

Procesamiento digital de imágenes de insectos para la determinación del color mediante un sistema de visión computarizada

Carlos Alberto Padrón-Pereira, Asociación RVCTA, Carabobo, Venezuela, carlospadron1@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9433-3161>; Valentina Angelé Padrón-León, Universidad Arturo Michelena, Carabobo, Venezuela, valentinapadron123@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-3027-8057> // Recepción: 13/11/2024, Aceptación: 05/03/2025, Publicación: 06/06/2025

Resumen

Este estudio implementó un sistema de visión computarizada para analizar el color de insectos. Para ello, se capturaron imágenes de una ninfa, tres chinches adultos y un escarabajo (vivo y muerto) bajo luz controlada, solar directa y sombra. Acto seguido, las imágenes se preprocesaron y segmentaron para determinar el color en coordenadas CIE-L*a*b*. De esta manera, se confirmó la variación de color entre chinches adultos y cómo la percepción cambia según la iluminación. Finalmente, aunque no se obtuvo un color representativo del escarabajo, se registraron cambios temporales en su coloración post mortem mediante ΔE y ángulo de tono.

Palabras clave

Edessa rufomarginata; *Cissites maculata*; color de insectos; coordenadas colorimétricas; visión por computadora

Digital processing of insect images for color determination using a computer vision system

Abstract

This study implemented a computer vision system to analyze insect color. To do this, images of a nymph, three adult stink bugs, and a beetle (live and dead) were captured under controlled light, direct sunlight, and shade. The images were then preprocessed and segmented to determine the color in CIE-L*a*b* coordinates. This confirmed the color variation between adult stink bugs and how perception changes depending on lighting. Finally, although a representative color for the beetle was not obtained, temporary changes in its post-mortem coloration were recorded using ΔE and hue angle.

Keywords

Edessa rufomarginata; *Cissites maculata*; insect color; colorimetric coordinates; computer vision

Introducción

Un sistema de visión por computadora consta de una configuración de iluminación en un escenario para la adquisición de imágenes, una cámara digital para la captura de imágenes y una computadora. Una vez capturadas las imágenes, se envían a la computadora para su posterior procesamiento, que involucra a la segmentación, cuantificación y clasificación de las imágenes. La segmentación se utiliza para subdividir la imagen en regiones de interés y de discriminación. En el procesamiento de las imágenes se realiza una serie de operaciones de imagen que mejoran la calidad para eliminar defectos como la iluminación no uniforme (Missimi et al., 2007).

La información de color proporcionada por una cámara digital CCD es a través del espacio de color RGB, y los valores RGB proporcionados por una cámara digital dependen básicamente no solo de la reflectancia de los objetos capturados y de las curvas de respuesta espectral de la cámara, sino también de la distribución de la potencia radiante espectral de la fuente de luz (Corbalán et al., 2000). El espacio RGB está basado en los colores que estimulan los 3 tipos de conos en la retina humana, y por tanto, es un modelo de colores inspirados fisiológicamente (Petro-Balaguer, 2006). No obstante, aunque el espacio de color RGB se utiliza ampliamente en visión artificial y en muchos dispositivos de imagen digital (Lee et al., 2005), para la medición y especificación del color, la Comisión Internacional de la Iluminación, entre varios espacios de color, ha validado el espacio de color CIE-L*a*b* por ser uniforme con respecto a las variaciones de luminosidad, croma, y supone que las diferencias de color medidas en este espacio de color son similares a las diferencias de color percibidas por el sistema visual humano (Corbalán et al., 2000).

La transformación de las coordenadas colorimétricas RGB en coordenadas CIE-L*a*b* involucra una transformación matemática de los valores RGB en valores triestímulo CIE-XYZ y posteriormente a valores CIE-L*a*b* (Corbalán et al., 2000; Escofet-Soteras et al., 2005). Este procedimiento lo realiza el programa Adobe Photoshop CC, versión de 19.1.7. (Adobe Photoshop CC 2018) (Adobe Systems Incorporated, San José, California, EUA); incluso con versiones anteriores o posteriores.

Objeto de estudio

El objetivo general de este trabajo fue procesar digitalmente imágenes de insectos para determinar el color mediante un sistema de visión computarizada haciendo uso de herramientas de diseño

gráfico. El propósito principal se fundamentó en los siguientes objetivos específicos:

- 1) Instalar un escenario con fuente de luz simuladora de la luz del día y calibrar la cámara digital y la computadora;
- 2) Determinar el color promedio en coordenadas colorimétricas del espacio de color CIE-L*a*b*, a partir de imágenes previamente segmentadas de insectos en entornos de luz, sombra y el escenario instalado;
- 3) Calcular la diferencia total de color (ΔE), y el ángulo de tono (h°) del espacio de color CIE-L*C*h°, a través del tiempo, de un insecto muerto dentro de una caja entomológica diseñada para simulaciones y colocada en el escenario.

Fundamentación teórica

En la literatura científica son numerosas las investigaciones sobre mediciones del color mediante visión por computadora (Wu y Sun, 2013) y sus aplicaciones interdisciplinarias son muy amplias: el arte, industria de la moda, ciencia alimentaria, ciencia médica, medicina oriental, agricultura, geología, química, biología, ciencia de los materiales y la ingeniería medioambiental, entre otras muchas aplicaciones (Yoo et al., 2023). Las técnicas y los métodos utilizados son variables, y los equipos empleados para la captura de imágenes incluyen dispositivos como tabletas, teléfonos inteligentes, cámaras digitales, cámaras hiperespectrales, microscopios digitales, ópticos y de escaneo láser, escáneres, colorímetros, espectrorradiómetros, espectrofotómetros, espectrómetros y fotómetros. Entre los programas utilizados destacan: PicMan, LensEye, Adobe Photoshop, Corel PHOTO-PAINT y MATLAB (este último utilizando algoritmos).

En entomología, la visión por computadora se ha orientado en combinación con el aprendizaje profundo, que es una clase de tecnología de programación de aprendizaje automático que se basa en el aprendizaje a partir de grandes conjuntos de datos (Gill et al., 2019) y con capacidad para extraer de forma autónoma características de amplios conjuntos de datos, hacia la automatización de diversos procesos, como el recuento, la selección, la supervisión del bienestar, la evaluación del crecimiento y el seguimiento del comportamiento (Nawoya et al., 2024); centrándose en aplicaciones, como la detección y el seguimiento de insectos, estimación de la biomasa, abundancia y diversidad, la identificación de interacciones entre especies, el comportamiento, la apariencia física y la variación en los rasgos fenotípicos (Høye et al., 2021; Nawoya et al., 2024).

El seguimiento automatizado por video de los insectos polinizadores, sobre el terreno mediante observaciones manuales directas, es un proceso que requiere mucho tiempo y está limitado lógicamente por la mano de obra y las condiciones ambientales. En tal sentido, la visión por computadora, en combinación con el aprendizaje profundo y el seguimiento con cámaras que funcionan a altas velocidades de fotogramas, ha facilitado el estudio del comportamiento individual de los insectos. Además, puede mejorar la precisión en la clasificación automática de especies, ya que se dispone de varias imágenes del mismo individuo para la identificación, siempre que los insectos individuales puedan seguirse correctamente entre fotogramas (Bjerger et al., 2022).

Los modelos de aprendizaje profundo específicamente diseñados para tratar imágenes, las denominadas redes neuronales convolucionales, pueden extraer automáticamente características de las imágenes o de los objetos que contienen y, mediante un aprendizaje de extremo a extremo, pueden clasificarlas con gran precisión. En el campo del aprendizaje profundo, las redes neuronales convolucionales son el algoritmo más famoso y utilizado para la clasificación de imágenes. Su principal ventaja radica en su capacidad para identificar automáticamente características relevantes sin supervisión humana. Lo anterior, en combinación con la visión por computadora, ha permitido mejorar la eficiencia del biomonitorio y la resolución taxonómica en la identificación automatizada de insectos acuáticos (Simović et al., 2024).

