diarios en cada uno de los 16 edificios seleccionados, los cuales se realizaron en días hábiles, es decir, un total de 132 días. El primer recorrido iniciaba a las 7:00 a. m., mientras que el segundo recorrido se llevaba a cabo a las 4:00 p. m. La elección de estos horarios se basó en estudios previos como el de Agudelo-Álvarez et al. (2010) y Bravo y Echeverry-Galvis (2020), donde se indica que las aves migratorias nocturnas tenían una mayor probabilidad de colisionarse contra estructuras. Por lo tanto, era importante realizar los recorridos en momentos adecuados para evitar que los cadáveres de las aves fueran manipulados por personas o se convirtieran en alimento para gatos u otros animales presentes en el área. Estos horarios buscaron maximizar la detección de aves colisionadas y reducir el error con el fin de que los registros obtenidos fueran precisos y representativos del fenómeno en estudio.

Siguiendo con la metodología de Hager y Cosentino (2014), se hicieron dos rastreos uno en sentido de las manecillas del reloj y el otro en el sentido opuesto. Lo anterior, teniendo en cuenta que de esta manera el observador podía tener certeza de lo que encuentra en el área. Así mismo, para disminuir el error en cuanto a posibles registros que no fueran precisamente por colisión, se tuvo en cuenta aquellas aves que se encontraban a menos de 2 m entre la pared y el área circundante de cada edificio. Cabe mencionar que para el caso del edificio José Rafael Arboleda no se realizó recorrido en el costado sur debido al acceso restringido que hay en este sector.

En el caso de encontrar aves muertas durante los recorridos, se tomó el registro fotográfico tanto del ave como del entorno donde se encontró y se diligenció un formulario en Google Forms que tuvo en cuenta la fecha, hora de registro, nombre del edificio donde se encontró el ave, orientación de la fachada (Norte, sur, oriente u occidente) y nombre de la especie. Posteriormente, las aves recolectadas se guardaron en bolsas ziploc, rotuladas con el nombre de la especie, fecha y sitio donde se encontraron, para luego llevarlas al Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional donde se mantuvieron en congelador.

Es importante señalar que el monitoreo con el esfuerzo de muestreo descrito anteriormente finalizó el día 31 de marzo de 2023, como se había indicado previamente. Sin embargo, se continuaron registrando datos de aves colisionadas después de esa fecha, los cuales no fueron obtenidos mediante el monitoreo sistemático en todas las edificaciones. Estos registros posteriores fueron considerados y tenidos en cuenta para el análisis descriptivo de las aves que colisionan contra las edificaciones evaluadas, más no en cuanto al análisis de variables que inciden en este fenómeno.

Finalmente, es relevante tener en cuenta que antes de comenzar los recorridos por los edificios seleccionados, se diseñó un afiche informativo con el propósito de dar a conocer el proyecto a las personas que transitaran por los alrededores de los sitios a monitorear. El afiche tenía como objetivo concientizar a la comunidad sobre el fenómeno de las colisiones de aves y alentar a las personas a informar si encontraban aves muertas cerca de los edificios.

Además, se realizó una comunicación directa con el personal de aseo y vigilancia de ambas universidades para informarles sobre el proyecto y brindarles detalles sobre su participación. Se les explicó la importancia de estar atentos a la presencia de aves muertas y la relevancia de reportar dichos hallazgos al equipo de monitoreo. Estas acciones de divulgación y comunicación fueron fundamentales para fomentar la participación y colaboración de la comunidad en el proyecto de monitoreo de colisiones de aves, al tiempo que se fortalecía la conciencia sobre la conservación de las aves y la importancia de su hábitat en entornos urbanos.

2.4 Clasificación y medición de variables morfométricas

Tras recuperar y recopilar los cadáveres encontrados en cada recorrido, estos fueron llevados al Instituto de Ciencias Naturales (ICN) de la Universidad Nacional para ser clasificados a nivel de especie, y obtener una serie de mediciones que podrían estar asociadas con la vulnerabilidad a chocar con edificaciones. En la tabla 2 se menciona cada una de las mediciones obtenidas junto con su respectiva metodología con el fin de analizar si estos influyen directamente en la vulnerabilidad de presentar el fenómeno de colisión.

Tabla 2. Mediciones realizadas para cada espécimen

Medida	Método	Descripción	Unidad de medida
Longitud de cola	Cuantitativo	Medición desde el nacimiento de las dos plumas centrales de la cola, hasta la punta de la pluma rectriz más larga (Villarreal et al., 2004)	mm
Longitud de ala	Cuantitativo	Medición desde el nacimiento de plumas primarias hasta la punta de la pluma primaria más larga con el ala cerrada (Villarreal et al., 2004)	mm
Envergadura alar	Cuantitativo	Distancia entre las puntas de las plumas primarias más largas, la medición se realiza con el ave ubicada de manera dorsal sobre un plano	mm
Peso*	Cuantitativo	Medida tomada con una balanza para determinar masa corporal en gramos (Villarreal et al., 2004)	g
Grasa	Cualitativo	Observación directa en la fúrcula del ave clasificando de 0 a 4 siendo 0 cuando no se registra nada de grasa y 4 cuando es muy abundante (Villarreal et al., 2004)	Adimensional
Etapas de crecimiento	Cualitativo	Determinación por medio de la coloración y estado de plumaje y clasificado como: Adulto, inmaduro o polluelo (Villarreal et al., 2004)	Adimensional

*El peso se tomó luego de que los especímenes estuvieron en congelación.

Igualmente, estas variables se clasificaron en cuatro (4) hipótesis relacionadas con la incidencia de frecuencia de choque teniendo en cuenta: a. medidas corporales. b. etapas de crecimiento c. composición corporal y d. clasificación entre residente o migratoria (tabla 3). Para el caso de las variables de etapas de crecimiento y de migración, se realizó una asignación numérica para poder incluir los resultados en el análisis.

Tabla 3. Variables predictoras para rasgos morfométricos

Medidas corporales	Etapas de crecimiento	Composición corporal	Migratoria o residente
Envergadura alar Longitud de ala Longitud de cola	Etapas de crecimiento (adulto o inmaduro)	Grasa Peso	Migratoria o residente*

*El dato se obtenía según la especie que colisionara.

De acuerdo con la tabla anterior, en las siguientes figuras se ilustra la manera como se realizaron las mediciones correspondientes para la toma de longitud de cola, longitud de ala, envergadura alar y clasificación de grasa.

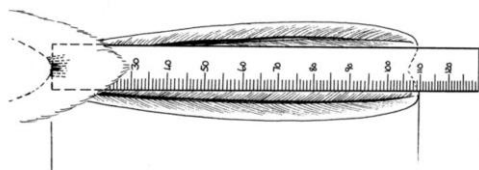


Figura 5. Longitud de cola. Tomado de: (Oschadleus & Underhill, 2000, p. 50)

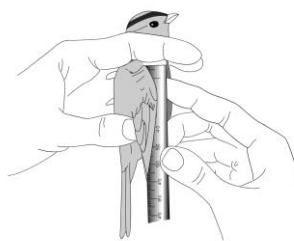


Figura 6. Longitud de ala. Tomado de: Ralph et al., 2014, p. 18.

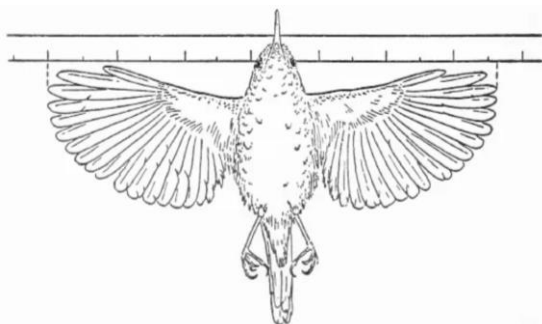


Figura 7. Envergadura alar. Tomado de: Elfruler, 2016



Figura 8. Clasificación de grasa. Tomado de Meissner, 2009.

2.5 Análisis estadístico

Para evaluar la relación entre frecuencia de choques y las variables que describen tanto las amenazas que representan las edificaciones, como la vulnerabilidad que representan ciertas características morfométricas, se realizó un proceso de selección de modelos (Burnham & Anderson, 2002), empleando Modelos Lineales Generalizados (GLM) con distribución de Poisson teniendo en cuenta que los datos de las colisiones como variables de respuesta, son valores discretos. Para ello, se utilizó el software de análisis estadístico R versión 4.3.0 y de interfaz RStudio.

Antes de realizar los análisis, se llevó a cabo una reducción de variables en el estudio de las características estructurales de las edificaciones. Esto se hizo mediante un análisis de correlación de Spearman clásica para ver relación entre las 13 variables predictoras mencionadas en el ítem 2.3 Selección de edificios, lo anterior con el objetivo de identificar aquellas que presentaban una fuerte correlación ($r > 0.7$). Como resultado de este análisis se redujo a siete (7) variables que no mostraron una correlación significativa entre sí, estas variables se observan en la tabla 3, donde se puede observar que adicional se presenta la orientación de fachada donde se tuvo registro de colisión, es decir, un total de ocho (8) variables.

Por otro lado, la variable predictora utilizada en el análisis fue la frecuencia de choque, la cual se analizó en función del mes, el edificio y la orientación donde se registró cada evento de colisión. Se tuvo en cuenta que los registros estuvieran dentro del mismo mes y edificio para realizar el análisis comparativo de la frecuencia de choque en diferentes orientaciones. Además, se realizó una asignación numérica a las variables categóricas relacionadas con la orientación, lugar y tipo de ventana, con el objetivo de poder incluirlas en el análisis utilizado.

Posteriormente, se analizó la incidencia de las ocho (8) variables finalmente escogidas (tabla 3) sobre la frecuencia de choques, mediante el proceso de selección de modelos (Burnham & Anderson, 2002). En este caso de la influencia en las colisiones de variables de las edificaciones que pueden representar una amenaza, se elaboraron 21 modelos incluyendo el modelo nulo (Anexo 2. Modelos para variables estructurales), los cuales hacen referencia a combinaciones de variables que buscan poner a prueba cuatro (4) hipótesis relacionadas con la incidencia que en la colisión de aves pueden tener con las condiciones estructurales, de ubicación espacial, de coberturas en el entorno y de tiempo de construcción que tienen las edificaciones analizadas (Tabla 4).

Tabla 4. Clasificación de variables predictoras

Estructural	Espacial	Entorno	Tiempo
Tipo de ventana Promedio de ventanas Altura Área promedio	Orientación Lugar	Cobertura verde	Año de construcción

Empleando los paquetes de MuMin y Ime4 en Rstudio, se evaluaron y compararon los 21 modelos definidos con el fin de identificar las variables que explicaban mejor la relación entre variables respuesta (frecuencia de choques) y predictoras. En primer lugar, se hizo una evaluación de todas las combinaciones posibles para establecer el grado de importancia que tienen cada una de las ocho (8) variables (tabla 3), con base en su frecuencia de selección. De otro lado, con base en los 21 modelos y usando el criterio de información de Akaike (AIC), se identificó el modelo más parsimonioso (que mejor explican el número de colisiones), o aquellos modelos con una diferencia en AIC menor a 2 unidades (Burnham & Anderson, 2002). Mediante los modelos seleccionados, se identificaron las variables que influyen de manera significativa en la variable respuesta ($p < 0.05$) haciendo un promedio de los modelos más parsimoniosos.

