



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

**“Análisis de la diversidad morfológica de dentículos
dérmicos de algunas especies de tiburones y rayas
capturados en la costa centro-sur de Veracruz”**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

PRESENTA

ROMINA ALINE AVENDAÑO HERNANDEZ

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Luis Fernando Del Moral Flores



Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla de Baz. Estado de México. 2024.
“Por mi raza hablará el espíritu”



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*Para aquellos que me acompañaron en este camino, pero, sobre todo,
para la pequeña Romina de 18 años que entró con el sueño de ser una bióloga...*

Lo logramos, mi niña, ¡Lo conseguimos!

“Ve más despacio, niña loca

Eres tan ambiciosa para ser tan joven

Pero si eres tan inteligente, dime

¿Por qué sigues teniendo miedo?

Tienes tanto que hacer y solo pocas horas en un día,

Pero sabes que cuando se dice la verdad

Puedes conseguir lo que quieras”

-Vienna / Billy J.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, porque me abrió las puertas siendo una extranjera de otro sistema, por haberme motivado a querer quedarme, a cumplir sus expectativas y por enseñarme de todo aquello que soy capaz; por haberme enseñado a construir la vida que estoy caminando ahora.

A la maestra Laura Elena Gómez Lizárraga y su apoyo brindado con las micrografías en microscopio electrónico de barrido. Por dejarme compartirle un poco de mi conocimiento en dentículos y complementarlo.

A la comunidad de pescadores de Alvarado, por toda su colaboración para brindarnos a los organizamos que se requirieron para esta investigación.

A mis abuelos, que me acompañaron, que oraron porque lograra entrar a la universidad y escuchaban atentos mis aventuras en campo; les mando esto a donde quiera que estén, porque si bien, se fueron cuando comenzaba esta historia, no me abandonaron y estoy segura de ello.

A mi papá, por haber luchado por seguir aquí, por darme mis estudios, por enseñarme que debía luchar por mí, por ser la profesionista que hoy en día soy. Espero devolverte al menos un poco de todo lo que tú me has dado.

A mi mamá, por haberse levantado temprano a llevarme a la facultad, por esos lonches para que aguantara las horas de clases, por su compañía a mis salidas a campo, por haberse quedado despierta hasta que me fuera a dormir por estudiar, por aguantar el olor a formol en su cocina mientras trabajaba con mis tiburones y rayas. No tengo las palabras para agradecerte todo lo que me has brindado, porque tú fuiste mi mayor apoyo, te amo.

A mi hermano Alekey, porque a pesar de la distancia, estuviste ahí, por todas aquellas veces que dijiste que estabas orgulloso de mí y me motivabas a continuar, por haberme alimentado cuando estaba en mis clases en línea y por seguir apoyándome. Eres el mejor hermano del mundo.

A mis tíos Omar, Mari, Adriana, Roberto; a mis primos Emir, Omar, Abigail, Chelsea. Porque sé que sin importar qué, están y esto se merece más que una noche de tomar café y pan. Gracias por ser un hogar maravilloso.

A mi guía de este proceso, al Dr. Luis Fernando del Moral, “papá Fer”: usted hizo que me enamorara de los tiburones; gracias por su paciencia, por su esmero para lograr las micrográficas que fueron todo un reto, por su conocimiento compartido, su motivación cuando los días no eran los mejores y por las tortas de tamal que nos daba de desayunar. Lo estimo y sin usted, no lo pude haber logrado

A mis entrañables amigos de la carrera: Alexis, Paulina, Nefte, Cristian y Jair, porque ustedes me vieron iniciar, por todas esas tardes estudiando, las risas, la compañía, las tristezas, los abrazos y las mejores prácticas de campo. Gracias por no haberme dejado caer jamás, y si bien hemos tomado distintos caminos, ojalá que todos logren sus sueños volando alto, buceando, en sus laboratorios y caminando sus senderos.

A mis tiburones y peces amigos, Natalia, Rubén, Lalo, Karina, por haber hecho más amena la estancia llena de formol en el laboratorio, por su apoyo y palabras de ánimo para haber seguido cuando inclusive ya todo parecía perdido. Que la vida los lleve en este mar tan maravilloso y cumplan todas sus metas.

A mi querido ascidio, Aldebaran: gracias por haber llegado junto con el olor del mar, del formol y de la arena de la playa. Porque fuiste parte del inicio de este proyecto, porque resolvías mis dudas, porque me enseñaste tanto que, luego de cuatro años, aquí seguimos caminando, riendo y logrando esto que con anhelo platicábamos mientras estábamos acostados en el pasto viendo el cielo. Porque me has visto crecer como nadie, porque no me dejaste caer en mis peores momentos y celebraste mis pequeños logros; sé que dirás “de nada”, pero, gracias por estar aquí aún. Tú, Cornelio y Bailey me alegran el alma.

Al buceo y la fotografía, porque los conocí en este camino y me enseñaron que, son parte vital de la biología y de mi misma, ya que ustedes fueron el lugar seguro, el refugio para tomar una pequeña pausa y continuar. Espero me acompañen toda la vida.

Y, sobre todo, a mi misma: porque cuando no podías más, te levantaste y no te rendiste; porque esperaste hasta conseguir esas micrografías que son la vida de este proyecto, porque aún cansada, seguiste contando denticulos, porque te aguantaste tu olor a formol, y porque pese a que llegaste cansada del trabajo, lejos de casa, tomaste la computadora y seguiste escribiendo esto. Eres muy valiente, querida Romina, gracias por llevarme hasta acá; la pequeña de 10 años que conoció Veracruz, está orgullosa de la mujer que eres hoy.

INDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
JUSTIFICACIÓN.....	6
ANTECEDENTES.....	7
OBJETIVOS.....	10
MATERIALES Y MÉTODO	11
Área de estudio	11
Trabajo de campo.	12
Trabajo de laboratorio.	16
RESULTADOS	19
Descripción de dentículos dérmicos	22
Tamaño y densidad de dentículos dérmicos	76
DISCUSIÓN	82
CONCLUSIONES	88
REFERENCIAS	89

RESUMEN

Los dentículos dérmicos son escamas que cubren la piel de los elasmobranquios, en forma de diente con esmalte y capas externas de dentina, las cuales, brindan diversas funciones de acuerdo con la morfología y hábitos del organismo (p.ej. dentículos en forma de botón o cruz protegen de la abrasión) y son de interés para estudios filogenéticos, ingeniería biomimética y en el económico como una herramienta de identificación a nivel especie, por lo cual, el presente trabajo tiene como objetivo caracterizar la morfología de los dentículos dérmicos de dieciséis especies de condriactos bajo explotación en el sureste del Golfo de México. Se realizaron tres visitas a tres localidades en el estado de Veracruz, se encontraron dieciséis especies de tiburones y rayas a las cuales se les retiraron trozos de piel de dos regiones distintas; se encontró que *Isurus oxyrinus* fue la especie con mayor número de dentículos dérmicos, también se encontró que en especies como *Squalus cubensis* y *S. clarkae* los dentículos presentan diferencias en la forma y acomodo dependiendo del sexo de los individuos, denotando posible dimorfismo sexual en las escamas y mostrando diferencias morfológicas dependiendo el tamaño del individuo; además, se encontraron variaciones en la forma, acomodo, estructuras y ornamentaciones y dichas variaciones permitieron dar una caracterización única a cada especie, demostrando que los dentículos dérmicos pueden funcionar para la determinación a nivel especie de los condriactos, además de presentar dimorfismo sexual y variaciones a nivel ontogénico.

INTRODUCCIÓN

Los condriictios se conforman por dos grandes grupos, uno representado por las quimeras (Holocephalii) y el otro integrado por los tiburones, rayas, mantas y especies afines (Elasmobranchii). Alrededor del mundo existen 1,182 especies vivas, además de registros fósiles. En México, la condriictiofauna se encuentra representada por 214 especies, de las cuales siete son quimeras, 95 son rayas y 109 tiburones (Del Moral-Flores y Pérez-Ponce de León, 2013).

Los peces cartilaginosos se caracterizan principalmente por ser vertebrados acuáticos que poseen las siguientes características: endoesqueleto de cartílago y calcificación prismática (tesserae), cráneo carente de suturas, dientes no fusionados a las mandíbulas y se remplazan por estar acomodados en serie; los radios de las aletas son blandos y no están segmentados (esto se conoce como ceratotriquia); ausencia de vejiga natatoria, con válvula espiral intestinal (Nelson, 2006). Constituyen uno de los linajes más antiguos de los vertebrados, aparecieron hace aproximadamente 410 millones de años durante el Silúrico y se diversificaron durante el Devónico (Inoue *et al.*, 2010).

Los condriictios habitan en todos los mares del mundo (no tan abundantes en los mares fríos), desde arrecifes de coral en el trópico hasta las aguas templadas, de las grandes profundidades en las fosas oceánicas hasta la parte epipelágica de todos los océanos; además, existen especies adaptadas a vivir en zonas estuarinas y dulceacuícolas (Compagno *et al.*, 2005). La mayoría de las especies son depredadoras, algunas se alimentan exclusivamente de peces (ictiófagos), otras de crustáceos (carcinófagos), moluscos (malacófagos) e incluso existen especies planctófagas (Del Moral-Flores y Pérez-Ponce de León, 2013).

Anatómicamente los condriictios tienen aletas gruesas, rígidas y poco móviles: una o dos aletas dorsales que pueden estar precedidas por espinas; con aleta caudal; con o sin aleta anal; aletas pélvicas que, en el caso de los machos se pueden modificar como órganos copulatorios y reciben el nombre de cláspers o mixopterigios. La mayoría poseen

cinco aberturas branquiales, aunque pueden tener hasta siete pares (presentes en la familia Hexanchidae); fosas nasales denominadas narinas y en algunas especies cuentan con un pequeño párpado que protege al ojo llamada membrana nictitante (Figs. 1 y 2). También cuentan con un sistema electrosensorial que recorre parte de su cabeza y se denomina ámpulas de Lorenzini. Otro aspecto importante es que todo el cuerpo se encuentra cubierto por un exoesqueleto de escamas placoideas que también se denominan dentículos dérmicos (Parsons, 2006).

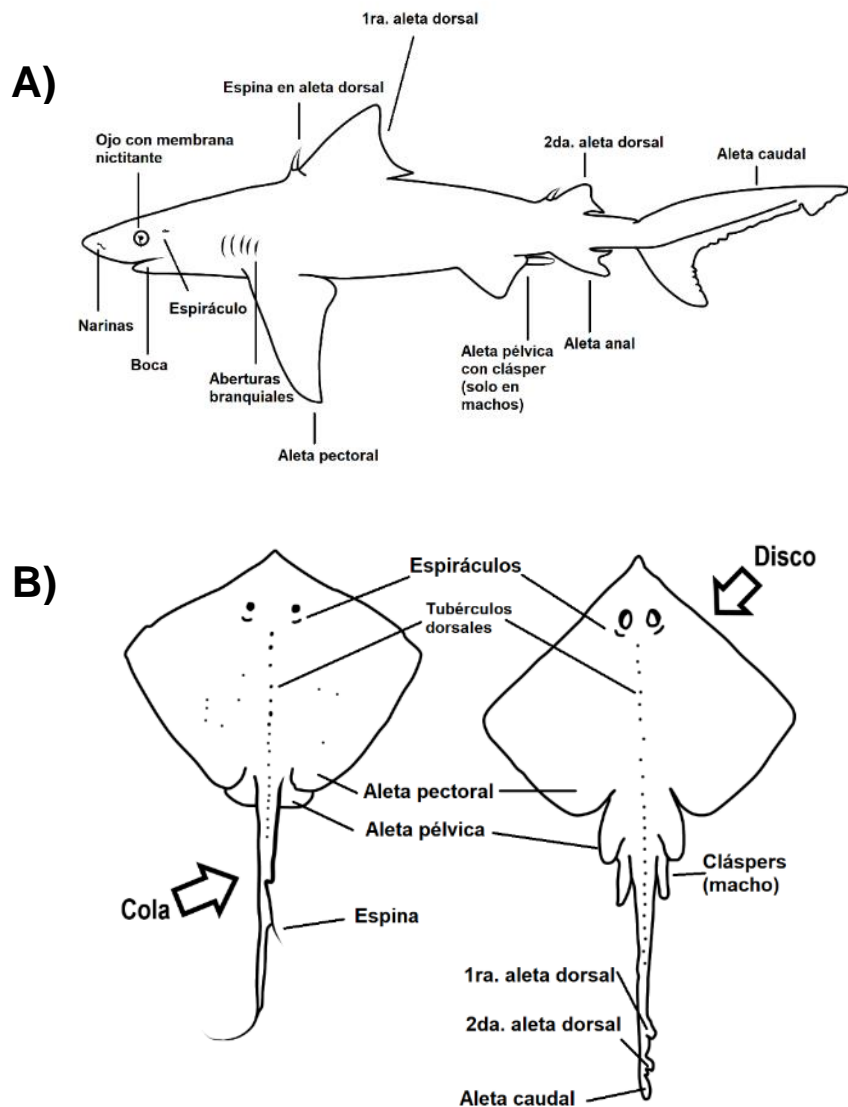


Figura 1. Anatomía básica de los elasmobranquios: A) un tiburón (Selachimorpha), y B) una raya (Batoidea). Dibujo de elaboración propia (Modificado de Castro, 2011).

Los dentículos dérmicos, también conocidos como escamas placoideas o escamas dérmicas, cubren la piel de los elasmobranquios. Poseen características únicas que los vuelven diferentes a las escamas que cubren a los peces teleósteos. Las escamas placoideas tienen forma de diente con esmalte y capas externas de dentina (Figs. 3, 4), una cavidad pulpar interna y una estructura característica con una corona exterior, un cuello y una base expandida incrustada en la dermis (Mello *et al.*, 2011; Motta *et al.*, 2012; Oeffner y Lauder, 2012; Ankhelyi *et al.*, 2018).

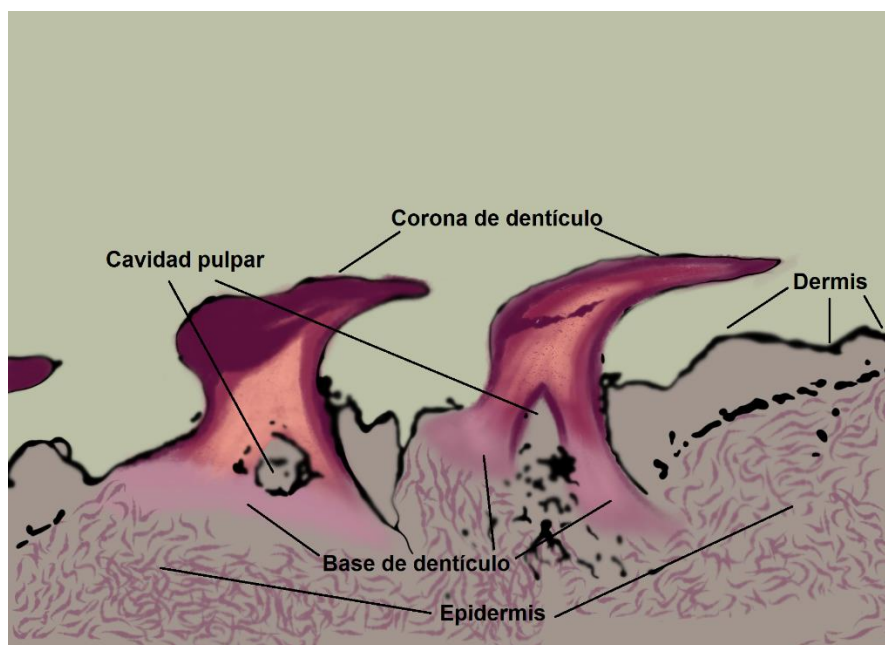


Figura 2. Corte sagital de dentículo dérmico donde se visualizan las capas internas. Esquema de elaboración propia (Modificado de Ankhelyi *et al.*, 2018).

Los dentículos dérmicos tienen funciones diversas de acuerdo con su morfología y hábitos del organismo. Se han realizado diversas clasificaciones, al respecto: los no funcionales son propios de especies generalistas que viven cerca del fondo, no son nadadores veloces y no presentan alimentación especializada; dentículos en forma de botón o cruz para proteger de la abrasión; dentículos espinosos usualmente combinados con gran producción de mucus como función defensiva; dentículos planos con carenas separadas para reducir el rozamiento en especies con movimientos veloces y finalmente dentículos en forma de pequeñas y delgadas espinas con función de dejar pequeños

espacios para los fotóforos de especies mesopelágicas (Reif, 1982; Muñoz-Chapuli, 1985).

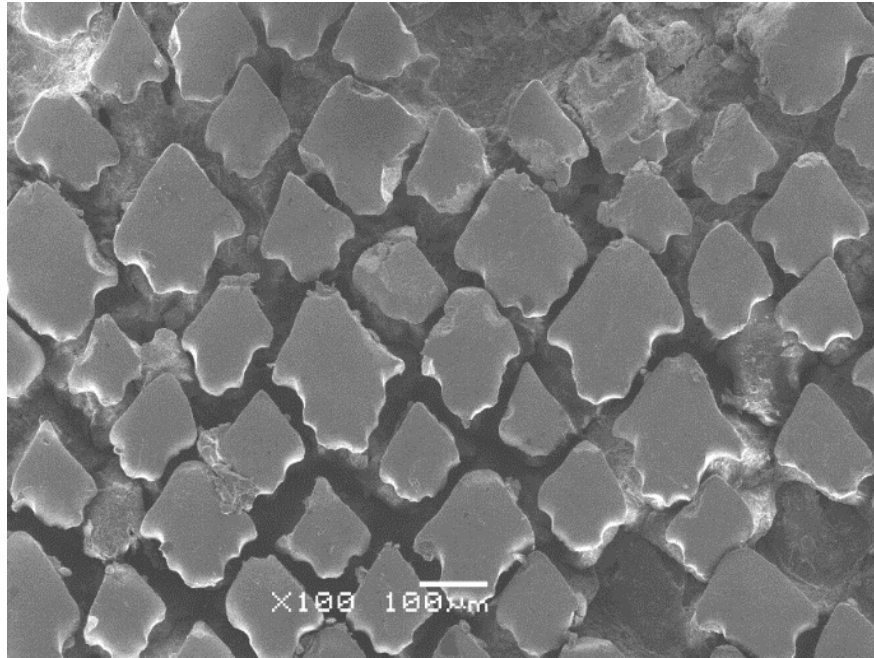


Figura 3. Ejemplo de dentículos dérmicos de *Pseudobatos lentiginosus* (fotografía de microscopía electrónica de barrido). Tomada de Beltrán de la Torre (2018).

Este tipo de estructuras han sido estudiadas a lo largo del tiempo en diversas áreas científicas. Como aspecto evolutivo, los dentículos dérmicos son estructuras homólogas a los dientes y debido a sus características específicas morfológicas y funcionales son particularmente importantes para los estudios filogenéticos, además de que su composición mineralizada permite que sean parte del registro fósil y ayudan a la reconstrucción de patrones de diversidad de los condictios (Kriwet y Benton, 2004; Kriwet *et al.*, 2009; Mello *et al.*, 2011).

En cuestiones económicas, la ingeniería biomimética se ha interesado en los dentículos dérmicos por sus funciones de optimización de la velocidad de nado en deportes acuáticos. Esta innovación ha sido inspirada por la piel de los tiburones (Feld *et al.*, 2019), así como en el desarrollo de nuevos materiales antiincrustantes no tóxicos pues las escamas placoideas de algunas especies de sciliorrínidos poseen algún mecanismo antiincrustante natural (Sullivan y Regan, 2011). En el ámbito económico

pesquero, el estudio de los dentículos dérmicos puede permitir la identificación de especies que sean de importancia en la pesca y que puedan encontrarse en riesgo de extinción (Dillon *et al.*, 2017).

La mayoría de los elasmobranquios tienen tasas de crecimiento lentas, madurez tardía y baja fecundación, lo cual, da como resultado bajas tasas de crecimiento de la población y una capacidad limitada de resistencia ante la presión de la pesca. La mayoría de las pesquerías dirigidas de tiburones en todo el mundo han sido sobreexplotadas, han mostrado una rápida disminución y colapso de sus poblaciones y una lenta y limitada recuperación (Bonfil, 1994). Sin embargo, la pesca sostenible es posible especialmente para las especies más pequeñas y de crecimiento rápido (Musick y Musick, 2011).

