

Estructura ocular de *Callinectes sapidus*

Ocular structure of the *Callinectes sapidus*

Barradas-Barradas José Ricardo¹, Valero-Pacheco Elizabeth², Abarca-Arenas Luis Gerardo³,
Álvarez-Noguera Fernando⁴ y Alvarado-Olivarez Mayvi¹

¹Instituto de Neuroetología, Universidad Veracruzana, Av. Luis Castelazo s/n, carr. Xalapa-Veracruz, km 3.5, C.P. 91190 Xalapa, Veracruz, México. ²Facultad de Biología, Campus Xalapa, Universidad Veracruzana. Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán s/n Zona Universitaria C.P. 91090 Xalapa, Veracruz, México. ³Instituto de Investigaciones Biológicas, Universidad Veracruzana, Av. Luis Castelazo s/n, Col. Industrial las Animas C.P. 91190 Xalapa, Veracruz, México. ⁴Colección Nacional de Crustáceos, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510 D.F., México.

NOTA SOBRE LOS AUTORES

Barradas-Barradas José Ricardo: barradasbarradas.ricardo@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0002-5175-0878>

Valero-Pacheco Elizabeth: evalero@uv.mx  <https://orcid.org/0000-0002-5619-740X>

Abarca-Arenas Luis Gerardo: luisgaa@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0001-6154-7788>

Álvarez-Noguera Fernando: falvarez@unam.mx  <https://orcid.org/0000-0002-7347-5483>

Alvarado-Olivarez Mayvi: malvarado@uv.mx  <https://orcid.org/0000-0003-2568-7788>

Esta investigación fue financiada con recursos de los autores y la beca CONAHCYT No.714837.

Los autores no tienen ningún conflicto de interés al haber hecho esta investigación.

Remita cualquier duda sobre este artículo a Barradas-Barradas José Ricardo.

RESUMEN

La jaiba *Callinectes sapidus*, habita en costas tropicales y templadas, en aguas de bahías, lagunas costeras, esteros y desembocaduras de ríos. Son omnívoros, bentónicos, oportunistas, activos y

voraces. Se sugiere que los ojos de esta especie sean del tipo de superposición, debido a que son organismos de actividad nocturna, lo que les permite encontrar alimento y pareja en ese periodo. Sin embargo, sus ojos se someten a una columna de agua y a diferentes gradientes de salinidad, aunado a la exposición de las diferentes intensidades lumínicas de la luna. Este estudio consistió en describir la estructura interna del ojo de *Callinectes sapidus* para determinar si correspondía al ojo compuesto de aposición. La colecta de los organismos se realizó en la Laguna de La Mancha, Actopan Veracruz, Mex., colectando 60 organismos, que fueron fijados en Bouin. El tejido ocular se sometió a técnicas histológicas, teñidos con Hematoxilina & Eosina. Como resultado se encontró, que cada omatidia está constituida por cuatro estructuras: córnea, cristalino rhabdoma y membrana basal. La córnea es delgada y a su vez está dividida en dos capas. El cristalino, constituido por cuatro células organizadas en forma de cono. El rhabdoma se forma de siete células rabdomicas alineadas longitudinalmente. La porción profunda del rhabdoma está relacionada con la membrana basal. En este sitio de unión rhabdoma-membrana basal se distribuyen terminaciones de fibras nerviosas agrupadas para cada célula rabdomicas. Conclusión: la organización estructural de las omatidias de *Callinectes sapidus*, comprende a un ojo compuesto de superposición característico de organismos nocturnos.