El análisis de selección de modelos por medio de modelos GLM se llevó a cabo de igual manera para las variables morfométricas, teniendo en este caso como variable de respuesta la frecuencia de choque en función a las especies colisionadas por edificio. En esta matriz se relacionaron las seis (6) variables predictoras descritas en la tabla 3. Posteriormente, se elaboraron 13 modelos incluyendo el modelo nulo (Anexo 3. Modelos morfométricos), estos modelos hacen referencia a aquellas combinaciones de variables para finalmente probar la incidencia de frecuencia de choque.

3. RESULTADOS

3.1 Frecuencia de colisiones

Se registraron un total de 58 colisiones fatales desde el 19 de septiembre hasta el 15 de mayo (Anexo 4. Registro de colisiones a lo largo del monitoreo), de las cuales 45 (77.59 %) ocurrieron en la Pontificia Universidad Javeriana y 13 (22.41 %) en la Universidad Nacional. Entre los edificios monitoreados, de los 16 considerados, se encontró que 10 tenían al menos un registro de colisión. Además, como se mencionó en la metodología, se tuvieron en cuenta reportes de colisiones en edificios distintos a los incluidos en la muestra inicial, lo cual arrojó un total de ocho (8) edificaciones adicionales con reportes. Los edificios con mayor número de registros (figura 9) fueron el Centro Deportivo ubicado en la PUJ con 16 colisiones, lo que representa el 27.58 % del total de choques, seguido por el edificio Barón con el 15.51 % y Arrupe con el 10.34 %, todos ellos también en el campus de la PUJ. El edificio en la Universidad Nacional de Colombia que registró la mayor proporción de choques es el CyT y el laboratorio de hidráulica cada uno con tres (3) registros, es decir, el 5.17 % por infraestructura. De los 16 edificios analizados en ambos campus, el 50% tuvo apenas un (1) registro. Adicionalmente, hubo dos (2) registros que fueron contra un pasillo que comunica dos edificaciones en la PUJ.

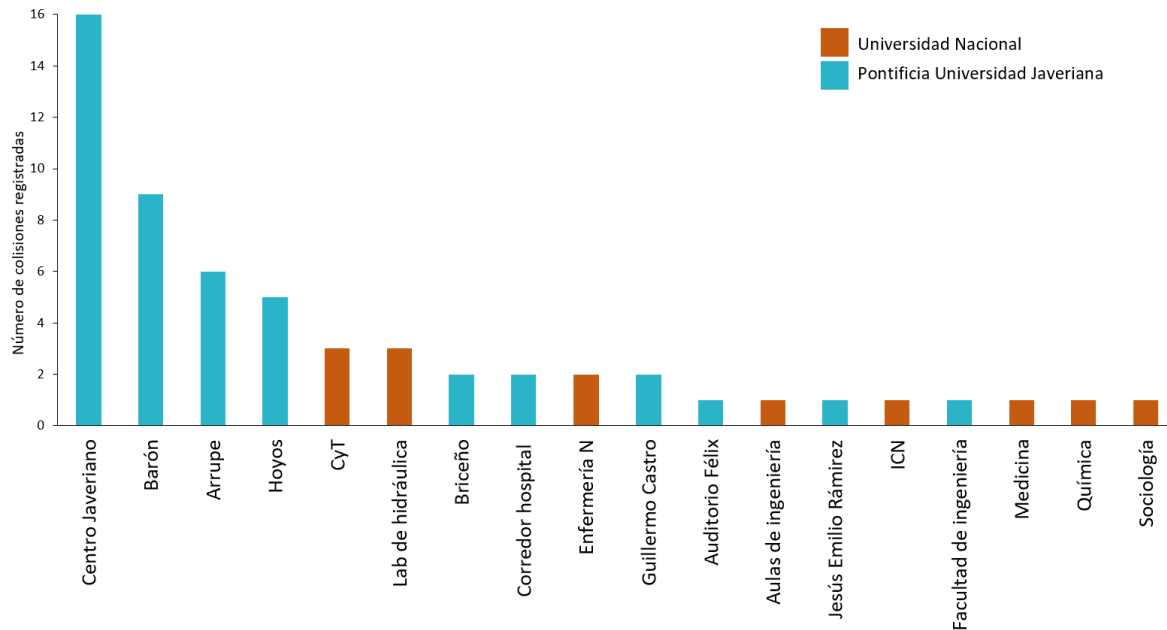


Figura 9. Número de colisiones según edificio registrado

En términos de características de infraestructura, se observó una variación en la frecuencia de choques en función del tipo de ventanas utilizadas en las edificaciones. Se encontró que las ventanas reflectantes presentaban una incidencia de choques menor (43.10 %) en comparación con las edificaciones que tenían ventanas no reflectantes (55.17 %), mediante la figura 10 se puede observar que de los 18 edificios donde se presentaron colisiones, tres (3) de ellos tuvieron ventanas reflejantes y uno de ellos (Centro Deportivo Javeriano) fue el que registró mayor cantidad de colisiones (16 choques), en este caso, se evidenció que la fachada que da al oriente de la ciudad tenía vinilo adhesivo para evitar las colisiones. Por otro lado, 14 edificios tenían ventanas traslúcidas en donde hubo un promedio de dos (2) choques por estructura y adicional a los registros ya mencionados, se registró un caso de colisión contra una pared.

Se realizó una prueba t-student con el fin de mostrar si hay diferencias significativas a lo cual se obtuvo como resultado un p-value= 0.83 y t= 0.218. Esto indica que no hay diferencias significativas entre los resultados de ventanas traslúcidas y ventanas reflejantes.

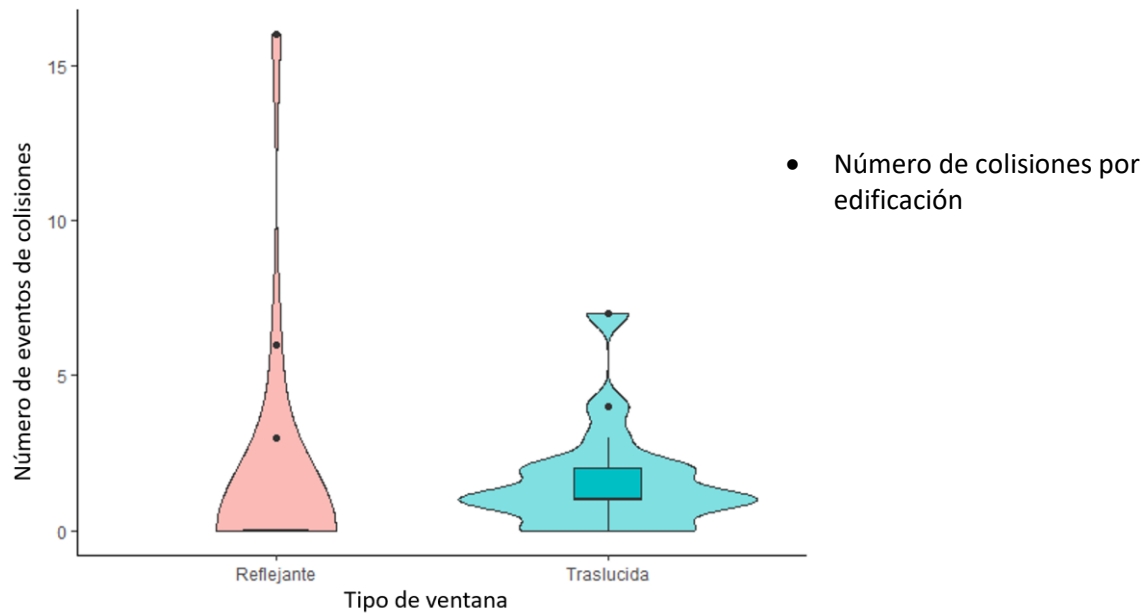


Figura 10. Distribución de choques según tipo de ventana.

En cuanto a la orientación de las fachadas en las que se registraron las colisiones, la figura 11 muestra que las caras occidentales y orientales de los edificios tuvieron una frecuencia mayor de choques, ya que se registraron un total de 40 individuos colisionados (69 %). Adicionalmente, se realizó una prueba t-student para evidenciar diferencias, teniendo como resultado $p\text{-value} = 0.0026$ y $t = 3.52$. Esto indica que hay diferencia significativa entre las orientaciones entendiéndose que hay más probabilidad de choque en las fachadas que dan al occidente y oriente de la ciudad.

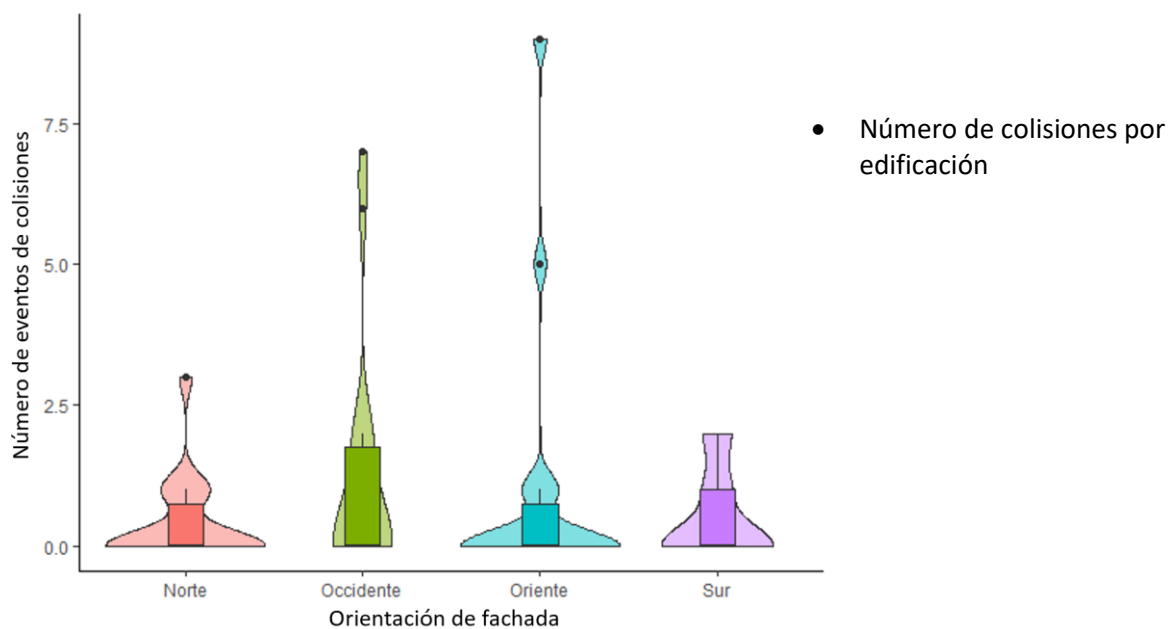


Figura 11. Distribución de choques según la orientación espacial de fachada registrada.

