

Caracterización de la Reflectancia UV-Vis de las aves Comunes de Uribe Uribe, Santander,
Colombia.

Andrés Felipe Motta Gómez

Trabajo de Grado para Optar al Título de Biólogo

Director

Gregorio Moreno Patiño

MSc. en Ciencias Biológicas

Codirector

Rafael Cabanzo Hernández

MSc. en Física

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ciencias Básicas

Escuela de Biología

Bucaramanga

2022

Agradecimientos

Gracias a la colaboración y apoyo de todas las personas que hicieron posible la realización de este trabajo.

A mi familia por su gestión, apoyo incondicional y motivación en casa paso realizado.

A mi director José Gregorio Moreno, por la dirección del trabajo y la motivación para hacer de la biología un área interdisciplinar.

A mi codirector Rafael Cabanzo Hernández por todas sus enseñanzas sobre la espectroscopia y la comprensión de la biología desde la Física.

Finalmente deseo expresar mi sincera gratitud al equipo Escalárbol Natural Group por su motivación y transmitir su conocimiento hacia este trabajo.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	9
1. Objetivos	11
1.1 Objetivo General	11
1.2 Objetivos Específicos.....	11
2. Cuerpo del Trabajo	11
2.1 Marco Referencial.....	12
2.1.1 Método.	15
2.1.2 Resultados.....	20
3. Conclusiones	28
Referencias Bibliográficas	29
Apéndices.....	36

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Especies utilizadas en el estudio de reflectancia UV-VIS.....	40

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Localización geográfica del lugar de adquisición de los datos.....	15
Figura 2: Parámetros de reflectancia obtenidos usando las 11 regiones corporales.....	21
Figura 3: Boxplot del brillo en el pecho por la altura de forrajeo.....	22
Figura 4: Boxplot del brillo.....	23
Figura 5: Boxplot del croma.....	23
Figura 6: Boxplot del UV croma.....	24

Lista de Apéndices

	Pág.
A. Anexo 1: PCA de todos los parámetros de reflectancia.....	38
B. Anexo 2: PCA aplicado al parámetro brillo.....	39
C. Anexo 3. PCA del Croma y PCA de UV-Croma.....	39
D. Anexo 4. Gráficos de dispersión del brillo versus croma en la pradera.....	40

Resumen

Título: Caracterización de la Reflectancia UV-Vis de las aves Comunes de Uribe-Uribe, Santander, Colombia.*

Autor: Andrés Felipe Motta Gómez**

Palabras Clave: Espectrofotometría, ultravioleta, dosel, reflectancia, plumaje.

Descripción: Las aves poseen visión pentacromática, esta característica les permite percibir longitudes de onda de 300 - 700nm incluyendo el rango ultravioleta. Los bosques tropicales ofrecen entornos de luz contrastantes: un dosel brillante, rico en longitudes de onda corta y sotobosque oscuro, rico en longitudes de onda larga. Por lo tanto, las especies forrajean y hacen uso del hábitat teniendo en cuenta la luz ambiental según su propósito, ya sea buscar cripsis o conspicuidad. Usando espectrofotometría y análisis comparativos, examinamos la relación entre la luz ambiental de los estratos verticales del bosque y el plumaje de una comunidad de aves en una vereda del municipio de Lebrija, Santander. Encontramos que el brillo en el pecho de las aves que forrajean en el dosel es significativamente mayor de las que lo hacen en el sotobosque, también que el contenido de UV está presente en todos los parches de plumaje analizados.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ciencias. Escuela de Biología. Director: José Gregorio Moreno Patiño. MSc. En Ciencias Biológicas. Codirector: Rafael Cabanzo Hernández. Dr. en Ciencias Naturales.

Abstract

Title: Characterization of UV-VIS reflectance of Uribe-Uribe, Santander, Colombia. *

Author: Andrés Felipe Motta Gómez **

Key Words: Spectrophotometry, ultraviolet, canopy, reflectance, plumage.

Description: Birds possess pentacromatic vision, this feature allows them to perceive wavelengths of 300 - 700nm. including the ultraviolet range. Tropical forests offer contrasting light environments: a bright canopy, rich in short wavelengths and dark sotobosque, rich in long wavelengths. Therefore, species foraged and make use of the habitat taking into account the environmental light according to their purpose, whether seeking crypsis or crusts. Using comparative spectrometry and analysis, we examine the relationship between the ambient light of the vertical strata of the forest and the plumage of a community of birds in a path of the municipality of Lebrija, Santander. We found that the brightness on the chest of birds that foraged in the canopy is significantly higher than they do in the sotobosque, also that the UV content is present in all the plumage patches analyzed.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ciencias. Escuela de Biología. Director: José Gregorio Moreno Patiño. MSc. En Ciencias Biológicas. Codirector: Rafael Cabanzo Hernández. Dr. en Ciencias Naturales.

Introducción

A diferencia de la visión tetracromática del hombre (Cuthill *et al.*, 2000), la mayoría de las aves poseen visión pentacromática dado que en la retina ocular aviar se conocen cinco tipos de conos (Stavenga & Wilts, 2014) y siete fotorreceptores (Scanes & Dridi, 2022); lo que les confiere sensibilidad a longitudes de onda de la luz entre 320 a 700 nm (Casalía & Barreira, 2020), desde el espectro ultravioleta UVA entre 315 a 400 nm (Cronin & Bok, 2016) y a través del espectro visible (400 a 700 nm).

No obstante, la sensibilidad visual UV difiere entre las aves (Cuthill *et al.*, 2000), como es el caso de los subóscinos del orden Passeriformes y la mayoría de las aves no Passeriformes, que carecen de pigmentos UVS en los conos retinales (Ödeen & Alström, 2011; Ödeen & Håstad, 2013). Para las aves rapaces diurnas aun no es claro si las señales UV juegan un papel relevante durante el comportamiento de forrajeo (Lind & Kelber, 2013) en tanto que las rapaces nocturnas han limitado su sensibilidad UV a cambio de visión con poca luz (Bowmaker & Martin, 1978).

La visión UV de las aves se relaciona con aspectos sociales, reproductivos, ecológicos y evolutivos. Sin embargo, desde la perspectiva UV, numerosas especies de aves paseriformes, que, bajo la visión del hombre, se venían tratando como monocromáticas, en realidad son sexualmente dicromáticas (Eaton, 2007); lo cual tiene implicaciones directas en las señales de comunicación inter e intraespecíficas. Mediante nuevas técnicas se intenta entender el comportamiento de la luz UV, la iluminación y la estructura de los hábitats, en relación con la actividad de la fauna existente en los ambientes naturales (Tedore & Nilsson, 2019).

Las señales basadas en el color y la reflectancia UV, tienen relación directa entre el animal y el ambiente que habita, con implicaciones ecológicas y evolutivas diferenciales entre especies (Burns & Shultz, 2012; Shultz & Burns, 2013). La estructura de los hábitats de bosque presenta variaciones en los entornos de luz que afectan la comunicación entre animales (Endler, 1993). Los colores que percibimos de las aves dependen de la interacción entre la luz ambiental y la reflectancia del color del plumaje, de modo que un ave puede tener una apariencia distinta en cada ambiente, es decir sus patrones de color pueden ser crípticos en algunos ambientes y relativamente conspicuos en otros (Endler 1993; Gomez & Thery 2007).

Los hábitats difieren en el grado de iluminación y composición de la luz incidente (Altshuler, 2001), como es el caso en los bosques húmedos lluviosos de los Andes que poseen un dosel iluminado, brillante, rico en longitudes de onda del espectro UV y un sotobosque inferior que resulta ser rico en longitudes de onda larga (Gomez & Théry 2004); por lo cual, en afinidad con el color y la reflectancia del plumaje las especies ocupan de manera diferencial el estrato vertical del bosque (Marchetti, 1993; Shultz & Burns, 2013).

El presente estudio hace uso de datos de reflectancia UV obtenidos de la base de datos correspondiente a salidas académicas de campo con los cuales se pretende un acercamiento preliminar a nivel regional para Santander sobre el tema (datos obtenidos en el corregimiento de Uribe-Uribe, municipio de Lebrija), con referencia particular a la ecología de forrajeo y la distribución de las especies en el estrato vertical del bosque.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Caracterizar la reflectancia UV-Vis de las aves comunes del corregimiento de Uribe-Uribe en Santander, Colombia.

1.2 Objetivos Específicos

Determinar los parámetros espectrales que caracterizan la reflectancia UV-Vis mediante procesamiento de datos obtenidos en salidas académicas de campo anteriores a Uribe – Uribe.

Precisar patrones asociados al brillo, croma y UV-croma de los espectros de reflectancia UV-Vis para hacer análisis estadísticos que permitan hacer alguna correlación respecto a la altura y lugar de forrajeo.

Comparar los parámetros característicos de la reflectancia UV-Vis obtenidos con aspectos ecológicos de las aves involucradas.