Palabras claves: Células Pigmentarias, Córnea, Cono, Omatidio y Rhabdoma

ABSTRACT

The crab *Callinectes sapidus*, inhabiting tropical and temperate coasts, in the waters of bays, coastal lagoons, estuaries and river mouths. They are omnivorous, benthic, opportunistic, active and voracious. It is suggested that the eyes of this species are of the overlapping type, as they are nocturnal organisms, which allows them to find food and a mate during this period. However, your eyes are subject to a water column and different salinity gradients, along with exposure to different intensities of moonlight. This study consisted of describing the internal structure of the eye of the *Callinectes sapidus* to determine if it corresponded to the appositional compound eye. The collection of organisms was carried out in Laguna de La Mancha, Actopan Veracruz, Mex., collecting 60 organisms, which were fixed in Bouin. Ocular tissue was submitted to histological techniques, stained with Hematoxylin & Eosin. As a result, it was found that each ommatidium is composed of four structures: cornea, lens, rhabdomyoma and basement membrane. The cornea is thin and in turn is divided into two layers. The lens, made up of four organized cells, in the cone shape. The rhabdomyoma is composed of seven long, longitudinally aligned rhabdomic cells. The deep portion of the rhabdomyoma is associated with the basement membrane. The bundled nerve fiber endings for each rhabdomic cell are distributed at this junction site of the rhabdomyobasal

membrane. Conclusion: the structural organization of ommatidia of the *Callinectes sapidus* includes an eye of the overlapping type characteristic of nocturnal organisms.

Keywords: Pigment Cells, Cornea, Cone, Ommatidium and Rhabdomyoma.

INTRODUCCIÓN

Los cangrejos pertenecientes a la Familia Portunidae, son organismos acuáticos. Dentro de esta familia, el género *Callinectes* (Stimpson, 1860) abarca 16 especies (Williams 1974); de ellas, *Callinectes sapidus* (Rathbun 1896), habita en costas tropicales y templadas, en aguas de bahías, lagunas costeras, esteros y desembocaduras de ríos, a una temperatura entre los 18 y los 23° C, y a profundidades de entre 40cm y 2m, encontrándose en fondos de diferente textura y profundidades variables (Ortiz et al. 2007). Siendo organismos que presentan una actividad nocturna. Debido a las características de su hábitat deben tener todos sus sentidos en alerta, uno de los más importantes es la visión, compuesta por los ojos, los cuales le permiten interactuar y guiarse en el entorno para escapar y protegerse de los depredadores, así como alimentarse y llevar a cabo sus actividades diarias. Lo que provoca que el ojo este sujeto a distintas intensidades lumínicas y condiciones durante la noche.

El ojo es un órgano sensorial, que permite la percepción visual del mundo. Los ojos compuestos de artrópodos están formados de unidades ópticas independientes llamadas ommatidias. Una de las funciones básicas del ojo es la sensibilidad a la luz y la transducción del nervio óptico hasta el ganglio cerebral (Meyer, 2001). De acuerdo con la sensibilidad lumínica se pueden dividir en ojos compuestos de aposición, en donde el aparato dióptrico y fotorreceptor están unidos permitiendo que la luz entre de manera directa al rabdómero y la luz proveniente de otras direcciones se absorba en las paredes oscuras del ommatidio, presentando la capacidad de distinguir objetos a distancia y detección de movimientos rápidos (Sandeman, 1967). En los ojos compuestos de superposición, el aparato dióptrico y el fotorreceptor están separados por una zona clara y todos los fotorreceptores comparten unidades corneales dióptricas, en donde cada lente refleja la luz en un ángulo igual al que recibe, aumentando la sensibilidad a la luz en el ojo y así tener la capacidad de distinguir objetos con poca luz (Panagiotis, 2009). Los ojos de aposición se encuentran comúnmente en insectos o crustáceos activos durante el día, y los de superposición en insectos o crustáceos activos durante la noche (Talens, 2008; Fonte, 2012).

Hasta ahora los ojos compuestos solo se han descrito en ciertos insectos voladores y en algunos crustáceos (Mishra, 2013; Chen y Hua, 2016), siendo importante describir la estructura ocular de crustáceos acuáticos como lo es la jaiba o cangrejo *Callinectes sapidus*, debido a que está sujeto a diferentes gradientes de salinidad y a una columna de agua. Por ello, el presente

estudio tiene el objetivo de describir la morfología interna del ojo y establecer qué tipo de ojo compuesto que tiene *Callinectes sapidus* de acuerdo con los dos tipos de ojos compuestos: aposición y superposición.