En cuanto a la forma en que varió la frecuencia de colisiones en función a las demás variables relacionadas con las edificaciones, no se encontró una correlación significativa con ninguna de las variables analizadas como la altura de las edificaciones ($r^2 = -0.074$), el área promedio de las ventanas ($r^2 = 0.22$), el año de construcción de la edificación ($r^2 = 0.35$) o la proporción de coberturas naturales en su entorno ($r^2 = 0.26$) (Figura 12).

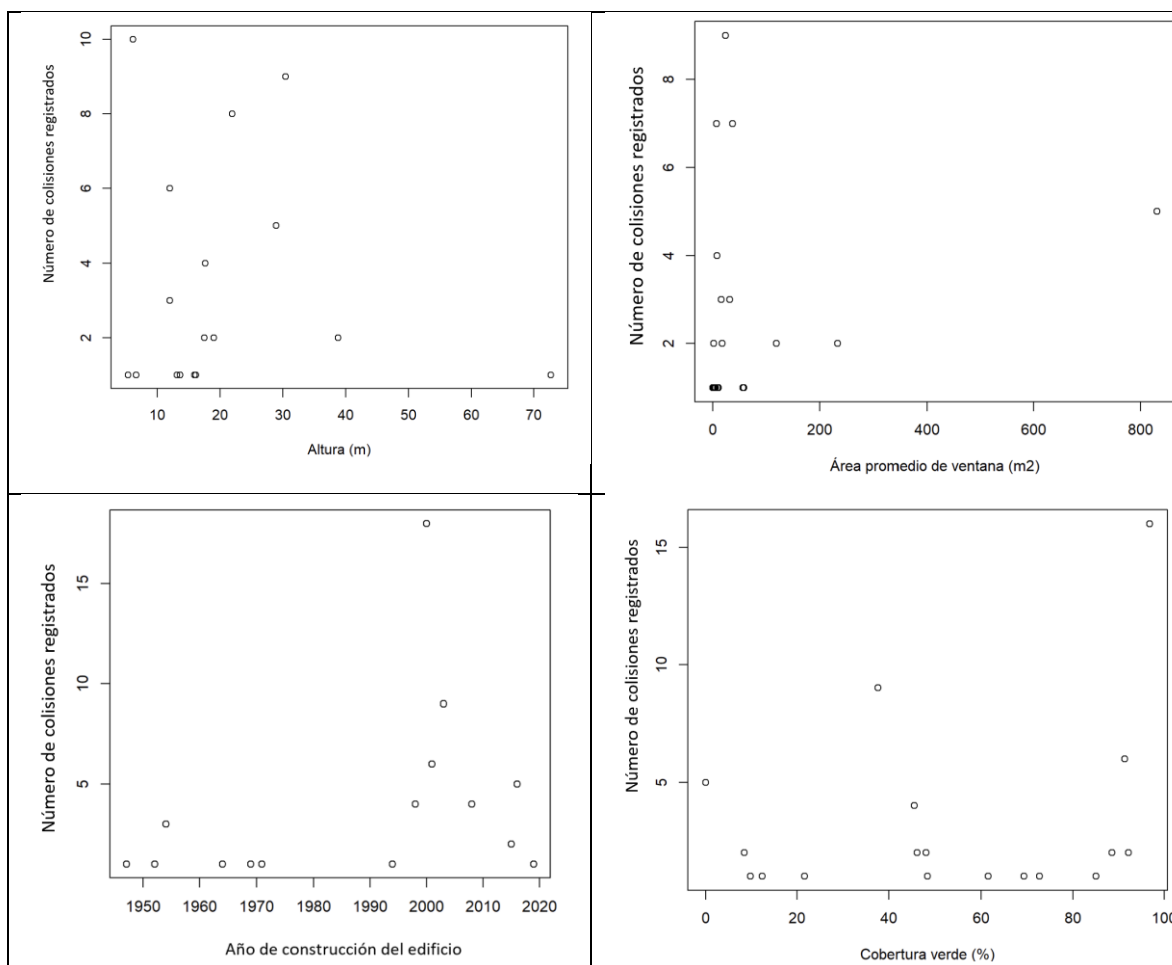


Figura 12. Correlación de Spearman entre el número de eventos de choque y variables estructurales: A. Altura, B. Área promedio de ventana (m^2), C. Año de construcción del edificio y D. Porcentaje de cobertura verde

Por otro lado, en total se registraron 14 especies en las 58 colisiones, de las cuales *Catharus ustulatus* y *Coccyzus americanus* fueron aquellas especies que registraron una mayor incidencia de choques teniendo un total de 11 y 8 respectivamente (Figura 13), es decir, un 32.76 % del total de los registros del estudio. Por el contrario, 5 especies (35.7 %) presentaron apenas 1 registro de colisión. Adicionalmente, la primera semana de octubre fue aquella con mayor frecuencia de choque (Figura 14). Durante esta semana, se registraron un total de 16 incidentes y se adiciona una colisión que fue registrado en la última semana de septiembre. En cuanto al mes de octubre, en general hubo un total de 34 eventos, lo que significa el 58.62 % del total de la muestra obtenida.

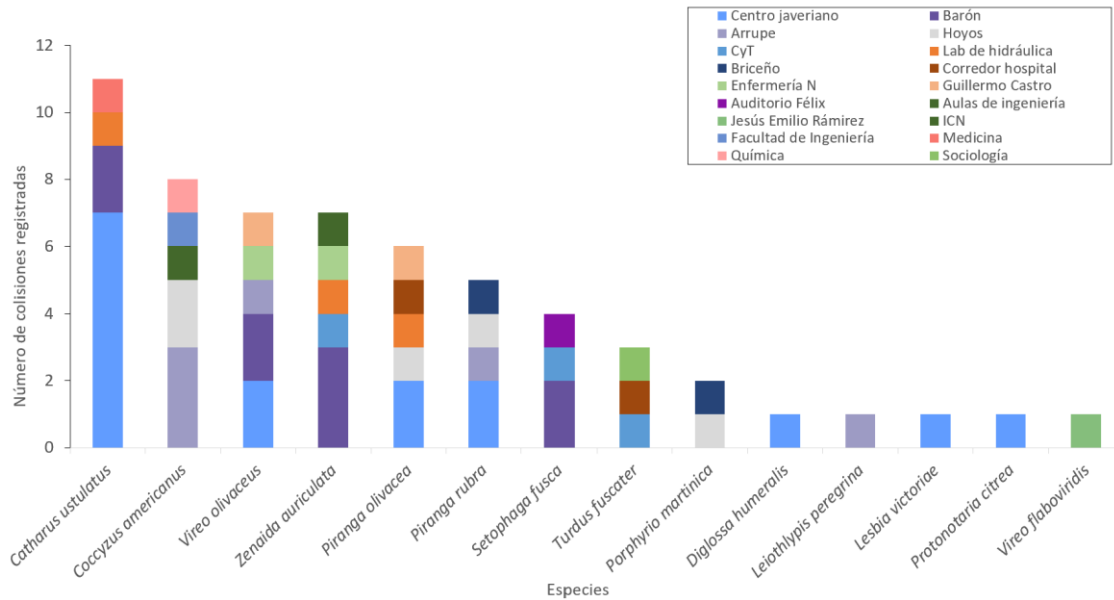


Figura 13. Variación de número de choques por especie con relación a los edificios donde se presentó el evento.

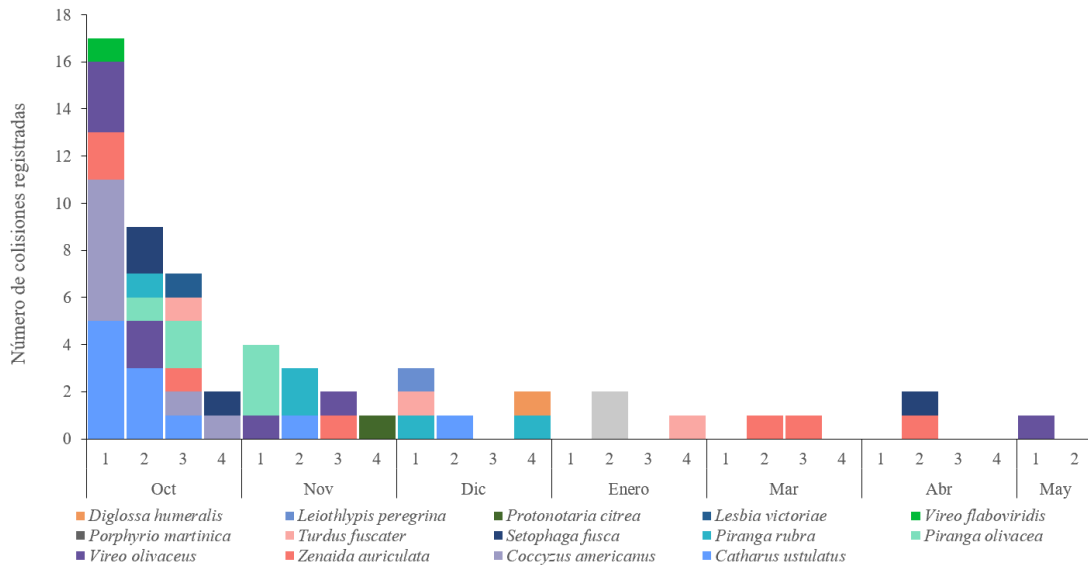


Figura 14. Registro de especies según tiempo de muestreo.

En cuanto a aves migratorias, se registraron 46 individuos, es decir, el 79.31 % del total de la muestra. De estos, 42 choques fueron registrados en los meses de octubre a diciembre, es decir migración de otoño. Para el caso de estos individuos, se tuvo como resultado que el 38.09 % no contaba con grasa (0) y el 28.57 % tenía mucha grasa (3). En cuanto a la etapa de crecimiento, en la tabla 5 se describe el porcentaje de aves adultas e inmaduras tanto para las aves migratorias como para las residentes.

Tabla 5. Frecuencia de choque según etapa de crecimiento

	Número de colisiones registradas	Porcentaje de choque (%)
Migratorio adulto	26	44.83
Migratorio inmaduro	20	34.48
Residente adulto	10	17.24
Residente inmaduro	2	3.45

3.2 Contribución de riesgo

Se llevó a cabo un análisis sobre las condiciones que pueden representar una amenaza y llevar a las aves a colisionar contra edificaciones urbanas. En este estudio, se evaluó el tamaño del efecto de las ocho (8) variables predictoras, en el número de colisiones de aves registrado en las edificaciones estudiadas. Estos tipos y sus variables específicas ya descritas en la metodología correspondieron con: estructura (altura, área promedio de ventanas, numero de ventanas promedio, tipo de ventana), edad (año de construcción), ubicación espacial (localización del campus, orientación de la fachada) y entorno (porcentaje de coberturas naturales).