En general, este grupo de peces se ha visto impactado drásticamente por efectos de la pesca desmedida, que ha ocasionado la disminución en volúmenes de captura y la extinción local de algunas poblaciones, obstaculizando la recuperación natural de diversas especies (Cuevas-Gómez *et al.*, 2019). Como ya ha sido mencionado, en México, los condriictios son un grupo muy diverso y de importancia económica, alimenticia, turística y ecológica (CONAPESCA-INP, 2004). Por esto, la pesca como actividad del sector productivo primario, requiere de la generación de conocimiento como soporte para la administración de los recursos pesqueros, principalmente para poblaciones que se encuentren en riesgo de colapso o pérdida irreparable (Arreguín-Sánchez y Arcos-Huitrón, 2011).

JUSTIFICACIÓN

Si bien se han elaborado estudios sobre los dentículos dérmicos, en México no existe un trabajo que describa y analice la morfología de dichas estructuras de las principales especies de tiburones que se encuentran bajo explotación y que ayuden a su determinación. Debido a esto, el presente trabajo busca caracterizar la morfología ultraestructural de los dentículos dérmicos de algunas especies de elasmobranquios bajo explotación en el suroeste del Golfo de México.

ANTECEDENTES

De la investigación morfológica y funcional que se ha llevado a cabo para el conocimiento de los dentículos dérmicos, con aplicaciones sistemáticas, se tienen las siguientes enlistadas de acuerdo con el orden de relevancia:

Dillon *et al.* (2017) revisaron la morfología, taxonomía y función de dentículos dérmicos de tiburones y rayas de las familias: Alopiidae, Carcharhinidae, Centrophoridae, Dalatiidae, Etmopteridae, Lamnidae, Pristidae, Pseudocarcharhinidae, Rhinobatidae, Scyliorhinidae, Sphyrnidae, Squalidae, Squatinidae y Triakidae. Presentaron una colección de referencia de estas estructuras, además introdujeron una técnica para la extracción e identificación de dentículos de sedimentos de arrecifes fósiles y actuales. Encontraron que la composición duradera, la alta abundancia, las características distintivas y grado de preservación de los dentículos, apoyan su uso como herramienta para la reconstrucción de comunidades de elasmobranquios, además que las muestras obtenidas a partir de los sedimentos de arrecifes coralinos producen gran cantidad de dentículos para realizar estudios de este tipo. Concluyen que la morfología de los dentículos se puede utilizar para clasificarlos taxonómicamente, pero aunque su resolución es limitada, la morfología está altamente relacionada con la función y pueden producir información ecológica sobre las comunidades.

Ankhelyi *et al.* (2018) analizaron los dentículos dérmicos de *Mustelus canis*, estudiando medidas de rugosidad en la superficie y dimensiones de las crestas de los dentículos de otras seis especies de tiburones. Describieron los dentículos de *M. canis* y compararon su acomodo y la morfología. Encuentran que, dependiendo de la región corporal van a variar las formas de los dentículos, así como su tamaño. Demostraron que la morfología de los dentículos de *M. canis* les ayuda a la locomoción, debido a la reducción de resistencia ayudada por la deformación corporal que puede tener esta especie al momento de desplazarse, esta característica la comparte con otras especies que poseen similitudes en sus escamas placoideas.

Deynat (1998) encontró diferencias morfológicas en los dentículos dérmicos de algunas especies de Batoideos, específicamente en Torpediniformes, Rajiformes y Myliobatiformes. La morfología de los tubérculos y las espinas constituyen un criterio de

separación taxonómica a nivel supragénico de rájidos y rinobátoideos. Los Myliobatiformes destacan por la morfología de sus tubérculos, la presencia de una espina caudal ausente en los Rajiformes. Esto es un indicio de que la divergencia de los dentículos dérmicos evidencia la evolución de algunos grupos de Batoideos.

Valenzuela *et al.* (2008) utilizan los dentículos dérmicos como complemento para los estudios sistemáticos de dos sciliorrínidos (*Schroederichthys chilensis* y *Halaelurus canescens*) y tres escualiformes (*Centroscyllium granulatum*, *Deania calcea* y *Squalus acanthias*). Cada especie presenta un morfotipo distinto en sus dentículos que facilita la identificación de éstas.

Gravendeel *et al.* (2002) llevaron a cabo un análisis comparativo de las escamas placoideas de 10 especies de rájidos y con ellos generaron una clave de identificación independiente de la variación intraespecífica. Observaron que la morfología de estas escamas ayuda a la preservación en el registro fósil.

Tanaka *et al.* (2002) caracterizaron la morfología de los dentículos dérmicos de la aleta dorsal en 13 especies de tiburones pelágicos de importancia en la industria pesquera; basándose en las crestas, el margen posterior y la forma de los dentículos. Encontraron diferencias en la morfología por especie, con variaciones por tamaño y el hábitat en donde se encuentran. Lograron encontrar siete categorías con base en los caracteres morfológicos.

Castro (2011) presenta una clave de identificación para las especies de tiburones de Norteamérica. Incluye información de su biología, distribución, además proporciona imágenes e información de los dentículos dérmicos como un carácter para reconocer a las especies.

Gilligan y Otway (2011) describen la morfología de dentículos dérmicos de las aletas dorsales y pectorales de ocho especies de carcarrínidos y lámnicos (*Carcharhinus brachyurus*, *C. falciformis*, *C. leucas*, *C. limbatus*, *C. longimanus*, *C. obscurus*, *Carcharias taurus* y *Carcharodon carcharias*), como una alternativa para identificar especies amenazadas por la pesca ilegal. No se encontraron diferencias entre sexos.

Mello *et al.* (2011) caracterizan las escamas dérmicas de algunas especies de esfírnidos y carcarrínidos debido a su cercanía en los árboles filogenéticos. Encontraron un patrón específico en los dentículos de los esfírnidos y ciertas variaciones a nivel de especie y mencionan que pueden deberse al patrón de distribución en la columna de agua. Destacan que los dentículos dérmicos pueden usarse como caracteres para la identificación taxonómica, además de que pueden considerarse como un apoyo al momento de realizar estudios filogenéticos.

Además, existen estudios que abordan la anatomía y biomecánica del esqueleto dermal de especies particulares, como *Alopias superciliosus* (Frumkin y Shimada, 2020), *Isurus oxyrinchus* (Fernández-Waid *et al.*, 2019), *Rhizoprionodon lalandii* (Laranjeira *et al.*, 2015), *Sphyrna tiburo*, *S. vespertina* (Carrasco-Martínez *et al.*, 2021) y *Scyliorhinus canicula* (Southall y Sims, 2003; Sullivan y Regan, 2011).

Por lo anterior y a la falta de trabajos que aborden la caracterización morfológica de los dentículos dérmicos de algunas especies de elasmobranquios de importancia comercial en México, en la presente disertación se tienen los siguientes objetivos.

OBJETIVOS

Objetivo general

Describir y caracterizar la morfología de los dentículos dérmicos de algunas especies seleccionadas de elasmobranquios que se capturen dentro de las principales pesquerías de la región centro-sur de Veracruz, suroeste del Golfo de México.

Objetivos específicos

Describir la morfología general de los dentículos dérmicos.

Analizar posibles variaciones intraespecíficas de la morfología de los dentículos dérmicos.

Caracterizar patrones que presenten las especies de elasmobranquios con base en la morfología que presentan sus dentículos dérmicos.

MATERIALES Y MÉTODO

Área de estudio

El Golfo de México es una cuenca aislada, se extiende en un área total de 1,768,000 km² con regiones muy profundas, mayores a 3,400 m. (De la Lanza-Espino, 1991).

La circulación del Golfo de México está relacionada con la influencia de las aguas cálidas y salinas que entran a través del estrecho de Yucatán y salen por el de Florida. Parte del agua que penetra al golfo por el canal de Yucatán se desenvuelve por contracorrientes. Este comportamiento configura una franja ligeramente plegada hacia el este a manera de un cordón o lazo, de donde proviene el nombre de “Corriente de Lazo”; dicha corriente es un flujo de agua con alta salinidad (36.7%) y temperaturas superficiales durante el verano de 28° a 29°, que se reducen en el invierno a 25° y 26° (De la Lanza-Espino, 1991).

Las costas del Golfo de México se encuentran clasificadas en cuatro unidades. La segunda es la que incluye al área de estudio, se extiende desde Punta Delgada hasta Coatzacoalcos, Veracruz, con 300 km de longitud. Es una costa marginal geomorfológicamente caracterizada por tener costas primarias volcánicas (Los Tuxtlas, Veracruz) y de depositación subaérea. Las costas secundarias, están formadas por arrecifes coralinos como las encontradas frente a Veracruz (De la Lanza-Espino, 1991). La zona costera del litoral del estado de Veracruz pertenece a la costa centro-oriental del Golfo de México, en donde predominan las costas acumulativas de inclinación suave y amplia, que favorece la formación de campos de dunas y extensas playas. El clima predominante es cálido subhúmedo, con una temperatura media anual de 22° C a 26° C y con precipitaciones que oscilan entre los 1000 y 1500 mm (García-Amaro, 2004). La localización geográfica del litoral lo expone al impacto recurrente de fenómenos hidrometeorológicos, como ondas del este, tormentas ciclónicas y huracanes en verano y otoño, mientras que en los meses de invierno es afectada por intensos frentes fríos “nortes” (Ortiz-Pérez y De La Lanza-Espino, 2006; Mancera-Flores *et al.*, 2020).

Fase de campo

Se analizó el arribo pesquero de tiburones y rayas en tres localidades de Veracruz: Salinas Punta Roca Partida ($18^{\circ}-42'-20''$ N, $95^{\circ}-11'-8''$ W), San Andrés Tuxtla; Laguna de Alvarado ($18^{\circ}-46'-12''$ N, $95^{\circ}-46'-15''$ W) y Barrancas ($18^{\circ}-59'-55''$ N, $95^{\circ}-57'-58''$ W), Alvarado, Veracruz (Fig. 4).

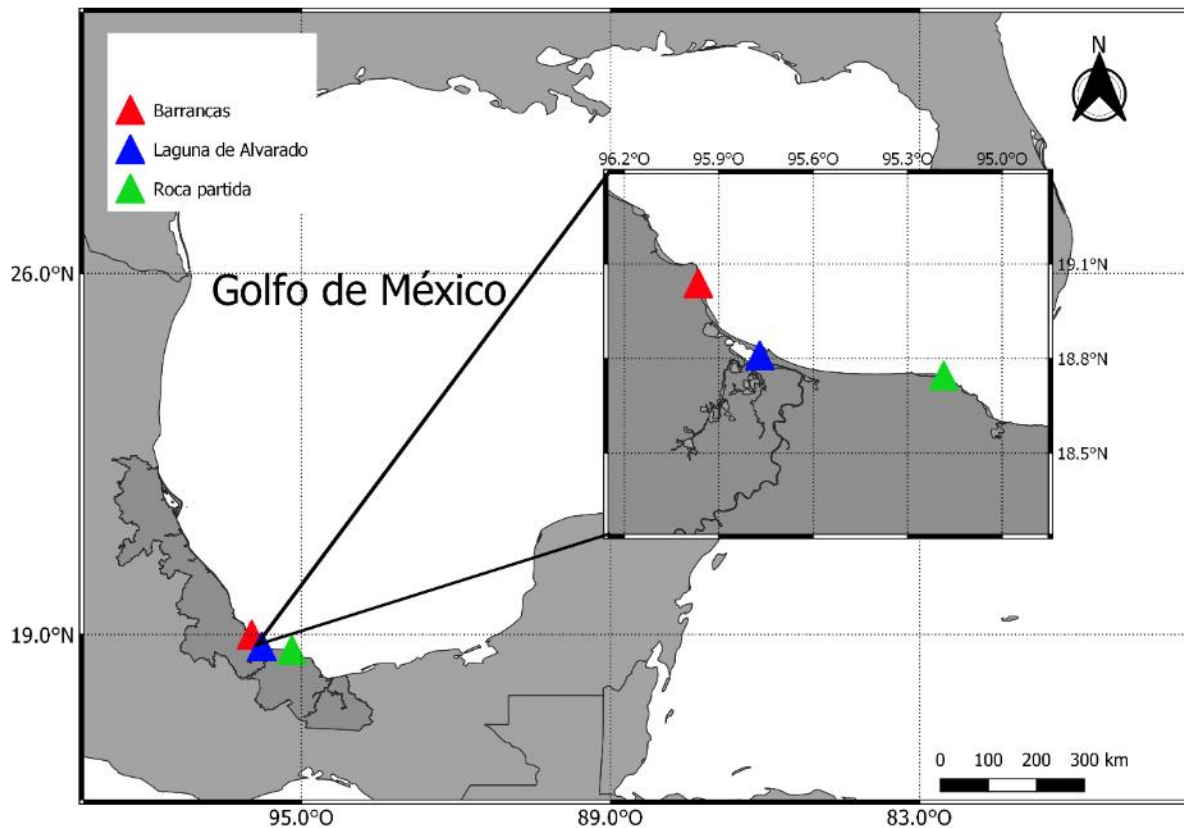


Figura 4. Estado de Veracruz donde se señala el área de estudio y las tres zonas de muestreo.

Trabajo de campo.

Se realizaron tres visitas durante el periodo de 2020 a 2022, a las comunidades de Salinas Roca Partida, Laguna de Alvarado y Barrancas. (Fig. 5) En ellas se analizó la composición de captura y se obtuvieron ejemplares de las especies más representativas. De cada ejemplar se obtuvieron sus datos biométricos básicos: peso (Kg), longitud total (cm), sexo y estadio de madurez (Fig. 6). En machos la madurez sexual se determinó

con base en la morfología (longitud, grado de calcificación y movilidad) de los mixopterigios (Fig. 7).



Figura 5. Localidades de arribo pesquero: Barrancas (A), Laguna de Alvarado (B) y Salinas Roca Partica (C), del litoral veracruzano.



Figura 6. Ejemplar de tiburón aleta de cartón (*Carcharhinus falciformis*) en donde se señalan los datos biométricos: LT longitud total y LF longitud furcal (de la cabeza hasta el pedúnculo caudal).



Figura 7. Aletas pélvicas (mixopterygios) de un ejemplar juvenil de tiburón aleta de cartón.

Los ejemplares se determinaron hasta el menor nivel taxonómico posible con ayuda de claves taxonómicas especializadas (Karpenter, 2002; Castro, 2011; McEachran y Fechhelm, 2013). Se utilizaron algunas características como: forma del morro, forma del cuerpo, posición de los ojos, presencia o ausencia de membrana nictitante, número de aletas dorsales y si éstas poseen una espina, número de hendiduras branquiales, posición de la boca, distancia entre aletas, entre otras. De acuerdo con la clasificación más actualizada de van der Lann *et al.* (2022) se realizó un listado de las especies encontradas.

Posteriormente, se obtuvieron muestras dérmicas de 1cm² para cada una de las cinco regiones corporales consideradas. En el caso de tiburones son: región dorsal (cercana a primera aleta dorsal) y ventral (anterior a aletas pélvicas) (Fig. 8). En el caso de las rayas de manera general se obtuvieron muestras de las mismas regiones (Fig.9). Para los rinobatoideos y los rájidos se sacaron muestras de regiones laterales y centrales de la parte dorsal debido a las diferencias entre dentículos que se han observado en estas zonas. Todas las muestras se guardaron en formol al 4% para su preservación.

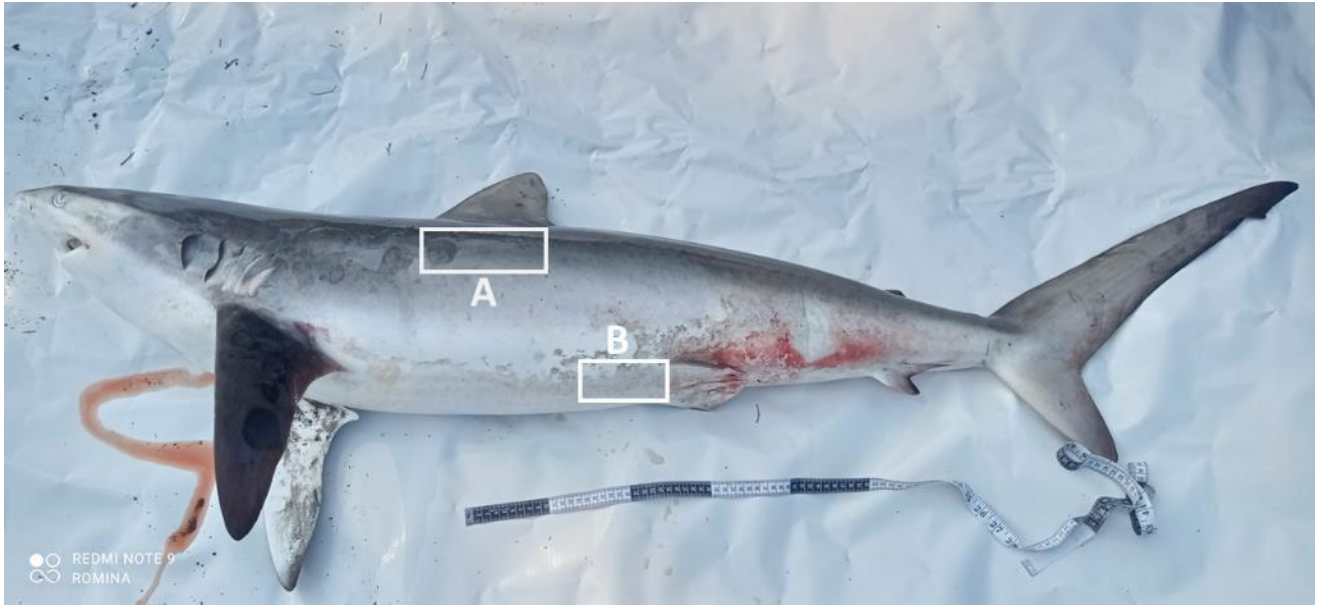


Figura 8. Ejemplar de tiburón (*Carcharhinus falciformis*) en donde se señalan las regiones de donde se obtuvieron los dentículos dérmicos: A) región cercana a la primera aleta dorsal y B) región ventral cercana a las aletas pélvicas.

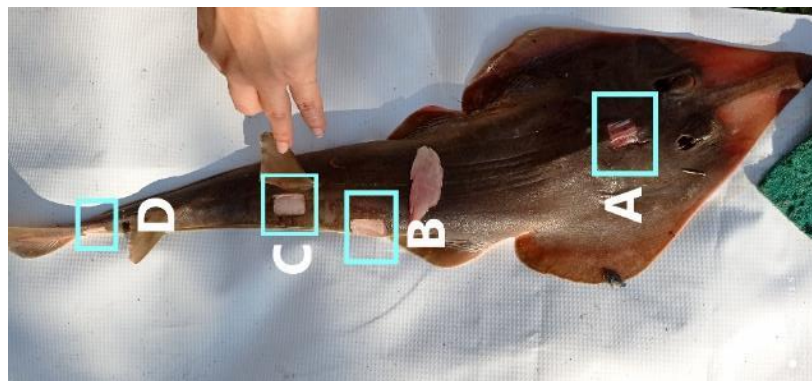


Figura 9. Ejemplar de *Pseudobatos lentiginosus* en donde se señalan las regiones de donde se obtuvieron los dentículos dérmicos: A) región cefálica, B) región pélvica, C) región cercana a primer aleta dorsal y D) región caudal.

Trabajo de laboratorio.

Basado en la metodología de los antecedentes, se realizó un enjuague de las muestras con agua corriente para eliminar el exceso de formol. Se colocaron durante una semana en una solución de rojo de alizarina "S" al 0.1%, disuelto en agua destilada, para posteriormente ser colocadas en alcohol al 70% para eliminar el exceso de tinte durante dos días, finalmente se fotografiaron las escamas con un microscopio óptico. Se determinó la densidad de las estructuras, considerando el número de dentículos por cm^2 utilizando microscopio estereoscópico. Posterior a esto, la morfología se analizó mediante la obtención de imágenes de microscopía electrónica de barrido, para ello las muestras dérmicas se procesaron mediante baños con alcohol al 80% y 90%. Posteriormente, se lavaron en solución con detergente y alcohol al 95% (para eliminar impurezas en la piel) y fueron secados a 60°C , para finalmente ser montados en un talón de aluminio la cual se cubrió con una fina película de oro. La descripción morfológica se realizó con base en la clasificación morfoanatómica de dentículos dérmicos de Muñoz-Chapuli (1985).