MATERIAL Y MÉTODO

Colecta de individuos. Los cangrejos *Callinectes sapidus* fueron colectados en la Laguna “La Mancha”, perteneciente al Municipio de Actopan, Veracruz, México, ubicada en las coordenadas Latitud: 19° 12' 30" N y Longitud: 96° 07' 59" O (INEGI 2020). Se colectaron sesenta cangrejos adultos, durante las horas nocturnas e inmediatamente fueron insensibilizados con hielo y fijados en medio Bouin.

El procesamiento de las muestras de los ejemplares colectados se realizó a partir de la extracción de los ojos mediante cirugía, con ayuda de un microscopio estereoscópico (Marca Leica MC170 HD). Los ojos extraídos se diferenciaron de machos y hembras. De los 60 pares de ojos extraídos (30 pares de machos y 30 pares hembras), fueron procesados con técnica histológica para microscopia de luz. Para ello, el tejido se deshidrató pasándolo por alcoholes graduales a partir de 70%, hasta llegar al alcohol absoluto. Una vez deshidratado el tejido, éste se fijó en parafina y se les realizaron cortes a 10 µm en un micrótopo de manivela (Marca Reichert Jung), finalmente fueron teñidos con Hematoxilina y Eosina (H y E) (Luna, 1958). Los tejidos, se revisaron en el microscopio compuesto (Marca Leica S6D), y se tomaron fotografías de la estructura celular mediante una cámara (Lumenera Infinity1) para posteriormente identificar la organización del omatidio.

RESULTADOS

Los ojos de *C. sapidus* son elipsoidales (ovalados) situados en pequeños pedúnculos en la parte delantera del caparazón. Cada ojo compuesto está constituido por omatidios, que consta de una lente corneal plana y un cristalino en forma de cono (constituido de cuatro células) que dirigen la luz al rhabdoma, como se describe en otros crustáceos.

La córnea, en el ojo de *Callinectes sapidus* está formada por quitina modificada al igual que los invertebrados de cuerpo duro, es la primera estructura que permite la refracción y transmisión de la luz. Siendo la ventana a través de la cual la luz entra al omatidio en camino a los fotorreceptores (Bernard y Miller, 1968). La estructura de la córnea, es plana de forma hexagonal y se encuentra dividida en dos secciones, las cuales se identifican del exterior al interior como sección externa (I), y sección interna (II) (Fig. 01), siendo la sección II la que está en contacto

directo con el cristalino en forma de cono. El grosor de la córnea en promedio es de $14.25 \pm 5 \mu\text{m}$.

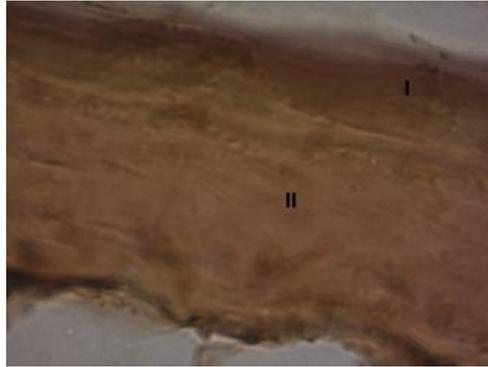


Figura 01. Microfotografía de la Córnea del ojo de *Callinectes*. I: Capa externa y II: Capa interna. Técnica HyE.

La sección externa (I), es una cinta delgada en forma hexagonal y transparente, que permite el flujo lumínico hacia el interior del ojo. La sección interna (II), presenta dos laminaciones, las cuales presentan una forma de plato, lo que le da una forma cóncava. La segunda lámina está constituida de tejido conjuntivo, por medio del cual permite adherirse a los cristalinos.

La amplia capa del cristalino en *C. sapidus*, está constituida por cuatro células cristalinas las cuales se asocian en forma de cono (Fig. 02). Siendo en la parte superior redonda, la cual se va adelgazando hacia la parte inferior, hasta terminar en punta para entrar en contacto con el rhabdoma. Esta forma de cono se debe a la guía de la luz hacia la siguiente capa. Entre cada cono cristalino, se encuentra una zona clara, mientras que, en la base del cristalino, justo antes de llegar al rhabdoma, se observa que el cristalino, está rodeado por una densa pantalla pigmentada formada por las células pigmentarias proximales.