Para analizar los efectos, se empleó la aproximación de puesta a prueba y selección de modelos basados en Modelos Lineales Generalizados (GLM) ya señalada en la metodología. Para ello, se puso en primer lugar a prueba una aproximación de análisis que analizó todas las combinaciones posibles de las ocho (8) variables predictoras, buscando identificar variables influyentes. En dicho análisis, no se detectó una o varias variables que tuvieran una influencia significativa (tamaño de efecto > 0.8) en los modelos más parsimoniosos; aunque la orientación de las fachadas y el tipo de ventana, mostraron una tendencia a ser seleccionadas con mayor frecuencia en dichos modelos (Figura 15).

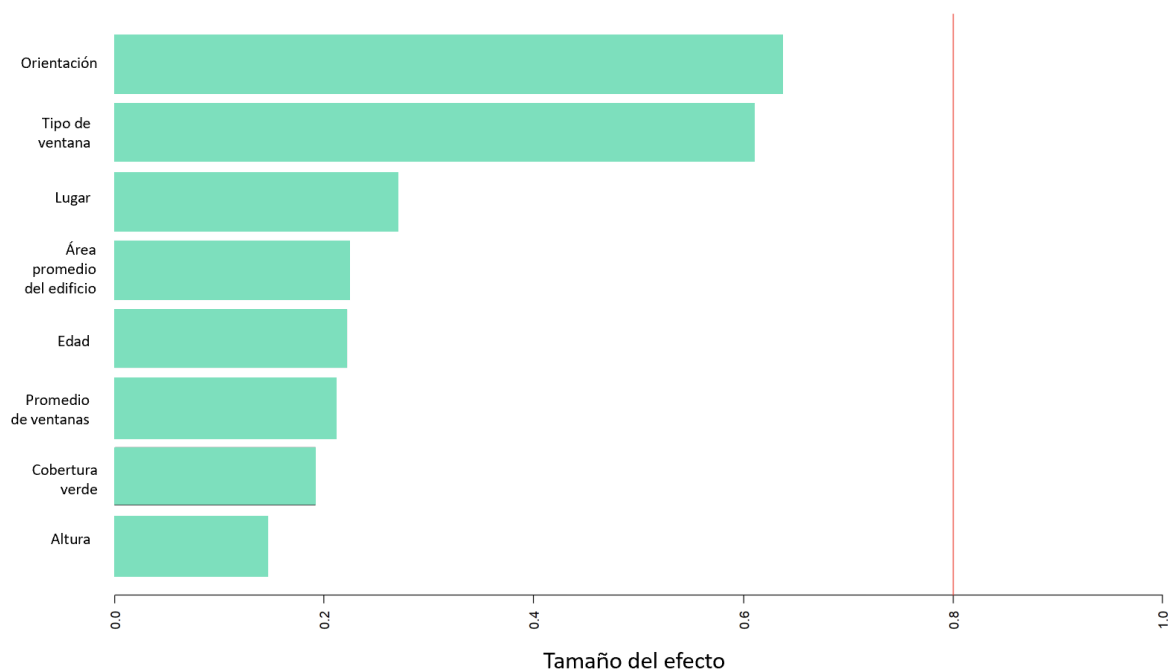


Figura 15. Influencia de las variables predictoras, con base en la proporción de veces en que estas son seleccionadas en los modelos más parsimoniosos ($\Delta AIC < 2$) de todos aquellos derivados de todas las combinaciones de variables posibles.

Adicionalmente, siguiendo un proceso de selección basado en modelos (20 en total presentados en el Anexo 2 que ponen a prueba las cuatro hipótesis ya señaladas en la metodología, los tres (3) modelos más parsimoniosos ($\Delta AIC < 2$) que explicaron mejor la frecuencia de colisiones contra las edificaciones fueron: modelo 1: orientación (AIC= 99.92), modelo 18: tipo de ventana (AIC= 100,36) y modelo 3: orientación + lugar (AIC= 100,69). Ahora bien, de acuerdo con el promediado de los efectos de las variables que componen estos tres (3) modelos seleccionados, la Tabla 6 señala los tamaños de los efectos de las variables, siendo la orientación de la fachada y el tipo de ventana, aquellas que mostraron una influencia significativa en el número de colisiones encontrada en este estudio.

Tabla 6. Valores estadísticos por cada variable con mayor tamaño de efecto en los GLM.

	Estimado	p-value
Intercepto	0.9163	0.321
Orientación de la fachada	-0.3064	0.035*
Tipo de ventana	0.5709	0.033*
Lugar	-0.4080	0.231

*Valores estadísticamente significativos

Para el caso de orientación y lugar, el intercepto es negativo debido a que a las categorías que habían dentro de estas variables se les asignó una numeración como se indicó en la metodología, esto para que pudieran ser analizadas. Por lo tanto, se infiere que en el caso de orientación hay mayor probabilidad de colisiones en aquellas fachadas que dan al oriente y occidente de la ciudad a diferencia de aquellas que están dando al sur o norte. En cuanto a lugar hay mayor incidencia de choques en la Pontificia Universidad Javeriana la cual tenía asignado el valor de 1, sin embargo, esta variable no es significativa.

En cuanto a la influencia que en el número de colisiones contra las edificaciones evaluadas en este estudio pudieron tener variables relacionadas con las características morfométricas de los individuos involucrados (características que pueden hacer más vulnerables a algunas especies), se repitió el proceso antes señalado para las variables que describen potenciales amenazas. En primer lugar, no se detectó variables influyentes en los modelos más parsimoniosos al usar todas las combinaciones posibles (> 0.8), aunque el peso y la longitud del ala mostraron una tendencia a ser variables seleccionadas con mayor frecuencia en los modelos (Figura 16). En segundo lugar, al poner a prueba las hipótesis planteadas en los 13 modelos propuestos en la metodología, se obtuvo como resultado la selección del modelo nulo, y por lo tanto, que ninguna variable mostró un efecto estadísticamente significativo.

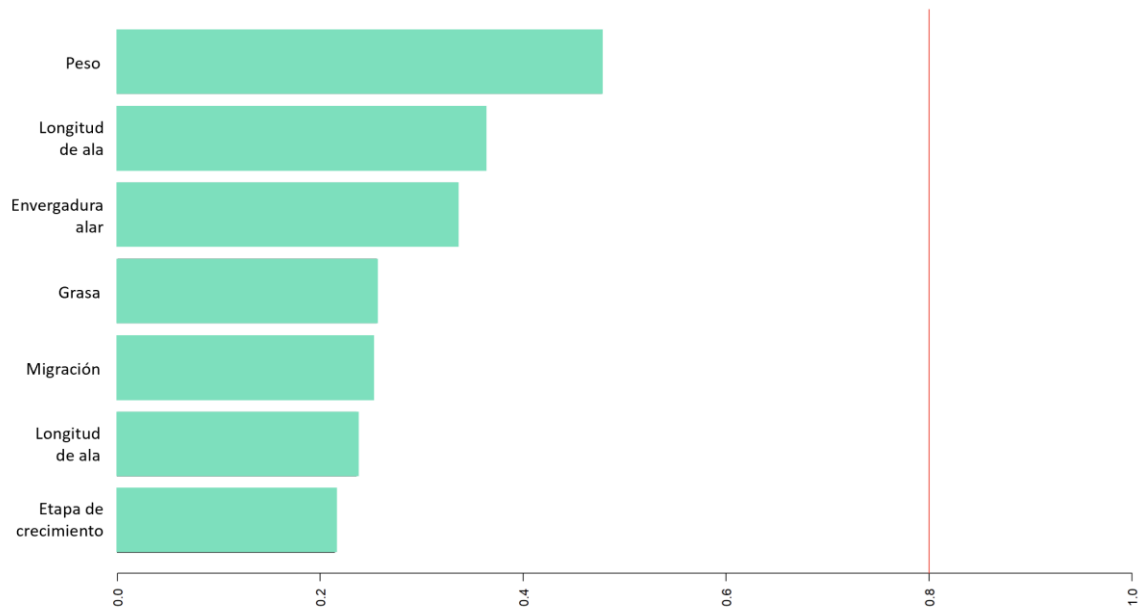


Figura 16. Influencia de las variables predictoras de rasgos morfométricos, con base en la proporción de veces en que estas son seleccionadas en los modelos más parsimoniosos ($\Delta AIC < 2$) de todos aquellos derivados de todas las combinaciones de variables posibles.

4. DISCUSIÓN

Mediante la investigación, se muestra que específicamente en los campus universitarios monitoreados se presentan choques letales de aves contra edificaciones, lo anterior, teniendo en cuenta que hubo un total de 58 colisiones letales en un periodo de seis (6) meses de monitoreo (octubre 2022 a marzo de 2023) registrando el 77.59 % de las colisiones en la Pontificia Universidad Javeriana (PUJ). Igualmente a lo largo del muestreo, el mes de octubre fue aquel con mayor registro de choque de aves teniendo mayor incidencia las aves migratorias encontrando en su mayoría individuos de especies como *Coccyzus americanus* y *Catharus ustulatus*. Para el caso de las aves residentes, se registraron 4 especies de las 14 que hubo en total, encontrando que las de mayor afectación fue *Zenaida auriculata* y *Turdus fuscater*. Así mismo, se percibe que el fenómeno de colisiones está relacionado principalmente con dos (2) variables de las edificaciones tales como la orientación de la fachada y el tipo de ventana (traslúcida o reflejante).

De acuerdo con lo anterior, las edificaciones pueden significar una amenaza para las colisiones letales de aves. Para el caso de distribución de registros de choques, resultó tener mayor número de colisiones la PUJ (77.59 %) la cual se encuentra ubicada en el borde oriental de la ciudad y así mismo, a un área de importancia ambiental que corresponde al Parque Nacional Enrique Olaya Herrera. Según el estudio de Gómez-Martínez et al. (2019) el cual se desarrolló en Xalapa – México, el lugar donde se encuentra situada la infraestructura incide en el número de colisiones debido a que se encontró mayor letalidad de aves por este fenómeno en edificios ubicados en áreas periurbanas donde hay mayor cobertura verde en áreas aledañas a las estructuras; para el caso del presente estudio aunque lugar no es estadísticamente significativo, la distribución de los datos se concentran en edificios como Centro

Javeriano deportivo, Arrupe y Hoyos que se encuentran ubicados en el costado sur del campus de la PUJ teniendo alto porcentaje de cobertura verde la cual tampoco fue significativa.