2. Cuerpo del Trabajo

2.1 Marco Referencial

La estructura interna de la retina de los ojos de las aves contiene siete fotorreceptores distribuidos en conos y bastones, estos a su vez poseen pigmentos visuales que traducen la información de la luz presente en el ambiente y posibilitan la percepción de un amplio espectro visual (Stavenga & Wilts 2014; Scanes & Dridi, 2022). Esta capacidad de percepción visual se ve reflejada en diversas adaptaciones sociales, reproductivas y ecológicas.

Entre otras adaptaciones, por ejemplo: El píprido *Manacus manacus* macho en su etapa juvenil es idéntico a las hembras excepto por el parche pectoral de plumas que muestra diferencia en la reflectancia UV, de esta forma un macho adulto identifica un macho juvenil y no se exhibe ante él en el lek (Morales & Castaño, 2018). Algunos pichones con alto valor de reflectancia UV en sus boqueras son mejor alimentados por sus parentales (Dugas, 2015). Por otra parte, algunas adaptaciones reproductivas se ejemplifican en los machos de *Volantinia jacarina* con mayor reflectancia UV lo que les confiere una ventaja en la cantidad de copulas extra-pareja en este sistema de monogamia (Diniz & Macedo, 2015) o el herrerillo común *Parus caeruleus* en el que las hembras prefieren machos con crestas azules mas brillantes y ricas en longitudes de onda corta (Hunt & Griffiths 1998). Otro ejemplo de adaptación es el de las aves migratorias en donde el compás magnético para la orientación es dependiente de la longitud de onda corta incluidas el UV (Wiltschko & Ritz, 2011) o la forma en que algunas aves escogen frutos con mayor contenido de lípidos para su ingesta según la reflectancia del exocarpo (Schaefer & Jordano 2014). La reflectancia emitida por los plumajes de algunas aves también es un indicador de la calidad de hábitat en que vive (Pagani-Núñez & Senar, 2014).

La estructura que presenta un bosque y los hábitats en un ambiente natural, difieren en el grado de iluminación que a su vez es cambiante y heterogéneo. El color del plumaje de las aves que ocupan estos ambientes se relaciona directamente, por ejemplo: con el gradiente de iluminación vertical dentro de un bosque (Endler, 1993).

En los bosques tropicales de los andes se evidencian diferentes grados de iluminación y composición de luz según el estrato vertical que conforma la estructura del bosque. La geometría de los árboles en los claros del bosque permite la entrada de luz incidente al dosel y al sotobosque (Endler, 1993; Altshuler, 2001; Gómez & Thery, 2004). Generalmente el estrato alto del bosque al que llamamos dosel recibe una mayor intensidad de luz puesto que esta incide de forma directa lo que provoca mayor brillo en el espectro, del mismo modo longitudes de onda corta como el azul y ultravioleta (320 – 490 nm aprox.) están presentes en este estrato vertical con mayor frecuencia (Endler, 1990), en cambio la zona del sotobosque se encuentra impedida gradualmente por la estructura del bosque, en consecuencia tonos verdes, amarillos, naranjas y rojos (500 – 700nm aprox.) son abundantes en este estrato arbóreo (Endler 1990; Gomez y Théry 2004).

Las longitudes de onda que interactúan con las estructuras de la pluma manifiestan el color, algunas categorías de colores pueden ser producidos por pigmentos y algunos otros por estructuras (Burkhardt *et al* 1989; McCoy *et al* 2018). La ingesta de carotenoides en la dieta por ejemplo está relacionada con la producción de colores como el rojo y el naranja, otros como el marrón y tonos más oscuros se producen por la biosíntesis de la melanina en las plumas, mientras que los tejidos estructurales producen tonos azules y violetas, por otra parte, en cuanto a

la combinación de los dos métodos dan como resultado tonos verdes. (Dyck, 1971; Finger *et al*, 1992; Cantarero *et al* 2020)

El croma, la saturación y la intensidad son los tres ejes básicos de variación que influyen en la variación de un color (Lovette & Fitzpatrick 2016). El croma puede ser interpretado como la paleta de colores a la que estamos acostumbrados cuando escogemos un color, pero este únicamente indica la longitud de onda pico de la luz en el espectro electromagnético, mientras que la saturación indica que tantas otras longitudes de ondas se mezclan con la longitud de onda pico, que podría ser interpretado como la pureza del tono o croma, por otra parte, la intensidad es esencialmente el brillo, cuanta luz hay, de esta forma saturación e intensidad se unen para mostrarnos en sentido el color que observamos (Lovette & Fitzpatrick 2016).

Para la ejecución de esta pasantía se tuvieron en cuenta tres parámetros del espectro electromagnético: brillo, croma y UV-croma. Para efectos prácticos entendemos brillo como la cantidad de luz que hay en cada parche de plumas analizado, croma como el color que se manifiesta en dichos parches y UV-croma como un color que solo puede ser interpretado por los posteriores análisis de reflectancia pues al ojo humano es imperceptible.

2.1.1 Método

Área de estudio:

El área de estudio se ubicó en la vereda La Estrella, municipio de Lebrija, Santander, Colombia. (Figura 1). Esta vereda se ubica en un bosque húmedo tropical, su elevación promedio es de 200 m.s.n.m, con una precipitación media total anual 2.500 – 3.000 mm y una temperatura que oscila entre los 19°C y 27°C y una media de 22°C. (IDEAM 2014). La topografía del lugar es relativamente plana con algunas pendientes poco inclinadas. El paisaje es una matriz de potreros para ganadería de bovinos, palma africana de aceite y remanentes de bosque primario. Se estableció un campamento en la finca La Gomera (7.267501 -73.35797) y se hizo una exploración de aproximadamente 2 km² de este punto hacia el noroccidente.

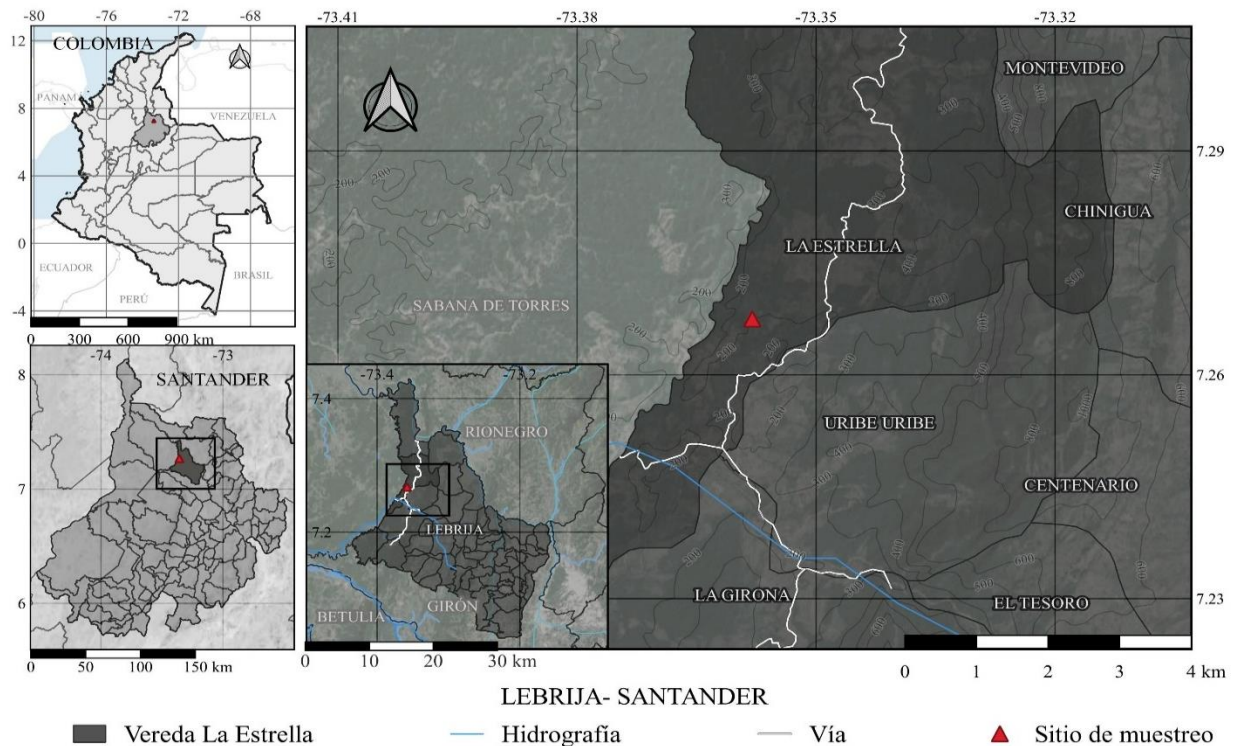


Figura 1: Localización geográfica, líneas de altitud (m.s.n.m.) y lugar de donde los datos de reflectancia fueron obtenidos.