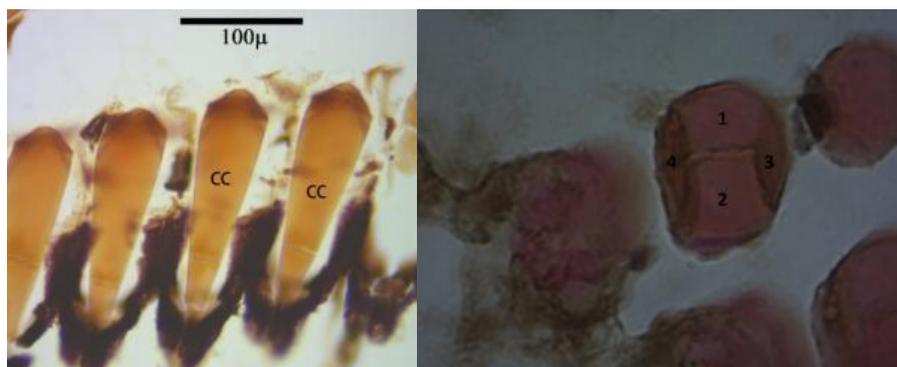


Figura 02. Microfotografía del cristalino del ojo de *Callinectes*. CC: Cristalino. A y B) Técnica HyE.

Los Rhabdomas (fotorreceptores) (Fig. 03), de *Callinectes sapidus*, están constituidos por la unión de siete células rabdoméricas (Fig. 03), las cuales se unen de manera longitudinal

formando un espacio intermedio en forma de tubo, donde existe la presencia de pequeñas "barras" relativamente largas de microvellos, constituidos por la cara central de las células rbdoméricas, las cuales, se visualizan como estructuras alineadas y alargadas, donde un lado (lado central o del microtubulo) es receptor con sistemas de membrana que aloja la capa fotosensible y el otro lado basal. De acuerdo con la acomodación del polo receptor de las células fotosensoriales respecto a la luz, se dice que la acomodación está revertida o que es directa.

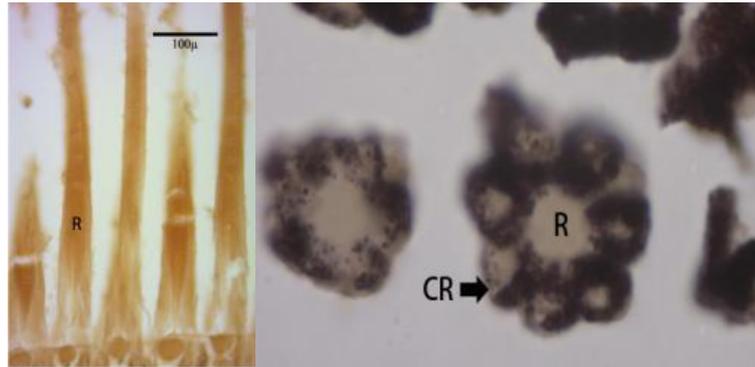


Figura 03. Microfotografía del Rhabdoma del ojo de *Callinectes*, R: Rhabdoma, y CR: Células del Rhabdoma. A y B) Técnica HyE.

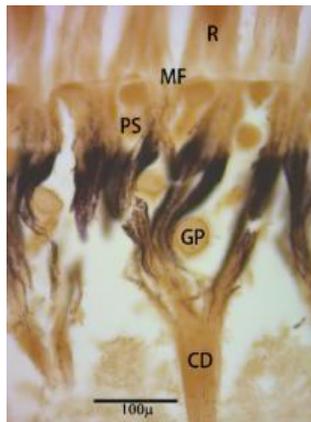


Figura 04. Microfotografía de la Membrana Fenestrada del ojo de *Callinectes*, R: Rhabdoma, MF: Membrana Basal, PS: Pigmento Screening, GP: Gránulos de Pigmento y CD: Conjunto Dendrítico. Técnica HyE.