En el caso de la variable de orientación de la fachada, las caras que dan al oriente y occidente de la ciudad son aquellas que tienden a tener más probabilidad de presentar colisiones de aves, posiblemente esto se debe a que funciona como un corredor para las aves entre la matriz urbana y la RFP Bosque Oriental de Bogotá. En el caso del estudio realizado por Cupul-Magaña (2003), que igualmente fue en campus universitarios pero en Puerto Vallarta - México, la orientación también fue una variable significativa; en este, se identificó una tendencia de las colisiones a presentarse en mayor cantidad en las caras norte y sur de los edificios, posiblemente debido a que estas áreas quedaban despejada, es decir, no se presentan barreras antropogénicas para la avifauna las cuales pueden estar utilizándolas como corredore

Por otro lado, en cuanto a la variable de tipo de ventana, para el caso del estudio de Agudelo-Álvarez et al., (2010), estudio que se llevó a cabo en la PUJ, resultó tener mayor recurrencia de choque las ventanas traslúcidas (73 % del total de colisiones), por ende, se recomendó realizar más estudios para analizar esta variable teniendo en cuenta que pocas investigaciones analizaban la frecuencia de choque que puede suceder en este tipo de ventanas. Sin embargo, en la presente investigación, resultó mayor incidencia de colisión en ventanas reflejantes, aunque, se tiene en cuenta que la diferencia con el registro de colisiones ocurridos en ventajas traslúcidas no fue tan radical (12.07 %) como en el estudio ya mencionado (46 %). Posiblemente no hay diferencias tan marcadas debido a que en el día el material de ventanas traslúcidas tiene un alto porcentaje de opacidad, lo cual resulta en tener un reflejo del paisaje circundante (D. J. Klem, 2015). Otro estudio donde se analiza esta variable es el de Gómez & MacGregor Fors (2021), donde se concluye que tanto las ventanas reflejantes como las traslúcidas pueden estar representando obstáculos para las aves, creando en ambos casos una ilusión óptica de continuidad de paisaje que puede confundir a las aves y llevarlas a colisionar contra estas estructuras. En el presente estudio, los resultados obtenidos muestran una tendencia a mayores colisiones en ventanas reflejantes, por lo cual, no es recomendable el uso de este tipo de ventanas en las edificaciones.

En relación con lo anterior, el edificio del Centro Javeriano deportivo presentaba disuasivos (vinilo adhesivo) en sus ventanas de la fachada que da al oriente de la ciudad, estos fueron instalados con el fin de mitigar las colisiones de aves, sin embargo, no son visibles debido al reflejo de la luz y, de acuerdo con el número de choques que se presentaron en este costado (9 individuos colisionados de 16 que hubo en esta estructura), es posible que no estén funcionando para mitigar el impacto negativo que está ocasionando el edificio. Según Swaddle et al. (2023), se ha demostrado que el uso de elementos como películas visibles en el rango ultravioleta puede tener mejor eficiencia teniendo en cuenta el espectro visual de las aves. Es por ello, que se recomienda aplicar estas alternativas en los edificios donde se presentó mayor número de colisión con el fin de evidenciar la efectividad de estas alternativas de mitigación. No obstante, es necesario considerar que, así como se busca medidas de manejo para aquellos edificios ya construidos, se recomienda tener medidas de manejo durante la etapa de planificación, por lo que es necesario involucrar a arquitectos e inmobiliarias en la concientización de la problemática y promover la inclusión de lineamientos específicos en las guías de edificaciones sostenibles (Loss et al., 2023).

Por otro lado, a menudo se percibe que las colisiones de aves son una problemática ocasionada por edificios altos o rascacielos (Machtans et al., 2013), sin embargo, en el estudio, la altura de los edificios no resultó ser un factor con mayor incidencia para el riesgo de colisiones, pues en el caso de los edificios más altos que se tenían dentro de la muestra (Facultad de Ingeniería en la PUJ y edificio de enfermería en la Universidad Nacional) hubo solamente un (1) registro de colisión. Por lo tanto, en este estudio la altura de los edificios no representó una variable que impacte la cantidad de colisiones de aves. Posiblemente, esto se debe a que se requiere tener en cuenta la altura de las edificaciones junto con otras variables que se pueden incluir en estudios próximos como el tipo de vegetación aledaña a los edificios. Por ejemplo, en el caso del estudio de (Hager et al., 2017), la altura de la edificación fue significativa siempre y cuando la cobertura circundante correspondiera a árboles, es decir, las aves están más expuestas a presentar colisión cuando intenta atravesar por encima de la cobertura vegetal y se encuentra una barrera más alta que el arbolado circundante.

Por otra parte, en cuanto a la vulnerabilidad de las especies, el 79.3 % del total de la muestra correspondió a aves migratorias, igualmente, en el estudio de Agudelo-Álvarez et al. (2010), se obtuvo como resultado que el 79 % de las colisiones fueron con relación a especies migratorias, las cuales en su mayoría fueron registros obtenidos en el mes de octubre, mes donde inicia la llegada de la migración boreal. Según Bravo-Huertas & Echeverry-Galvis (2020), se muestra que la migración de las aves es de importancia en términos de colisiones y especifica que se ven involucradas principalmente las aves migratorias nocturnas. Así mismo, en el estudio de Kahle et al., (2016) resultó tener mayor frecuencia de choque las migratorias y unas de las hipótesis que se mantiene es que este grupo de aves es más vulnerable debido a que no están familiarizadas con el área y la configuración de paisaje o posiblemente hay relación con los comportamientos relacionados con la migración.

En los hallazgos de esta investigación y como se mencionó anteriormente, las especies con mayor frecuencia de choque fueron *Coccyzus americanus* y *Catharus ustulatus*, dos especies que tienen hábitos diurnos pero migran de noche (Ocampo-Peñuela, 2010). En el caso de la especie *Catharus ustulatus*, en el estudio de (Agudelo-Álvarez et al., 2010) y al igual que en el presente estudio, fue la segunda especie con mayor registro de colisión. Así mismo, se ha investigado que la abundancia de esta especie tiende a disminuir en áreas de transformación urbana y en cuanto a comportamiento, cuando se encuentra en el Neotrópico suelen alimentarse de frutos y muy pocas se alimenta de insectos que captura en vuelo (Hurtado-Giraldo et al., 2016; Marzluff et al., 2016).

En el estudio no se tuvo presencia de especies en algún grado según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), pero se registró el choque de un individuo de *Protonotaria citrea* la cual es una especie poco frecuente en la ciudad (eBird, 2023); y está clasificada como especie de preocupación en Norteamérica (Bayly y Chaparro-Herrera, 2015). Lo anterior, sirve para mencionar que aunque solo se tuvo un registro en un área mínima, se debe tener en cuenta que se requiere el estudio permanente del fenómeno de colisiones para poder documentar recurrencias de choques principalmente en el Neotrópico. Lo anterior se puede realizar mediante la ciencia participativa como se viene desarrollando por ejemplo en Estados Unidos con el proyecto “Vuelo Seguro” dirigido por Audubon, en donde desde el año 1997 las personas han reportado mediante la

plataforma dBird.org más de 7000 colisiones letales, lo cual ha servido para análisis de problemática y toma de decisiones para mitigar el impacto negativo que producen las infraestructuras.

Aunque estadísticamente no fue significativa ninguna de las variables morfométricas estudiadas, se evidenció que el fenómeno de colisión contra infraestructuras puede afectar a cualquier individuo que se encuentre en áreas urbanas, es decir, la frecuencia de choque va a depender más de las características físicas de la barrera que encuentren las aves. Sin embargo, en el estudio de (Santos et al., 2017) desarrollado en Brasil, se analizó el tipo de ala de las aves que colisionaron, dando como resultado que son más vulnerables aquellas aves con alas “elípticas” dado que este tipo de aves toman altas velocidades y posiblemente no tienen tiempo de reacción.

Para el caso de la etapa de crecimiento de los individuos colisionados, este estudio no encontró una tendencia significativa a tener mayores registros de colisión de adultos o individuos inmaduros, sin embargo, se obtuvo más individuos adultos para el caso de las especies migratorias. En el estudio desarrollado en San Francisco – Estados Unidos por Kahle et al., (2016), se registró significancia en colisiones con relación a individuos inmaduros, sin embargo, hay que tener en cuenta que puede influir el área de estudio, lo cual es importante tener en cuenta para realizar más estudios de análisis de factores en la ciudad de Bogotá y poder soportar aquellas variables que tienden a incidir en este fenómeno.

En efecto de lo anterior, aunque para el caso de Bogotá inicialmente se realizó el estudio de Agudelo-Álvarez et al., (2010), la presente investigación es un punto de partida para documentar la problemática a escala micro de lo que está sucediendo en la ciudad, en donde principalmente se debe desarrollar más estudios para tener mayor certeza de lo que está ocurriendo y de esta manera poder tomar medidas de manejo que mitiguen la problemática que posiblemente a medida de que se tenga mayor urbanización, mayor afectación tendrá en este grupo de animales.

Finalmente, mediante el estudio se obtiene como resultado que aquellas edificaciones que se encuentren geográficamente en el límite de la matriz urbana, específicamente en el borde oriental de la ciudad, son edificaciones que en lo posible pueden tener mayor tendencia a presentar choques de aves contra las estructuras, así mismo, estadísticamente juega un papel importante las variables de tipo de ventana que en este caso las reflejantes son las menos recomendadas para tener en cuenta en fachadas que dan al oriente occidente de la ciudad.

5. CONCLUSIONES

- Las colisiones de aves se presentan en su mayoría en temporada de vuelos de migración teniendo mayor ocurrencia en el mes de octubre. Así mismo, la mayoría de los registros de choques (77.59 %) se obtuvieron en la Pontificia Universidad Javeriana, es decir, 45 choques de los 58 que se tuvieron en total. Por lo tanto, la ubicación geográfica de este campus influyó en el resultado teniendo en cuenta que se encuentra en el borde de la matriz urbana.
- Se registraron más colisiones en las fachadas orientales y occidentales de la ciudad, lo cual puede deberse a los comportamientos de las aves que atraviesan esas áreas. Es posible que el movimiento de aves entre estas direcciones esté relacionado con la funcionalidad de corredores entre las zonas verdes dentro de la ciudad y los cerros orientales, ya que ofrecen refugio y alimento a las aves.
- El tipo de ventana fue una de las variables representativas que contribuyen a que las aves presenten colisiones contra infraestructuras. Principalmente, resultó tener mayor registro de colisiones las ventanas reflejantes, sin embargo, las ventanas traslúcidas tuvieron un número significativo de choques, es por ello, que se requiere implementar medidas de mitigación en cualquier tipo de ventana inicialmente las que reflejan vegetación o continuidad de paisaje.
- Si bien las variables morfométricas no mostraron una influencia directa en la problemática de las colisiones de aves, es necesario relacionar el comportamiento de las especies para comprender mejor los factores subyacentes que contribuyen a la vulnerabilidad de las especies. Este enfoque comportamental permitirá identificar las especies más propensas a las colisiones y adoptar medidas específicas para proteger su bienestar y conservar la biodiversidad en entornos urbanos.
- Considerando que el área de muestreo fue limitada en comparación con el alcance potencial del estudio en toda la ciudad de Bogotá, el análisis realizado en los dos campus universitarios permite comenzar a abordar los vacíos de información relacionados con la problemática en áreas del Neotrópico. De esta manera, se busca obtener un mejor entendimiento de la situación y poder aplicar soluciones pertinentes a nivel local.

AGRADECIMIENTOS

A mis tutores Juan David Amaya y Andrés Cuervo quienes han sido fundamentales en mi formación durante estos dos años. Sus enseñanzas y orientación han sido de gran valor, proporcionándome un sólido conjunto de conocimientos académicos que podré aplicar en mi vida profesional.

A las diferentes personas que integran el Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional por permitirme almacenar y coleccionar los individuos que colisionaron a lo largo del monitoreo.