Toma de datos:

Los datos espectrales para la realización de esta pasantía de investigación se obtuvieron en salidas académicas de campo de Ornitología llevadas a cabo del 18 al 25 de mayo de 2018 y del 26 al 30 de septiembre de 2019. La captura de los individuos se realizó mediante la postura de 5 redes de niebla (12 x 2.5 m) que permanecieron abiertas de 6:00 a 11:00 y de 14:00 a 17:00. Cada individuo capturado en las redes de niebla era cuidadosamente desenredado y transportado en una bolsa de tela hasta el lugar de la adquisición de los datos y posteriormente puestos en libertad. Se obtuvieron datos para un total de 53 especies distribuidas en 21 familias y 7 órdenes (Tabla 1).

Espectrofotometría

La reflectancia espectral en los diferentes puntos del plumaje de las aves se midió utilizando un espectrofotómetro portátil AvaSpec-ULS2048L (Avantes Inc., Louisville, CO, USA), una lámpara AvaLight-DHc (Avantes Inc., Louisville, CO, USA) para el rango UV-Vis (200-1100nm) y una sonda de fibra óptica bifurcada, de cuarzo y de 200 μ m de núcleo, previamente calibrada con un comprimido de sulfato de bario (BaSO₄) cada día antes de iniciar la jornada de trabajo. Esta permitió iluminar el plumaje y recoger la luz reflejada en un ángulo de 90° respecto a la superficie de la pluma. La reflectancia de cada región corporal se tomó solo una vez, sin añadir iluminación artificial. Los parches muestreados se tomaron siguiendo lo descrito por Morales (2019) con una ligera modificación que consistía en tomar 7 de las 12 regiones corporales mencionadas en la metodología citada y agregar 5 más. En total se analizaron 12 regiones corporales: frente, corona, nuca, espalda superior, espalda media, espalda baja, timoneras (cola), vientre, pecho, garganta, barbilla y coberteras (ala).

Lectura de datos espectrales y medición de parámetros del color.

Los espectros de cada parche fueron procesados en base a algunos parámetros utilizados usualmente para caracterizar la coloración del plumaje en aves (Montgomerie 2006). Se realizó el procesamiento a través del software Origin Pro-2016 de Origin Lab Corporation y se extrajeron parámetros como brillo, croma y UV-croma de las reflectancias de cada individuo. Estos parámetros son relaciones de área de los espectros y se estimaron de la siguiente forma: (1) Brillo, área bajo el espectro entre los rangos 300 – 700nm dividido por el número total de puntos (679) de cada espectro ($\sum R_{300-700} / 679$); (2) Croma, reflectancia máxima menos reflectancia mínima dividido por el brillo ($R_{max}-R_{min} / \text{brillo}$); y (3) UV-Croma, área bajo el espectro en la región 300 – 400nm dividido por el área bajo el espectro de la región 300 – 700nm ($\sum R_{300-400} / \sum R_{300-700}$) (Endler 1993).

Para la construcción de la matriz de datos se consideró el promedio de 3 mediciones esto hace referencia a que las especies que estaban representadas por más de 3 individuos, por ejemplo: *Glaucis hirsutus* estaba muestreado 9x, se analizaron los 12 parches de solo 3 individuos y se obtuvo una única medición de cada parche en promedio. Los individuos que superaban el 3n por especie representaban el 28,3% del total de especies muestreadas. El % restante de especies estaban representadas con 2 individuos y algunas pocas por 1 especie. Lo anterior se realizó soportado en la idea de que las variaciones en las características de las aves varían más entre especie que dentro de ellas (Pigot *et al.*, 2020). Las aves que se capturaron para la adquisición de los datos de reflectancia en su totalidad pertenecen a la avifauna de la cuenca del Magdalena medio colombiano (Ayerbe, 2020).

Datos ecológicos de las especies

Complementamos las características para las especies con información sobre la prevalencia en los diferentes estratos del paisaje (de 0% a 100% en incrementos de 10%) según lo publicado por Wilman et al., (2014). Para los lugares de forrajeo de las especies se tuvieron en cuenta las descripciones de las guías de campo de aves de Colombia y el sitio web de Cornell Lab of Ornithology (Ayerbe, 2020; McMullan, 2021, Cornell Lab Corporation, 2021). En base a los porcentajes de las categorías en la altura de forrajeo y las descripciones propuestas en las guías de avifauna y el sitio web de Cornell Lab se hicieron ajustes con el fin de crear una matriz de datos que permitiera el análisis estadístico entre dichas variables y la reflectancia, clasificando las especies según su prevalencia en el estrato arbóreo y su lugar de forraje de la siguiente manera:

(a) Altura de forrajeo

Se clasificaron las especies sumando las categorías de prevalencia en el estrato arbóreo superiores a 0%. Cuando una especie pasaba más del 50% de su tiempo por encima del sotobosque medio alto se clasificó como canopy “C” (n= 19). Cuando una especie pasaba más del 50% de su tiempo por debajo del sotobosque medio alto se clasificó como ground “G” (n= 34).

(b) Lugar de forrajeo

Basado en la guía ilustrada de la Avifauna Colombiana de Fernando Ayerbe, (2020), la guía de campo de las Aves de Colombia de Miles McMullan, (2021) y las descripciones de las

especies reportadas en Cornell Lab Ornithology se intentó transformar descripciones verbales en información categórica. De esta forma, cuando las descripciones de distribución y abundancia de las especies coincidían en palabras como: áreas abiertas, pastizales, praderas o sabanas era asignado a la categoría Meadow “M” (n= 3); cuando las descripciones de distribución y abundancia coincidían en contener puntualmente las palabras “bordes de bosque” se asignaba el individuo a Edge “E” (n= 30); y cuando las descripciones de las especies que contenían la palabra “interior de bosque” se asignaron a Forest Interior “Fi” (n=21).

Análisis estadístico

Con los datos procesados en OriginPro se obtuvo una matriz de datos cuantitativos y cualitativos. Todos los espectros tomados en esta pasantía, en el rango de 300 – 700nm se componían de 679 puntos de longitudes de onda, cada punto con su respectivo valor de reflectancia. Como se explica anteriormente, el brillo es el área bajo el espectro de 300-700nm dividido por el total de puntos que son 679. Al ser el brillo una medida obtenida de la división de un mismo número siempre este actuó como un agente de normalización. Croma y UV-croma involucran brillo en su fórmula de obtención. Por la anterior razón no se realizó un análisis de distribución normal a los datos de los parámetros porque son el resultado del producto de una misma medida.

Para conocer de forma gráfica la distribución de las variables y su posible relación con los aspectos ecológicos de las aves involucradas se realizaron análisis de componentes principales (PCA) a cada parámetro (brillo, croma y UV-croma) para explorar y reducir las variables. Con el fin de conocer si existían diferencias significativas entre las variables que mejor

representaba a cada parámetro se realizaron análisis de varianza (ANOVA). Todos los gráficos y análisis estadísticos se realizaron mediante el software libre RStudio (R Core Team 2019).

2.1.2 Resultados

Espectrofotometría

De los espectros de reflectancia procesados en RStudio se obtuvieron parámetros como Brillo, Cromo y UV- Cromo (Figura 2). En estos se muestran los valores máximos obtenidos de cada parámetro. Se evidencian valores mayores en Cromo y Brillo con respecto a UV-Cromo. El valor máximo de Brillo fue de 19.96284 y de Cromo de 52.281 mientras que UV-Cromo máximo fue de 0.576534. Al realizar un PCA de los parámetros de reflectancia en conjunto (Brillo, Cromo y UV-Cromo) para visualizar su distribución de forma gráfica mostraron “frente”, “corona” y “ala” como las variables influyentes que mejor representaban la totalidad de la muestra (ANEXO 1), al realizar análisis estadísticos comparativos de varianza (ANOVA) con los parámetros obtenidos como influyentes en el PCA con respecto a la altura de forrajeo (canopy y ground) y lugar de forrajeo (pradera, borde de bosque e interior de bosque) nos arrojó resultados no significativos. Nos vimos en la necesidad de analizar cada parámetro por separado, un PCA para el Brillo, un PCA para el Cromo y un PCA para el UV-Cromo para lograr una mejor explicación de los datos.