Cada dentículo fue descrito con base en las siguientes características (Figs. 10-11): base del dentículo, borde anterior y posterior, presencia y número de crestas y cúspides, así como la presencia de ornamentaciones.

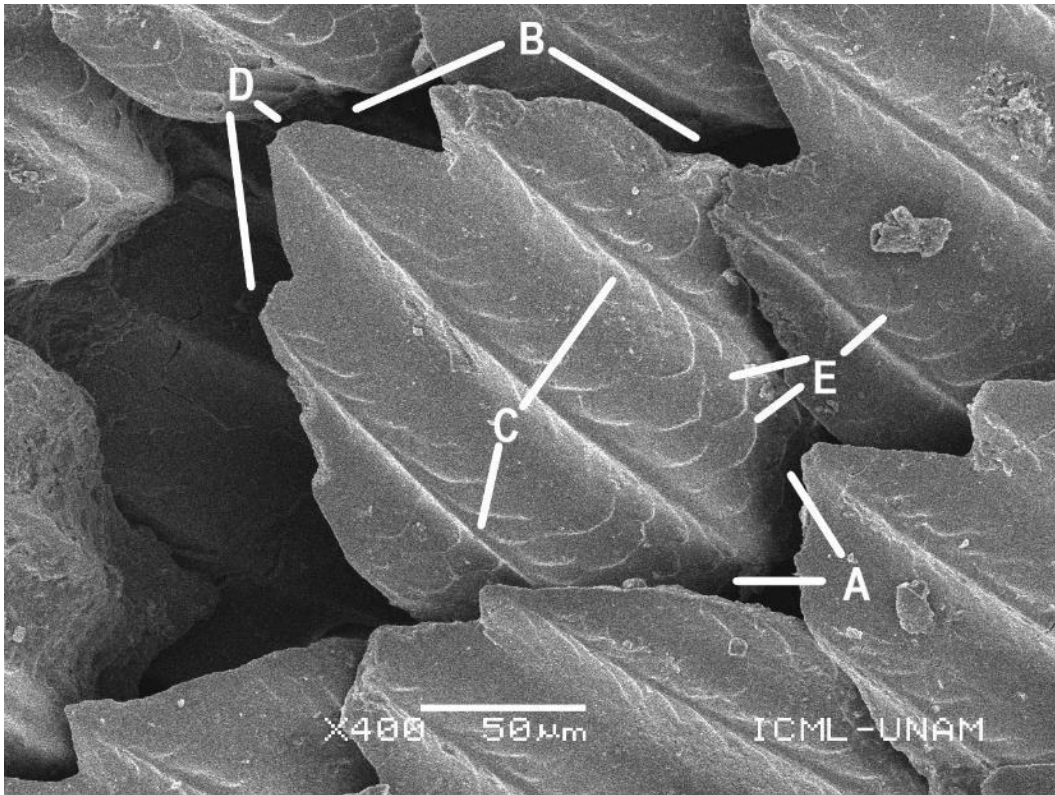


Figura 10. Esquema general de dentículo dérmico de tiburón con las partes que le componen: A) borde anterior, B) borde posterior, C) crestas, D) cúspides, E) microornamentaciones.

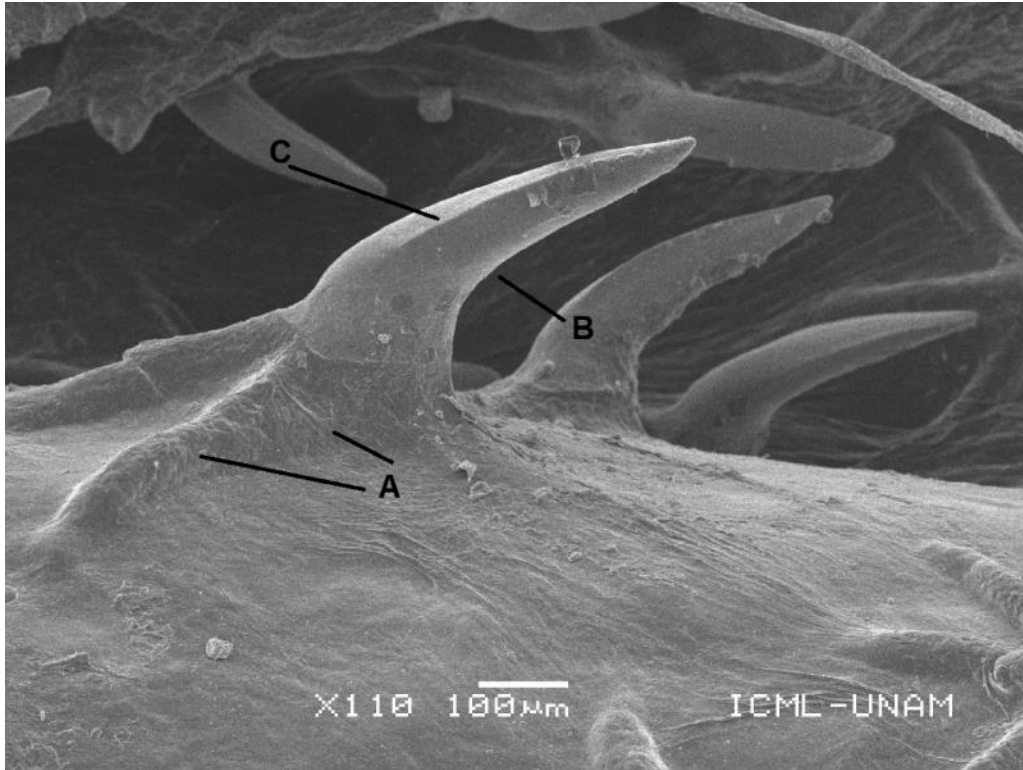


Figura 11. Esquema general de dentículo a manera de espina en rayas: A) base del dentículo, B) dentículo modificado a manera de espina y C) cresta de dentículo.

RESULTADOS

Se obtuvieron 16 especies, agrupadas en 13 géneros, 12 familias y 7 órdenes. La familia Carcharhinidae fue la mejor representada con tres especies; en el caso de las rayas lo fue la familia Dasyatidae con dos especies.

A continuación, se enlistan las especies (Tabla 1):

Tabla 1. Listado de especies encontradas en la región centro-sur del Golfo de México.

Clase	Orden	Familia	Especie
Elasmobranchii	Lamniformes	Lamnidae	<i>Isurus oxyrinchus</i> Rafinesque, 1810
		Carcharhiniformes	Scyliorhinidae
	Carcharhinidae	Carcharhinidae	<i>Carcharhinus falciformis</i> (Bibron, 1839)
			<i>Carcharhinus limbatus</i> (Valenciennes, 1839)
			<i>Rhizoprionodon terraenovae</i> (Richardson, 1836)
	Galeocerдинidae	Galeocerдинidae	<i>Galeocerdo cuvier</i> (Perón & Lesueur, 1822)
		Sphyrnidae	<i>Sphyrna tiburo</i> (Linnaeus, 1758)
	Squaliformes	Squalidae	<i>Squalus cubensis</i> Howell Rivero, 1936
			<i>Squalus clarkae</i> Pflieger, Grubbs, Cotton & Daly-Engel, 2018
	Squatiformes	Squatinae	<i>Squatina</i> cf. <i>dumeril</i> Lesueur 1818
Rhinoprístiformes	Rhinobatidae	<i>Pseudobatos lentiginosus</i> (Garman, 1880)	
Rajiformes	Rajidae	<i>Rostroraja texana</i> (Chandler, 1921)	
Myliobatiformes	Dasyatidae	<i>Hypanus americanus</i> (Hildebrand & Schroeder, 1928)	
		<i>Hypanus sabinus</i> (Lesueur, 1824)	
	Rhinopteridae	<i>Rhinoptera bonasus</i> (Mitchill, 1815)	
	Mobulidae	<i>Mobula hypostoma</i> (Bancroft, 1831)	

De acuerdo con sus datos morfológicos y el número de muestras, las especies *Squalus cubensis* y *Squalus clarkae* estuvieron representadas por el mayor número de organismos, cada una con 15 muestras. Le siguen *Scyliorhinus retifer* con 6 muestras y cuatro especies (*Hypanus sabinus*, *Pseudobatos lentiginosus*, *Rhinoptera bonasus* y

Rostroraja texana) con cinco muestras. Debido al bajo número de especímenes, de cuatro especies solo se obtuvo una muestra de piel (Tabla 4).

Para el caso de los tiburones (Tabla 2), la especie con el mayor tamaño (107.4 cm de longitud total [LT]) corporal fue el tiburón tigre, *Galeocerdo cuvier*, le siguen *Isurus oxyrinchus* (95 cm de LT), *Sphyrna tiburo* (94 cm LT), *Squatina dumeril* (82 cm LT) y *Carcharhinus limbatus* (76.4 cm LT); en contraste, la especie que registró menores tamaños corporales (39.4-41.8 cm LT) fueron cinco individuos de la especie *S. cubensis*, y los cinco organismos de *S. retifer* (52.7-56.3 cm LT). Con respecto a rayas (Tabla 3), dos individuos de *R. bonasus* presentaron el mayor tamaño corporal de acuerdo con sus medidas de longitud (LD) y ancho de disco (AD) (46 y 66.2 cm; 45.1 y 69.3 cm, respectivamente); le sigue *R. texana* (46.9 LD y 29.9 cm AD) y dos organismos de *Mobula hypostoma* (40.5 LD y 67.6 cm AD; 38.9 LD y 63.1 cm AD, respectivamente).

Tabla 2. Datos biométricos de los tiburones capturados en el sur de Veracruz (LT: longitud total, LF: longitud furcal, W en g: peso).

Especie / (n)	LT cm mín- máx (\bar{x})	LF cm mín-máx (\bar{x})	W g mín- máx (\bar{x})	Mixopterigio cm mín- máx (\bar{x})
<i>Isurus oxyrinchus</i> (2) ♀	76.2-95 (85.6)	59.3-86.4 (72.85)	2410-3975 (3192.5)	-
<i>Scyliorhinus retifer</i> (1) ♀	53	46.4	630	-
<i>S. retifer</i> (5) ♂	52.7-56.3 (54.3)	40.5-49.3 (45.58)	490-575 (531.7)	4-4.2 (4.1)
<i>Carcharhinus falciformis</i> (1) ♂	70.6	56.7	1170	4
<i>Carcharhinus limbatus</i> (1) ♂	76.4	62.7	2600	2.9
<i>Rhizoprionodon terraenovae</i> (1) ♀	68.8	56	1210	-
<i>Galeocerdo cuvier</i> (1) ♀	107.4	77.2	2915	-
<i>G. cuvier</i> (1) ♂	101.7	76.3	2245	3
<i>Sphyrna tiburo</i> (2) ♂	54-94 (74)	52.2-77.7 (64.9)	480-2110 (1295)	-
<i>Squalus cubensis</i> (11) ♀	43-49.9 (46.6)	38-44 (41)	335-580 (471.8)	-
<i>S. cubensis</i> (9) ♂	39.4-42.4 (40.9)	32-38.6 (34.4)	255-335 (282)	3.5-4.2 (4)
<i>Squalus clarkae</i> (12) ♀	58.3-75 (66.8)	48-65 (55.8)	755-1610 (1186.7)	-
<i>S. clarkae</i> (3) ♂		47.4-65 (54.9)		4.2-5.6 (5.13)

59.2-72.8	745-1670
(63.9)	(1080)

Tabla 3. Datos biométricos para los batoideos capturados en el sur de Veracruz (LT: longitud total, LD: longitud de disco, AD: ancho de disco, W en g: peso).

Especie / (n)	LT cm mín-máx (\bar{x})	LD cm mín-máx (\bar{x})	AD cm mín-máx (\bar{x})	W g mín-máx (\bar{x})
<i>Pseudobatos lentiginosus</i> 1 (♀)	56.8	22.4	18.7	30
4 (♂)	50.2-56.7 (53.3)	19.8-21.3 (20.5)	16.9-18.2 (17.6)	425-510 (470)
<i>Rostroraja texana</i> 2 (♀)	45.9-51.4 (48.7)	23.8-30 (26.9)	29.2-33.8 (31.5)	430-770 (600)
3 (♂)	43.8-53.3 (48.7)	24.4-46.9 (32.4)	28.5-34.7 (31)	370-680 (488.3)
<i>Hypanus americanus</i>	-	-	-	-
<i>Hypanus sabinus</i> 2 (♀)	78.5-84.4 (81.5)	28-29.9 (29)	28.7-37.4 (33.1)	845-955 (900)
3 (♂)	47.5-73.3 (63.3)	16.7-30.3 (24)	16.9-28.5 (23.5)	110-865 (490)
<i>Rhinoptera bonasus</i> 4 (♀)	62.8-72.4 (67)	35.4-46 (41.7)	36.7-69.3 (58.1)	3205-5125 (4181.3)
1 (♂)	75.2	42.8	65	3480
<i>Mobula hypostoma</i> 1 (♀)	-	38.9	63.1	2210
1 (♂)	-	40.5	67.6	2585

Descripción de dentículos dérmicos

A continuación, se describen los dentículos dérmicos analizados por especie y regionalización:

Isurus oxyrinchus Rafinesque, 1810

(Figs. 12-14)

Dorsal: los dentículos dérmicos son muy pequeños (115.7 μm) y están sobrepuestos, dejando expuesta la parte posterior del dentículo. Son de forma lanceolada, su borde posterior tiene tres cúspides, la central es ligeramente mayor a las laterales. El ancho y largo de la corona es similar, dándole una forma cuadrangular. Existen tres crestas bajas que recorren el borde dorsal de las cúspides. Sobre la superficie de la corona de los dentículos dorsales hay un mayor desgaste, principalmente se observa en la terminación de las cúspides. Sin microrrelieves ni microornamentaciones sobre la corona.

Ventral: también se muestran dentículos muy pequeños (105.2 μm) y de igual manera, hay un acomodo en sobreposición exponiendo la parte posterior del dentículo. Presentan forma romboidal y menos ensanchada (diferente a los dentículos dorsales) con tres quillas en la superficie de la corona; el borde anterior es más ancho y sinuoso, el borde posterior cuenta con tres cúspides que presentan desgaste en la terminación de éstas. No presentaron microestructuras en la superficie de la corona.

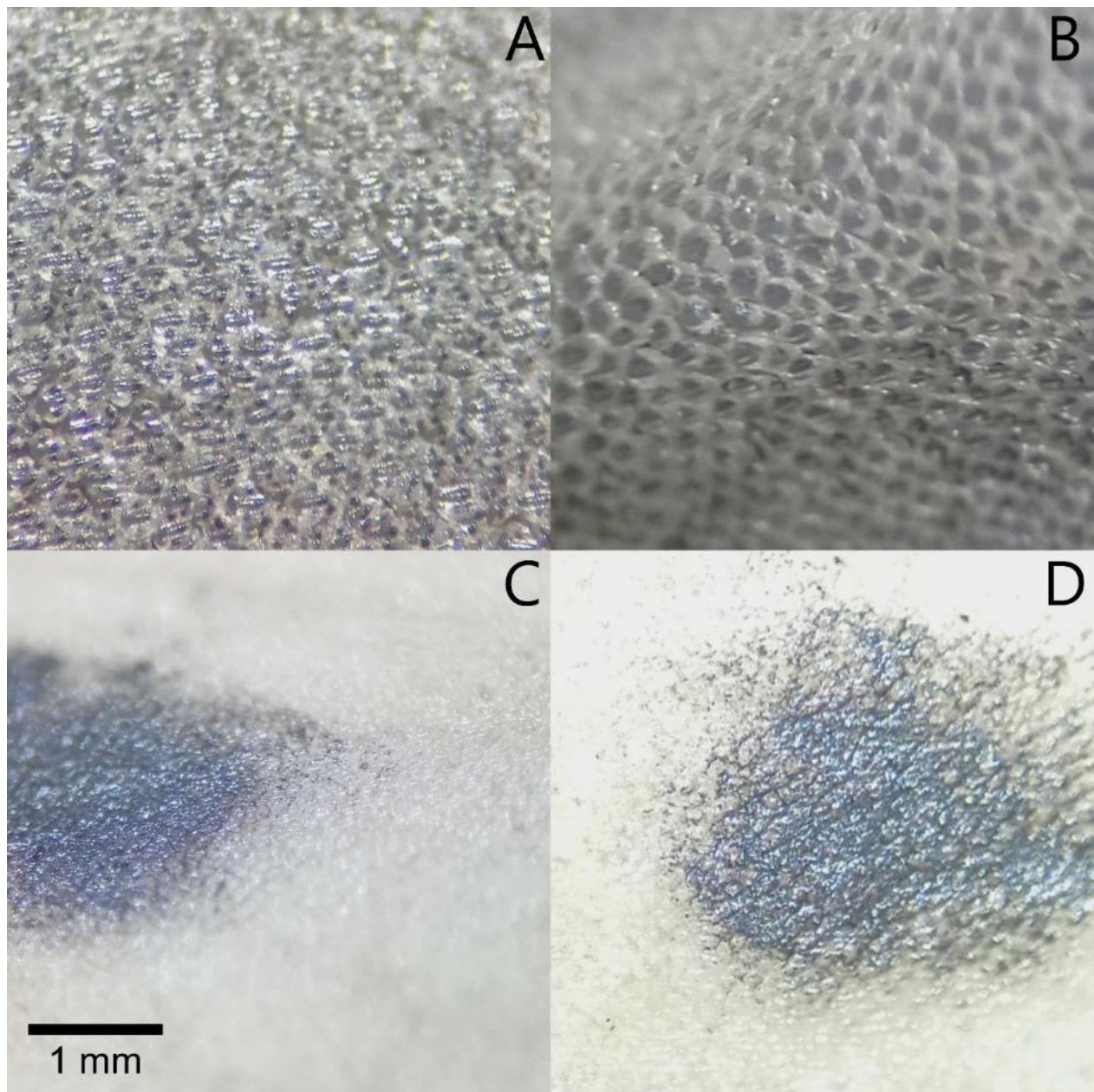


Figura 12. Denticulos dérmicos de *Isurus oxyrinchus* vistas a microscopía estereoscópica. A y B) Región dorsal; C y D) región ventral.

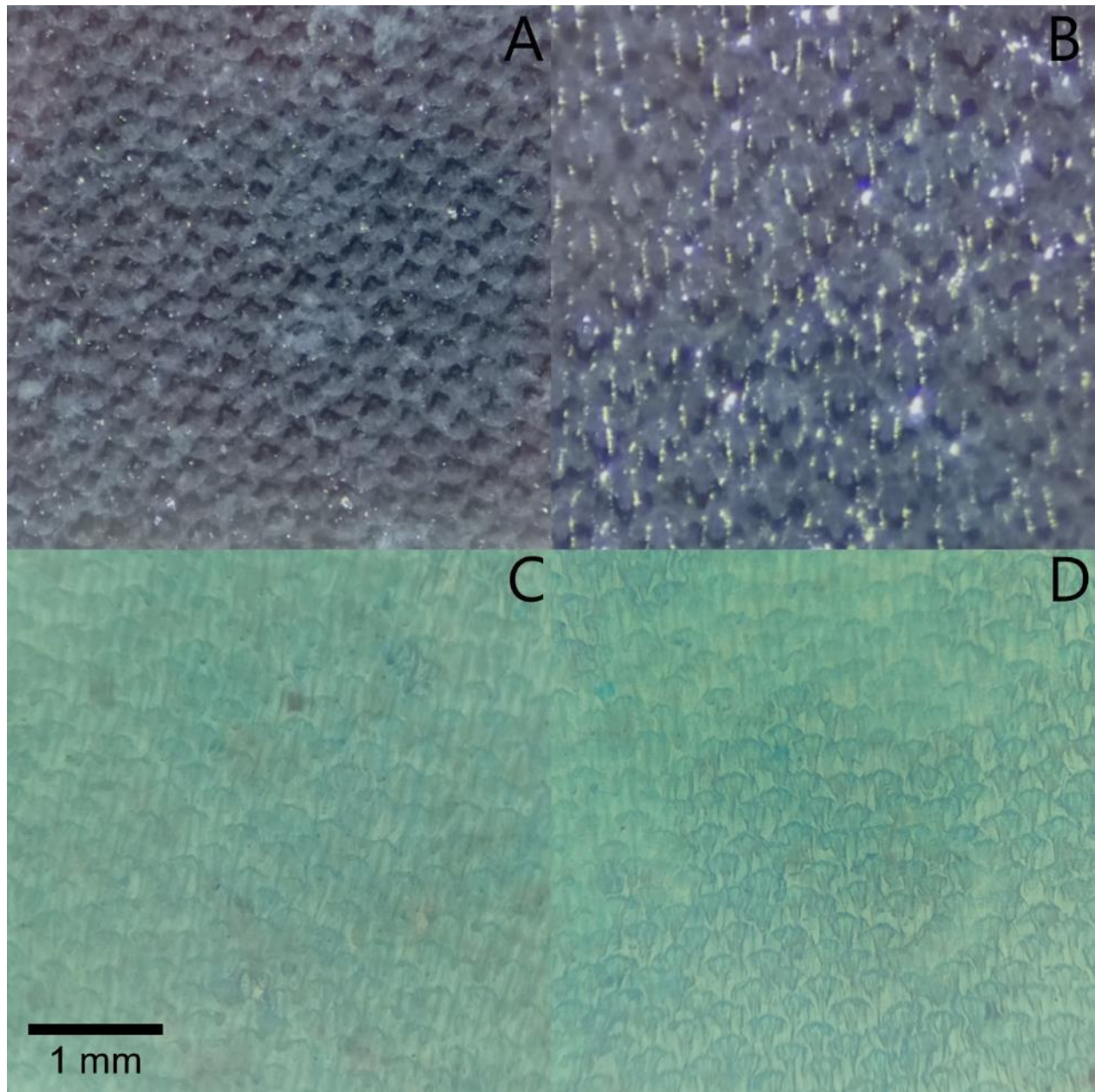


Figura 13. Dentículos dérmicos de *Isurus oxyrinchus* teñidos con azul de metileno y vistas a microscopía estereoscópica. A y B) Región dorsal; C y D) región ventral.