A mi amiga Jasbleady Castañeda por darme su apoyo en todo momento, acompañarme en diferentes etapas de esta investigación y lo más importante, ser esa persona que siempre me escuchó y me aconsejó para tomar las mejores decisiones en pro de esta investigación.

A mis amigos y compañeros de maestría con los que desde primer semestre nos apoyamos para fortalecer las ideas de investigación y que hoy en día logramos culminar luego de tanto esfuerzo y dedicación.

A Nick Bayly por sus sugerencias que fueron claves en el análisis de datos.

A Angélica Acevedo por apoyarme realizando los recorridos diariamente en la Universidad Nacional.

A Pabla Lozano por su ayuda en el uso de programas para análisis de datos.

A las personas de vigilancia y aseo que desempeñaron un papel importante en este proyecto estando atentos y reportando aquellas aves que tristemente colisionaron contra las edificaciones.

A cada una de las personas que aunque no las mencione directamente, me apoyaron y estuvieron presentes a lo largo de estos dos años dándome una voz de aliento y ayudándome de diferentes maneras, todo con el fin de afrontar este reto con la mejor energía posible.

El presente documento fue redactado siguiendo los parámetros establecidos por la revista PLOS ONE, a la cual se enviará para su publicación. La elección de esta revista se basó en su amplio alcance en temas científicos, especialmente en el ámbito de la conservación de la biodiversidad y, más específicamente, en la problemática de las colisiones de aves. Además, PLOS ONE cuenta con una excelente reputación, lo que permitirá que el artículo sea accesible para una amplia variedad de lectores.

REFERENCIAS

- Agudelo-Álvarez, L., Moreno-Velásquez, J., & Ocampo-Peñuela, N. (2010). Colisiones de aves contra ventanales en un campus universitario de Bogotá, Colombia. *Ornitología Colombiana*, 10(10), 3–10.
- Artmann, M., Inostroza, L., & Fan, P. (2019). Urban sprawl, compact urban development and green cities. How much do we know, how much do we agree? *Ecological Indicators*, 96, 3–9. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.10.059>
- Battisti, C. (2018). Synanthropic-dominated biomass in an insular landbird assemblage. *Community Ecology*, 19(3), 203–210. <https://doi.org/10.1556/168.2018.19.3.1>
- Bayly, N. J., & Chaparro-Herrera, S. (2015). Aves migratorias presentes en los humedales de Bogotá. En Chaparro-Herrera, S y Ochoa, D. (Eds), *Aves de los Humedales de Bogotá, aportes para su Conservación*. <https://www.researchgate.net/publication/292147543>
- Bonebrake, T. C., & Cooper, D. S. (2014). A Hollywood drama of butterfly extirpation and persistence over a century of urbanization. *Journal of Insect Conservation*, 18(4), 683–692. <https://doi.org/10.1007/s10841-014-9675-z>
- Borgmann, K. L., & Rodewald, A. D. (2004). Nest predation in an urbanizing landscape: The role of exotic shrubs. *Ecological Applications*, 14(6), 1757–1765. <https://doi.org/10.1890/03-5129>
- Bravo Huertas, M. B., & Echeverry-Galvis, M. Á. (2020). Revisión de los factores que inciden en la mortalidad de aves contra líneas eléctricas y ventanas, y planes de manejo. *Ornitología Colombiana. Ibagué 2019. 18(i)*, 2020.
- Dominoni, D. M. (2015). The effects of light pollution on biological rhythms of birds: an integrated, mechanistic perspective. *Journal of Ornithology*, 156, 409–418. <https://doi.org/10.1007/s10336-015-1196-3>
- Echeverry-Galvis, M. Á., Cortés, J. S., Collazos, S., Zapata, S., Botiva, D., Linero, D., Orozco, D., Medina, J. S., Sánchez, J. S., Zuluaga, J., Gómez, L. M., Erazo, P. A., Ortegón, S., Niño, S., Bocanegra, V., Cardona, V., Rincón, V. J., Moreno, J. S., & Jiménez, V. (2019). *Guía infográfica de las aves del campus de la Pontificia Universidad Javeriana. Sede central* (Primera edición). http://purl.org/coar/resource_type/c_2f33
- Elsevier. (2023). Base de datos de Scopus. Resultados analizados. <https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic&zone=header&origin=#basic>
- Ferrarini, A., Gustin, M., & Celada, C. (2021). Twenty-three years of land-use changes induced considerable threats to the main wetlands of sardinia and sicily (Italy) along the mediterranean bird flyways. *Diversity*, 13(6). <https://doi.org/10.3390/d13060240>
- Fornazari, G. A., Saldanha, A., Lange, R. R., Froes, T., Klem, D., Moore, B. A., & Montiani-Ferreira, F. (2021). Window Collisions by Birds in Brazil: Epidemiologic Factors and Radiographic and Necropsy Assessments. *Journal of Avian Medicine and Surgery*, 35(3), 313–324. <https://doi.org/10.1647/20-00009>
- Fraissinet, M., Ancillotto, L., Migliozi, A., Capasso, S., Bosso, L., Chamberlain, D. E., & Russo, D. (2023). Responses of avian assemblages to spatiotemporal landscape dynamics in urban ecosystems. *Landscape Ecology*, 38(1), 293–305. <https://doi.org/10.1007/s10980-022-01550-5>
- Gómez-Martínez, M. A., Klem, D., Rojas-Soto, O., González-García, F., & MacGregor-Fors, I. (2019). Window strikes: bird collisions in a Neotropical green city. *Urban Ecosystems*, 22(4), 699–708. <https://doi.org/10.1007/s11252-019-00858-6>

- Grimm, N. B., Faeth, S. H., Golubiewski, N. E., Redman, C. L., Wu, J., Bai, X., & Briggs, J. M. (2008). Global change and the ecology of cities. *Science (New York, N.Y.)*, 319(5864), 756–760. <https://doi.org/10.1126/science.1150195>
- Grupo de Ornitología de la Universidad Nacional de Colombia. (2014). *Guía de aves del campus de la UN*. https://issuu.com/gestiondeproyectos/docs/guia_de_aves_del_campus_un_goun
- Güneralp, B., Seto, K. C., & Ramachandran, M. (2013). Evidence of urban land teleconnections and impacts on hinterlands. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(5), 445–451. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.08.003>
- Hager, S. B., Cosentino, B. J., Aguilar-Gómez, M. A., Anderson, M. L., Bakermans, M., Boves, T. J., Brandes, D., Butler, M. W., Butler, E. M., Cagle, N. L., Calderón-Parra, R., Capparella, A. P., Chen, A., Cipollini, K., Conkey, A. A. T., Contreras, T. A., Cooper, R. I., Corbin, C. E., Curry, R. L., ... Zuria, I. (2017). Continent-wide analysis of how urbanization affects bird-window collision mortality in North America. *Biological Conservation*, 212, 209–215. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.06.014>
- Hager, S. B., Trudell, H., McKay, K. J., Crandall, S. M., & Mayer, L. (2008). Bird density and mortality at windows. *Wilson Journal of Ornithology*, 120(3), 550–564. <https://doi.org/10.1676/07-075.1>
- Hurtado-Giraldo, A., Cruz-Bernate, L., & Molina, E. J. (2016). Dieta de aves migratorias en un sistema agroecológico del Valle del Cauca, Colombia. *Boletín Científico Del Centro de Museos*, 20(2), 151–163. <https://doi.org/10.17151/bccm.2016.20.2.11>
- Jackson, E. K., Elmore, J. A., Loss, S. R., Winger, B. M., & Dakin, R. (2020). *Flight morphology and visual obstruction predict collision risk in birds*. <https://doi.org/10.1101/2020.07.20.212985>.
- James Reynolds, S., Ibáñez-Álamo, J. D., Sumasgutner, P., & Mainwaring, M. C. (2019). Urbanisation and nest building in birds: a review of threats and opportunities. *Journal of Ornithology*, 160(3), 841–860. <https://doi.org/10.1007/s10336-019-01657-8>
- Kahle, L. Q., Flannery, M. E., & Dumbacher, J. P. (2016). Bird-window collisions at a west-coast urban park museum: Analyses of bird biology and window attributes from golden gate Park, San Francisco. *PLoS ONE*, 11(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144600>
- Klem, D. (1989). Bird-window collisions. *The Wilson Bulletin*, 101(4)(January 1989), 606–620.
- Klem, D. (2010). Avian mortality at windows: the second largest human sources of bird mortality on earth. *Proceedings of the Fourth International Partners in Flight Conference: Tundra to Tropics*, 244–251.
- Klem, D. (2014). Landscape, legal, and biodiversity threats that windows pose to birds: A review of an important conservation issue. *Land*, 3(1), 351–361. <https://doi.org/10.3390/land3010351>
- Klem, D., Farmer, C. J., Delacretaz, N., Gelb, Y., & Saenger, P. G. (2009). Architectural and landscape risk factors associated with bird-glass collisions in an urban environment. *Wilson Journal of Ornithology*, 121(1), 126–134. <https://doi.org/10.1676/08-068.1>
- Klem D., Jr (2015). Bird-Window Collisions: A Critical Animal Welfare and Conservation Issue. *Journal of applied animal welfare science: JAAWS*, 18 Suppl 1, S11–S17. <https://doi.org/10.1080/10888705.2015.1075832>
- Klingbeil, B. T., La Sorte, F. A., Lepczyk, C. A., Fink, D., & Flather, C. H. (2020). Geographical associations with anthropogenic noise pollution for North American breeding birds. *Global Ecology and Biogeography*, 29(1), 148–158. <https://doi.org/10.1111/geb.13016>