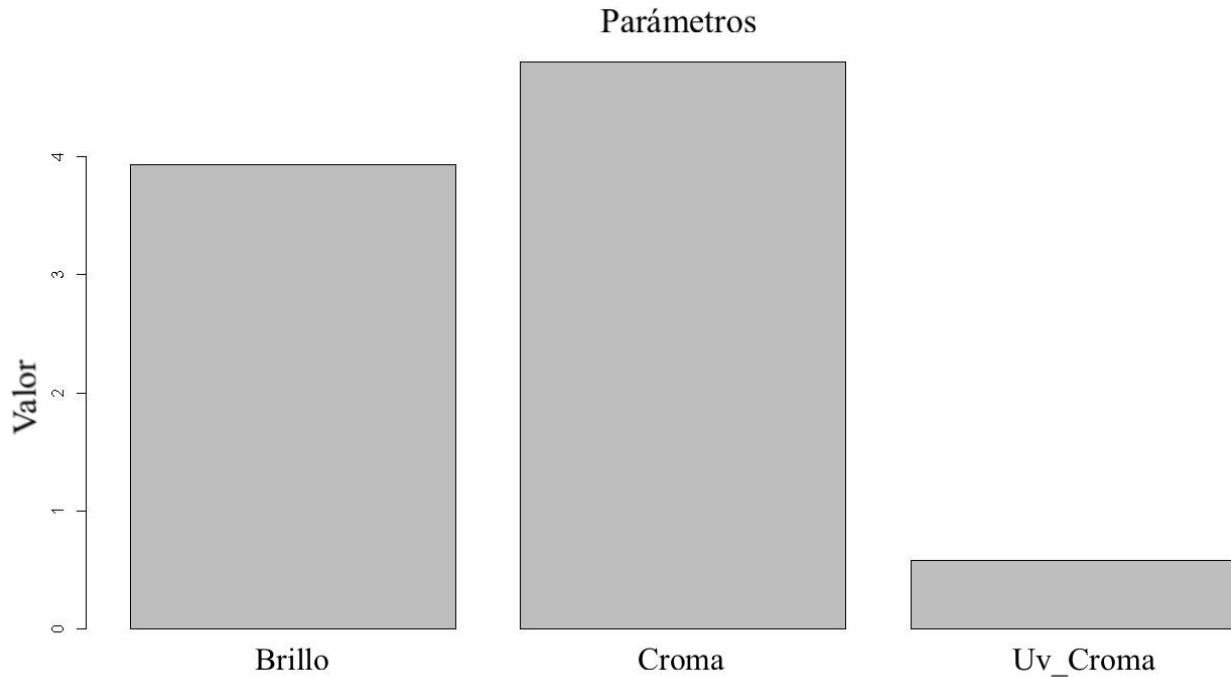


Figura 2: Parámetros de reflectancia obtenidos usando las 11 regiones corporales.

Medición de los parámetros del color.

Un análisis PCA del parámetro Brillo mostró al pecho como la variable influyente (ANEXO 2), dicha variable fue relacionada con los diferentes aspectos ecológicos como altura de forrajeo (Figura 3) y lugar de forrajeo. Pese a que en el box plot (Figura 3) no se evidencian diferencias marcadas de los valores del brillo en el pecho entre las distintas alturas de forrajeo, el análisis de la varianza (ANOVA) arrojó un p-value <0.05 para estas categorías lo que confirma que existen diferencias significativas entre el brillo en el pecho de las aves que forrajeo en el dosel respecto de las que lo hacen en el sotobosque.

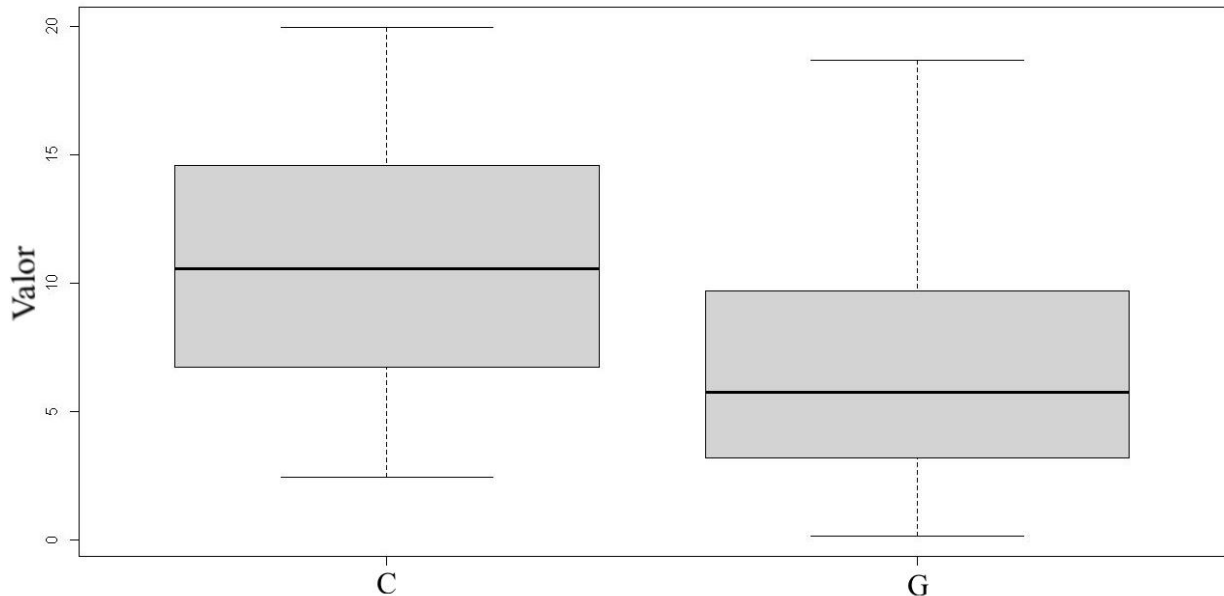


Figura 3: Boxplot del brillo en el pecho por la altura de forrajeo (C) canopy, (G) ground.

El PCA realizado al parámetro Croma (ANEXO 3.a) mostró corona y ala como las variables influyentes, el análisis ANOVA aplicado que relacionó altura de forrajeo y lugar de forrajeo con dicha variable mostraron un $p\text{-value} > 0.05$ en ambos casos. El PCA aplicado al parámetro UV-croma (ANEXO 3.b) reveló al pecho como variable influyente, nuevamente el análisis de varianza ANOVA arrojó un $p\text{-value} > 0.05$ en relación con la altura de forrajeo y lugar de forrajeo.

Un boxplot que relaciona Brillo con todas las regiones corporales vs los lugares de forrajeo reveló que las aves que tienen como estrategia de forrajeo las praderas poseen 7 de las 11 regiones corporales con un brillo por debajo del cuartil inferior con respecto a los otros lugares de forrajeo (Figura 4).

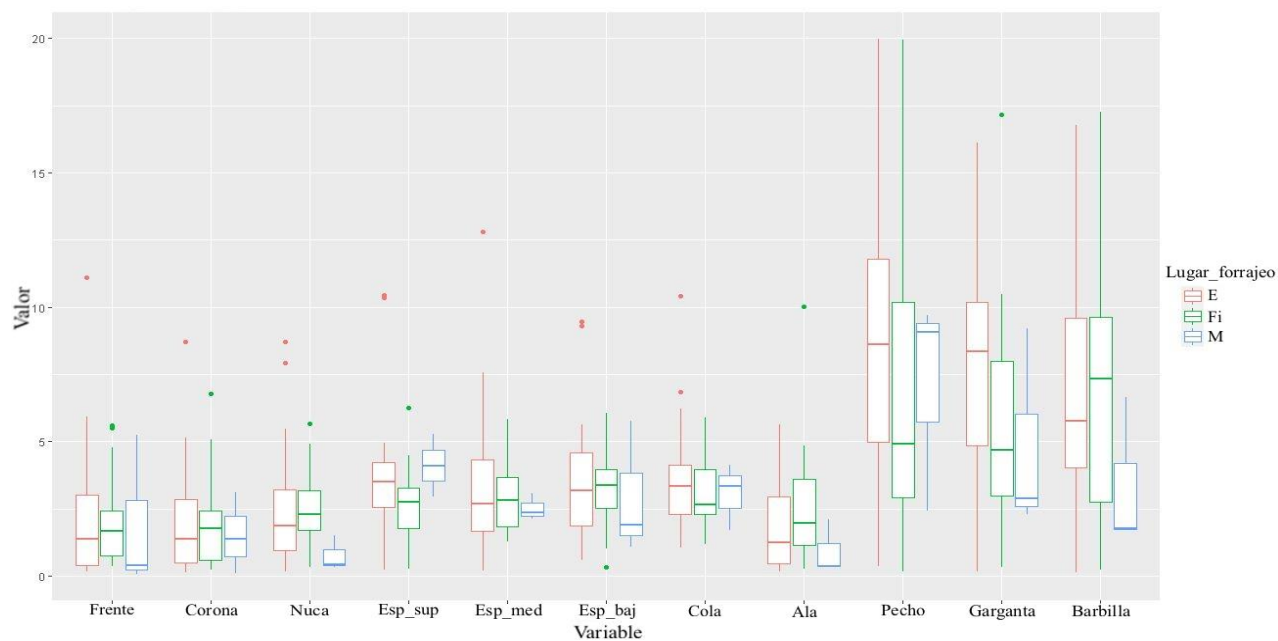


Figura 4: Boxplot del brillo E) edge o borde de bosque, Fi) forest interior o interior de bosque, M) meadow o pradera.