En lo profundo y en la base del rhabdoma se localiza la membrana fenestrada (Fig. 04), la cual se distingue como una lámina que da sostén y puede dar forma y delimitar o separar el epitelio sensorial del conjuntivo, siendo posiblemente el punto de conexión con las dendritas; presentando regiones donde empalman los rhabdomas, y siendo en esta lámina donde se identifiquen los botones screening los cuales son los botones, que hacen contacto con una célula receptora, que en este caso es el "Rhabdoma", y funcionan como receptores de los impulsos nerviosos que llegan

del rhabdoma, cuya función es recibirlos y enviarlos hasta el soma de la neurona. Por lo cual se puede deducir que es en esta lámina sea donde se den las sinapsis dendríticas, y a su vez las dendritas se agrupan constituyendo un conjunto dendrítico que viajan a la región central del ojo conocida como tapetum.



Figura 05. Microfotografía del Tapetum del ojo de *Callinectus*., TAP: Tapetum y CD: Conjunto Dendrítico. Técnica HyE.

El tapetum (Fig. 05), se encuentra en la parte profunda y central del ojo, que, a su vez, está formado de tejido muscular y de una capa reflectante, en cuya región se puede dar la presencia y organización de somas, por lo que se pudiera determinar la presencia de células Ganglionares (células bipolares) encargadas de recibir y traducir la información proveniente del exterior.

DISCUSIÓN

La córnea de *Callinectus sapidus* está formada por quitina modificada al igual que los invertebrados de cuerpo duro, siendo la primera estructura que permite la refracción y la transmisión de luz. Siendo la ventana a través de la cual la luz entra al omatidio en camino a los fotorreceptores (Bernard y Miller, 1968).

El grosor de la estructura de la córnea cambia según la especie, en el caso de *C. sapidus* es de 14.25 micras. Se sabe que, en algunos insectos dípteros, las córneas son coloreadas (Bernard y Miller, 1968) y que los colores pueden ser rojo, naranja, amarillo, verde o azul (Bernard y Miller, 1968). Sin embargo, en estas especies no se ha observado un color en específico.

En los ojos de *C. sapidus* la córnea se divide en dos secciones. De estas secciones de la córnea, la sección externa es de forma hexagonal delgada y translúcida, permitiendo el flujo lumínico. La sección interna en *C. sapidus* se encuentra laminada y es la región en la cual la córnea hace contacto con los cristalinos, características que en otros organismos no han sido detallado.

La división de la córnea que presenta *C. sapidus* puede estar generando una interferencia para la penetración lumínica (fotones), sin embargo Land (1972) menciona que, varias capas alternas de alta y baja cutícula interfieren en el índice de refracción, donde el grosor está cerca de la longitud de onda de la luz, y que en cada interfaz una cierta fracción de luz incidente se va a reflejar nuevamente, tolerando una interferencia constructiva o destructiva con respecto a la luz de otras capas, por lo que el color de la luz reflejada va a depender del espesor óptico de las capas y del ángulo de visión o iluminación de las regiones coloreadas, las que se denominan comúnmente reflectores (Bernard y Miller 1968).

La capa del cristalino, en *C. sapidus* está compuesta de cuatro células cristalinas, las cuales se organizan en forma de cono. Los núcleos de las células cristalinas (en forma de cono) se encuentran distales, cerca del cristalino cuticular (Alkaladi y Zeil, 2013). Curiosamente, en *C. sapidus* los cristalinos en forma de cono parecen alargarse gradualmente en proporción a los fotorreceptores, en la región dorsal del ojo. Esto puede estar asociado con la especialización regional para facilitar una tarea visual, por ejemplo, ayudando a optimizar la detección de depredadores por encima del horizonte, no requerido en el ojo ventral, que está involucrado en la detección de congéneres (Layne, Land, & Zeil, 1997; Zeil & Hemi, 2006).