- Knap, S., Kühn, I., Witting, R., OzingaWim, A., Poschod, P., & Klotz, S. (2008). Urbanization causes shifts in species' trait state frequencies. *Preslia*, 80, 375–388. <http://www.leda-traitbase.org/LEDAportal>
- Loss, S. R., Will, T., Loss, S. S., & Marra, P. P. (2014). Bird–building collisions in the United States: Estimates of annual mortality and species vulnerability. *The Condor*, 116(1), 8–23. <https://doi.org/10.1650/condor-13-090.1>
- Luck, M., & Wu, J. (2002). A gradient analysis of urban landscape pattern: A case study from the Phoenix metropolitan region, Arizona, USA. *Landscape Ecology*, 17(4), 327–339. <https://doi.org/10.1023/A:1020512723753>
- Marzluff, J. M., DeLap, J. H., Oleyar, M. D., Whittaker, K. A., & Gardner, B. (2016). Breeding dispersal by birds in a dynamic urban ecosystem. *PLoS ONE*, 11(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167829>
- Meissner, W. (2009). A classification scheme for scoring subcutaneous fat depots of shorebirds. *Journal of Field Ornithology*, 80, 289–296. <https://doi.org/10.1111/j.1557-9263.2009.00232.x>
- Montero, L., & García, J. (2017). *Panorama multidimensional del desarrollo urbano en América Latina y el Caribe*. <https://hdl.handle.net/11362/41974>
- Ocampo-Peñuela, N., Winton, R. S., Wu, C. J., Zambello, E., Wittig, T. W., & Cagle, N. L. (2016). Patterns of bird-window collisions inform mitigation on a university campus. *PeerJ*, 2016(2). <https://doi.org/10.7717/peerj.1652>
- Oschadleus, D., & Underhill, L. G. (2000). *SAFRING bird ringing manual Damara Tern conservation View project SAFRING View project*. <https://www.researchgate.net/publication/288194084>
- Pontificia Universidad Javeriana. (2020a). *Boletín estadístico*. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNWQzNzIyZjYtMzEwNC00M2QwLWI1NTYtODlhODhiNjhhNGY0IiwidCI6ImRhZjc5OTBILThhM2YtNDA5Yy05Yjc2LTJhNTQ3NTA5ODAwMCI6ImMiOjR9>
- Pontificia Universidad Javeriana. (2020b). *Mapa del campus*. <https://www.javeriana.edu.co/nuestras-instalaciones>
- Ralph, Geupel, Pyle, Martin, & DeSante. (2014). *Handbook of Field Methods for Monitoring Landbirds*. <https://www.researchgate.net/publication/253288282>
- Santos, L. P. S., de Abreu, V. F., & de Vasconcelos, M. F. (2017). Bird mortality due to collisions in glass panes on an important bird area of southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Ornitologia*, 25(2), 90–101. <https://doi.org/10.1007/bf03544384>
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2021). *Bogotá, la capital del mundo con mayor diversidad de aves*. <https://oab.ambientebogota.gov.co/bogota-la-capital-del-mundo-con-mayor-diversidad-de-aves-conocelas/#:~:text=Bogotá es la capital del,a 550 especies o más>
- Tang, W., Niu, Z., Wei, Z., & Zhu, L. (2022). Sustainable Development of Eco-Cities: A Bibliometric Review. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 14, Issue 17). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su141710502>
- Van Doren, B. M., Willard, D. E., Hennen, M., Horton, K. G., Stuber, E. F., Sheldon, D., Sivakumar, A. H., Wang, J., Farnsworth, A., & Winger, B. M. (2021). Drivers of fatal bird collisions in an urban center. *PNAS*, 118, 1–8. <https://doi.org/10.1073/pnas.2101666118/-/DCSupplemental.y>

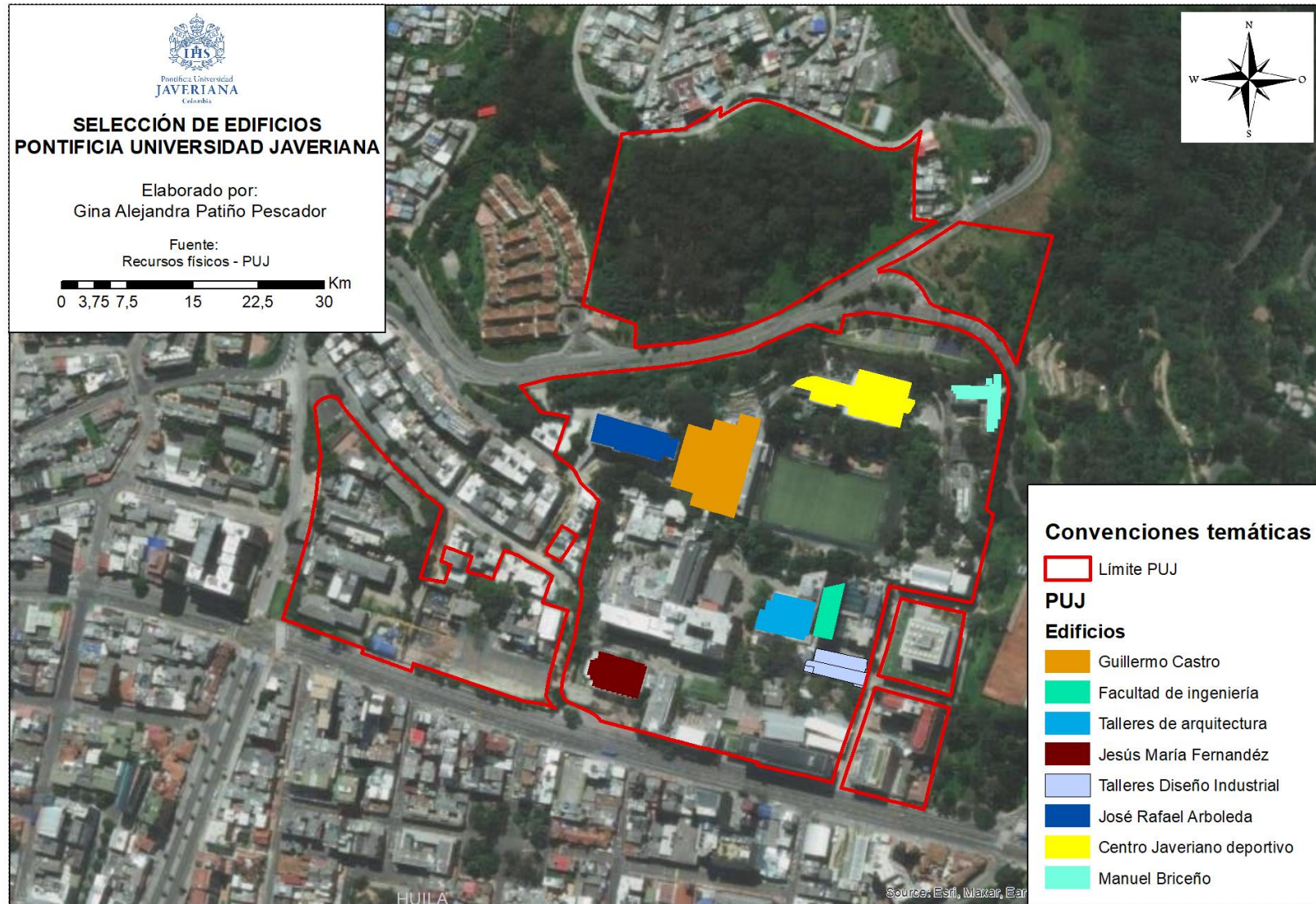
- Villarreal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., Ospina, M., & Umaña, A. M. (2004). Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. *Programa Inventarios de Biodiversidad; Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*, 236.
- Weber, T., Sloan, A., & Wolf, J. (2006). Maryland's Green Infrastructure Assessment: Development of a comprehensive approach to land conservation. *Landscape and Urban Planning*, 77(1–2), 94–110. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.02.002>
- Winger, B. M., Weeks, B. C., Farnsworth, A., Jones, A. W., Hennen, M., & Willard, D. E. (2019). Nocturnal flight-calling behaviour predicts vulnerability to artificial light in migratory birds. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 286(1900). <https://doi.org/10.1098/rspb.2019.0364>
- Yang, M., Callaghan, C. T., & Wu, J. (2023). How do birds with different traits respond to Urbanization? A phylogenetically controlled analysis based on citizen science data and a diverse urbanization measurement. *Landscape and Urban Planning*, 237. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104801>
- Yunda, J. G. (2019). Densificación y estratificación social en bogotá: Distribución sesgada de la inversión privada. *Eure*, 45(134), 237–257. <https://doi.org/10.4067/S0250-71612019000100237>

ANEXOS

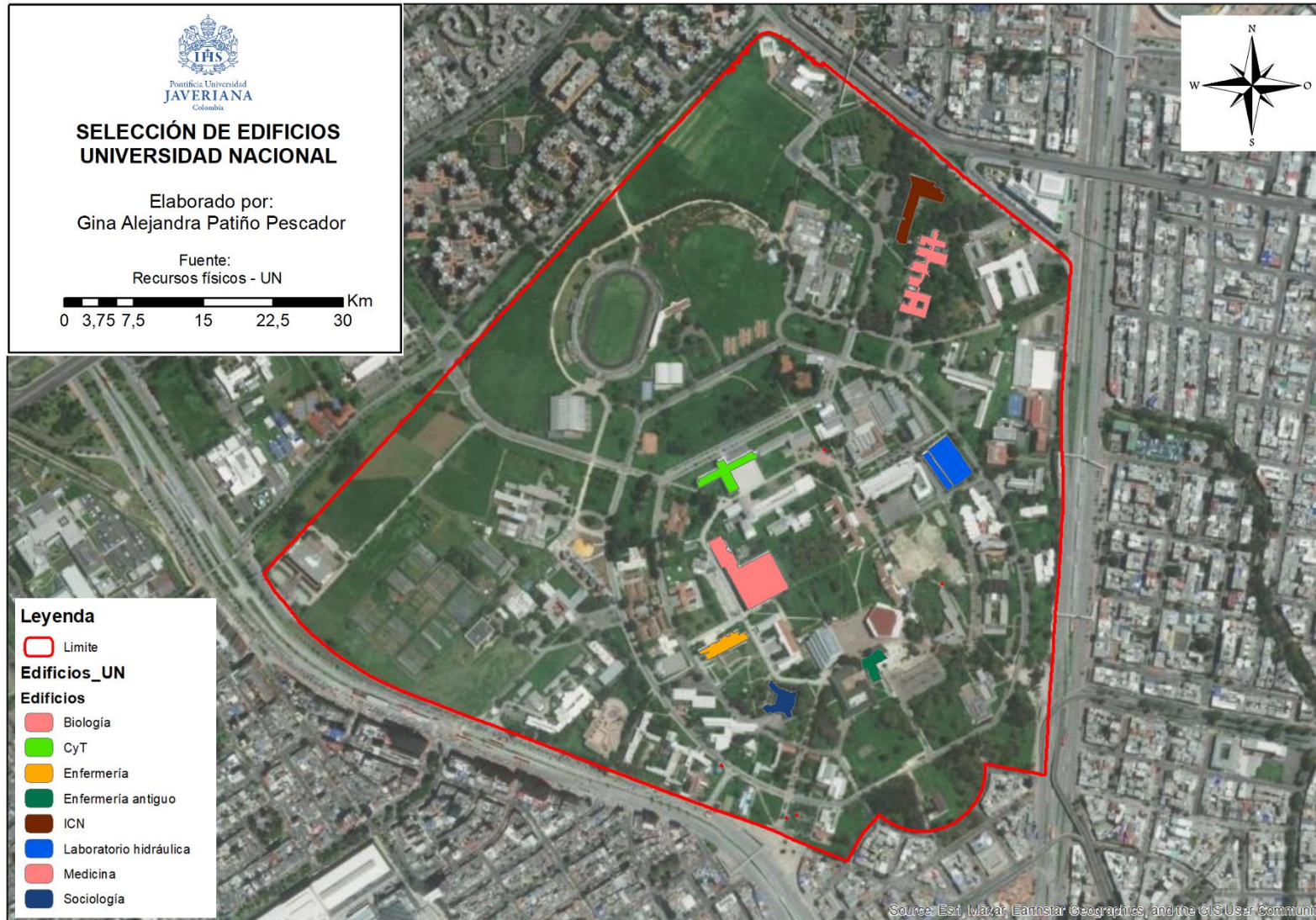
Anexo 1. Edificios seleccionados para monitoreos.