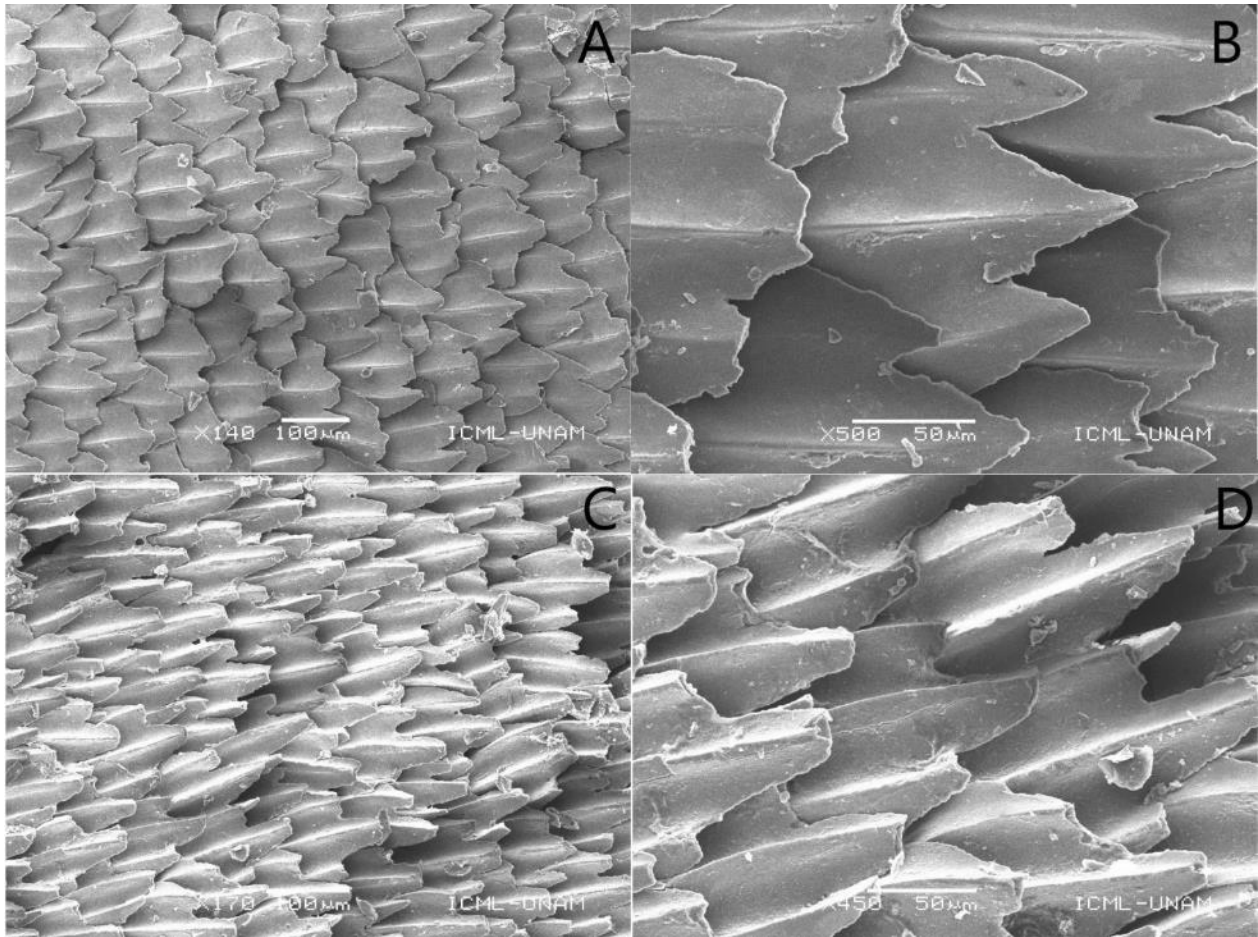


Figura 14. Micrografía de dentículos dérmicos de *Isurus oxyrinchus* tomadas con microscopio electrónico de barrido. A y B) Región dorsal; C y D) región ventral.

Scyliorhinus retifer (Garman, 1881)

(Figs.15-18)

Con esta especie, se pudo trabajar ambos sexos:

Macho

Dorsal: son pequeños (700 μm) y se encuentran acomodados de manera ordenada, exponiendo la superficie de la corona. Presentan forma romboidal y cuenta con cinco cúspides, siendo la central pequeña y las laterales más alargadas. El borde anterior es más ensanchado que el posterior, dando esta forma en gota al dentículo. Cuenta con cinco crestas bajas que recorren a las cúspides. En el borde anterior de la corona se observó la presencia de microornamentaciones circulares.

Ventral: dentículos pequeños (562.5 μm) y se observaron en un acomodo superpuesto, dejando expuesta parte de la corona y el borde posterior. Presentan forma romboidal y cuentan con cinco crestas medias que solo llegan a la mitad del dentículo. Borde anterior más ensanchado que el posterior, conservando la forma de gota. Cada cúspide presenta crestas bajas y el borde posterior se observa liso totalmente. Cercano al borde anterior, se observaron pequeños microrrelieves circulares.

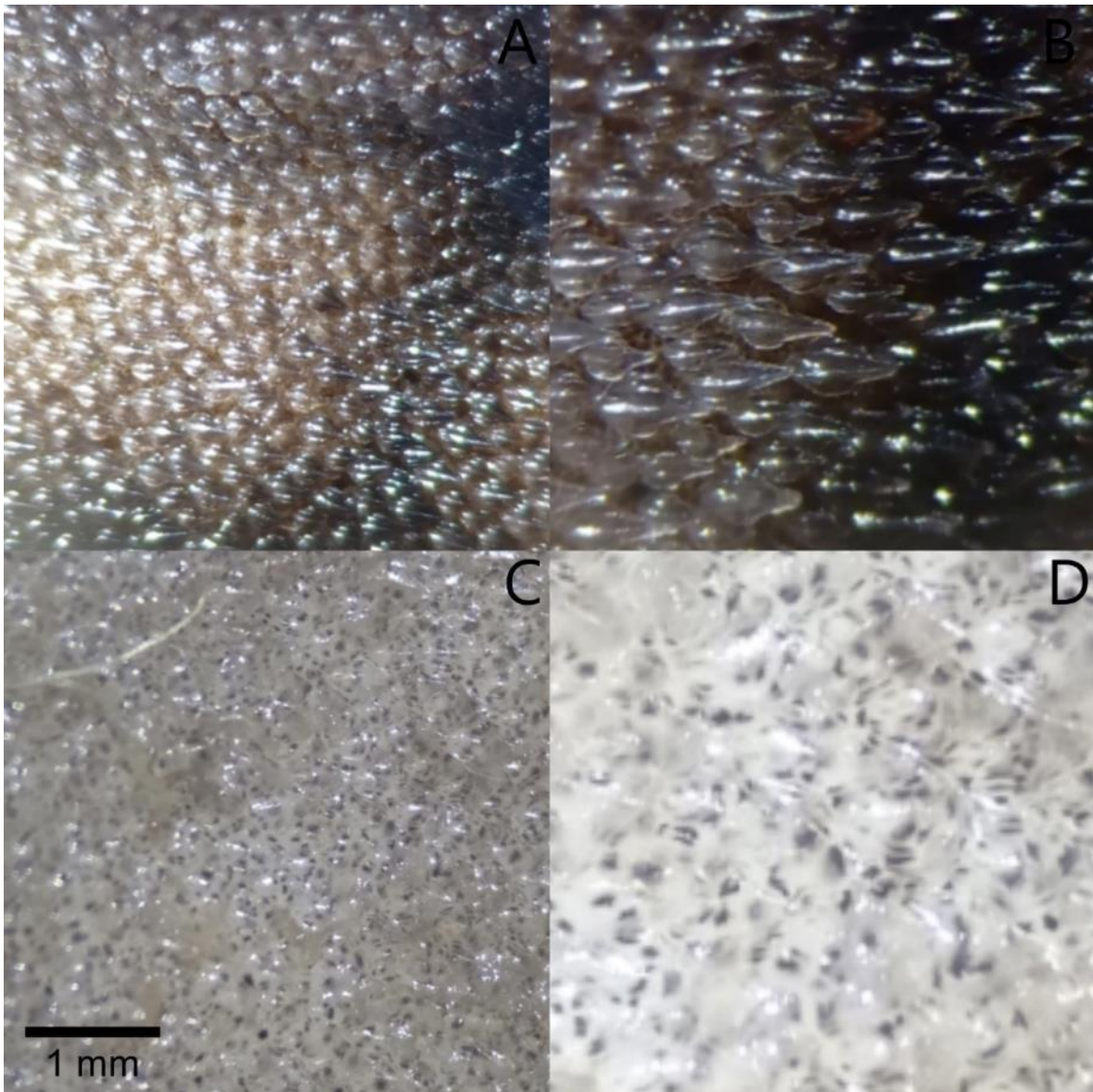


Figura 15. Fotografía vista a microscopio estereoscópico de *Scylliorhinus retifer*. A y B) Región dorsal; C y D) región ventral.

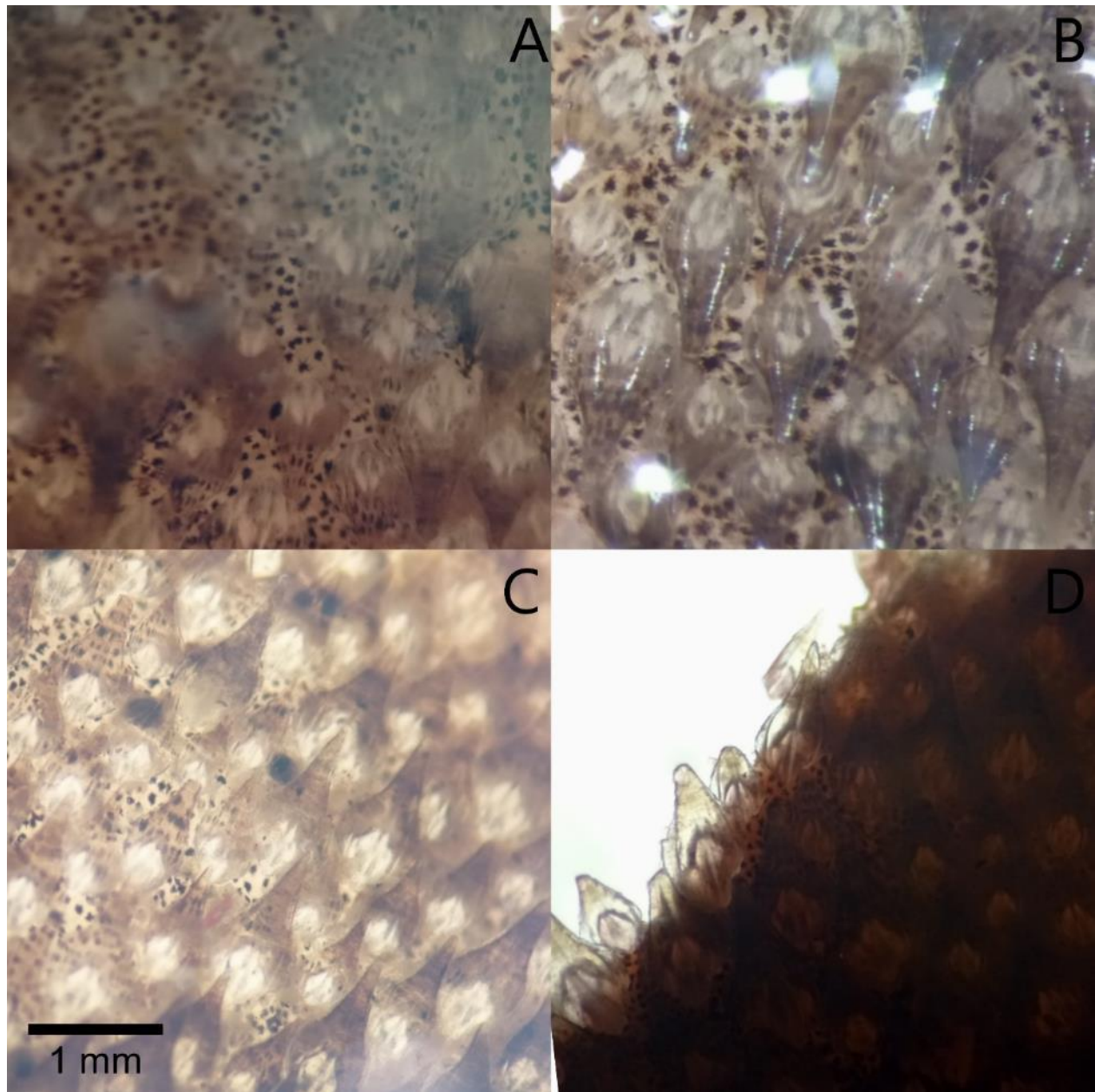


Figura 16. Dentículos dérmicos de *Scyliorhinus retifer* vistos en microscopio estereoscópico, A y B) Región dorsal; C y D) región ventral.

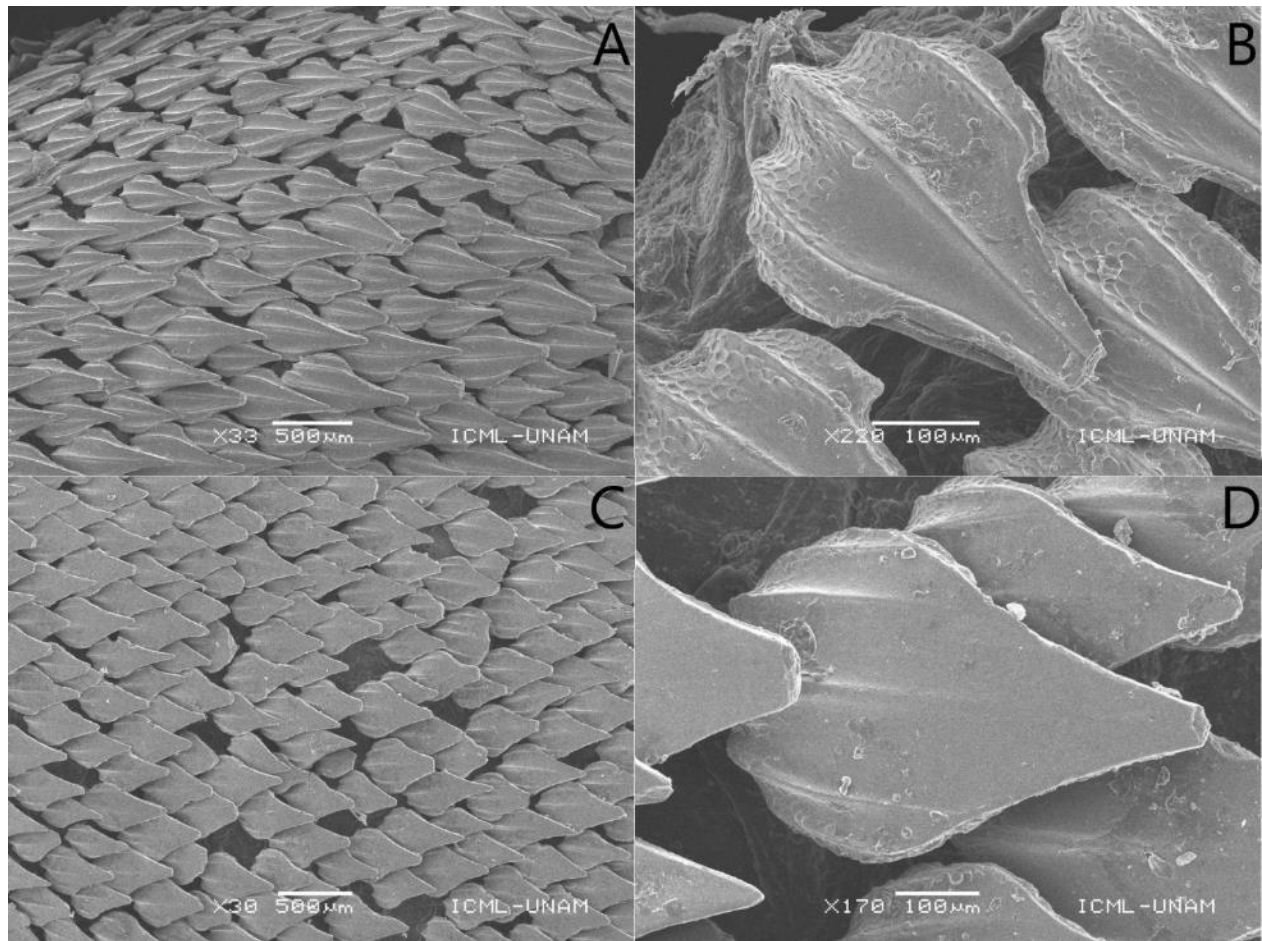


Figura 17. Micrografía en microscopía electrónica de barrido de dentículos de *Scyliorhinus retifer* macho. A y B) Región dorsal; C y D) región ventral.

Hembra

Dorsal: pequeños, de mayor tamaño en comparación con machos (833 μm) y se encuentran superpuestos, cubriendo solo el borde anterior en dentículos de mayor tamaño; en los de menor tamaño, se cubre la mitad de la corona. Forma romboidal, lanceolada; en la superficie de la corona se observan cinco cúspides, siendo la central de mayor tamaño. El borde anterior es redondeado, definido por las cúspides mientras que el borde posterior es terminal, lo que da la forma lanceolada al dentículo. Cada cúspide posee su cresta baja que la recorre. Cercano al borde anterior, se observaron microornamentaciones y el mayor desgaste fue presente en todo el borde posterior del dentículo.

Ventral: dentículos más pequeños en comparación con los dorsales (534 μm) acomodados en superposición, más unidos, dejando solo el borde posterior al descubierto. Forma más circular y lanceolada, asemejando pequeñas gotas; la superficie de la corona posee cinco cúspides medias que solo cubren a la mitad de la corona, dejando la otra mitad lisa. El borde anterior es más redondeado y circular, muy ensanchado y el borde posterior es lanceolado y terminal, finalizando en punta. Cada cúspide posee una cresta baja que la recorre de igual manera. En el borde anterior se observaron pequeñas microornamentaciones y desgaste en el borde posterior, principalmente en la punta del dentículo.