En visión por computadora, Roy et al. (2024) han descrito que, para la detección, el seguimiento y la clasificación de insectos nocturnos, se requiere de un sistema automatizado de cámaras, una fuente de alimentación, una fuente de luz para atraer a los insectos al lugar de la trampa, una fuente de luz para iluminar la superficie donde se posan los insectos, una cámara para grabar imágenes y una computadora con almacenamiento para gestionar el sistema y programar la iluminación y la captura de datos. En relación con esto, Bjerger et al. (2021) habían diseñado previamente una trampa de luz automatizada que incluye una batería con un panel solar para el monitoreo automatizado de insectos.

La tendencia en las investigaciones comentadas es debida a la rápida pérdida de biodiversidad de insectos, por causa de amenazas globales como el cambio climático, la contaminación y la pérdida y degradación de hábitats.

Por otro lado, en una investigación cuyo objetivo solo estuvo orientado a determinar o cuantificar el color en insectos, Lehnert et al. (2011) describie-

ron un método para cuantificar el color en patrones complejos de mariposas, específicamente, el porcentaje de color azul en la banda submarginal de las alas posteriores en hembras con morfología amarilla y morfología oscura de la especie *Papilio glaucus*, y el porcentaje de tonos de color anaranjado en las alas de 2 subespecies de *Papilio glaucus* (*Papilio glaucus glaucus* y *Papilio glaucus maynardi*). Para tales fines, utilizaron una combinación de iluminación estandarizada y técnicas de análisis de imagen.

Cada mariposa viva fue colocada individualmente en una caja de luz (o luminosa) con iluminación estandarizada D_{65} (que simula la luz del día), y junto a ella un patrón de color amarillo Labsphere. Dentro de la caja de luz, fijaron una cámara digital a un soporte de aproximadamente 0,3 m de altura para que quedara orientada hacia abajo y la conectaron a una computadora mediante un cable USB. Las fotografías fueron capturadas con la puerta de la caja de luz cerrada. Destaca, que los autores en la computadora utilizaron el programa Camera Control-Pro para controlar el acto de capturar una fotografía con la cámara; por lo tanto, podían capturar una fotografía desde la computadora mientras la cámara estaba dentro de la caja de luz, y la imagen se cargaba en la computadora. Para el análisis de los colores usaron el programa Adobe Photoshop 6.0 para ajustar, modificar y editar las imágenes, y para cuantificar de forma porcentual y analizar el color, el programa LensEye. Entre los resultados obtenidos, no encontraron diferencias significativas en el porcentaje de color azul en las hembras con morfología amarilla y morfología oscura, pero sí en el porcentaje de tonos de color anaranjado entre las 2 subespecies. Es de hacer notar que, aunque los autores determinaron coordenadas colorimétricas L^* , a^* y b^* , los resultados fueron expresados porcentualmente.

Los autores señalan que la investigación, además de proporcionar un medio para analizar el color de insectos vivos, también proporciona un procedimiento para cuantificar especímenes de museo, por ejemplo, para estudiar cómo la dinámica del color cambia en el tiempo.

Joshi et al. (2020), en la edición de imágenes digitales de insectos con fines de uso en publicaciones taxonómicas, describieron técnicas utilizando una combinación de opciones del programa Adobe Photoshop CS5 para el posprocesamiento de imágenes de varias especies de escarabajos, específicamente, mejorar la calidad de imágenes originales capturadas con una cámara SLR con objetivo macro de 100 mm y/o un microscopio binocular estereoscópico con una cámara digital acoplada. Las técnicas involucraron el uso de las

herramientas sobreexponer y subexponer (para aclarar u oscurecer las imágenes respectivamente), el ajuste de los niveles de iluminación mediante la opción curvas, y el ajuste del tono y la saturación del color mediante la opción tono/saturación, entre otras técnicas. Para mejorar la nitidez, los autores cambiaron el espacio de color RGB al espacio de color $L^*a^*b^*$ en combinación con el filtro paso alto; no utilizaron el espacio de color $L^*a^*b^*$ para determinaciones del color y tampoco un escenario con iluminación estandarizada, porque el propósito solo fue mejorar la calidad de imágenes.

En la determinación de la variación continua del color en mariposas de las especies *Colias eurytheme* y *Colias philodice*, a partir de imágenes adquiridas con un escáner y un microscopio con lente zum en condiciones de iluminación constante, Hanly et al. (2023) no realizaron ningún procesamiento. Sin embargo, sí lo aplicaron en las imágenes capturadas con una cámara para luz visible y una cámara convertida a espectro completo para luz ultravioleta. En estas últimas, para corregir la ligera sobreexposición en todas las imágenes de los especímenes completos fijados con alfileres, aplicaron una compensación de sobreexposición mediante la opción "Niveles" del submenú "Ajustes" del menú "Imagen" en Adobe Photoshop; ajuste que modifica uniformemente la luminosidad y no afecta visiblemente a los tonos.

En algunas imágenes el tono fue mejorado, y en otras, con intervalos de píxeles anaranjado-amarillo observados en imágenes con las alas incluidas, fueron rotadas a -180° en el espacio de color HSV utilizando Adobe Photoshop. El programa también fue útil en figuras que presentaban gráficos de análisis de locus de rasgos cuantitativos, en las que, los canales rojos en el espacio de color RGB se transpusieron al canal azul para crear mapas de calor (térmicos) con una escala de color magenta-verde. En esta investigación, todos los valores de los píxeles en el espacio de color $L^*a^*b^*$ fueron muestreados y se les aplicaron filtros de umbral para eliminar los píxeles fuera de la porción amarillo-rojo del espectro.

En alas transparentes de especímenes secos de los órdenes Hymenoptera y Diptera procedentes de colecciones de museos, Shevtsova et al. (2011) indagaron en los patrones de color estructural. Para obtener datos comparables precisos sobre el grosor de las alas, normalizaron las observaciones de los patrones de interferencia de las alas colocándolas horizontalmente sobre un fondo negro y observándolas con ángulos de incidencia próximos a la perpendicular bajo una luz anular blanca. Luego, capturaron fotografías

de alas secas y aplanadas con una cámara en 2 estereomicroscopios equipados con anillos de luz para después, equilibrar el blanco de la cámara y así obtener un fondo blanco antes de colocar las alas sobre un fondo negro y capturarlas con una compensación de exposición ajustada. En este trabajo, el tratamiento de las imágenes en Adobe Photoshop se limitó a recortarlas, añadir hasta un 10 % de saturación, sombrear el fondo completamente de negro y, en algunos casos, neutralizar el polvo de la superficie de las alas con la herramienta pincel corrector puntual.

Existe abundante literatura sobre la captura de imágenes digitales de especímenes de insectos con fines taxonómicos, pero hay muy pocos trabajos sobre los detalles del procesamiento de esas imágenes (Joshi et al., 2020).

Metodología

Montaje del escenario

En una habitación cerrada, en la que la iluminación natural durante el día es consecuencia de poca luz solar difusa —que aumenta y disminuye en función de las condiciones de nubosidad del cielo— y se ilumina artificialmente con una lámpara fluorescente, y durante la noche solo se ilumina artificialmente 2 o 3 horas, permaneciendo luego a oscuras, se colocó sobre un escritorio un portalámpara retráctil. Este utilizaba como fuente de luz una lámpara fluorescente de vidrio prensado, marca General Electric, con reflector parabólico de aluminio con diámetro máximo de 38 octavos de pulgada (PAR38), de 20 w, 60 Hz, 120 V y temperatura de color (T_c) = 6500 °K; que simula la luz del día al mediodía, D_{65} .

La luz de la lámpara se hizo incidir sobre papel tipo carta, marca HP, blanco mate, con densidad 150 g/m² (2 hojas de gramaje 75 g/m², una sobre otra), a una distancia de 20 cm. La cámara digital se ubicó a distancia donde mostró el mejor enfoque sobre texto impreso de color negro. La geometría de las direcciones de iluminación/observación fue $45^\circ/0^\circ$.