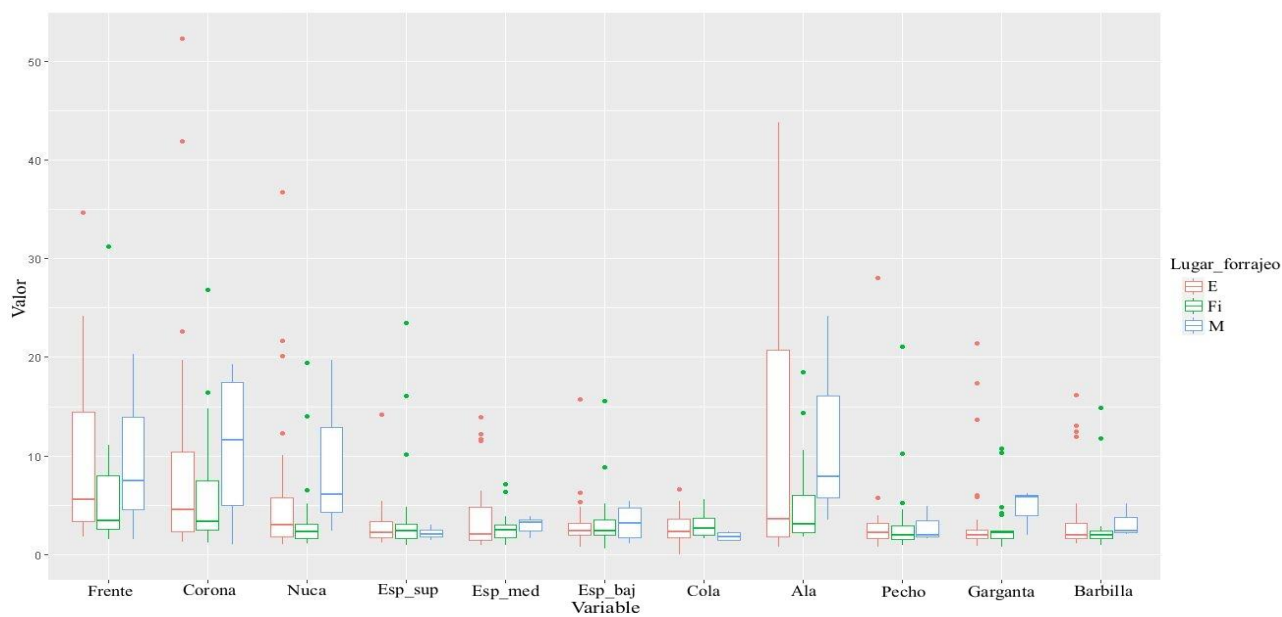


Figura 5: Boxplot del croma. E) edge o borde de bosque, Fi) forest interior o interior de bosque, M) meadow o pradera.

La exploración grafica de Croma con respecto a los lugares de forrajeo evidenció que las especies que habitan las praderas representan los cromas más altos para las variables influyentes de Croma como lo son ala y corona (Figura 5).

Por otra parte, especies que prefieren el borde de bosque como estrategia de forrajeo tienen UV_Croma mayor en 10 de las 11 regiones que las especies del interior del bosque (Figura 6).

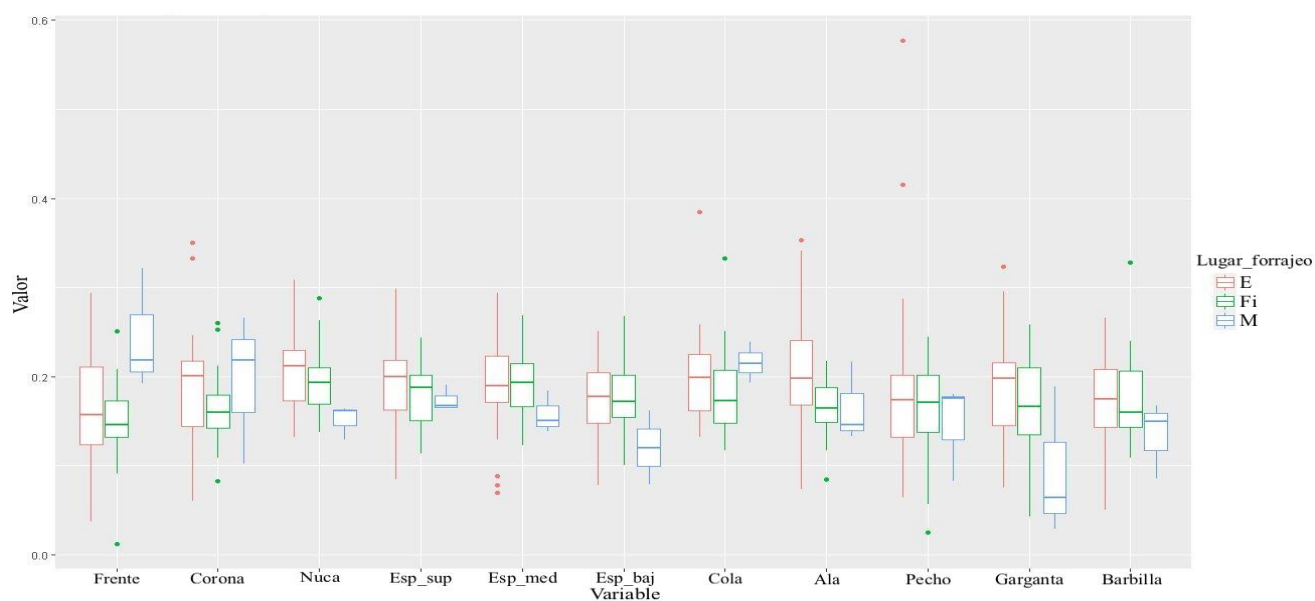


Figura 6: Boxplot del UV croma E) edge o borde de bosque, Fi) forest interior o interior de bosque, M) meadow o pradera.

2.1.2.1 Discusión.

Los resultados presentados sobre los espectros de los plumajes de las aves de Uribe-Uribe se pueden resumir de la siguiente forma: especies que forrajean en el dosel de los bosques tropicales son considerablemente más brillantes. El croma presentado como la coloración de los plumajes, en algunas aves puede ser más intenso dependiendo de su estrategia de forrajeo y el UV-croma está presente en todas las especies muestreadas.

Los anteriores resultados son compatibles con modelos visuales que muestran como la intensidad de la luz sobre los plumajes realza los parches más conspicuos tanto en lo cromático como en lo acromático (brillo) así como también en las longitudes de onda corta (McNaught & Owens 2002; Gómez & Thery 2004; Sicsú & Macedo 2013).

El brillo. Los resultados acromáticos son llamativos por dos razones, primero debido a que esta evidencia (figura 3) sugiere que las aves que frecuentan el dosel son más brillantes y dicho hallazgo soporta la idea de las variaciones de los entornos de luz propuestas por Endler (1993) en el que manifiesta que los estratos arbóreos altos poseen mayor intensidad de longitudes de onda. Por otra parte, la frecuencia de forrajeo en un estrato alto podría ser un mecanismo de cripsis como lo sugieren Gómez & Thery (2004) porque un entorno más brillante en contraposición con un plumaje brillante supone un camuflaje con respecto al fondo del dosel que posee una configuración más heterogénea según su las condiciones ambientales y su geometría arborea (Endler 1993; Heindl & Winkler, 2003). Por otra parte, que la variable influyente en brillo haya sido el pecho obedece al hallazgo presentado por Gomez & Thery (2007) en el que

sugiere que todas las aves del bosque tropical poseen zonas ventrales más claras en relación con el dorso.

En el caso de la asociación del brillo con los lugares de forrajeo (Figura 4) nuestros resultados contradicen la idea de Zahavi & Zahavi (1999), que propone que especies de hábitats abiertos usan plumajes brillantes para lograr una señalización efectiva a larga distancia en relación con aquellas que usan hábitats cerrados. Por lo tanto, nuestros resultados apoyan más lo propuesto por Marchetti (1993), que propone que especies de hábitats relativamente abiertos usan plumajes menos brillantes en relación con aquellas que usan hábitats cerrados, debido a que los entornos abiertos poseen más incidencia de longitudes de onda (Endler 1993), un plumaje con poco brillo en una pradera podría ser el resultado de la interacción con la depredación para evitar ser percibidos fácilmente (Shultz & Burns 2013).