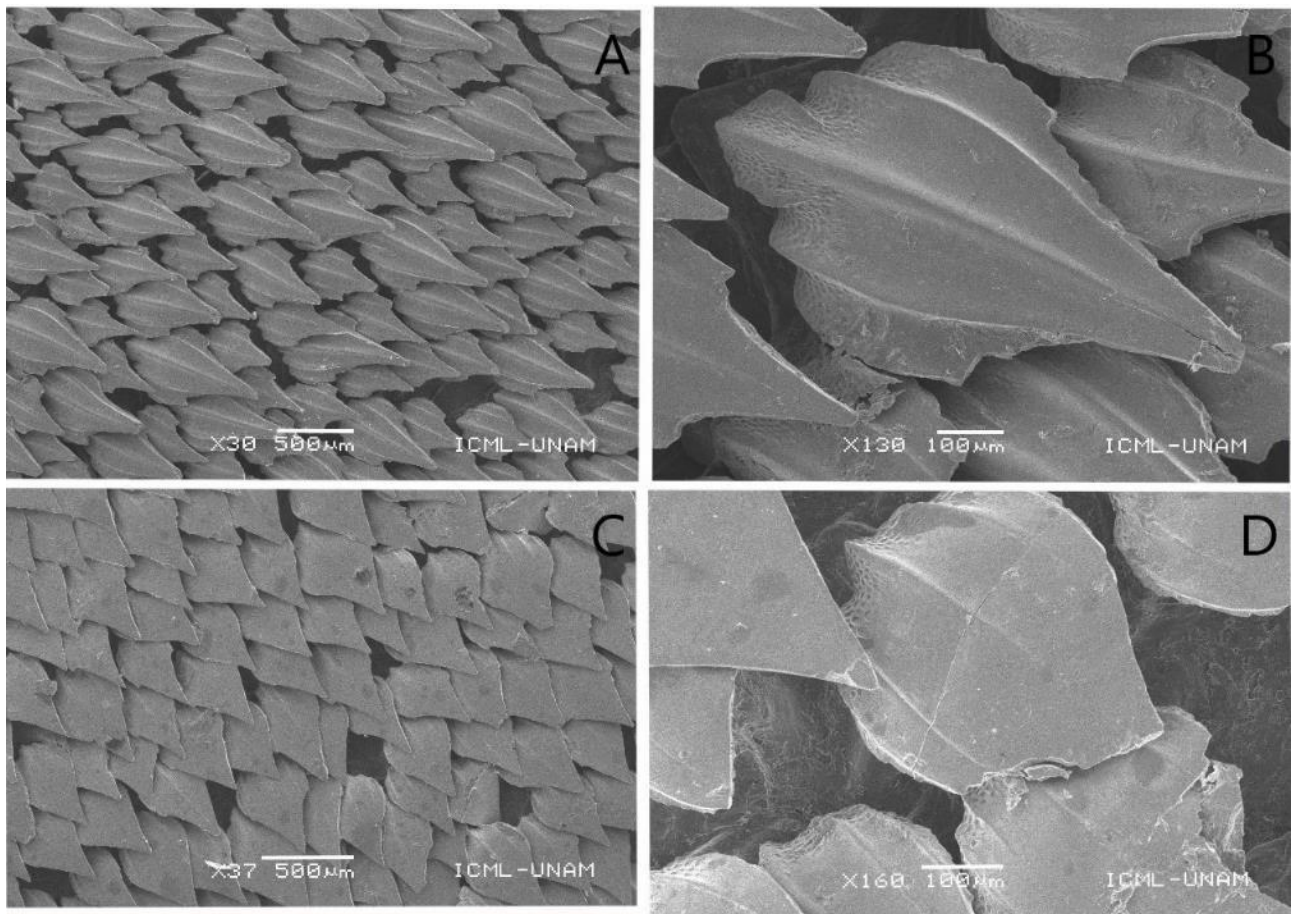


Figura 18. Micrografía de dentículos dérmicos de una hembra de *Sylliorhinus retifer*. A y B) Región dorsal; C y D) región ventral.

Carcharhinus falciformis (Bibron, 1839)

(Fig. 19)

La descripción de los dentículos dérmicos de esta especie se basa en el único ejemplar obtenido, un macho debido a que solo se pudo obtener un ejemplar. Por lo mismo, no fue posible obtener micrografías de microscopio electrónico de barrido, lo cual, no permitió obtener más información de sus dentículos.

Dorsal: pequeños (270 μm) y se encuentran acomodados de manera ordenada, dejando descubierta la corona en totalidad. Presentan forma circular en su mayoría, con tres a cuatro cúspides. El ancho y largo de la corona es similar, dando una ligera forma cuadrangular. Posee tres a cuatro crestas bajas que recorren todo el borde dorsal de las cúspides. No se observaron microornamentaciones.

Ventral: dentículos pequeños (260 μm) igualmente acomodados de manera ordenada. Forma circular, presentando de tres a cuatro cúspides. El ancho y largo de la corona es similar; también cuenta con tres a cuatro crestas que recorren el borde dorsal de las cúspides. No se observan microornamentaciones o algún otro carácter que los diferencie de los dentículos dorsales.

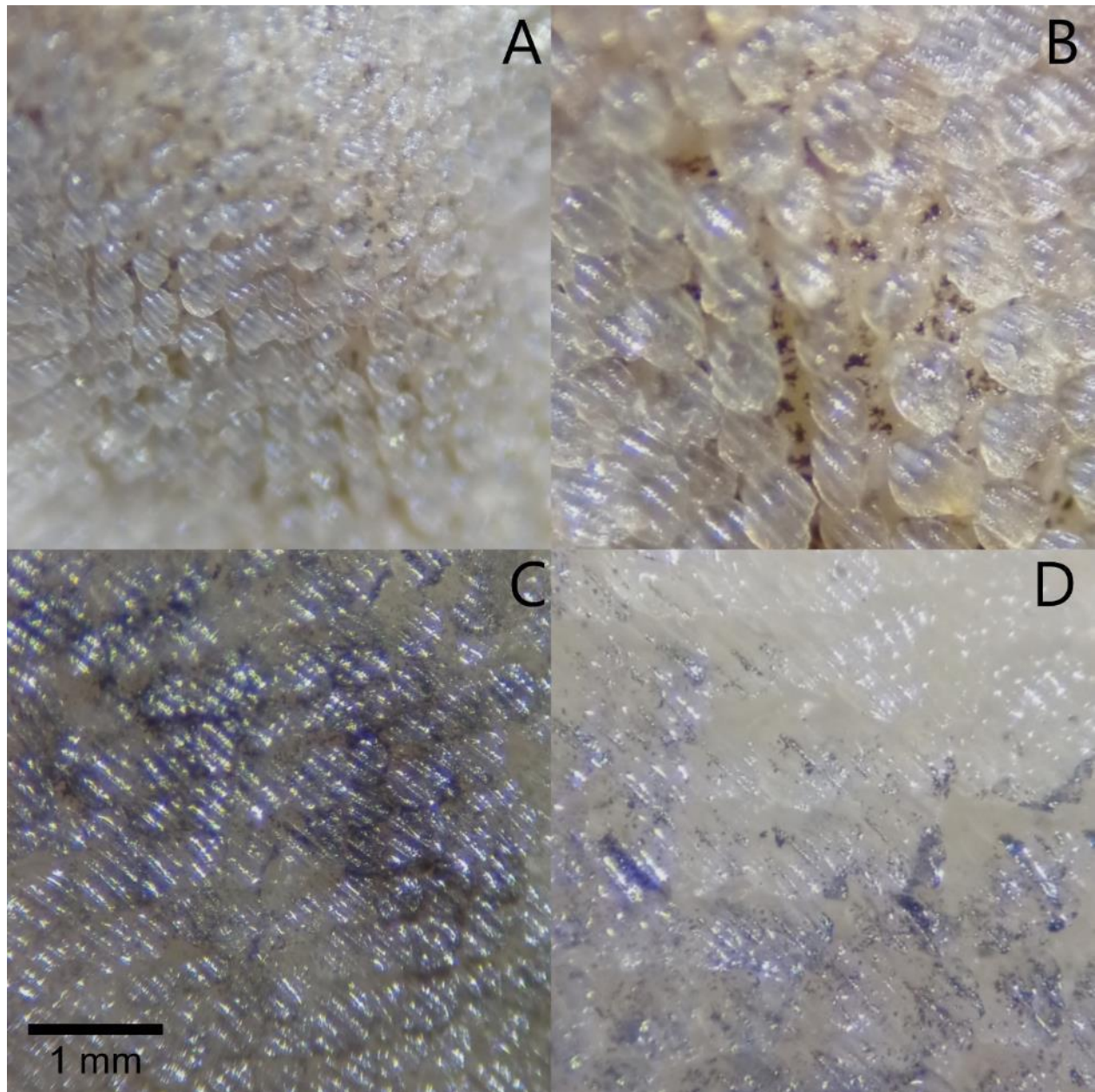


Figura 19. Dentículos dérmicos de *Carcharhinus falciformis* vistas a microscopía estereoscópica. A y B) Región dorsal; C y D) región ventral.

Carcharhinus limbatus (Valenciennes, 1839)

(Figs. 20 y 21)

Similar a la especie anterior, de *C. limbatus* solo se pudo obtener un ejemplar macho para poder realizar la caracterización de los dentículos dérmicos y no fue posible obtener micrografías en microscopio electrónico de barrido.

Dorsal: pequeños (778 μm) y se encuentran acomodados de manera ordenada, cubriendo solo una parte del borde anterior. Presentan forma hexagonal, ligeramente lanceolada, con cuatro cúspides de similar tamaño, rodeadas por cuatro crestas laterales. Borde anterior y posterior de similar tamaño, siendo las cúspides quienes dan la ligera forma lanceolada. No se observó desgaste ni micro relieves en los dentículos.

Ventral: pequeños (722 μm) y muestran formas hexagonales y ligeramente lanceoladas; con cuatro cúspides, siendo las dos centrales poco más alargadas, con sus cuatro crestas laterales. Borde anterior y posterior del mismo tamaño, siendo el borde posterior y quillas quienes dan la forma lanceolada. No presentaron microrrelieves.

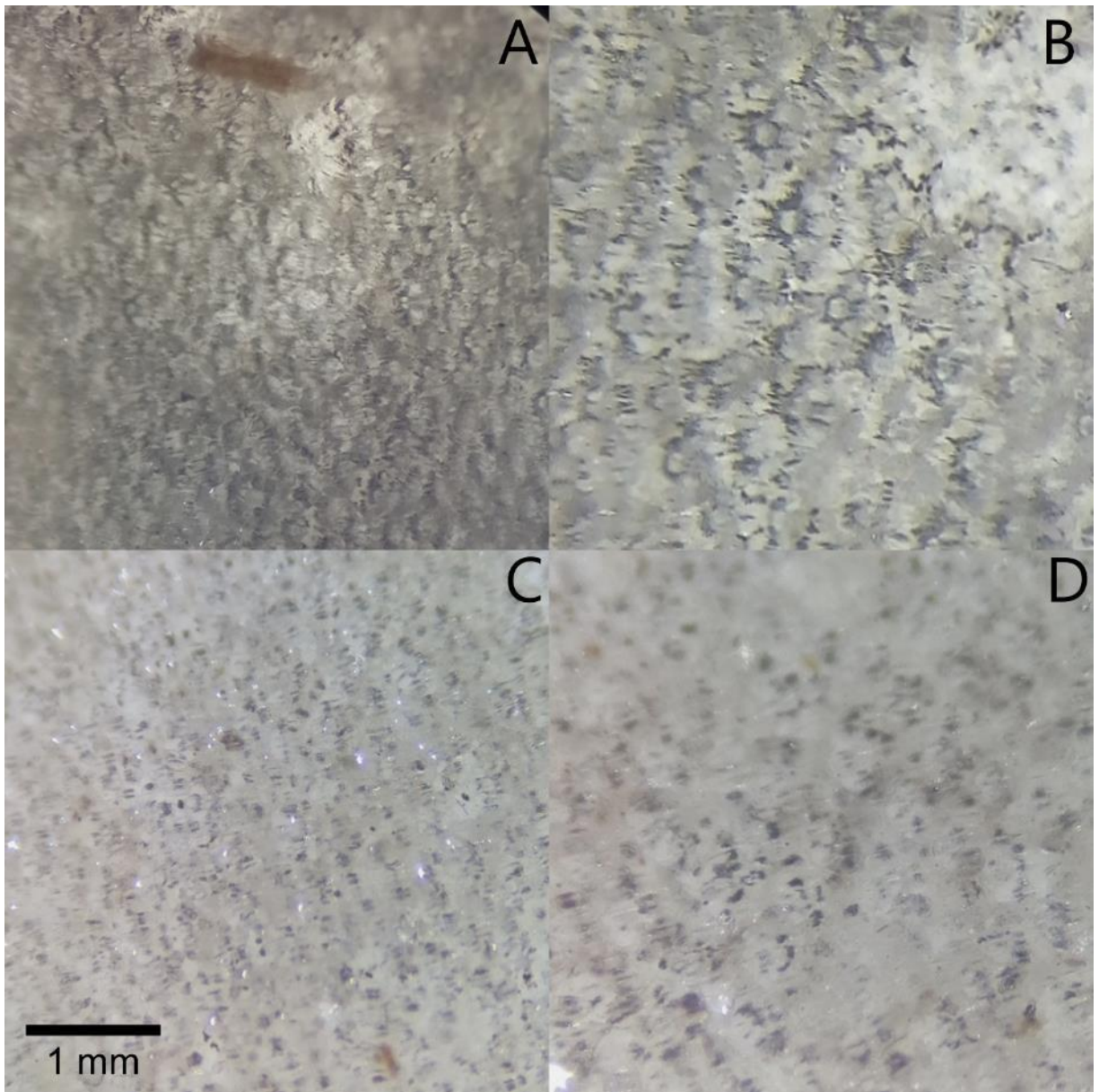


Figura 20. Denticulos dérmicos de *Carcharhinus limbatus* vistas a microscopía estereoscópica. A y B) Región dorsal; C y D) Región ventral.

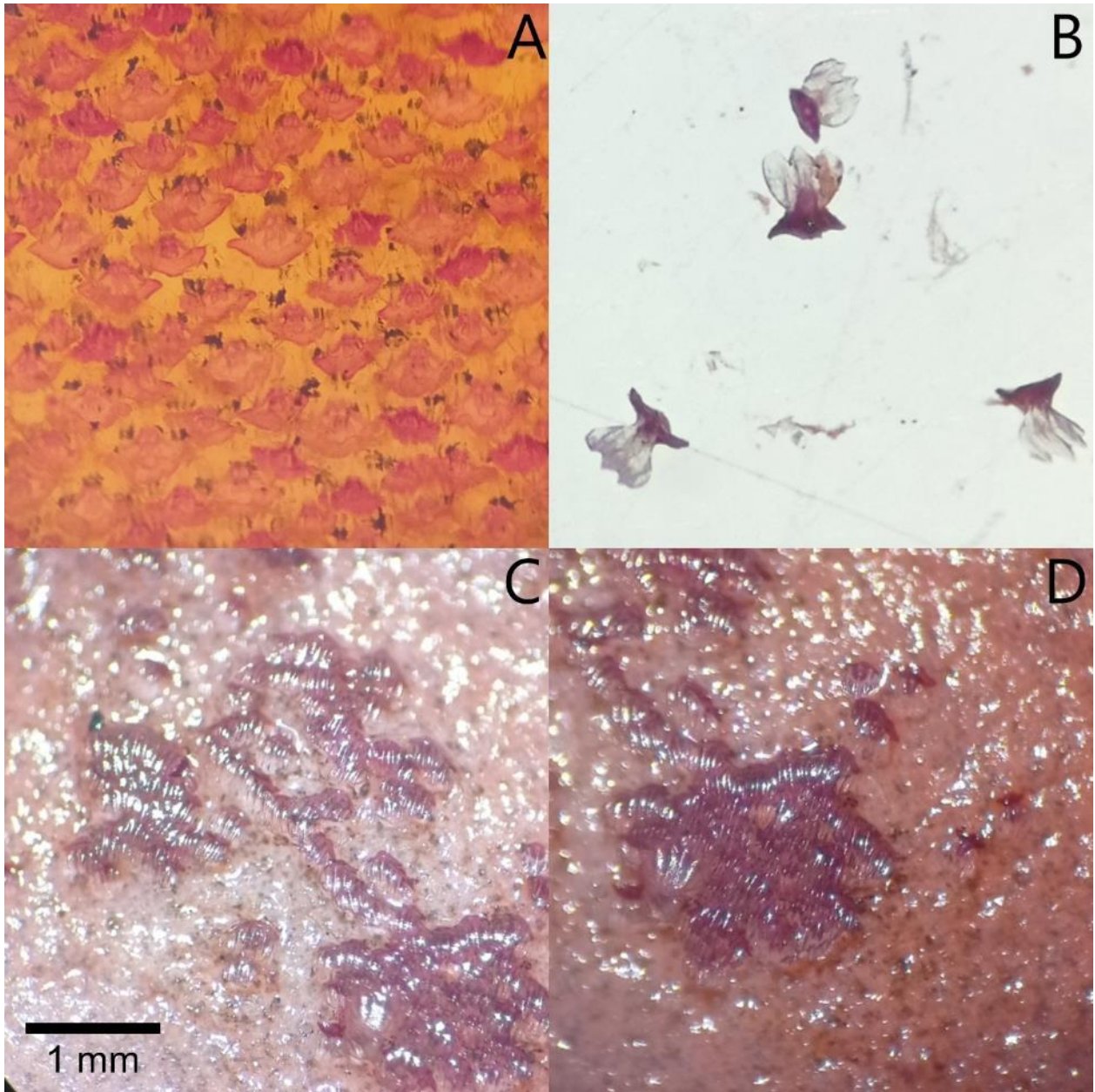


Figura 21. Dentículos teñidos vistos a microscopía estereoscópica de *Carcharhinus limbatus*. A y B) Región dorsal; C y D) Región ventral.

Galeocerdo cuvier (Perón & Lesueur, 1822)

(Fig. 22)

De igual manera, en esta especie solo se trabajó con un ejemplar hembra para la descripción de los dentículos dérmicos. Al ser el único ejemplar, se preservó el organismo y no fue posible la obtención de muestra de piel para obtener micrografía en el microscopio electrónico de barrido.

En esta especie, se observaron las mismas características tanto región dorsal como ventral: dentículos pequeños (778 μm) y se encuentran acomodados de manera ordenada, dejando expuesta la corona y un evidente espacio entre dentículos. Presentan formas romboidales y triangulares, con una quilla central y dos cúspides laterales que dan la apariencia de un prisma a la corona. El borde anterior es ensanchado, mientras que el posterior se observa terminal en forma lanceolada. No se observaron micro ornamentaciones.

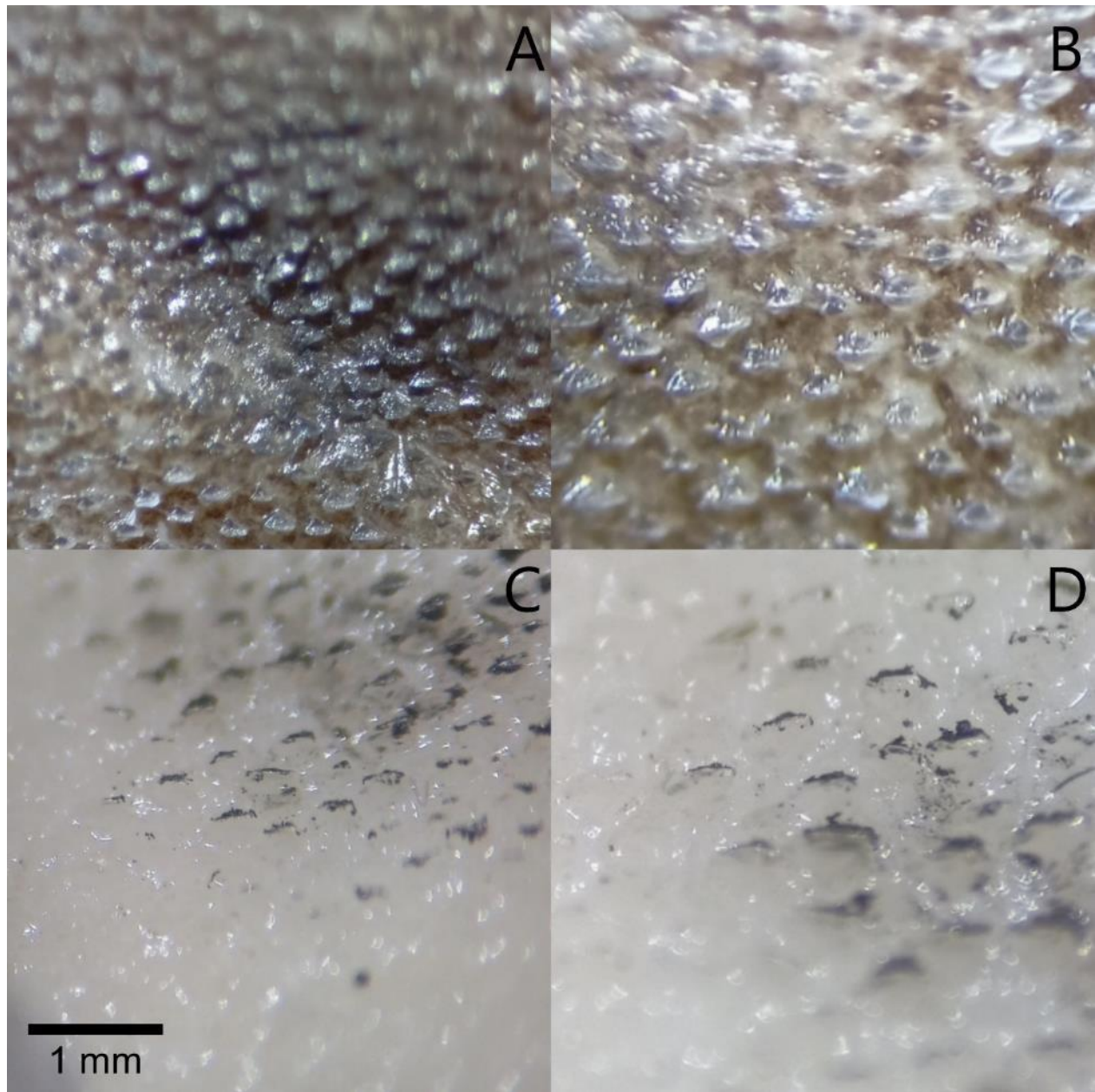


Figura 22. Denticulos dérmicos en *Galeocerdo cuvier* vistas a microscopía estereoscópica. A y B) Región dorsal; C y D) región ventral.