Calibración de la cámara digital y distancia del objeto de captura

Se utilizó una cámara digital CCD, marca Panasonic Lumix, DMC-FH4, que tiene un sensor CCD de 1/2,33 pulgadas que posee un rango de enfoque gran angular de 5 cm y un rango de enfoque teleobjetivo de 1 m hasta infinito (Panasonic, 2012).

Sobre texto impreso de color negro en papel digital blanco, se capturaron imágenes de tamaño 5 megapíxeles en modo de grabación imagen normal a distancias de 10, 20 y 30 cm, con flash

apagado, modo de color con ajuste estándar activado, modo de enfoque automático con iluminación para ayudar al enfoque en lugares oscuros, balance del blanco automático según la fuente de luz, ajuste estabilizador de imagen activado y valor de exposición = 0.

En Adobe Photoshop CC 2018, las imágenes fueron visualizadas y se seleccionó la distancia de 10 cm, por mostrar el mejor enfoque sobre texto.

Calibración de la computadora

Se usó una computadora portátil marca HP Pavilion, modelo 17-e117dx, provista de un procesador Intel® Core™ i3-3130M de 2,60 GHz con tarjeta gráfica Intel® HD Graphics 4000, pantalla LCD de 17 pulgadas, memoria RAM instalada de 4,00 GB y sistema operativo de 64 bits, edición Windows 10 Home, versión 22H2.

Se indagó el perfil ICC del dispositivo. En el panel de control, se activó la vista de iconos pequeños y seleccionó la opción administración de color. En el menú opciones avanzadas de la ventana emergente se comprobó que el perfil del dispositivo era sRGB IEC61966-2.1 como predeterminado; no se cambió el perfil ICC. En Adobe Photoshop CC 2018, en el menú edición, submenú ajustes de color, en la ventana emergente de ajuste de color se seleccionó como espacio de trabajo RGB la opción Monitor RGB - sRGB IEC61966-2.1.

La calibración del contraste, ajuste gamma, brillo, saturación de blancos y el gradiente de bandas se hizo en línea siguiendo instrucciones en las páginas de prueba del monitor LCD Lagom (Nienhuys, 2008). La nitidez, uniformidad usando 3 escalas de grises y píxeles defectuosos en fondos de pantalla negro, blanco, rojo, verde y azul se realizó en línea mediante la prueba del monitor EIZO. Acorde a instrucciones (EIZO Europe GmbH, 2024). La T_c de la pantalla LCD se fijó y mantuvo en 6500 °K, utilizando el programa f.lux® (f.lux Software LLC, 2020). Algunos parámetros se encontraban calibrados.

Captura de imágenes de los insectos en su entorno

En el Sector La Pastora, Ciudad de Valencia del Estado Carabobo, Venezuela, en condiciones de luz solar directa y con presencia de nubosidad, para generar sombra, con el propósito de validar que la percepción del color puede cambiar en función de la distribución del color en el entorno (Escofet-Soteras et al., 2005), con la cámara calibrada se capturaron fotografías de una ninfa (cuarto o quinto estadio, largo 14 mm) y un adulto del chinche *Edessa rufomarginata* (chinche 01, largo 19 mm) sobre una planta, y de un escarabajo

Cissites maculata (largo 27 mm) sobre una lámina climatizada que cubre una viga de madera seca en la que se encuentran nidos de abejas carpinteras del género *Xylocopa*. Al chinche ninfa a las 10:58 a. m. (24/09/2024), al chinche adulto a las 11:49-11:50 a. m. (07/10/2024) y al escarabajo a las 9:42 a. m (05/10/2024).

Los 3 insectos fueron elegidos porque su presencia es habitual en esos lugares y su coloración satisface los propósitos del presente trabajo. En el espacio CIE-L*a*b*, el color anaranjado de la ninfa y el escarabajo permite definir valores positivos de la coordenada a*, el color amarillo de la ninfa valores positivos de la coordenada b* y el color verde del adulto del chinche valores negativos de la coordenada a*. Cabe resaltar que el escarabajo también fue elegido, porque la experiencia en observaciones ha evidenciado que cuando se encuentran en los nidos de abejas carpinteras, mueren transcurrido un tiempo después, y en tal sentido, se consideró la factibilidad de evaluar cambios en la coloración a través del tiempo calculando diferencias totales de color (ΔE) y ángulos de tono (h°) del espacio de color CIE-L*C*h*; sin necesidad de sacrificar un insecto.

Edessa rufomarginata (Hemiptera: Pentatomidae) es una plaga secundaria de varias plantas de cultivo, principalmente de la familia Solanaceae. Las ninfas y adultos suelen alimentarse de partes del tallo y más raramente de botones florales y frutos (Silva & Oliveira, 2010). *Cissites maculata* (Coleoptera: Meloidae) está asociado a especies de abejas pertenecientes al género *Xylocopa* (Hymenoptera: Apidae) como cleptoparásito, porque las hembras ovipositan cerca de la entrada de los nidos, y cuando ocurren las eclosiones, las larvas de primer estadio se sujetan a las cerdas de las abejas para ser transportadas al interior, donde ocupan celdas para alimentarse de las reservas de las larvas de abejas (Padrón-Pereira, 2023).

Captura de imágenes en el escenario de los insectos vivos y del escarabajo muerto

Luego de cada captura de imágenes de los 3 insectos en su entorno, fueron recolectados y llevados al escenario. En condiciones de geometría de las direcciones de iluminación/observación 45°/0°, distancia del ángulo de iluminación 20 cm, distancia del ángulo de observación 10 cm, cámara ajustada en modo de grabación imagen normal, flash apagado, modo de color con ajuste estándar activado, modo de enfoque automático con iluminación, balance del blanco automático, ajuste estabilizador de imagen activado y valor de exposición = 0, se capturaron sobre papel blanco mate

con densidad 150 g/m², imágenes de los 3 insectos vivos de 2560 x 1920 píxeles (5 megapíxeles) para la determinación del color en coordenadas colorimétricas. Otros 2 chinches adultos fueron recolectados en el mismo entorno (chinche 02, largo 17 mm; chinche 03, largo 19 mm), después del mediodía (18/10/2024), solo para la determinación del color en coordenadas colorimétricas en el escenario. Después de las capturas de imágenes, los insectos fueron llevados al mismo lugar donde fueron recolectados.

El escarabajo murió 2 días después de las capturas de imágenes, e inmediatamente después de su muerte, fue colocado en una caja de cartón con tapa, forrada con material impermeable y con medidas: altura 2 cm, anchura 8,5 cm y largura 11 cm. La tapa con un vidrio de anchura 6,5 cm y largura 9 cm, para poder observar al escarabajo. A la caja, internamente forrada con papel blanco mate de menor blancura se le colocó el mismo papel utilizado en el escenario. El propósito fue simular una caja entomológica.

No se le colocó alfiler. En la preservación del insecto, no se tomaron en cuenta factores bióticos como los mohos, insectos que se alimentan de materia muerta y los ácaros. Entre los factores abióticos, el ambiente en el escenario presenta una temperatura que puede variar por día entre 22 °C y 33 °C, una humedad relativa variable por día entre 66 % y 89 % (no se colocó sílica gel dentro de la caja para controlar la humedad), y una intensidad y tiempo de exposición a la luz que varía en función de la iluminación natural y artificial en la habitación donde se hizo el montaje del escenario. En la preservación, al escarabajo se le consideró como un ejemplar en seco susceptible a la temperatura, humedad relativa, luz y a otros agentes tanto externos como internos causantes de deterioro.

En las mismas condiciones especificadas al inicio de esta subsección, al escarabajo muerto se le capturaron imágenes para determinar variaciones del color en el tiempo; cada 3 días durante 28 días. La caja se mantuvo fija en la misma posición dentro del escenario. Para las capturas se quitó la tapa y se colocó nuevamente después de realizadas. La lámpara fluorescente de vidrio prensado, usada como fuente luz en el portalámpara retráctil, solo se mantuvo encendida aproximadamente 5 min durante la captura de todas las imágenes del escarabajo y de los chinches ninfa y adulto; en el escenario.