El componente croma. El croma es el componente radial de la representación cilíndrica del brillo, croma y tono del sistema de color de Munsell, representa la intensidad de un color (Nickerson, 1940), en ese sentido nuestros resultados exponen cromas altos o intensos y en algunas ocasiones cromas bajos, de poca intensidad. Dicho croma según Mcnaught (2002) representa valores altos en hábitats parcialmente cerrados, nuestros resultados (Figura 5) arrojaron los cromas más bajos en el interior del bosque posiblemente porque los parches de luz son considerablemente inferiores (Endler 1993), por el contrario nuestro hallazgo está más en concordancia con Sicsú (2013) quien propone que las áreas abiertas como las praderas que reciben más luz poseen cromas altos que permiten un contraste cromático mayor con el fondo para una mejor señalización a larga distancia.

De acuerdo con los gráficos de dispersión entre los valores de brillo y croma de las distintas partes del cuerpo (ANEXO 4) de las aves que forrajean en la pradera, estos presentan una relación inversa. Ya que los que valores de brillo más bajos que sirven para evitar ser cazados en un ambiente luminoso (Shultz & Burns 2013), se acompañan de valores de croma altos con los que pueden ser fácilmente identificados, este efecto compensatorio podría deberse a que estas características de la reflectancia del plumaje pueden estar siendo influenciadas por dos aspectos ecológicos como lo son la depredación y la señalización entre congéneres.

Señalización en el ultravioleta. Las aves del dosel y del sotobosque difieren en su señalización, esto depende de la porción de luz en el ambiente y del propósito, ya sea crípsis o conspicuidad (Endler 1993; Gomez & Thery 2007). Los bordes de bosque son ricos en longitudes de onda corta (Azul y UV) mientras que los lugares cerrados como los interiores de bosque son ricos en longitudes de onda media (verde - amarillo) (Endler 1993). Los resultados obtenidos en esta pasantía (Figura 6) explican parcialmente lo anterior expuesto, el plumaje ultravioleta favorece la señalización en los lugares con abundante luz, pero también lo hace en el sotobosque ya que con respecto al fondo que es oscuro estos parches del plumaje UV generan un mayor contraste lo que resalta la señalización, esto podría estar relacionado con la comunicación interespecífica, un ejemplo claro de esto podría ser el píprido *Manacus manacus* que realiza sus leks en áreas más iluminadas, pero las hembras y los machos sub adultos que poseen un plumaje idéntico a la visión humana prefieren el sotobosque como mecanismo de crípsis, sin embargo manejan un dimorfismo sexual oculto en la región UV de sus pechos que les permite diferenciarse y no gastar energía en cortejos innecesarios (Gomez & Thery 2007; Morales & Castaño 2018).

Obtener reflectancia UV en todas las regiones corporales de nuestros datos nos permite inferir que esta porción del espectro electromagnético es de gran importancia para las aves neotropicales, si bien el color UV está presente tanto en aves de dosel como de sotobosque este parece tener gran importancia a la hora de la comunicación por medio de la señalización (Endler 1993; Gomez & Thery 2004; Quesada 2007).

En resumen, nuestros resultados ponen en manifiesto la importancia de escudriñar con más detalle los datos de reflectancia UV-Vis de las aves neotropicales del Magdalena Medio con el fin de explorar hipótesis que expongan aún más la comprensión de sus plumajes y lo que estos implican en su ecología según los estratos de forrajeo. Nuestro trabajo también incluyó algunas limitaciones, en primer lugar, el tamaño de la muestra pudo ser uno de los factores que influyeron, muchas de las especies muestreadas carecían de una segunda muestra pues el muestreo en la zona era bastante difícil, por un lado, la complejidad del terreno y la densidad del bosque impedían la postura de redes de niebla y por otra parte sigue siendo una zona controlada por el conflicto armado. En segundo lugar, la pandemia mundial del COVID 19 impidió obtener más y mejores datos para la realización de la pasantía por lo que tuvimos que trabajar con los datos que había. Finalmente, nuestro punto fuerte fue conocer de antemano las limitaciones que teníamos y poder obtener resultados significativos en relación con nuestros objetivos.

3. Conclusión

Entre los parámetros de reflectancia analizados en esta pasantía de investigación, el brillo del pecho en las especies que forrajean en el dosel del bosque es significativamente mayor de las que lo hacen en el sotobosque, esta característica podría ser usada como un indicador de preferencia de nicho en algunas especies. Así mismo, la reflectancia UV estuvo presente en todos los parches de plumaje analizados, esto supone una característica importante en el plumaje de las aves al estudiar la ecología de estas.

3.1 Recomendaciones:

Es recomendable que en futuras investigaciones se aumente el número de individuos muestreados por especie para lograr hacer una mayor exploración de los datos. Sumado a esto se recomienda hacer una clara distinción entre machos y hembras, así como de sus posibles edades. Factores como los anteriores posiblemente pueden afectar de forma considerable el resultado obtenido en las reflectancias de los plumajes. Mezclar los sexos en los que el dicromatismo es marcado puede tener implicaciones de un sesgo considerable para los datos representativos de una especie. Adicionalmente, se recomienda la manipulación de los individuos con guantes de látex desde que se bajan de la red de niebla, pasando por la toma de datos hasta su liberación. El sudor producido por las manos afecta la reflectancia del plumaje en el rango ultravioleta.

Referencias Bibliográficas

- Altshuler, D. L. (2001). Ultraviolet reflectance in fruits, ambient light composition and fruit removal in a tropical forest. *Evolutionary Ecology Research*, 3(7), 767-778.
- Ayerbe, F. (2020). *Guía ilustrada de la avifauna colombiana. Segunda edición*. Puntoaparte bookvertising.
- Bowmaker, J. K., & Martin, G. R. (1978). Visual pigments and colour vision in a nocturnal bird, *Strix aluco* (tawny owl). *Vision Research*, 18(9), 1125-1130.
- Burkhardt, D., & Maier, E. (1989). The spectral sensitivity of a passerine birds is highest in the UV. *Naturwissenschaften*, 76(2), 82-83.
- Burns, K. J., & Shultz, A. J. (2012). Widespread cryptic dichromatism and ultraviolet reflectance in the largest radiation of Neotropical songbirds: implications of accounting for avian vision in the study of plumage evolution. *The Auk*, 129(2), 211-221.

- Cantarero, A., Mateo, R., Camarero, P. R., Alonso, D., Fernandez-Eslava, B., & Alonso-Alvarez, C. (2020). Testing the shared-pathway hypothesis in the carotenoid-based coloration of red crossbills. *Evolution*, *74*(10), 2348-2364.
- Casalía, B., Vilacoba, E., Lavinia, P. D., Tubaro, P. L., & Barreira, A. S. (2020). UV sensitive vision in cardinals and tanagers is ubiquitous. *Emu-Austral Ornithology*, *120*(4), 355-359.
- Cornell Lab Corporation. (2021). <https://www.birds.cornell.edu/home/>
- Cronin, T. W., & Bok, M. J. (2016). Photoreception and vision in the ultraviolet. *Journal of Experimental Biology*, *219*(18), 2790-2801.
- Cuthill, I. C., Partridge, J. C., Bennett, A. T., Church, S. C., Hart, N. S., & Hunt, S. (2000). Ultraviolet vision in birds. *Advances in the Study of Behavior*, *29*, 159-4.
- Diniz, P., Ramos, D. M., & Macedo, R. H. (2015). Attractive males are less than adequate dads in a multimodal signalling passerine. *Animal Behaviour*, *102*, 109-117.
- Dugas, M. B. (2015). Commentary: Parental care and the proximate links between maternal effects and offspring fitness. *Oecologia*, *177*(4), 1089-1092.
- Dyck, J. (1971). Structure and spectral reflectance of green and blue feathers of the rose-faced lovebird (*Agapornis roseicollis*). *Biol. Skr.*, *18*(2), 1-67.

- Eaton, M. D. (2007). Avian visual perspective on plumage coloration confirms rarity of sexually monochromatic North American passerines. *The Auk*, *124*(1), 155-161.
- Endler, J. A. (1990). On the measurement and classification of colour in studies of animal colour patterns. *Biological Journal of the Linnean Society*, *41*(4), 315-352.
- Endler, J. A. (1993). The color of light in forests and its implications. *Ecological monographs*, *63*(1), 1-27.
- Finger; D. Burkhardt; J. Dyck (1992). Avian plumage colors. , *79*(4), 187–188.
- Gomez, D., & Théry, M. (2004). Influence of ambient light on the evolution of colour signals: comparative analysis of a Neotropical rainforest bird community. *Ecology Letters*, *7*(4), 279-284.
- Gomez, D., & Théry, M. (2007). Simultaneous crypsis and conspicuousness in color patterns: comparative analysis of a neotropical rainforest bird community. *the american naturalist*, *169*(S1), S42-S61.
- Hausmann, F., Arnold, K. E., Marshall, N. J., & Owens, I. P. F. (2003). Ultraviolet signals in birds are special. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *270*(1510), 61–67.