Los rhabdomas del omatidio de *C. sapidus* tienen la disposición típica de los crustáceos, se organizan de ocho células retinulares, las cuales forman el rhabdoma principal. El rhabdoma, se extiende desde el cristalino hasta la membrana basal. El núcleo o los núcleos de las células retinulares son grandes, de forma ovalada, en un mismo plano y ubicados cerca del borde proximal de la capa de células pigmentarias primarias, por lo que proporcionan un punto de referencia que define la región central o ecuatorial del omatidio, patrón general encontrado en los cangrejos ocípodidos (Kunze, 1967).

Los rhabdomas (fotorreceptores), se construyen típicamente de "barras" relativamente largas de microvellos, contribuido por varias células rhabdoméricas. Estos pueden estar fusionados en una unidad (crustáceos, cefalópodos e insectos como las abejas, mariposas y libélulas) o existen como entidades separadas (insectos dípteros y algunos crustáceos como el isópodo del género *Ligia*) (Eguchi y Waterman, 1973).

Teniendo en cuenta lo anterior, se deduce que el patrón de bandas de las direcciones perpendiculares de las microvillas en los rhabdomas de *C. sapidus* varía sistemáticamente a lo largo del mismo y el patrón de bandas difiere en diferentes partes del ojo, estando de acuerdo con lo mencionado por Alcaladi et al., (2013).

Considerando el análisis de lo que se sabe sobre la disposición de las microvellosidades en las diferentes células retinulares de los ojos compuestos de crustáceos, no es de sorprenderse el

descubrir que las direcciones de las microvellosidades en el rhabdoma principal de *C. sapidus*, están dispuestas en distintas bandas alternas de direcciones perpendiculares como menciona Eguchi y Waterman (1973); Shaw y Stowe (1982). Sin embargo, al menos en los cangrejos, las bandas se vuelven cada vez más largas a lo largo del rhabdom (Alkaladi et al., 2013), como se ha señalado previamente en Euphausiids (Meyer-Rochow y Walsh, 1978).

En lo que respecta a las células retinulares en los ojos compuestos de cangrejos, se han identificamos tres propiedades que son funcionalmente importantes, pero poco comprendidas: la distribución de los pigmentos de detección, las dimensiones de las empalizadas de vacuolas perirhabdomales y las variaciones de los patrones de bandas de microvillar a lo largo del rhabdoma (Alkaladi et al., 2013). Krebs y Lietz (1982); Eguchi y Waterman (1973) mencionan que las células retinulares contienen al menos dos tipos de gránulos de pigmento, las cuales no tienen el mismo tamaño, las mismas densidades de electrones y el mismo color. Por lo que con base a lo anterior y a los análisis en el presente trabajo, se puede determinar que en la región del rhabdoma, se lleva a cabo la transducción de información lumínica a información mecánica, la cual genera una cascada de gránulos de pigmento de detección (fotones), con base en su tamaño, densidad y características, activan las microvellosidades de las células rhabdoméricas, llevando a cabo otra transducción que va de información mecánica a información eléctrica.

En la base de los fotorreceptores y en la parte central del ojo de *C. sapidus* se encuentra el tapetum, al cual autores como Miller y Bernard (1968) mencionan que es una estructura que aumenta la captura de fotones mediante la reorientación de la luz de respaldo del rhabdoma, cuyo objetivo es aumentar la sensibilidad del ojo, sin aumentar la longitud del receptor. En general se han descrito dos tipos de tapetum: el tapetum de cinta pigmentaria y el tapetum de cinta de interferencia; el de cinta pigmentaria, lo presentan algunas variedades de crustáceos, en particular marinos como los camarones Peneideos que tienen ojos de superposición (Land, 1981) y habitan en ambientes de poca luz y la luz que ven es del pseudopupil luminoso (Exner, 1891), y el cual posiblemente se encuentre presente en *C. sapidus* debido a que es un organismo exclusivamente acuático y nocturno.

CONCLUSIÓN

La jaiba *Callinectes sapidus*, tiene ojos de forma ovalada adheridos a su cuerpo, con un conjunto de facetas hexagonales, con filas de facetas horizontales a la región ecuatorial del ojo constituyendo un ojo compuesto de aposición.