Preprocesamiento de las imágenes

Las imágenes capturadas fueron descargadas en la computadora portátil calibrada y preprocesadas en Adobe Photoshop CC 2018. A las del chinche

ninfa en entorno de luz solar directa y sombra, con la herramienta marco rectangular, en estilo tamaño fijo, ancho y alto 700 píxeles, se realizó una selección en zona paraxial, recortó y guardó el archivo en formato jpg. De forma similar con el chinche 01 (900 x 900 píxeles) y el escarabajo (1000 x 700 píxeles); en los 2 entornos.

A las imágenes capturadas en el escenario, de los insectos vivos y del escarabajo muerto a través del tiempo, se les incrementó el brillo a +150 para remover defectos de no uniformidad en la iluminación y el color. En la zona paraxial, la selección recortada y guardada en formato jpg, fue de ancho y alto 700 píxeles, para todas.

Segmentación de las imágenes

Las imágenes preprocesadas de los insectos vivos en su entorno y en el escenario se editaron en Adobe Photoshop CC 2018 en el modo máscara rápida de la barra de herramientas utilizando la herramienta lápiz para quitar o añadir regiones de la máscara. El color blanco establecido como frontal (R = 255, G = 255, B = 255) permite quitar regiones y el color negro establecido como fondo (R = 0, G = 0, B = 0), si se cambia a frontal, permite añadir regiones. Este procedimiento implica la selección de regiones de interés y de discriminación. Al salir del modo máscara rápida hacia el modo estándar, las regiones quitadas de la máscara se convierten en una selección.

Para las imágenes del chinche ninfa solo se consideró la predominancia de color anaranjado, que incluye el amarillo, en el dorso del abdomen. Con la herramienta marco rectangular se hizo una selección que incluía la región de interés, la cual fue editada en modo máscara rápida quitando o añadiendo regiones. Se cambió al modo estándar, se seleccionó toda la región discriminada que fue coloreada en todos sus píxeles con color negro, después con blanco, y se eliminó el color blanco con la herramienta borrador.

A la imagen obtenida con los 2 colores, con la herramienta varita mágica (tolerancia 40) se seleccionó toda el área en blanco de la imagen y se invirtió la selección para editarla en modo máscara rápida con la herramienta lápiz, excluyendo inicialmente el color amarillo que se eliminó con la herramienta borrador, para posteriormente retroceder en la historia de la imagen y excluir el color anaranjado.

Para las imágenes del chinche 01 en entorno de luz, sombra y en el escenario, y las del chinche 02 y 03 en el escenario, se consideró, a criterio, el color verde de partes del pronoto, del escutelo y los hemiélitros; se discriminó la brillantez y zonas

muy oscuras. Con la herramienta marco elíptico se hizo una selección sobre el chinche que fue editada en modo máscara rápida hasta dejar el color verde relevante. Obtenida la selección de interés, se seleccionó toda la región discriminada que fue coloreada en todos sus píxeles con color negro, después con blanco, y se eliminó el color blanco con la herramienta borrador.

Para las imágenes del escarabajo solo se consideró, a criterio, el color anaranjado de los élitros. Con la herramienta lazo magnético se realizó una selección de los élitros cuyos bordes fueron mejorados editando en modo máscara rápida quitando o añadiendo regiones. Obtenida la selección con los élitros, se seleccionó toda la región discriminada que fue coloreada en todos sus píxeles con color negro, después con blanco, y se eliminó el color blanco con la herramienta borrador.

Con la herramienta varita mágica (tolerancia 40) se seleccionó toda el área en blanco de la imagen, y se invirtió la selección para editarla en modo máscara rápida con la herramienta lápiz excluyendo el color negro de los élitros que fue eliminado con la herramienta borrador. Este paso puede ser omitido, si en lo descrito en el párrafo anterior se incluye el color negro de los élitros como región a discriminar al editar en modo máscara rápida.

Determinación del color

En Adobe Photoshop CC 2018, al producto final de todas las imágenes segmentadas, se les determinó el color promedio en coordenadas colorimétricas del espacio Lab. Este regulador de color en el selector de color, con coordenadas L, a y b (sin asterisco), en realidad corresponde al espacio CIE-L*a*b*, con coordenadas L*, a* y b*; no se debe confundir con las coordenadas L, a y b de HunterLab (Padrón-Pereira et al., 2012) o L_A, a_A y b_A de AnLab (Padrón-Pereira, 2009).

En el menú selección, el submenú "Gama de colores" abre la ventana "Gama de colores", en la que se seleccionó la opción "Muestreados", previsualizar selección con modo "máscara rápida" y se ajustó la tolerancia a 200. Con la herramienta cuentagotas se tomó una muestra del color blanco, se cerró la ventana y la selección mostrada se invirtió en el menú "Selección", submenú "Invertir". Seguidamente, en el menú "Filtro", submenú "Desenfocar", opción media (pulsando 5 veces), se promediaron todos los colores en uno solo. A cada color promediado obtenido en las imágenes se le tomó una muestra con la herramienta cuentagotas que quedó reflejada como color frontal, se abrió la ventana emergente selector de color y se anotaron las coordenadas colorimétricas L*, a* y b*.

Se hizo uso de las coordenadas colorimétricas rectangulares L*, a* y b* del espacio de color CIE-L*a*b* para determinar el color. Para el escarabajo muerto dentro de la caja entomológica en el escenario, a través del tiempo, con las coordenadas L*, a* y b* se calcularon las diferencias totales de color (ΔE) mediante la ecuación:

$$\Delta E = \Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}, \text{ donde:}$$

$$\Delta L = L^*_{\text{Escarabajo muerto}} - L^*_{\text{Escarabajo vivo}}$$

$$\Delta a = a^*_{\text{Escarabajo muerto}} - a^*_{\text{Escarabajo vivo}}$$

$$\Delta b = b^*_{\text{Escarabajo muerto}} - b^*_{\text{Escarabajo vivo}}$$

Con las coordenadas a* y b* se calculó la coordenada colorimétrica polar ángulo de tono (h°) del espacio de color CIE-L*C*h°, a través del tiempo, mediante la ecuación:

$$\text{tono } (h^\circ) = \arctan(b^*/a^*), \text{ para } a^* \text{ y } b^* \text{ positivos.}$$

Resultados y Discusión

Imágenes de los insectos vivos en su entorno y en el escenario

En el espacio de color CIE-L*a*b*, las coordenadas rectangulares L*, a* y b* designan: L*, la luminosidad (0 = negro y 100 = blanco); a*, el color verde (valores negativos) o rojo (valores positivos); de verde a rojo (de -128 a 127) y b*, el color azul (valores negativos) o amarillo (valores positivos); de azul a amarillo (de -128 a 127) (Padrón-Pereira et al., 2012).

La apariencia de los colores anaranjado y amarillo del chinche ninfa varió en los entornos de luz solar directa y sombra. La intensidad de la luz hizo que fueran más claros en entorno de luz ($L^* = 79$). La coordenada a* indicó un mayor valor positivo para el rojo en entorno de sombra ($a^* = 26$). Aunque en ambos entornos la percepción del color amarillo fue minimizada por causa de la luminosidad, la coordenada b* mostró los mismos valores positivos para el color amarillo ($b^* = 42$). La percepción del color depende en cierta medida de la composición del objeto, aunque esto no significa que el color sea una propiedad inherente al objeto que refleja o transmite la luz, ya que si se cambia la fuente de luz también cambia el color del objeto (Meléndez-Martínez et al., 2005). En comparación, la apariencia de ambos colores estuvo mejor definida en el escenario ($a^* = 31$, $b^* = 58$); mayor presencia (tabla 1).