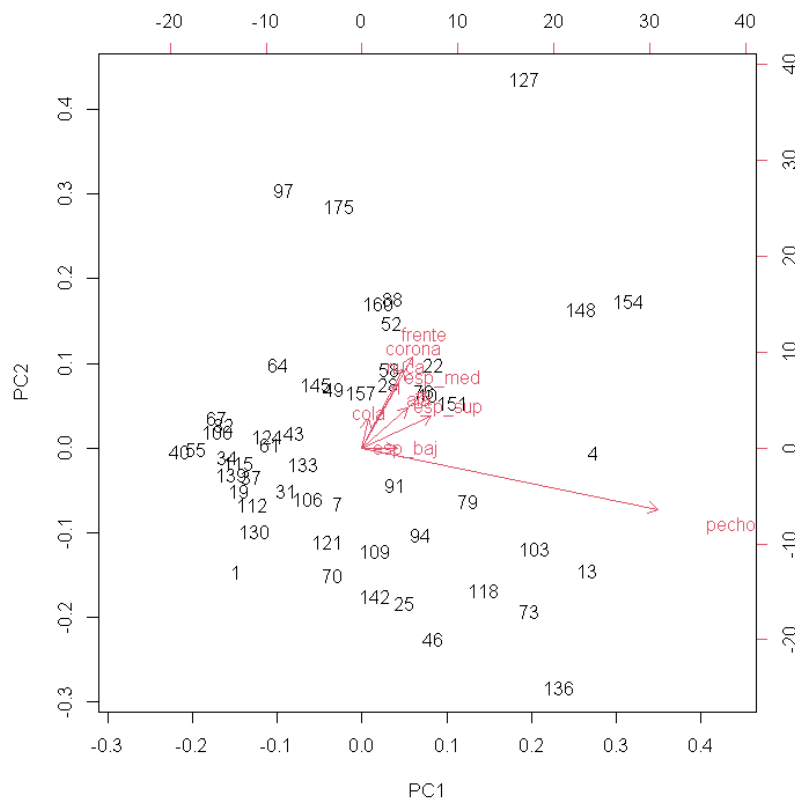
- Heindl, M., & Winkler, H. (2003). Interacting effects of ambient light and plumage color patterns in displaying wire-tailed manakins (Aves, Pipridae). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 53(3), 153-162.
- Hunt, S., Bennett, A. T. D., Cuthill, I. C., & Griffiths, R. (1998). Blue tits are ultraviolet tits. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 265(1395), 451-455.
- Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales IDEAM. (2014). <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima>
- Lind, O., Mitkus, M., Olsson, P., & Kelber, A. (2013). Ultraviolet sensitivity and colour vision in raptor foraging. *Journal of Experimental Biology*, 216(10), 1819-1826.
- Lovette, I. J., & Fitzpatrick, J. W. (Eds.). (2016). *Handbook of bird biology*. John Wiley & Sons.
- McCoy, D. E., Feo, T., Harvey, T. A., & Prum, R. O. (2018). Structural absorption by barbule microstructures of super black bird of paradise feathers. *Nature Communications*, 9(1), 1-8
- McMullan, M. (2021). *Guía de campo de las aves de Colombia*. McMullan Birding & Publishers.

- McNaught, M. K., & Owens, I. P. (2002). Interspecific variation in plumage colour among birds: species recognition or light environment?. *Journal of Evolutionary Biology*, *15*(4), 505-514.
- Marchetti, K. (1993). Dark habitats and bright birds illustrate the role of the environment in species divergence. *Nature*, *362*(6416), 149-152.
- Meneses-Giorgi, M. A., & Cadena, C. D. (2021). Plumage convergence resulting from social mimicry in birds? A tetrachromatic view. *Animal Behaviour*, *180*, 337-361.
- Montgomerie, R. (2006). Analyzing colors. *Bird coloration Mechanisms and measurements*, *1*, 109.
- Morales-Betancourt, J. A., & Castaño-Villa, G. J. (2018). Males in seemingly female-like plumage do not mimic females: UV reflectance reveals temporal cryptic dimorphism in a manakin species exhibiting delayed plumage maturation. *Journal of Avian Biology*, *49*(1), jav-01467.
- Morales, M. E. Estudio espectrofotométrico del plumaje de la Cotorra Argentina (*Myiopsitta monachus*) 2019. (Bachelor's thesis).
- Nickerson, D. (1940). History of the Munsell color system and its scientific application. *JOSA*, *30*(12), 575-586.

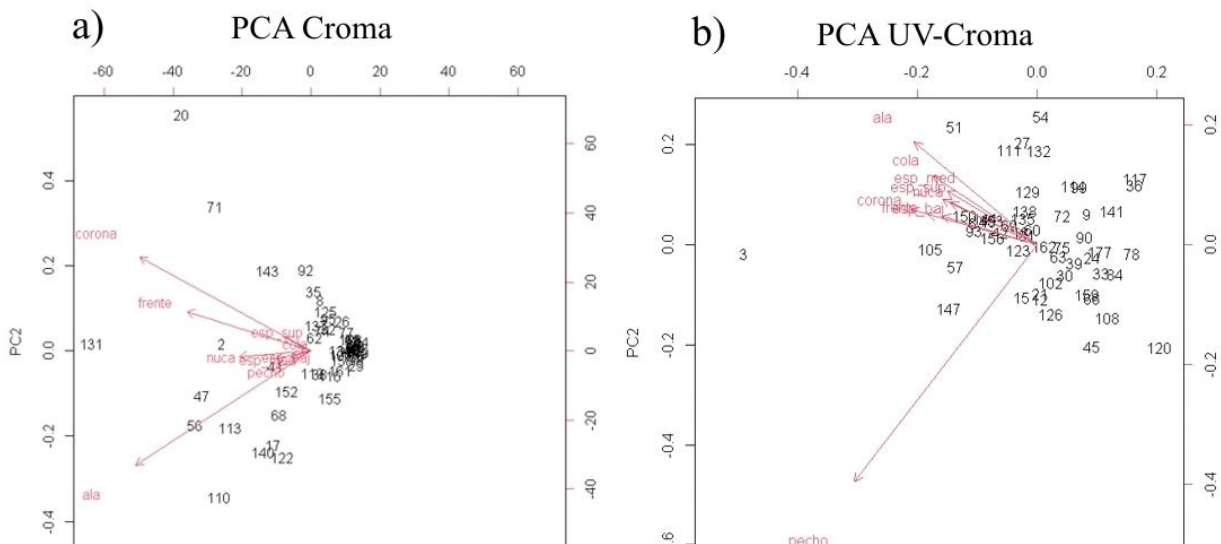
- Ödeen, A., Håstad, O., & Alström, P. (2011). Evolution of ultraviolet vision in the largest avian radiation-the passerines. *BMC Evolutionary Biology*, *11*(1), 1-8.
- Ödeen, A., & Håstad, O. (2013). The phylogenetic distribution of ultraviolet sensitivity in birds. *BMC evolutionary biology*, *13*(1), 1-10.
- Pagani-Núñez, E., & Senar, J. C. (2014). Are colorful males of great tits *Parus major* better parents? Parental investment is a matter of quality. *Acta Oecologica*, *55*, 23-
- Pigot, A. L., Sheard, C., Miller, E. T., Bregman, T. P., Freeman, B. G., Roll, U., ... & Tobias, J. A. (2020). Macroevolutionary convergence connects morphological form to ecological function in birds. *Nature Ecology & Evolution*, *4*(2), 230-239.
- Quesada, J. (2007). *Evolución de la coloración del plumaje basada en señales múltiples* (Doctoral dissertation, Universitat de Barcelona).
- Scanes, C. G., & Dridi, S. (2022). Protein metabolism. In *Sturkie's Avian physiology* (pp. 641-666). Academic Press.
- Schaefer, H. M., Valido, A., & Jordano, P. (2014). Birds see the true colours of fruits to live off the fat of the land. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *281*(1777), 20132516.

- Shultz, A. J., & Burns, K. J. (2013). Plumage evolution in relation to light environment in a novel clade of Neotropical tanagers. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 66(1), 112-125.
- Sicsú, P., Manica, L. T., Maia, R., & Macedo, R. H. (2013). Here comes the sun: multimodal displays are associated with sunlight incidence. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 67(10), 1633-1642.
- Stavenga, D. G., & Wilts, B. D. (2014). Oil droplets of bird eyes: microlenses acting as spectral filters. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(1636), 20130041.
- Tedore, C., & Nilsson, D. E. (2019). Avian UV vision enhances leaf surface contrasts in forest environments. *Nature communications*, 10(1), 1-12.
- Wiltschko, W., Wiltschko, R., & Ritz, T. (2011). The mechanism of the avian magnetic compass. *Procedia Chemistry*, 3(1), 276-284.
- Zahavi, A., & Zahavi, A. (1999). *The handicap principle: A missing piece of Darwin's puzzle*. Oxford University Press

ANEXO 2: PCA aplicado al parámetro “brillo” cuyo primer componente explica un 57.16% de la distribución de los datos.