Rhizoprionodon terraenovae (Richardson, 1836)

(Figs. 23-25)

Dorsal: dentículos pequeños (444 μm), se encuentran sobrepuestos dejando expuesta la parte posterior del dentículo. Presentan forma lanceolada; el borde posterior cuenta con cinco cúspides, siendo la central de mayor tamaño. El ancho de la corona es más grande en comparación con el largo, dando la forma lanceolada. Cada cúspide cuenta con su cresta baja que recorre el borde dorsal de éstas. Se observó mayor desgaste en la terminación del borde posterior, principalmente en las cúspides. Se observó la presencia de micro relieves cercanos a las crestas laterales.

Ventral: dentículos pequeños (315 μm) y se encuentran sobrepuestos dejando expuesta la parte posterior del dentículo. Presentan forma romboidal; el borde posterior presenta de cuatro a cinco cúspides de similar tamaño. El ancho y largo de la corona es de similar tamaño dando la forma romboidal. No se observaron crestas bajas ni desgaste en la corona. Tampoco se observaron micro relieves.

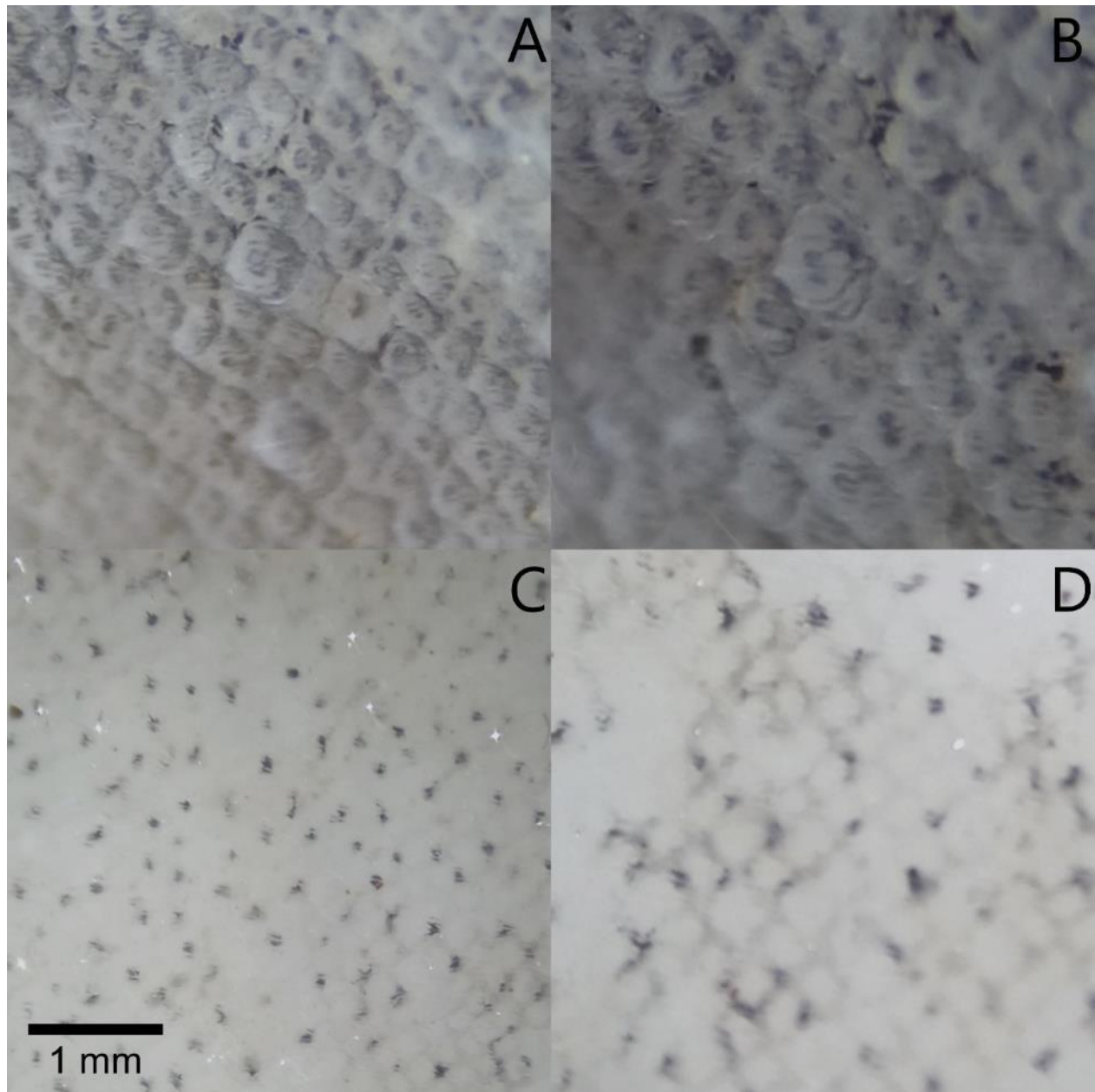


Figura 23. Dentículos dérmicos de *Rhizoprionodon terraenovae* vistos en microscopio estereoscópico: A y B) Región dorsal; C y D) región ventral.

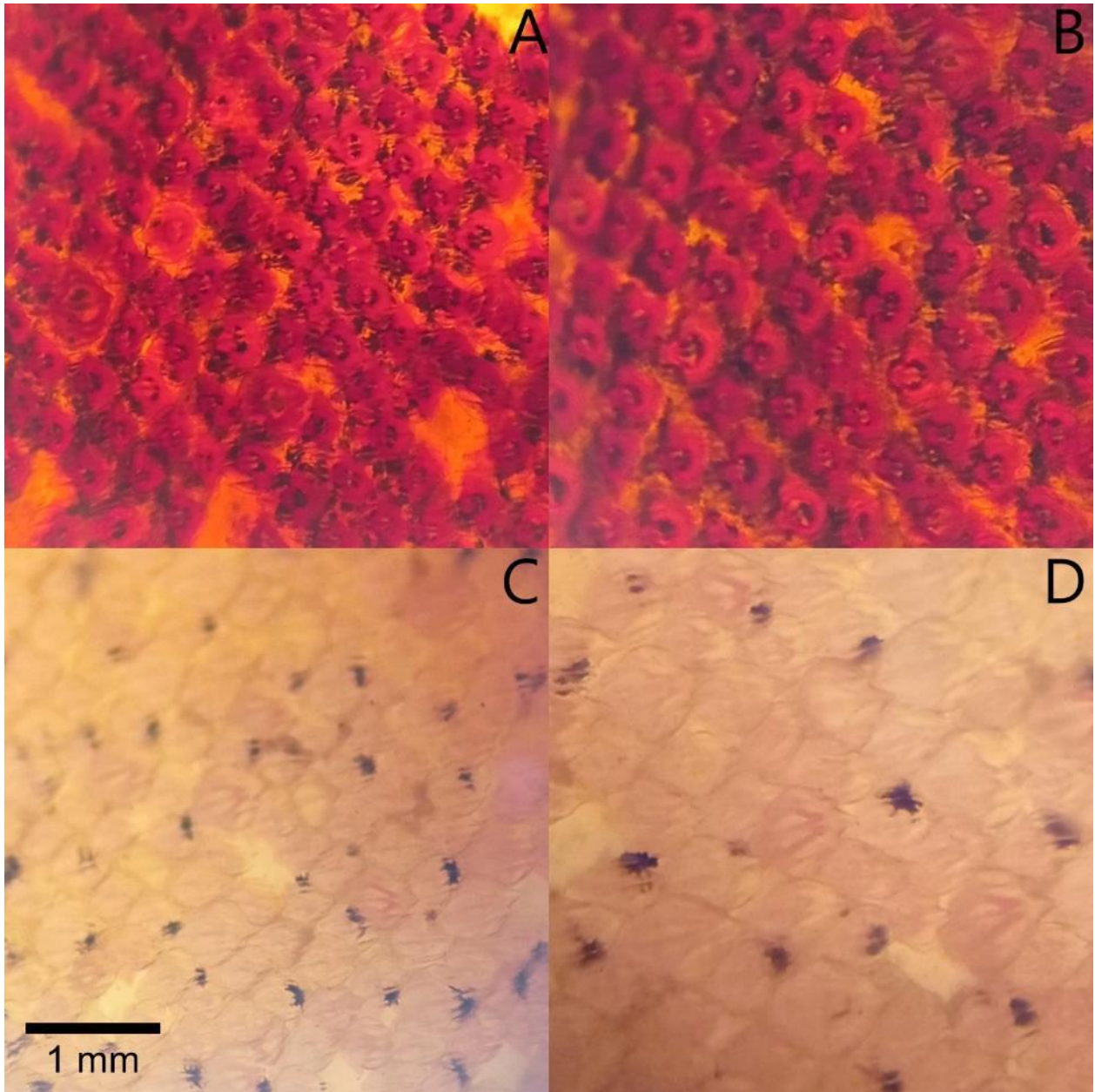


Figura 24. Dentículos dérmicos teñidos con rojo de alizarina de *Rhizoprionodon terraenovae*. A y B) Región dorsal; C y D) región ventral.

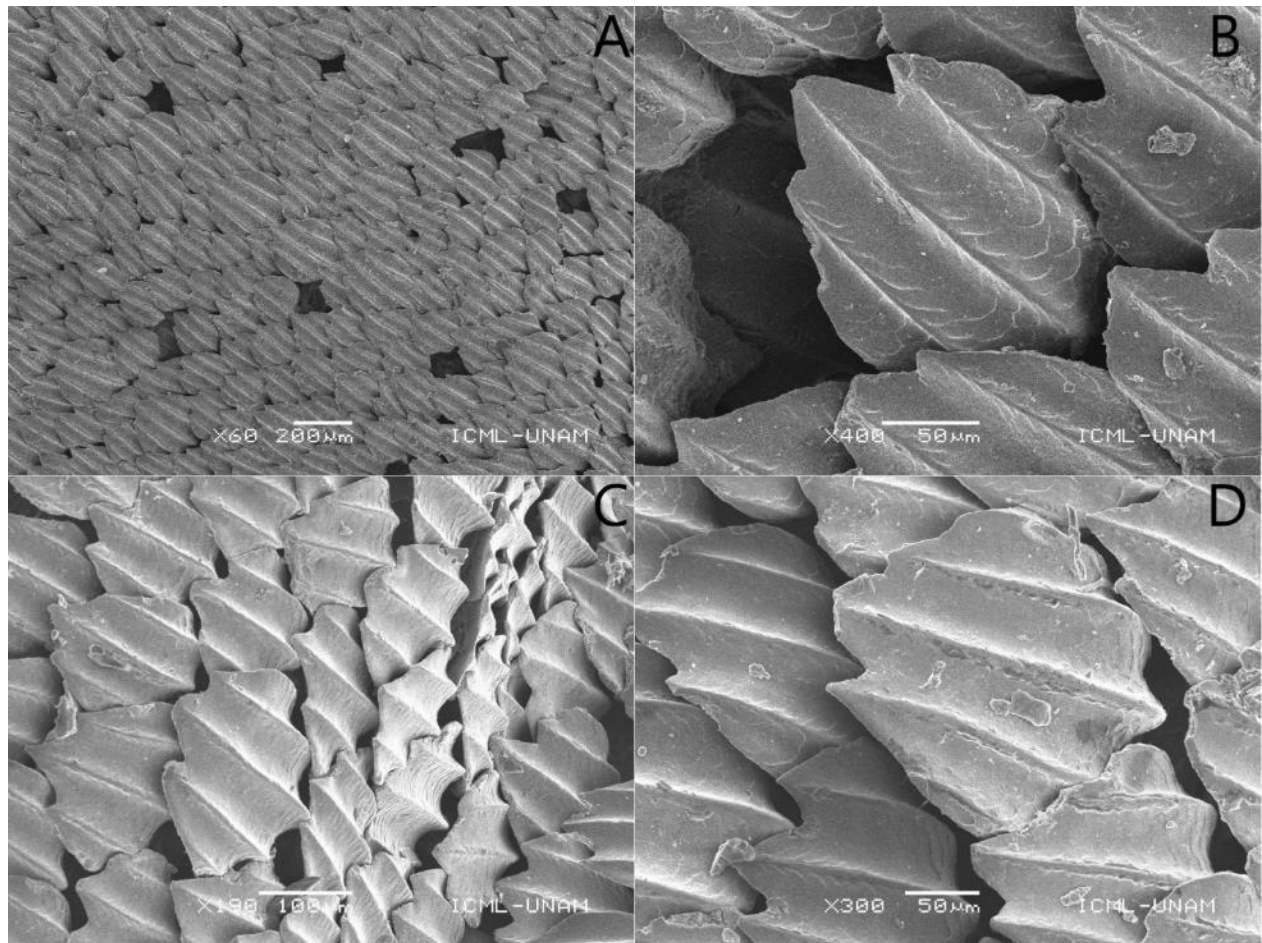


Figura 25. Micrografía electrónica de barrido de los dentículos dérmicos de *Rhizoprionodon terraenovae*. A y B) Región dorsal; C y D) región ventral.

Sphyrna tiburo (Linnaeus, 1758)

(Fig. 26)

En esta especie, solo se obtuvieron dos ejemplares machos, de los cuales, no fue posible obtener micrografías debido a que fueron utilizados para otros estudios, por lo cual, no se pudo obtener más información sobre sus dentículos.

Dorsal: dentículos pequeños (389 μm) y se encuentran sobrepuestos, con pequeños espacios entre ellos por posible pérdida. Presentan forma hexagonal; el borde posterior cuenta con tres cúspides de tamaño similar. El ancho y largo de la corona es similar. No se observaron crestas en las cúspides; se observó desgaste en la terminación de las cúspides. No se observó presencia de microrrelieves.

Ventral: dentículos pequeños (278 μm) acomodados ligeramente en superposición con espacios evidentes entre ellos por posible pérdida de sus dentículos. Tienen forma hexagonal; el borde posterior cuenta con tres cúspides, siendo la central la más alargada. El ancho y largo de la corona es similar en tamaño, dando la forma hexagonal.

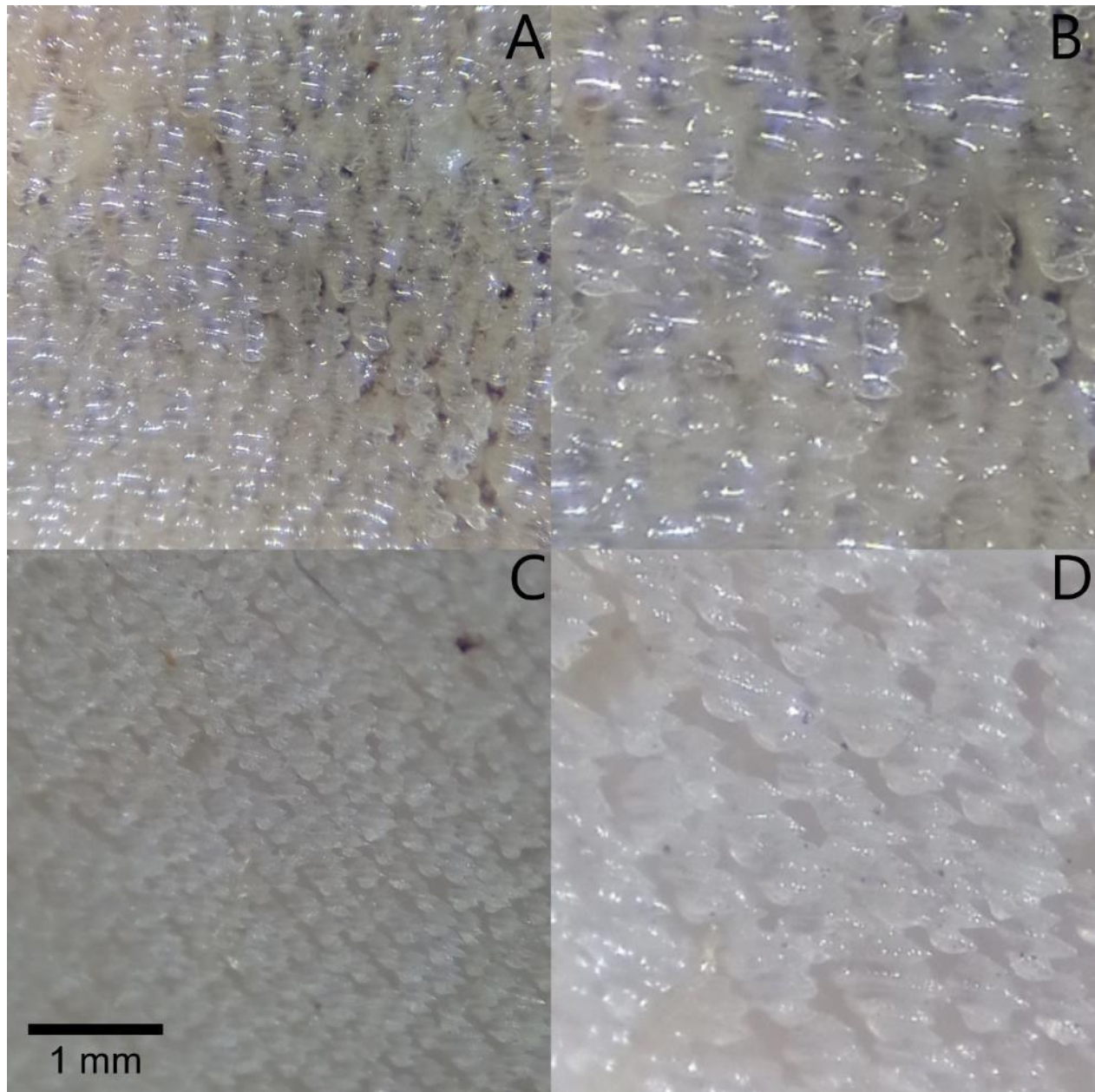


Figura 26. Fotografía de microscopio estereoscópico de los dentículos dérmicos de *Sphyrna tiburo*. A y B) Región dorsal; C y D) región ventral.

Squalus cubensis Howell Rivero, 1936

(Figs. 27-29)

Dorsal: dentículos pequeños en su mayoría (207 μm) acomodados a manera de mosaico, dejando toda la corona libre y evidente espacio entre dentículos. Son de forma romboidal, alargados y asemejan a una cruz. El borde anterior está formado por tres cúspides donde la central es más ensanchada, mientras que el borde posterior cuenta con una sola cúspide más alargada; el ancho de la corona es más reducido en comparación con el largo, lo que da la forma de un rombo. Cada cúspide cuenta con una cresta lateral que recorre el borde dorsal de dicha cúspide. Se observó desgaste principalmente en la cúspide del borde posterior, en la parte terminal. No se observó la presencia de micro ornamentaciones.