La apariencia del color verde del chinche 01 varió en los entornos de luz y sombra. El color fue más claro en entorno de luz ($L^* = 61$) y el valor negativo para el verde de la coordenada a* fue mayor ($a^* = -35$). En comparación, el chinche 01 en el escenario presentó igual valor de luminosidad que el chinche 01 en el entorno de sombra ($L^* = 56$) y ma-

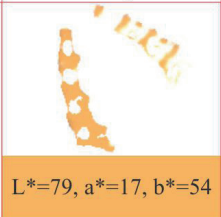
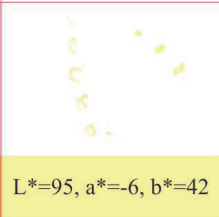
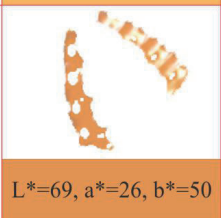
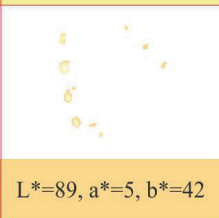
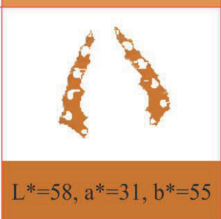
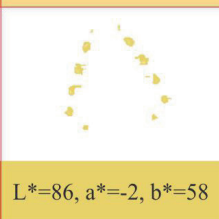
Chinche ninfa	Imágenes segmentadas		Imágenes promediadas	
	Anaranjado	Amarillo	Anaranjado	Amarillo
 Luz >			 $L^*=79, a^*=17, b^*=-54$	 $L^*=95, a^*=-6, b^*=42$
 Luz <			 $L^*=69, a^*=26, b^*=50$	 $L^*=89, a^*=5, b^*=42$
 Escenario			 $L^*=58, a^*=31, b^*=55$	 $L^*=86, a^*=-2, b^*=58$

Tabla 1. Chinche ninfa en entornos de luz, sombra y escenario con imágenes segmentadas y promediadas, con coordenadas colorimétricas. Fuente: Elaboración propia.

yor valor negativo para el verde de la coordenada a^* ($a^* = -42$ versus $a^* = -30$). En el escenario hubo mayor presencia de verde con relación al chinche 01 en luz y sombra (tabla 2).

Brown y MacLeod (1997), han señalado que la apariencia del color no solo depende del color promedio del entorno, sino también de la distribución de colores del entorno en torno al color promedio, y el cambio de la luminosidad del entorno de un objeto, induce un cambio complementario en la luminosidad del color del objeto. En tan sentido, se valida que la percepción del color puede cambiar en función de la distribución del color en el entorno, y también en función de la iluminación.

Por otro lado se podría indicar, con base en la determinación del color en el escenario, que el color anaranjado y amarillo del chinche ninfa en cuarto estadio (Leite et al., 2016), o quinto estadio según otros (Rizzo y Saini, 1987; de Fortes y Grazia, 1990), en coordenadas del espacio CIE- $L^*a^*b^*$ es, respectivamente, $L^* = 58, a^* = 31, b^* = 55$ y $L^* = 86, a^* = -2, b^* = 58$. Asimismo, el color verde del chinche 01 es $L^* = 56, a^* = -42, b^* = 22$. Sin embargo, los adultos de *Edessa rufomarginata*, según su distribución de México a Argentina, presentan variaciones debido a su polimorfismo y se han distinguido espe-

cies en Brasil con coloración dorsal definida como verde, verde claro con puntuaciones amarillentas y marrón. En Argentina, predominantemente con coloración dorsal verde oscura y en Venezuela con coloración dorsal que puede variar del verde oliva al verde oscuro (e Silva et al., 2004).

En la tabla 3 se presentan las variaciones en coloración de los 3 chinches adultos. Para los chinches 02 y 03 los valores de luminosidad ($L^* = 53$ y $L^* = 52$ respectivamente) y los valores negativos para el verde de la coordenada a^* ($a^* = -39$ y $a^* = -38$ respectivamente) fueron muy similares, y para el chinche 01 fueron mayores ($L^* = 56$ y $a^* = -42$). Estos resultados indican, que aunque visualmente los chinches 02 y 03 se perciben con una misma coloración dorsal verde, la del chinche 01 es más oscura, no solo por tener mayor valor de la coordenada a^* sino por mostrar mayor valor de luminosidad, en el sentido de que una mayor luminosidad implicaría que el verde fuese un color más claro, por lo que si varía la coloración en Venezuela. Con base en la determinación del color en el escenario, el color verde de los chinches 02 y 03, en coordenadas del espacio de color CIE- $L^*a^*b^*$ es, respectivamente, $L^* = 53, a^* = -39, b^* = 32$ y $L^* = 52, a^* = -38, b^* = 34$.

Con relación al escarabajo en el escenario, seleccionando a criterio distintas regiones excluyendo los bordes y el color negro, no se generó un color anaranjado representativo de los élitros en el espacio de color CIE-L*a*b*. En tal sentido, se optó por incluir las superficies curvas no tan iluminadas en los élitros por la fuente de luz para generar un color de todos los élitros sin el color negro, que aunque no representativo, genera información. Lo mismo se realizó con el escarabajo en entornos de luz y sombra.

La apariencia de los élitros del escarabajo varió muy poco en los entornos de luz y sombra, porque durante la captura de la imagen en entorno de luz hubo algo de nubosidad. No obstante, la luminosidad fue ligeramente mayor en el asumido entorno de luz ($L^* = 56$ versus $L^* = 48$). Los valores positivos para el color rojo de la coordenada a^* ($a^* = 28$ y $a^* = 29$) y los valores positivos para el color amarillo de la coordenada b^* ($b^* = 50$ y $b^* = 47$) no fueron muy diferentes por la razón expuesta sobre la iluminación del entorno (tabla 4).

El color promedio obtenido en todos los casos se vio afectado por 2 factores: el brillo y la forma curva de los élitros. El color percibido en cada punto de una escena visual depende de la relación entre señales luminosas de ese punto y señales luminosas de las zonas circundantes de la escena (Brown y MacLeod, 1997). Mendoza et al. (2006) han señalado que la luminosidad es afectada por la curvatura de un objeto en el espacio de color CIE-L*a*b*. La extensión de sombras depende del tamaño, la forma y el grado de curvatura de un objeto, y en las superficies curvas, las reflexiones de la luz se ven afectadas por la extensión del radio de curvatura de la superficie, lo que produce un arco complejo de reflexiones e intensidades que también varían a lo largo de la superficie del objeto.

Imágenes del escarabajo muerto en el escenario, a través del tiempo

Con relación al escarabajo muerto dentro de la caja entomológica en el escenario, para determinar variaciones del color en el tiempo, también se incluyeron las superficies curvas no tan iluminadas en los élitros por la fuente de luz para generar un color no representativo de todos los élitros sin el color negro en coordenadas del espacio de color CIE-L*a*b*.

La determinación de la diferencia total de color (ΔE) permite obtener un número real y positivo que se anula cuando el color de 2 objetos comparados es idéntico y el observador no nota la diferencia ($0 < \Delta E < 1$), y así sucesivamente hasta que el color de los 2 objetos comparados es muy

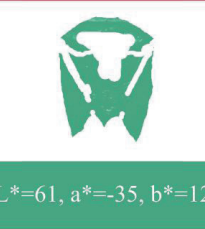
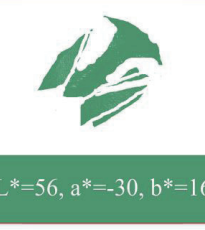
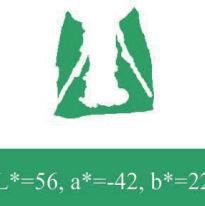
Chinche adulto	Imágenes segmentadas	Imágenes promediadas
		 $L^*=61, a^*=-35, b^*=12$
		 $L^*=56, a^*=-30, b^*=16$
		 $L^*=56, a^*=-42, b^*=22$

Tabla 2. Chinche adulto 01 en entornos de luz, sombra y escenario con imágenes segmentadas y promediadas, con coordenadas colorimétricas. Fuente: Elaboración propia.