El hábitat donde vive es salobre-acuático, a una profundidad de entre 40 y 200 cm, presentando su mayor actividad durante las noches, por lo que muestra poca necesidad de

adaptarse a la oscuridad durante la noche, sin embargo, cuando hay luna llena, si requiere adaptarse a la luz.

La jaiba durante la temporada de reproducción atrae a sus parejas mediante interpretación de señales visuales y/o sonoras, las cuales surgen durante las noches. Al menos para el ojo humano, se aprecia que la coloración del caparazón de la jaiba presenta una tonalidad azul, esto debido a una serie de pigmentos (alfa-crustacianina, (rojo) astaxantina). No obstante, su verdadero color es pardo-verdoso moteado, pudiendo deducir o notar la audacia del organismo para poder identificarse y visualizarse. Aunado a ello y en cuanto a la coloración (percibida por el ojo humano) existen diferencias dimórficas, observando que las hembras presentan un color anaranjado intenso y extendido en las patas y articulaciones. Y una vez en estado adulto lucen destellos rojizos en las puntas de las pinzas. siendo quizás esta actividad de señalización, en esta especie un impulso de la selección a un costo potencial de menor visibilidad para los depredadores.

AGRADECIMIENTOS

A la beca CONAHCYT No.714837.

Al programa doctoral del posgrado del Instituto de Neuroetología, al Laboratorio de Neurobiología del Desarrollo del Instituto de Neuroetología, al Laboratorio Neurobiología Celular y Molecular del Instituto de Ciencias Cerebrales y al Laboratorio de Hidrobiología, de la Facultad de Biología-Xalapa de la Universidad Veracruzana.

Al Laboratorio de Microscopia, del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

LITERATURA CITADA

Alkaladi A, How M, Zeil J. 2013. Systematic variations in microvilli banding patterns along fiddler crab rhabdoms. *J Comp Physiol A* 199: 99- 113.

<https://doi.org/10.1007/s00359-012-0771-9>

Bernard, G. D. y W. H. Miller. 1968. Interference filters in the corneas of diptera. *Investigative Ophthalmology*, 7(4):416 - 434.

Chen, Q-X., y B-Z Hua. 2016. Ultrastructure and Morphology of Compound Eyes of the Scorpionfly *Panorpa dubia* (Insecta: Mecoptera: Panorpidae). *PLoS ONE*, 11(6):1-13.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156970>

Eguchi, E., Waterman, T.H. 1973. Orthogonal microvillus pattern in the eighth rhabdomere of the rock crab *Grapsus*. *Z. Zellforsch* 137, 145-157. <https://doi.org/10.1007/BF00307426>