ANEXO 3: a) el pc1 equivale a un 56.53%. b) el pc1 equivale a un 35.29%.



ANEXO 4: Gráficos de dispersión del brillo versus croma en la pradera

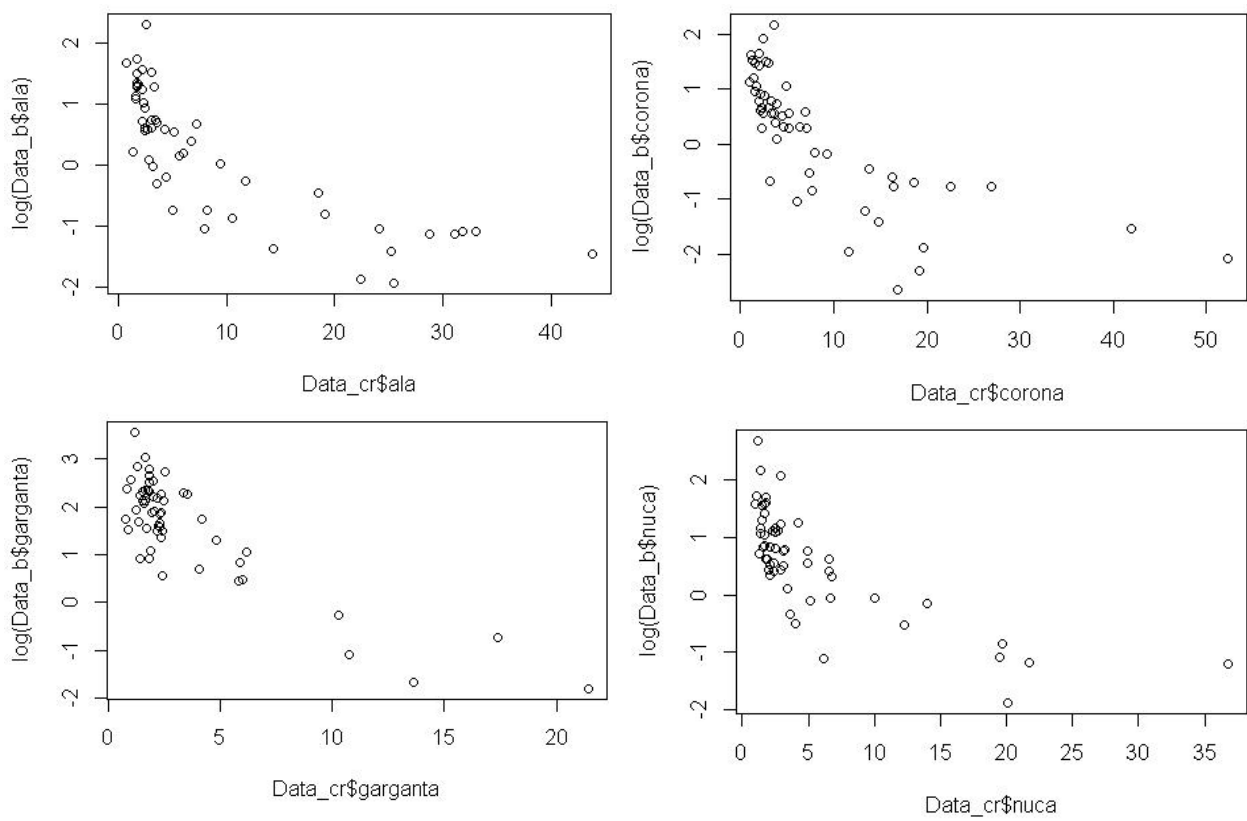


Tabla 1: Especies utilizadas en el estudio de reflectancia UV-VIS

ESPECIE	H.FORRAJEO	L. FORRAJEO	GREMIO ALIMENTICIO
<i>Amazilia tzacatl</i>	Sotobosque	Borde de bosque	Nectarívoro
<i>Arremon aurantirostris</i>	Sotobosque	Interior de bosque	Frugívoro
<i>Campylorhynchus griseus</i>	Sotobosque	Borde de bosque	Insectívoro
<i>Catharus fuscescens</i>	Sotobosque	Interior de bosque	Insectívoro
<i>Catharus ustulatus</i>	Dosel	Interior de bosque	Insectívoro
<i>Chlorophanes spiza</i>	Dosel	Borde de bosque	Frugívoro
<i>Claravis pretiosa</i>	Sotobosque	Borde de bosque	Granívoro
<i>Coereba flaveola</i>	Sotobosque	Borde de bosque	Nectarívoro
<i>Columbina talpacoti</i>	Sotobosque	Pradera	Granívoro
<i>Contopus cinereus</i>	Sotobosque	Borde de bosque	Insectívoro
<i>Cyanoloxia cyanooides</i>	Sotobosque	Interior de bosque	Frugívoro
<i>Cyclarhis gujanensis</i>	Sotobosque	Interior de bosque	Insectívoro
<i>Chlorestes julie</i>	Sotobosque	Interior de bosque	Nectarívoro
<i>Dendrocincla fuliginosa</i>	Sotobosque	Interior de bosque	Insectívoro
<i>Empidonomus varius</i>	Dosel	Borde de bosque	Insectívoro
<i>Eucometis penicillata</i>	Sotobosque	Interior de bosque	Insectívoro
<i>Euphonia laniirostris</i>	Dosel	Borde de bosque	Frugívoro

<i>Formicivora grisea</i>	Sotobosque	Borde de bosque	Insectívoro
<i>Forpus conspicillatus</i>	Dosel	Borde de bosque	Frugívoro
<i>Glaucis hirsutus</i>	Sotobosque	Interior de bosque	Nectarívoro
<i>Glyphorynchus spirurus</i>	Dosel	Interior de bosque	Insectívoro
<i>Gymnocichla nudiceps</i>	Sotobosque	Interior de bosque	Insectívoro
<i>Hemithraupis guira</i>	Dosel	Interior de bosque	Insectívoro
<i>Hylophilus flavipes</i>	Dosel	Interior de bosque	Insectívoro
<i>Icterus nigrogularis</i>	Dosel	Borde de bosque	Frugívoro
<i>Leiothlypis peregrina</i>	Dosel	Interior de bosque	Insectívoro
<i>Leptopogon amaurocephalus</i>	Sotobosque	Interior de bosque	Insectívoro
<i>Malacoptila panamensis</i>	Sotobosque	Interior de bosque	Insectívoro
<i>Manacus manacus</i>	Sotobosque	Interior de bosque	Frugívoro
<i>Megarynchus pitangua</i>	Dosel	Borde de bosque	Insectívoro
<i>Melanerpes rubricapillus</i>	Sotobosque	Borde de bosque	Insectívoro
<i>Mionectes oleagineus</i>	Sotobosque	Interior de bosque	Frugívoro
<i>Myiarchus panamensis</i>	Sotobosque	Borde de bosque	Insectívoro
<i>Myiarchus tyrannulus</i>	Sotobosque	Borde de bosque	Insectívoro
<i>Myiodynastes maculatus</i>	Dosel	Borde de bosque	Insectívoro
<i>Nonnula frontalis</i>	Sotobosque	Borde de bosque	Insectívoro
<i>Onychorhynchus coronatus</i>	Dosel	Interior de bosque	Insectívoro
<i>Pachyramphus cinnamomeus</i>	Dosel	Borde de bosque	Insectívoro
<i>Phaethornis anthophilus</i>	Sotobosque	Borde de bosque	Nectarívoro

<i>Picumnus olivaceus</i>	Sotobosque	Borde de bosque	Insectívoro
<i>Protonotaria citrea</i>	Sotobosque	Borde de bosque	Insectívora
<i>Rhamphocelus dimidiatus</i>	Sotobosque	Borde de bosque	Frugívoro
<i>Saltator maximus</i>	Dosel	Borde de bosque	Insectívoro
<i>Setophaga rutisilla</i>	Dosel	Borde de bosque	Insectívoro
<i>Sporophila funereua</i>	Sotobosque	Pradera	Granívoro
<i>Stelgidopteryx ruficollis</i>	Sotobosque	Pradera	Insectívoro
<i>Thamnophilus negriceps</i>	Sotobosque	Borde de bosque	Insectívoro
<i>Thraupis episcopus</i>	Dosel	Borde de bosque	Frugívoro
<i>Tityra inquisitor</i>	Dosel	Borde de bosque	Frugívoro
<i>Tityra semifasciata</i>	Sotobosque	Borde de bosque	Frugívoro
<i>Turdus leucomelas</i>	Sotobosque	Interior de bosque	Insectívoro
<i>Tyrannus melancholicus</i>	Dosel	Borde de bosque	Insectívoro
<i>Xiphorhynchus susurrans</i>	Dosel	Interior de bosque	Insectívoro