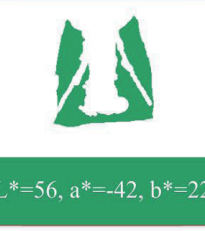
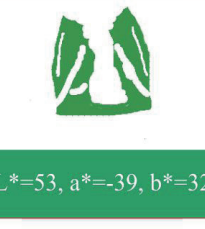
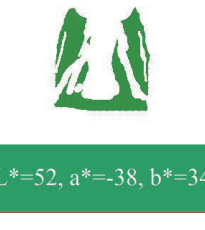
Chinches adultos	Imágenes segmentadas	Imágenes promediadas
		 $L^*=56, a^*=-42, b^*=22$
		 $L^*=53, a^*=-39, b^*=32$
		 $L^*=52, a^*=-38, b^*=34$

Tabla 3. Chinches adultos (01, 02 y 03) en el escenario con imágenes segmentadas y promediadas, con coordenadas colorimétricas. Fuente: Elaboración propia.

Escarabajo	Imágenes segmentadas	Imágenes promediadas
 Escenario		 $L^*=57, a^*=20, b^*=51$
 Luz >		 $L^*=56, a^*=28, b^*=50$
 Luz <		 $L^*=48, a^*=29, b^*=47$

Tabla 4. Escarabajo vivo en el escenario, entornos de luz y sombra con imágenes segmentadas y promediadas, con coordenadas colorimétricas. Fuente: Elaboración propia.

diferente ($5 < \Delta E$) y el observador nota 2 colores distintos (Melgosa et al., 2001; Mokrzycki y Tatol, 2011). Hubo ΔE entre el escarabajo muerto al transcurrir los días y el escarabajo vivo. La mayor ΔE se obtuvo 2 días después de la muerte del escarabajo, considerado el primer día en las determinaciones (12,37), y aunque hubo incrementos y decrementos, a los 28 días el valor de la ΔE fue 7,07 (tabla 5).

Por otro lado, en el espacio CIE-L*a*b*, valores de valores de ángulo de tono o matiz (h°) de 0° a 90° indican una tendencia que va del color rojo paulatinamente cambiando por combinación con el amarillo hasta definirse este último (Padrón-Pereira et al., 2012). La visión humana se caracteriza por la capacidad de detectar magnitudes perceptivas, como el tono, croma y luminosidad. Así, un espacio de color perceptualmente relevante describe el color correspondiente a los cambios percibidos en el tono y croma de un color (Lee et al., 2005). Las variaciones del color en el tiempo se caracterizaron por incrementos y decrementos. El primer día (2 días después de la muerte del escarabajo) el ángulo de tono (h°) fue de $62,95^\circ$ y a los 28 días el valor fue $68,20^\circ$. Cada incremento fue indicador de disminución del color rojo por aumento del amarillo; ambos componentes del anaranjado, y cada decremento un indicador de aumento del color rojo por disminución del amarillo.

Los élitros de los escarabajos están compuestos, en parte, por una capa dorsal que segrega una gruesa lámina cuticular. La coloración puede deberse a una disposición específica de la estructura cuticular que refleja diferencialmente las ondas luminosas causando interferencias luminosas, en este caso, son colores estructurales que se originan por la interacción de la luz con materiales de estructura submicrométrica dando una coloración estructural y en consecuencia la iridiscencia. A diferencia de los colores debidos a la coloración estructural, la coloración también puede deberse a pigmentos en la cutícula dorsal elitral (Noh et al., 2016; Onelli et al., 2017). Entre los pigmentos químicos que contribuyen a la variedad de colores, se encuentran las melaninas, las pterinas, los omocromos, las antraquinonas y los carotenoides, entre otros. Por ejemplo, el contenido de carotenoides es responsable de la coloración variable de naranja a rojo de los élitros del escarabajo *Harmonia axyridis*. Asimismo, los pigmentos similares a la melanina y los quinonoides producidos por el metabolismo de la tirosina desempeñan un papel fundamental en el oscurecimiento de la cutícula dorsal elitral de los escarabajos (Noh et al., 2016). En el escarabajo *Cissites maculata* no se percibió iridiscencia, por lo que la coloración se debe a pigmentos y no a una coloración estructural. No existen registros sobre los pigmentos que contribuyen a la coloración de *Cissites maculata*.

Es de hacer notar que en la pigmentación (bronceado) de la cutícula dorsal elitral, y también en el endurecimiento (esclerotización), se producen reacciones químicas que incluyen la hidroxilación de la tirosina y su posterior descarboxilación a dopamina. Otras reacciones en la melanización son la oxidación de la dopamina en dopamina-quinona, la conversión de esta quinona en dihidroxiindol mediante ciclización intramolecular, la oxidación de dihidroxiindol en melanocromos y la posterior polimerización de los melanocromos para formar pigmentos similares a la melanina (Noh et al., 2016).

Las variaciones del color en el tiempo de *Cissites maculata* en la caja entomológica, se atribuyen a que los pigmentos, como materia orgánica, son susceptibles de desintegración gradual, decoloración y alteración de colores por causa de fluctuaciones en la temperatura, tomando en cuenta que como la temperatura en el escenario pudo variar entre 22°C y 33°C , un incremento en 10°C puede duplicar la tasa de una reacción química. Destaca, que fluctuaciones de temperatura siempre están acompañadas por cambios de la humedad relativa, que por día en el escenario pudo variar entre 66 % y 89 % (Muñoz-Saba y Simmons, 2005).