Lugar	Número del edificio	Nombre	Altura edificación (m)	Área de ventana promedio (m2)		Número de ventanas promedio	Edad	Área de ocupación (m2)	Tipo de ventana	Pisos	Volumen (m3)	Cobertura verde
Universidad Nacional	101	Enfermería	40	6.23	Norte y sur	135	1969	7177.73	Translúcida	11	287109.2	17.4577
	454	CyT	17.6	182.13	Occidente	1	2008	9648.93	Reflejante	5	169821.168	45.4249
				32.31	Norte	1						
				6.73	Sur	36						
	205	Sociología	6.6	17.69	Sur	2	1964	4766.6	Translúcida	3	46687.33	72.7257
				4.27	Oriente	5						
				8.31	Norte	5						
				2.31	Occidente	1						
	471	Medicina	15.9	40.82	Sur	12	1954	17070.1	Translúcida	5	271414.59	61.5329
				31.63	Norte	23						
	228	Nuevo edificio enfermería	17.5	162.34	Sur	1	2015	7575.81	Translúcida	4	2266287.41	47.9556
				132.47	Norte	1.5						
				4.80	Oriente	2						
	425	Instituto de Ciencias Naturales	17.6	7.28	Sur	5	1971	6155.69	Translúcida	2	108340.144	85.0358
				2.68	Oriente	32						
				2.55	Occidente	31						
	408	Laboratorio de ensayos hidráulicos	12	16.10	Norte y sur	1	1954	4741.47	Translúcida	2	56897.64	46.0625
				420.86	Occidente y oriente	1						
	421	Biología	5.8	5.97	Sur	8	1950	5710.56	Translúcida	2	33121.248	89.5434
				11.13	Norte	13						
Pontificia Universidad Javeriana	12	Ed laboratorios ingeniería	72.7	4.27	Norte	129	2019	1280	Translúcida	15	93056	9.834
				3.86	Sur	372						
				5.80	Oriente	89						
				3.86	Occidente	55						
	67	José Rafael Arboleda	30.7	7.63	Occidente	13		1717	Translúcida	8	52711.9	97.638
				7.62	Oriente	32						
				14.33	Norte	4						
	115	Don Guillermo Castro	38.8	13.84	Sur	2	1998	3955	Translúcida	6	153454	88.597
				6.92	Norte	8						
	95	Manuel Briceño	21.9	1.86	Norte	15	2000	761	Translúcida	6	16665.9	92.176
				4.46	Sur	5						
	28	Jesús María Fernández	17.7	26.91	Norte	6	1975	1314	Reflejante	4	23257.8	12.332
				5.57	Sur	1						
				22.76	Oriente	6						
				17.99	Occidente	1						
	91	Centro Javeriana de	6.101	58.57	Occidente	5	2000	2286	Reflejante	4	13946.9	96.793
				24.00	Oriente	4						
	5	Talleres de diseño	7	32.23	Oriente	1		737	Translúcida	2	5159	4.275
				34.75	Occidente	1						
	18	Talleres de arquitectura	4.4	2.16	Norte	2		1241	Translúcida	1	5460.4	13.225
				1.76	Sur	2						
				1.07	Oriente	6						
				1.92	Occidente	4						

Ubicación de edificios Pontificia Universidad Javeriana



Ubicación de edificios Universidad Nacional



Anexo 2. Modelos para variables estructurales

Número de modelo	Combinación de variables				AICc
1	Orientación				99.928
2	Lugar				102.832
3	Orientación	Lugar			100.695
4	Año de construcción				102.768
5	Cobertura verde				104.283
6	Ventanas prom	Altura	Área prom	Tipo de ventana	107.026
7	Ventanas prom	Altura	Área prom		109.313
8	Ventanas prom	Altura	Tipo de ventana		105.150
9	Ventanas prom	Tipo de ventana	Área prom		104.465
10	Ventanas prom	Altura			106.726
11	Ventanas prom	Área prom			106.778
12	Ventanas prom	Tipo de ventana			102.533
13	Altura	Área prom	Tipo de ventana		104.655
14	Altura	Tipo de ventana			102.797
15	Altura	Área prom			107.416
16	Área prom	Tipo de ventana			102.223
17	Área prom				105.201
18	Tipo de ventana				100.364
19	Altura				105.152
20	Ventanas prom				104.340
21	Nulo				102.985

Anexo 3. Modelos variables morfométricas.

Número de modelo	Combinación de variables			AICc
1	Envergadura alar	Cola	Ala	115.58
2	Envergadura alar	Cola		113.28
3	Envergadura alar	Ala		113.15
4	Cola	Ala		113.22
5	Envergadura alar			110.99
6	Cola			110.96
7	Ala			110.91
8	Etapas de crecimiento			110.99
9	Grasa	Peso		113.02
10	Grasa			110.85
11	Peso			110.84
12	Migración			110.79
13	Nulo			108.80

Anexo 4. Registro de colisiones a lo largo del muestreo

Día	Mes	Año	Universidad	Especie	Lugar	Orientación
23	Septiembre	2022	UN	<i>Coccyzus americanus</i>	ICN	Oriente
3	Octubre	2022	PUJ	<i>Zenaida auriculata</i>	Barón*	Oriente
3	Octubre	2022	PUJ	<i>Catharus ustulatus</i>	Centro deportivo	Oriente
3	Octubre	2022	PUJ	<i>Coccyzus americanus</i>	Ingeniería	Occidente
3	Octubre	2022	PUJ	<i>Catharus ustulatus</i>	Centro deportivo	Occidente
3	Octubre	2022	PUJ	<i>Vireo olivaceus</i>	Barón*	Oriente
4	Octubre	2022	PUJ	<i>Coccyzus americanus</i>	Arrupe	Occidente
4	Octubre	2022	PUJ	<i>Coccyzus americanus</i>	Hoyos*	Occidente
4	Octubre	2022	PUJ	<i>Coccyzus americanus</i>	Hoyos*	Occidente
4	Octubre	2022	PUJ	<i>Catharus ustulatus</i>	Centro deportivo	Oriente
4	Octubre	2022	PUJ	<i>Coccyzus americanus</i>	Arrupe	Occidente
4	Octubre	2022	PUJ	<i>Vireo olivaceus</i>	Barón*	Sur
6	Octubre	2022	PUJ	<i>Catharus ustulatus</i>	Centro deportivo	Oriente
6	Octubre	2022	PUJ	<i>Vireo flavoviridis</i>	Ciencias básicas*	Norte
6	Octubre	2022	PUJ	<i>Zenaida auriculata</i>	Barón*	Occidente
7	Octubre	2022	PUJ	<i>Catharus ustulatus</i>	Barón*	Oriente
7	Octubre	2022	PUJ	<i>Vireo olivaceus</i>	Arrupe	Norte
10	Octubre	2022	UN	<i>Catharus ustulatus</i>	Laboratorio de ensayos hidráulicos	Norte
10	Octubre	2022	UN	<i>Catharus ustulatus</i>	Medicina	Occidente
10	Octubre	2022	PUJ	<i>Piranga rubra</i>	Centro deportivo	Oriente
10	Octubre	2022	PUJ	<i>Vireo olivaceus</i>	Centro deportivo	Oriente
10	Octubre	2022	PUJ	<i>Piranga olivacea</i>	Hoyos*	Occidente
11	Octubre	2022	PUJ	<i>Catharus ustulatus</i>	Barón*	Oriente
11	Octubre	2022	PUJ	<i>Setophaga fusca</i>	Auditorio Félix*	Occidente
12	Octubre	2022	UN	<i>Setophaga fusca</i>	CyT	Norte
18	Octubre	2022	UN	<i>Zenaida auriculata</i>	Laboratorio de ensayos hidráulicos	Norte
18	Octubre	2022	UN	<i>Turdus fuscater</i>	CyT	Norte
18	Octubre	2022	PUJ	<i>Catharus ustulatus</i>	Centro deportivo	Oriente
18	Octubre	2022	PUJ	<i>Lesbia victoriae</i>	Centro deportivo	Oriente
20	Octubre	2022	UN	<i>Coccyzus americanus</i>	Química*	Occidente
24	Octubre	2022	PUJ	<i>Piranga olivacea</i>	Centro deportivo	Occidente
24	Octubre	2022	PUJ	<i>Coccyzus americanus</i>	Arrupe	Sur
26	Octubre	2022	PUJ	<i>Piranga olivacea</i>	Centro deportivo	Oriente
31	Octubre	2022	PUJ	<i>Setophaga fusca</i>	Barón*	Oriente
1	Noviembre	2022	UN	<i>Piranga olivacea</i>	Laboratorio de ensayos hidráulicos	Norte
2	Noviembre	2022	PUJ	<i>Vireo olivaceus</i>	Parqueaderos	Sur
4	Noviembre	2022	PUJ	<i>Piranga olivacea</i>	Parqueaderos	Sur
8	Noviembre	2022	PUJ	<i>Catharus ustulatus</i>	Centro deportivo	Occidente
8	Noviembre	2022	PUJ	<i>Piranga olivacea</i>	Corredor tercer piso hospital - parqueaderos*	Sur
15	Noviembre	2022	PUJ	<i>Piranga rubra</i>	Briceño	Sur
15	Noviembre	2022	UN	<i>Zenaida auriculata</i>	CyT	Norte
16	Noviembre	2022	PUJ	<i>Vireo olivaceus</i>	Centro deportivo	Oriente
17	Noviembre	2022	PUJ	<i>Piranga rubra</i>	Hoyos*	Occidente
29	Noviembre	2022	PUJ	<i>Potrotonaria citrea</i>	Centro deportivo	Occidente
1	Diciembre	2022	PUJ	<i>Leiothlypis peregrina</i>	Arrupe	Occidente
2	Diciembre	2022	PUJ	<i>Piranga rubra</i>	Arrupe	Occidente
5	Diciembre	2022	UN	<i>Turdus fuscater</i>	Sociología	Oriente
12	Diciembre	2022	PUJ	<i>Catharus ustulatus</i>	Centro deportivo	Occidente
29	Diciembre	2022	PUJ	<i>Piranga rubra</i>	Centro deportivo	Occidente
30	Diciembre	2022	PUJ	<i>Diglossa humeralis</i>	Centro deportivo	Occidente
13	Enero	2023	PUJ	<i>Porphyrio martinica</i>	Briceño	Sur
14	Enero	2023	PUJ	<i>Porphyrio martinica</i>	Hoyos*	Occidente
27	Enero	2023	PUJ	<i>Turdus fuscater</i>	Corredor tercer piso hospital - parqueaderos*	Sur
15	Marzo	2023	UN	<i>Zenaida auriculata</i>	Enfermería N	Oriente
22	Marzo	2023	UN	<i>Zenaida auriculata</i>	Aulas de ingeniería	Norte
8	Abril	2023	PUJ	<i>Setophaga fusca</i>	Barón*	Oriente
8	Abril	2023	PUJ	<i>Zenaida auriculata</i>	Barón*	Oriente
3	Mayo	2023	UN	<i>Vireo olivaceus</i>	Enfermería N	Oriente

UN: Universidad Nacional

PUJ: Pontificia Universidad Javeriana

*Edificios que no estaban dentro del muestreo inicial