<https://doi.org/10.1007/BF00307426>

- Exner, S. 1891. *The Physiology of the Compound Eyes of Insects and Crustaceans*. Transl. R. C. Hardie, 1989. Berlin: Springer. 177 pp. (From German)
<https://doi.org/10.1007/978-3-642-83595-7>
- Fonte, A. 2012. *Los artrópodos*. Cambridge University Press, 1-10.
- INEGI. 2017. Marco Censal agropecuario. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
 Recuperado el 13 de abril, 2017 de <http://gaia.inegi.org.mx/mdm6>
- Krebs W, Lietz R. 1982. Apical region of the crayfish retinula. *Cell Tissue Res*. 222(2):409-15. doi: 10.1007/BF00213221. PMID: 7083309.
<https://doi.org/10.1007/BF00213221>
- Kunze P. 1967. Histologische Untersuchungen zum Bau des Auges von *Ocypode cursor* (Brachyura). *Z Zellforsch Mikr Anat* 82: 466- 478.
<https://doi.org/10.1007/BF00337118>
- Land, M. F. 1972. The physics and biology of animal reflectors. Pp. 75 -106. In: Butler, 1. A. V. & Noble, D. (ed). *Progress in Biophysics and Molecular Biology*. Pergamon Press. Oxford and New York.
[https://doi.org/10.1016/0079-6107\(72\)90004-1](https://doi.org/10.1016/0079-6107(72)90004-1)
- Land, M. F. 1981. Optics and vision in invertebrates. In: Autrum, H (ed) *Handbook of sensory physiology*, Vol. VII/6B. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, pp 471-592.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-66907-1_4
- Land, M. F. 1981. Optics of the eyes of *Phronima* and other deep-sea amphipods. *Journal of Comparative Physiology A*, 145: 209-226.
<https://doi.org/10.1007/BF00605034>
- Layne J, Land MF, Zeil J. 1997. Fiddler crabs use the visual horizon to distinguish predators from conspecifics: a review of the evidence. *J Mar Biol* 77: 43- 54.
<https://doi.org/10.1017/S0025315400033774>
- Luna, L.G. 1958. *Manual of Histologic Staining Methods of the Armed Forces Institute of Pathology*. 3a. Ed. Mc.-Graw Hill Co. New York. 258 p.
- Meyer-Rochow, VB 2001. El ojo de los crustáceos: adaptación a la luz y la oscuridad, sensibilidad a la polarización, frecuencia de fusión del parpadeo y daño a los fotorreceptores. *Ciencia zoológica*, 18(9):1175-1197.
<https://doi.org/10.2108/zsj.18.1175>
- Meyer-Rochow, VB, Walsh, S. 1978. Los ojos de los crustáceos mesopelágicos. *Res. de tejido celular*. 195, 59-79.
<https://doi.org/10.1007/BF00233677>

- Miller, WH, GD Bernard y JL Allen. 1968. La óptica del ojo compuesto de insectos. *Ciencia*, 162:760-767.
<https://doi.org/10.1126/science.162.3855.760>
- Mishra, M. 2013. Investigación de la ultraestructura ocular de *Scaphidium japonum* Reitter (Coleoptera: Staphylinidae: Scaphidiidae). *Revista de estudios de entomología y zoología*, 1(2):8-16.
- Ortiz-León HJ, A. Navarrete & E. Sosa. 2007. Distribución espacial y temporal del cangrejo *Callinectes sapidus* (Decapoda: Portunidae) en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. *Rev. Biol. tropo.* 55: 235-245.
- Rathbun, MJ 1896. El género *Callinectes*. *Actas del Museo Nacional de Estados Unidos*. 18(1070): 349-375, pls. XIII-XXVIII.
<https://doi.org/10.5479/si.00963801.18-1070.349>
- Sandeman DC 1967. La circulación vascular en el cerebro, lóbulos ópticos y ganglios torácicos del cangrejo *Carcinus* *Proc. R. Soc. Londres*. B.16882-90
<http://doi.org/10.1098/rspb.1967.0052>
<https://doi.org/10.1098/rspb.1967.0052>
- Shaw SR, Stowe S. 1982. Fotorrecepción. En: HL Atwood, DC Sandeman, editores. *La biología de los crustáceos*, vol III. Nueva York: Academic Press. págs. 292-367.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-106403-7.50016-1>
- Stimpson, W., 1860. *Prodromus descriptionis animalium evertabrorum, quae in expedie ad Oceanum Pacificum Septentrionalem a Republica Federata missa*, *Proc. Académico de Filadelfia*. *Ciencia*. págs. 22-47.
- Talens, 2008. Ojos simples, ojos compuestos... Todo un mundo de percepciones. Universidad de Valencia. Recuperado el 16 de diciembre, 2015 de
<http://biogenmol.blogspot.mx/2008/08/ojos-simples-ojos-compuestostodo-un.html>
- Williams, AB 1974. Los cangrejos nadadores del género *Callinectes*. *Pez. Bol.*, v. 72, pág. 685-798.
- Zeil J, Hemmi JM. 2006. La ecología visual de los cangrejos violinistas. *J Comp PhysiolA* 192: 1-25.
<https://doi.org/10.1007/s00359-005-0048-7>

Copyright © 2023 Barradas-Barradas José Ricardo, Valero-Pacheco Elizabeth, Abarca-Arenas Luis Gerardo, Álvarez-Noguera Fernando y Alvarado-Olivarez Mayvi.



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)