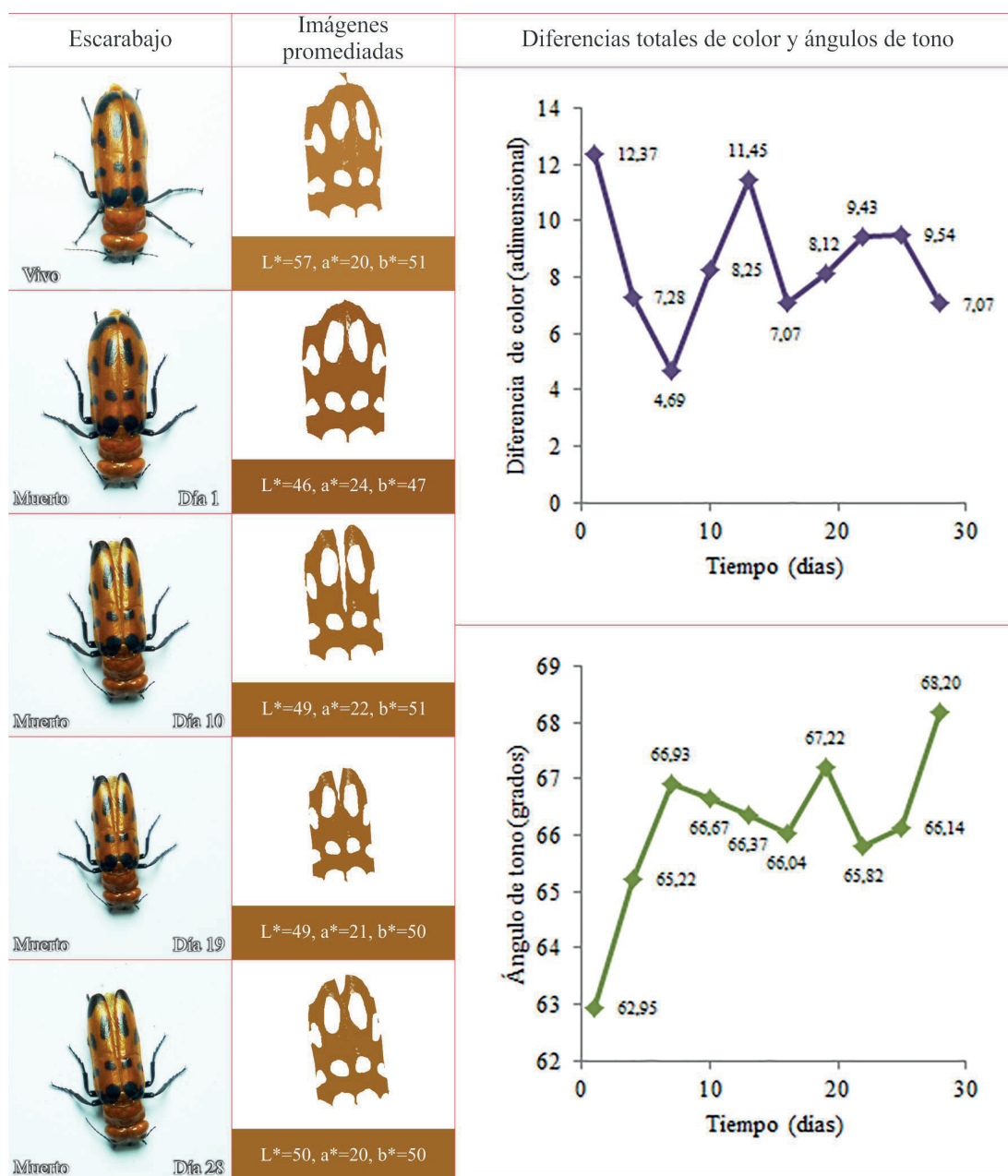


Tabla 5. Escarabajo vivo y muerto en el escenario a través del tiempo, con imágenes promediadas con coordenadas colorimétricas y evolución de las diferencias totales de color (ΔE) y ángulos de tono (h°). Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

El procedimiento, usando un sistema de visión computarizada y haciendo uso de herramientas de diseño gráfico, permitió validar que la percepción del color puede cambiar en función de la distribución del color en entornos diferentes; determinar el color promedio en coordenadas colorimétricas del espacio CIE- $L^*a^*b^*$ en regiones dorsales de

la ninfa y adultos de *Edessa rufomarginata*; y, en adultos, confirmar que la coloración dorsal verde varía en Venezuela.

El procedimiento no permitió determinar un color promedio representativo (anaranjado) en coordenadas colorimétricas del espacio CIE- $L^*a^*b^*$ en élitros de *Cissites maculata*, porque el grado de curvatura generó extensión de sombras.

Esta limitación podría solventarse si se ilumina con 4 lámparas formando una cruz griega colocadas en cada extremo, o con un iluminador anular; en ambos casos manteniendo la geometría de las direcciones de iluminación/observación en $45^\circ/0^\circ$. No obstante, la inclusión de superficies curvas no tan iluminadas en los élitros para generar un color de todos los élitros sin el color negro, aunque no representativo, generó información sobre variaciones en el tiempo de la diferencia total de color (ΔE) y del ángulo de tono (h°) del espacio CIE- $L^*C^*h^\circ$ asociado a los colores rojo y amarillo.

El procedimiento presenta aplicaciones en la evaluación del color en estadios de desarrollo de insectos, determinación del color en insectos vivos, evolución del color en insectos muertos y comparación de variaciones de color entre insectos distintos de una misma especie.

En la literatura científica es habitual encontrar que el color de un insecto observado es definido

con el nombre de un color, y con variaciones entre lo claro y lo oscuro de dicho color, lo que implica una amplia variación en una gama de colores que no queda bien definida. Asimismo, si es expresado en valores de coordenadas colorimétricas, no presenta una imagen, dejando a la imaginación de la persona lectora la visualización del color sugerido, pero con el procedimiento utilizando un sistema de visión computarizada es factible establecer, no solo el color promedio en coordenadas colorimétricas, el cual técnicamente es más formal, sino que además permite, con el programa de fotografía y diseño, una verificación visual y la creación de una imagen con el color promedio.

El presente trabajo no solo aporta un protocolo para el análisis del color en insectos vivos, sino además, un procedimiento para evaluar cambios en la coloración a través del tiempo, por causa de factores bióticos y abióticos, en especímenes de colecciones biológicas de museos.

Referencias bibliográficas

- Bjerge, Kim; Mann, Hjalte M. R. & Høye, Toke Thomas (2022). Real-time insect tracking and monitoring with computer vision and deep learning. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 8(3), 315-327. <https://doi.org/10.1002/rse2.245>
- Bjerge, Kim; Nielsen, Jakob Bonde; Sepstrup, Martin Videbæk; Helsing-Nielsen, Flemming & Høye, Toke Thomas (2021). An automated light trap to monitor moths (Lepidoptera) using computer vision-based tracking and deep learning. *Sensors*, 21(2), 343. <https://doi.org/10.3390/s21020343>
- Brown, Richard O. & MacLeod, Donald I. A. (1997). Color appearance depends on the variance of surround colors. *Current Biology*, 7(11), 844-849. [https://doi.org/10.1016/S0960-9822\(06\)00372-1](https://doi.org/10.1016/S0960-9822(06)00372-1)
- Corbalán, Montse; Millán, María S. & Yzuel, María J. (2000). Color measurement in standard CIELAB coordinates using a 3CCD camera: correction for the influence of the light source. *Optical Engineering*, 39(6), 1470-1476. <https://doi.org/10.1117/1.602519>
- de Fortes, Nora D. F. & Grazia, Jocélia (1990). Estudo dos estágios imaturos de *Edessa rufomarginata* (De Geer, 1773) (Heteroptera - Pentatomidae). *Anais Da Sociedade Entomológica Do Brasil*, 19(1), 191-200. <https://doi.org/10.37486/0301-8059.v19i1.648>
- e Silva, Eduardo José Ely; Fernandes, José Antonio Marin & Grazia, Jocélia (2004). Variações morfológicas em *Edessa rufomarginata* e revalidação de *E. albomarginata* e *E. marginalis* (Heteroptera, Pentatomidae, Edessinae). *Iheringia. Série Zoologia*, 94(3), 261-268. <https://doi.org/10.1590/S0073-47212004000300006>
- EIZO Europe GmbH (2024). Eizo monitor test. Mönchengladbach, Alemania. <https://www.eizo.be/monitor-test/>
- Escofet-Soteras, Jaume; Millán-García-Varela, María Sagrario; Navarro-Belsué, Rafael y Nestares-García, Óscar (2005). *Dispositivo y procedimientos de visión por ordenador para la medida y caracterización de la distribución de color en una muestra*. Patente de invención. Número de publicación: 2 208 076. Oficina Española de Patentes y Marcas. España. 8 p. <http://hdl.handle.net/10261/8398>
- f.lux Software LLC (2020). f.lux® software to make your life better. Los Ángeles, California, EUA. <https://justgetflux.com/>
- Gill, Sukhpal Singh; Tuli, Shreshth; Xuc, Minxian; Singh, Inderpreet; Singh, Karan Vijay; Lindsay, Dominic; Tuli, Shikhar; Smirnova, Daria; Singh, Manmeet; Jain, Udit; Pervaiz, Haris; Sehgal, Bhanu; Singh-Kaila, Sukhwinder; Misra, Sanjay; Aslanpour, Mohammad Sadegh; Mehta, Harshit; Stankovski, Vlado & Garraghan, Peter (2019). Transformative effects of IoT, blockchain and artificial intelligence on cloud computing: evolution, vision, trends and open challenges. *Internet of Things*, 8, 100118. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2019.100118>
- Hanly, Joseph J.; Francescutti, Caroline M.; Loh, Ling S.; Corning, Olaf B.W.H.; Long, Derek J.; Nakatani, Marshall A.; Porter, Adam H. & Martin, Arnaud (2023). Genetics of yellow-orange color variation in a pair of sympatric sulphur butterflies. *Cell Reports*, 42(8), 112820. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2023.112820>
- Høye, Toke T.; Ärje, Johanna; Bjerge, Kim; Hansen, Oskar L. P.; Iosifidis, Alexandros; Leese, Florian; Mann, Hjalte M. R.; Meissner, Kristian; Melvad, Claus & Raitoharju, Jenni (2021). Deep learning and computer vision will transform entomology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(2), e2002545117. <https://doi.org/10.1073/pnas.2002545117>
- Joshi, Nikhil; Ghate, Hemant & Padhye, Sameer (2020). Digital image post processing techniques for taxonomic publications with reference to insects. *Journal of Threatened Taxa*, 12(1), 15173-15180. <https://doi.org/10.11609/jott.5041.12.1.15173-15180>
- Lee, S. M.; Xin, J. H. & Westland, S. (2005). Evaluation of image similarity by histogram intersection. *Color Research and Application*, 30(4), 265-274. <https://doi.org/10.1002/col.20122>
- Lehnert, Matthew S.; Balaban, Murat O. & Emmel, Thomas C. (2011). A new method for quantifying color of insects. *Florida Entomologist*, 94(2), 201-207. <https://doi.org/10.1653/024.094.0212>
- Leite, Germano Leão Demolin; Lopes, Paulo Sérgio Nascimento; Zanuncio, José Cola; Martins, Cristina de Paula Santos; Moreira, Thiago Marçal Borges & da Costa, Renildo Ismael Félix (2016). Effects of environmental and architectural diversity of *Caryocar brasiliense* (Malpighiales: Caryocaraceae) on *Edessa rufomarginata* (Hemiptera: Pentatomidae) and its biology. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 38(1): 19-27. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v38i1.26244>
- Meléndez-Martínez, Antonio Jesús; Vicario, Isabel M. & Heredia, Francisco J. (2005). Instrumental measurement of orange juice colour: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*