Ventral: dentículos pequeños y más grandes que los de la región dorsal (221 μm), en su mayoría acomodados a manera de mosaico, cubriendo ligeramente el borde anterior. Presentan forma romboidal; el borde anterior se conforma de tres cúspides de un tamaño similar, siendo la central ligeramente más alargada y ensanchada; el borde posterior tiene una sola cúspide alargada y terminal. El ancho y largo de la corona es similar, dando una forma cuadrada en su mayoría a excepción de los dentículos que se observaron de menor tamaño y menos simétricos. Las cúspides cuentan con una cresta lateral que recorre el borde dorsal de ésta. En la mayoría de los dentículos se observó desgaste principalmente en la cúspide del borde posterior que conecta con la cúspide media del borde anterior. No presentaron micro ornamentaciones.

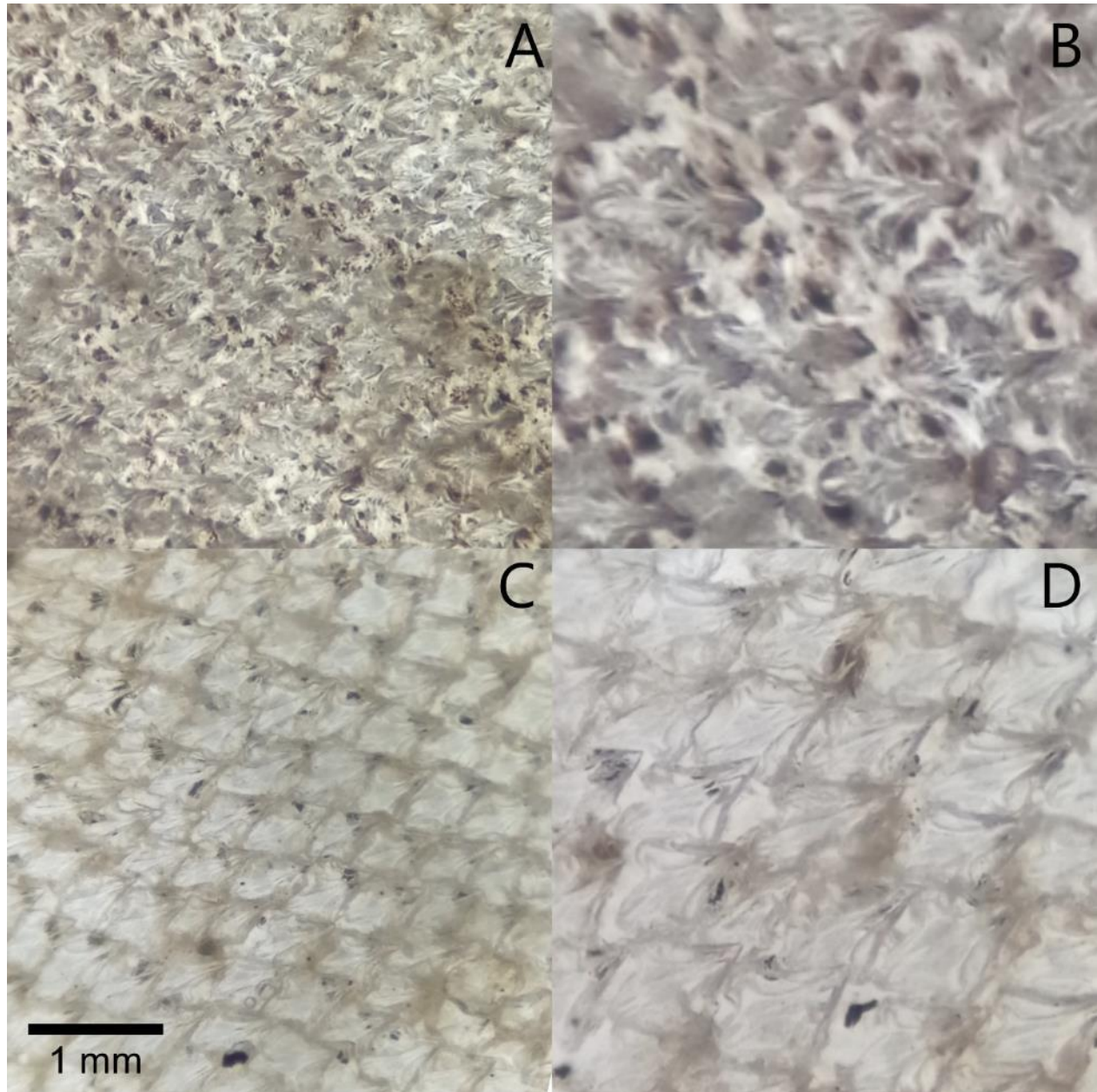


Figura 27. Dentículos dérmicos de *Squalus cubensis* vistos a microscopía estereoscópica. A y B) Región dorsal; C y D) región ventral.

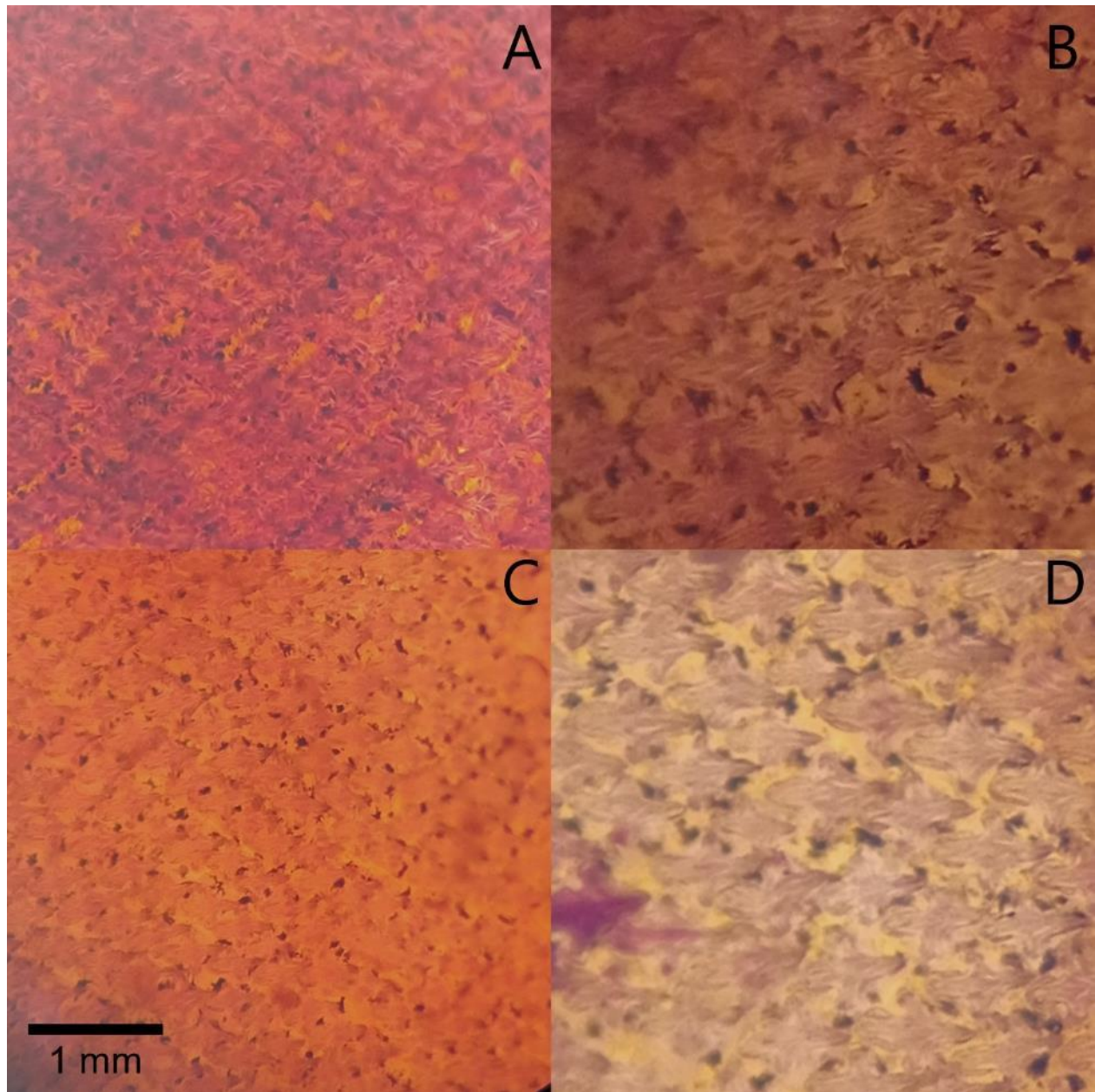


Figura 28. Dentículos dérmicos teñidos con rojo de alizarina de *Squalus cubensis* y vistos a microscopía estereoscópica. A y B) Región dorsal; C y D) Región ventral.

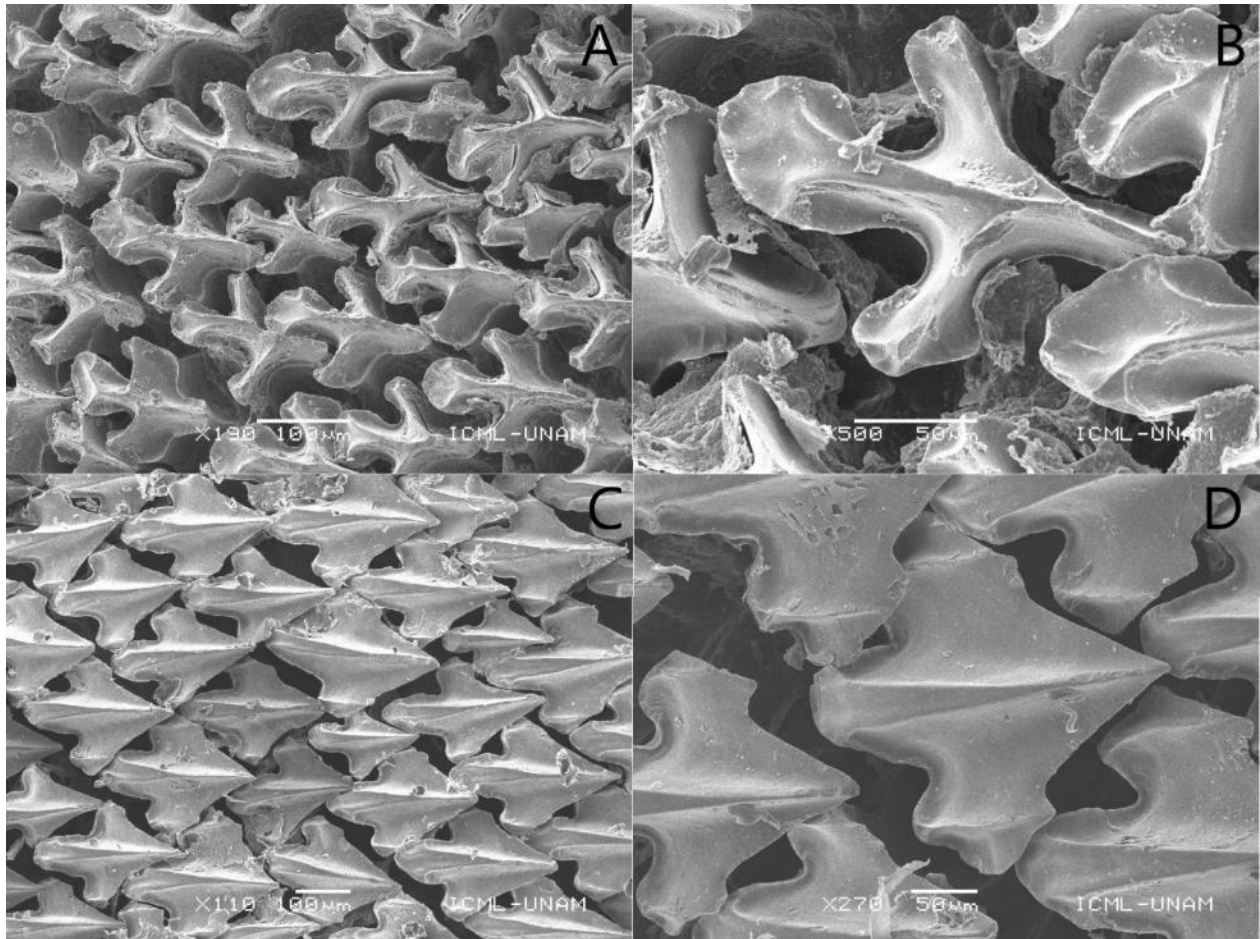


Figura 29. Micrografía en microscopía electrónica de barrido de los dentículos dérmicos de *Squalus cubensis*. A y B) Región dorsal; C y D) región ventral.

Squalus clarkae Pflieger, Grubbs, Cotton & Daly-Engel, 2018
(Figs. 30-32)

Dorsal: dentículos pequeños (240 μm) que se encuentran sobrepuestos, cubriendo solamente una parte del borde anterior. Presentan forma romboidal, aunque dentículos más pequeños tienen una forma romboidal más irregular con los bordes más redondeados; en el caso de dentículos de mayor tamaño el borde anterior se muestra ensanchado, formado por una cúspide central que llega hasta el borde posterior, el cual, cuenta con otras dos o tres cúspides. El ancho de la corona es más grande, mientras que el largo es ligeramente más delgado y terminal en las cúspides, dando la forma romboidal al dentículo. Cada cúspide posee una cresta lateral en el borde dorsal.

Se observó en el borde posterior de la corona, desgaste principalmente en las cúspides laterales y rompimiento en la cúspide central. No se observaron micro ornamentaciones.

Ventral: dentículos pequeños, de mayor tamaño a los dorsales (260 μm) que se encuentran sobrepuestos, dejando libre parte del borde posterior. Presentan forma lanceolada; el borde anterior se muestra más ensanchado, formado por tres cúspides, siendo la central de mayor tamaño. El largo de la corona es mayor, dando la forma lanceolada; en algunos dentículos de mayor tamaño, se observan similar, dando una forma más cuadrada. Cada cúspide presenta una cresta lateral en los bordes dorsales. Se observó mayor desgaste en el borde posterior, principalmente rompimiento en la cúspide central. No se observaron micro ornamentaciones.

Es importante mencionar que, en este género, se observó que los dentículos ventrales más pequeños tienen formas más irregulares.

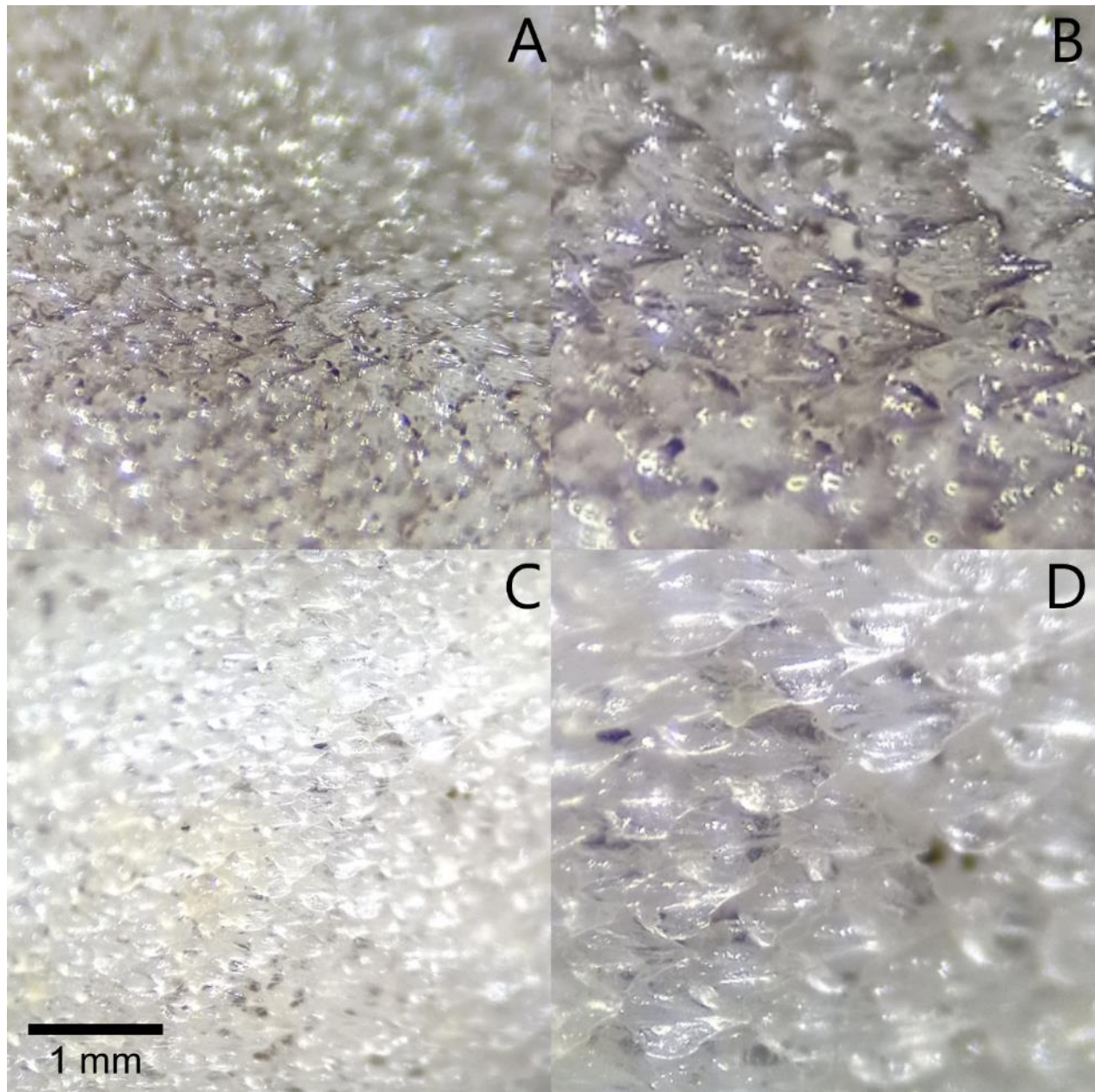


Figura 30. Dentículos dérmicos de *Squalus clarkae* vistos a microscopía estereoscópica. A y B) Región dorsal; C y D) región ventral.