- ture, 85(6), 894-901. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2115>
- Melgosa, M.; Pérez, M. M.; Yebra, A.; Huertas, R. & Hita, E. (2001). Algunas reflexiones y recientes recomendaciones internacionales sobre evaluación de diferencias de color. *Óptica Pura y Aplicada*, 34(1): 1-10. <https://opa.sedoptica.es/es/articulo/224>
- Mendoza, Fernando; Dejmek, Petr & Aguilera, José M. (2006). Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis. *Postharvest Biology and Technology*, 41(3), 285-295. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.04.004>
- Missimi, E.; Mathiasse, J. R. & Erikson, U. (2007). Computer vision-based sorting of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fillets according to their color level. *Journal of Food Science*, 72(1), S30-S35. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00241.x>
- Mokrzycki, W. S. & Tatol, M. (2011). Color difference ΔE - a survey. *Machine Graphics & Vision*, 20(4): 383-411. <https://dl.acm.org/doi/abs/10.5555/3166160.3166161>
- Muñoz-Saba, Yaneth & Simmons, John E. (2005). *Cuidado, manejo y conservación de las colecciones biológicas* (pp. 54-70, 126-137). Serie manuales para la conservación 1. Colombia: Instituto de Ciencias Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá / Conservación Internacional Andes CBC. https://www.researchgate.net/publication/266249611_Cuidado_Manejo_y_Conservacion_de_las_Colecciones_Biologicas
- Nawoya, Sarah; Ssemakula, Frank; Akol, Roseline; Geissmann, Quentin; Karstoft, Henrik; Bjerger, Kim; Mwikirize, Cosmas; Katumba, Andrew & Gebreyesus, Grum (2024). Computer vision and deep learning in insects for food and feed production: a review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 216, 108503. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108503>
- Nienhuys, Han Kwang (2008). The Lagom LCD monitor test pages. <http://www.lagom.nl/lcd-test/>
- Noh, Mi Young; Muthukrishnan, Subbaratnam; Kramer, Karl J. & Arakane, Yasuyuki (2016). Cuticle formation and pigmentation in beetles. *Current Opinion in Insect Science*, 17, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2016.05.004>
- Onelli, Olimpia D.; van de Kamp, Thomas; Skepper, Jeremy N.; Powell, Janet; dos Santos-Rolo, Tomy; Baumbach, Tilo & Vignolini, Silvia (2017). Development of structural colour in leaf beetles. *Scientific Reports*, 7, 1373. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-01496-8>
- Padrón-Pereira, Carlos Alberto (2009). Sistema de visión computarizada y herramientas de diseño gráfico para la obtención de imágenes de muestras de alimentos segmentadas y promediadas en coordenadas CIE-L*a*b*. *Revista Agronomía Costarricense*, 33(2), 283-301. <https://doi.org/10.15517/rac.v33i2.6727>
- Padrón-Pereira, Carlos Alberto (2023). Aporte al conocimiento de la biología de *Cissites maculata* (Coleoptera: Meloidae) en Venezuela. *Novitates Caribaea*, 21, 40-52. <https://doi.org/10.33800/nc.vi21.326>
- Padrón-Pereira, Carlos Alberto; Padrón-León, Gisel Marié; Montes-Hernández, Adriana Isabel y Oropeza-González, Rafael Antonio (2012). Determinación del color en epicarpio de tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) con sistema de visión computarizada durante la maduración. *Revista Agronomía Costarricense*, 36(1), 97-111. <https://doi.org/10.15517/rac.v36i1.9969>
- Panasonic (2012). Basic owner's manual. Digital camera. Model No. DMC-FH6 / DMC-FH4. https://help.na.panasonic.com/wp-content/uploads/2023/02/DMCFH4_FH6_VQT4G39_ENG.pdf
- Petro-Balaguer, Ana Belén (2006). *Analytical methods for the study of color in digital images*. Dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctora en Matemàtiques. Universitat de les Illes Balears. 150 p. <http://hdl.handle.net/10803/9409>
- Rizzo, H. F. y Saini, E. D. (1987). Aspectos morfológicos y biológicos de *Edessa rufomarginata* (De Geer) (Hemiptera, Pentatomidae). *Revista de la Facultad de Agronomía*, 8(1-2), 51-63. <http://ri.agro.uba.ar/greenstone3/library/collection/rfa/document/1987rizzoH>
- Roy, D. B.; Alison, J.; August, T. A.; Bélisle, M.; Bjerger, K.; Bowden, J. J.; Bunsen, M. J.; Cunha, F.; Geissmann, Q.; Goldmann, K.; Gomez-Segura, A.; Jain, A.; Huijbers, C.; Larrivé, M.; Lawson, J. L.; Mann, H. M.; Mazerolle, M. J.; McFarland, K. P.; Pasi, L.; Peters, S.; Pinoy, N.; Rolnick, D.; Skinner, G. L.; Strickson, O. T.; Svenning, A. Teagle, S. & Høye, T. T. (2024). Towards a standardized framework for AI-assisted, image-based monitoring of nocturnal insects. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 379(1904), 20230108. <https://doi.org/10.1098/rstb.2023.0108>
- Shevtsova, Ekaterina; Hansson, Christer; Janzen, Daniel H. & Kjærandsen, Jostein (2011). Stable structural color patterns displayed on transparent insect wings. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(2), 668-673. <https://doi.org/10.1073/pnas.1017393108>

15 en prensa

Carlos Alberto Padrón-Pereira
Valentina Angelé Padrón-León

RSCH

grafica

documents de disseny gràfic
documentos de diseño gráfico
journal of graphic design

Silva, Daniel P. & Oliveira, Paulo S. (2010). Field biology of *Edessa rufomarginata* (Hemiptera: Pentatomidae): phenology, behavior, and patterns of host plant use. *Environmental Entomology*, 39(6), 1903-1910. <https://doi.org/10.1603/EN10129>

Simović, Predrag; Milosavljević, Aleksandar; Stojanović, Katarina; Radenković, Milena; Savić-Zdravković, Dimitrija; Predić, Bratislav; Petrović, Ana; Božanić, Milenka & Milošević, Djurdj (2024). Automated identification of aquatic insects: a case study using deep learning and computer vision techniques. *Science*

of The Total Environment, 935, 172877. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172877>

Wu, Di & Sun, Da W. (2013). Colour measurements by computer vision for food quality control - a review. *Trends in Food Science & Technology*, 29(1), 5-20. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.08.004>

Yoo, Woo Sik; Kang, Kitaek; Kim, Jung Gon & Yoo, Yeongsik (2023). Image-based quantification of color and its machine vision and offline applications. *Technologies*, 11(2), 49. <https://doi.org/10.3390/technologies11020049>