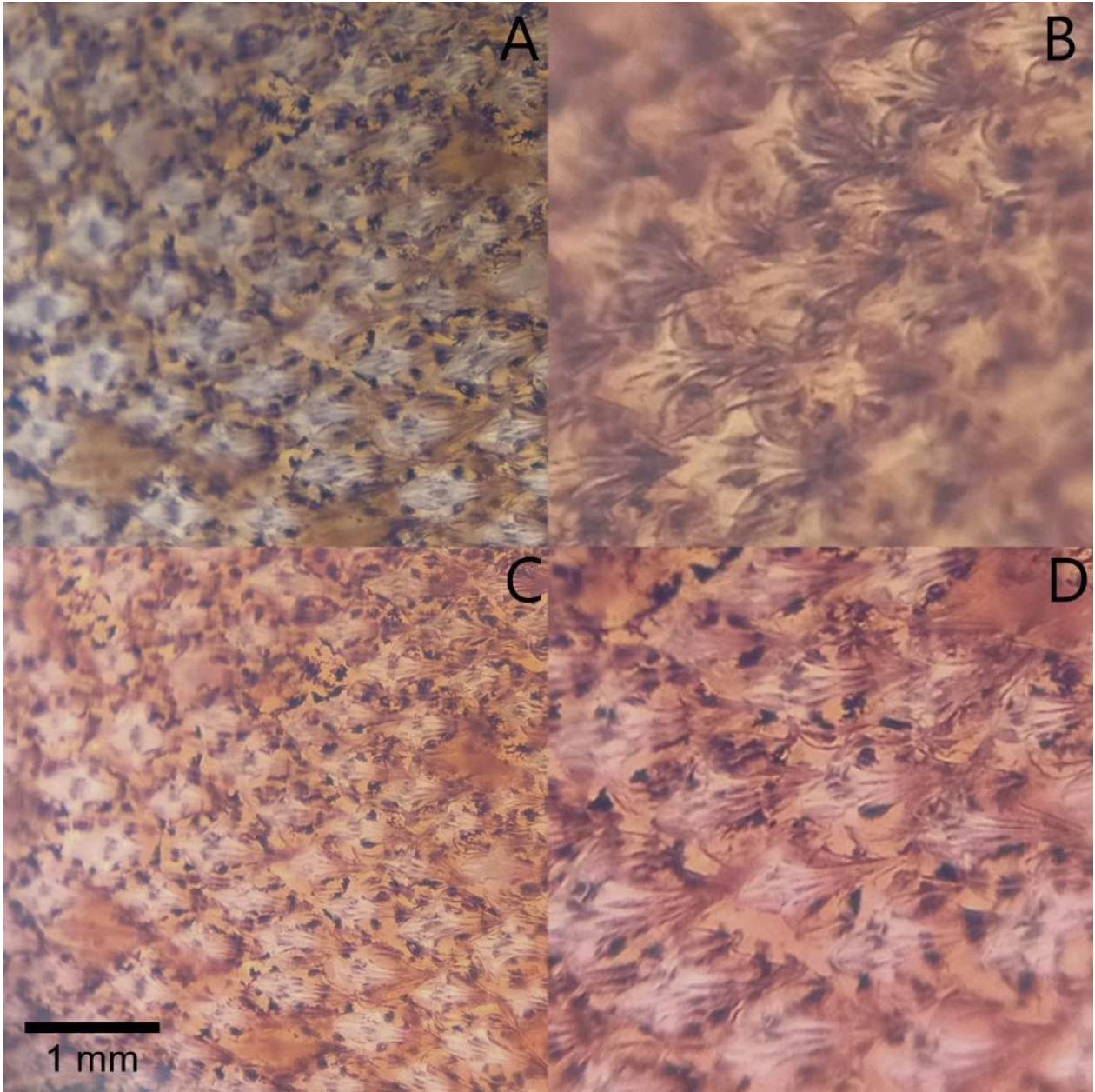


Figura 31. Dentículos dérmicos teñidos con rojo de alizarina de *Squalus clarkae* vistos a microscopía estereoscópica. A y B) Región dorsal; C y D) región ventral.

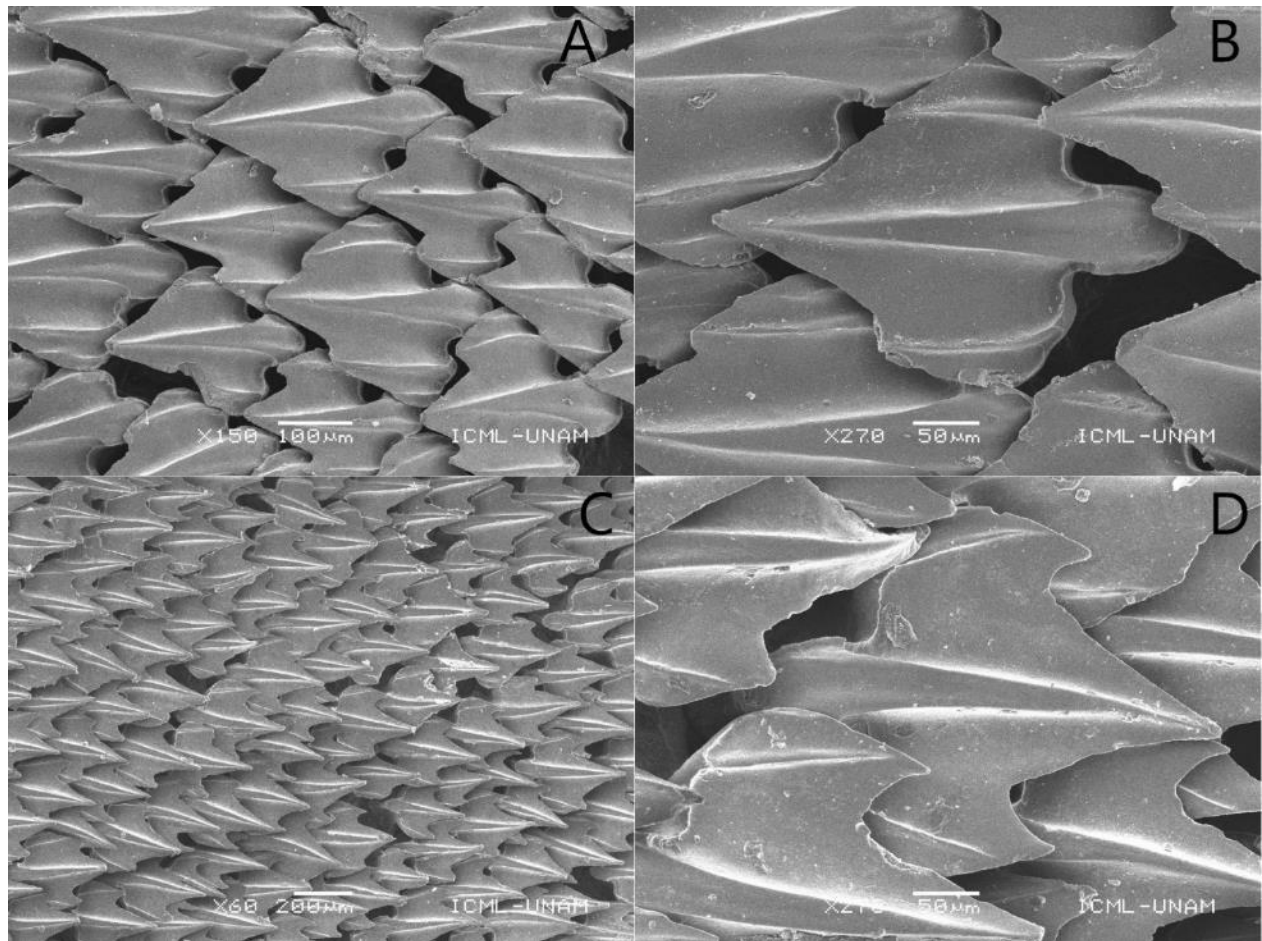


Figura 32. Micrografía en microscopía electrónica de barrido de los dentículos dérmicos de *Squalus clarkae*. A y B) Región dorsal; C y D) región ventral.

Squatina aff. dumeril Lesueur, 1818

(Figs. 33 y 34)

Dorsal: es la especie con dentículos más grandes (885 μm) y muestran un acomodo ordenado, con espacios evidentes entre dentículos. Presentan formas circulares, asemejando a una gota. El ancho y largo de la corona se observan redondeados, dando la forma de óvalo; el borde posterior cuenta con dos cúspides que se unen entre sí en la parte terminal del borde. Existen dos crestas bajas que recorren el borde dorsal de las cúspides. No se observó la presencia de micro ornamentaciones ni desgaste en los dentículos.

Ventral: dentículos grandes (1 mm) e igualmente se observaron en un acomodo ordenado, dejando espacio evidente entre ellos. Presentan forma circular, un poco ovalada en algunos casos, asemejando una gota. El ancho y largo de la corona se observan redondeados, dando la forma circular; el borde posterior cuenta con dos cúspides que se unen en la parte terminal del borde, volviéndolo un poco redondeado. Cada cúspide posee una cresta baja que recorre todo el borde dorsal de las cúspides. Se observó poco desgaste en los dentículos, principalmente en el borde posterior, en la unión en las cúspides. Sin microrrelieves.

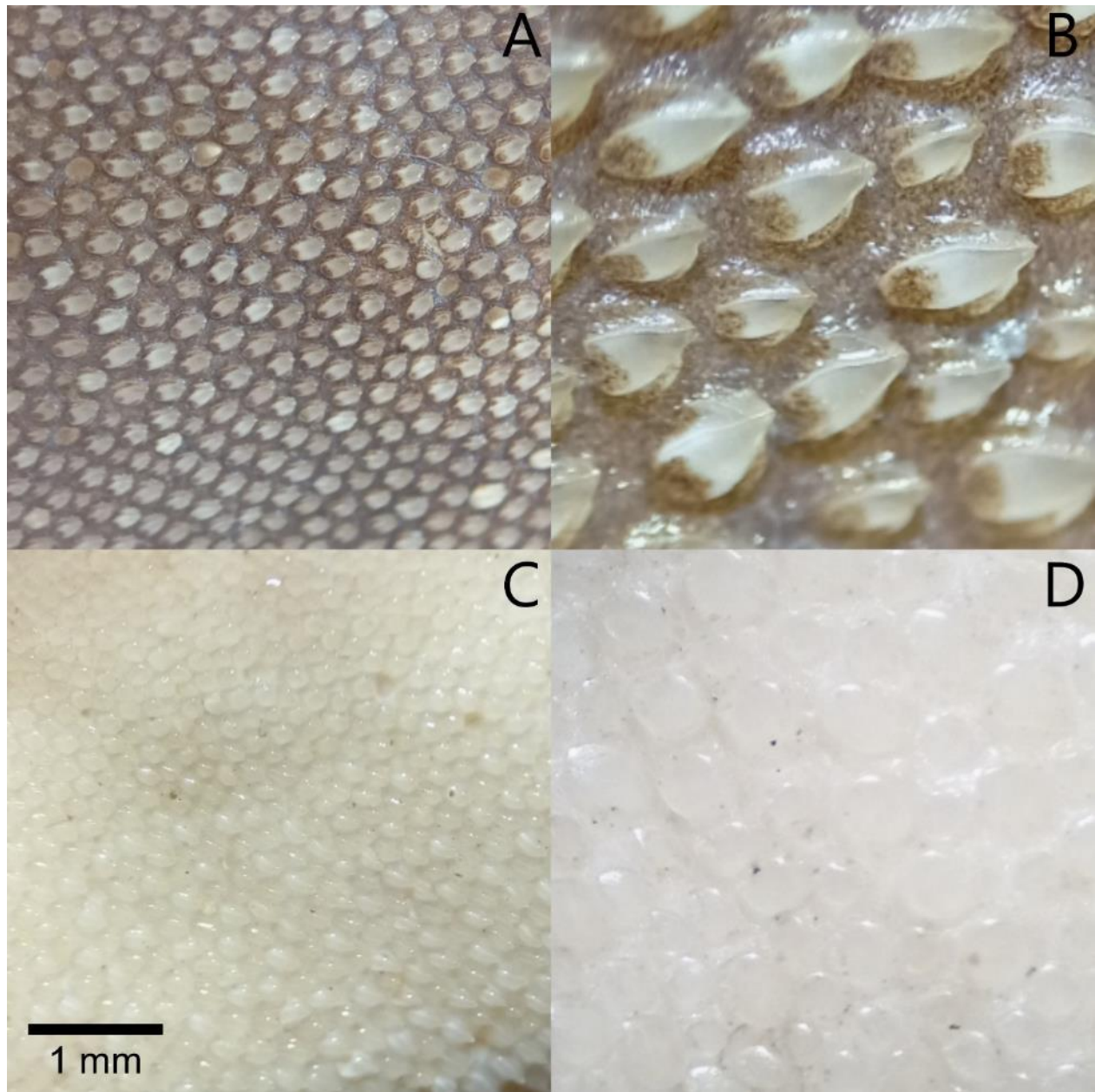


Figura 33. Denticulos dérmicos de *Squatina* aff. *dumeril*. vistos a microscopía estereoscópica. A y B) Región dorsal; C y D) región ventral.

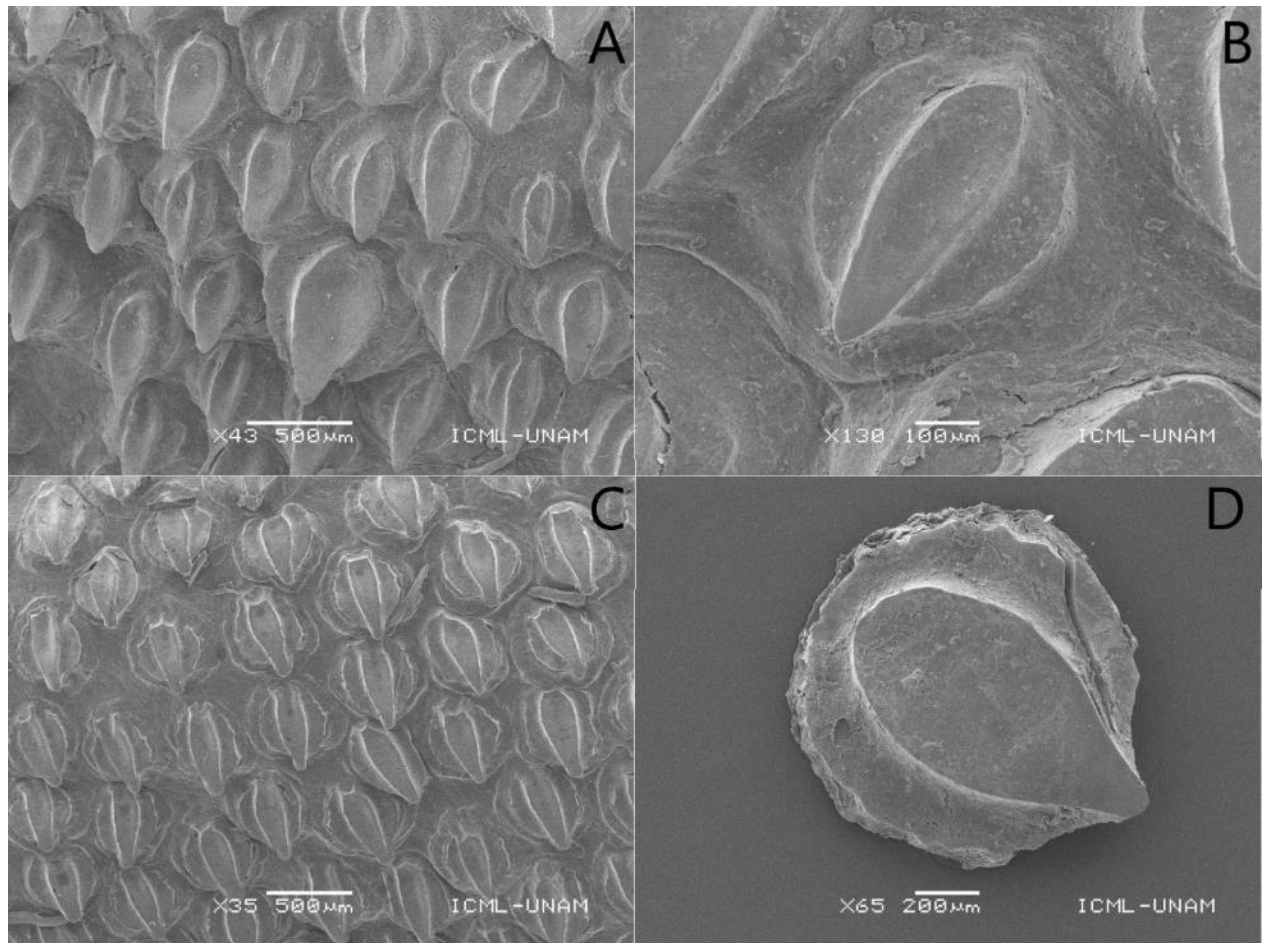


Figura 34. Micrografía en microscopía electrónica de barrido de los dentículos dérmicos de *Squatina* aff. *dumeril*. A y B) Región dorsal, C) región ventral y D) dentículo aislado de la región ventral.

Después de haber revisado a todos los tiburones, se analizaron los ejemplares de rayas capturados. Es importante mencionar que existe una variación en ciertas especies debido a la presencia/ausencia de escamas dérmicas en zonas ventrales, así como, la variación de escamas en una zona.

Pseudobatos lentiginosus (Garman, 1880)
(Figs. 35-37)

Dorsal: dentículos pequeños (178 μm) y se encuentran acomodados ligeramente en sobreposición, cubriendo solamente una parte del borde anterior. Son de forma romboidal, ligeramente lanceolada; la superficie de la corona es lisa totalmente ya que no presenta cúspides. El ancho de la corona es ligeramente más grande a comparación del borde posterior, lo que da la forma levemente lanceolada que muestran. Se observó que en la superficie de la corona existen pequeñas líneas de desgaste. No se observaron micro relieves.

Ventral: dentículos pequeños (168 μm) y se encuentran sobrepuestos, dejando descubierto solo el borde posterior. Son de forma cuadrada, ligeramente romboidal; la superficie de la corona es lisa, sin cúspides. El ancho de la corona es ligeramente más redondeado, mientras que largo es ligeramente más alargado y poco lanceolado. De igual manera, en la superficie de la corona se observaron líneas de desgaste; no presentaron micro relieves.

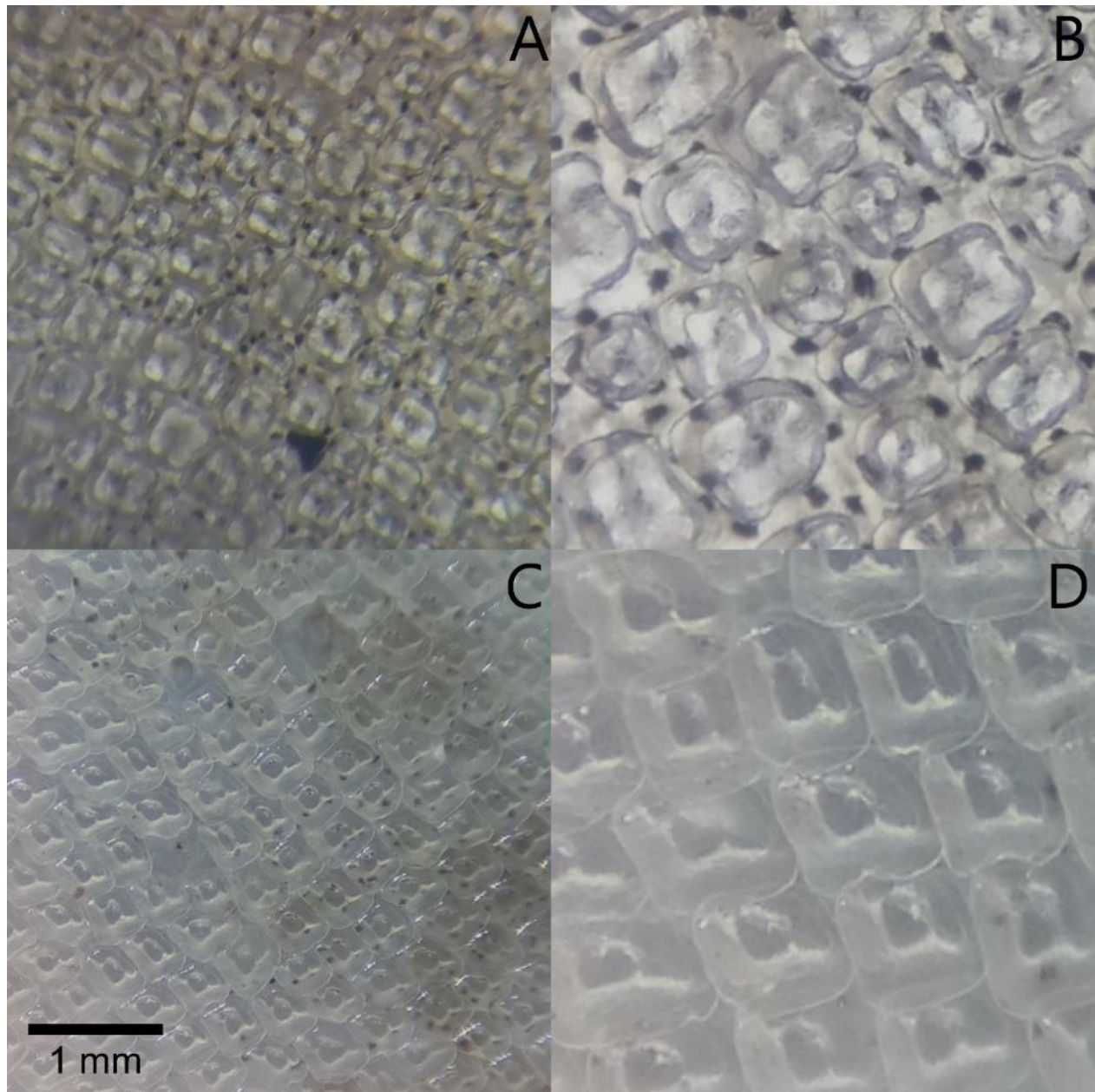


Figura 35. Denticulos dérmicos de *Pseudobatos lentiginosus* vistos a microscopía estereoscópica. A y B) Región dorsal; C y D) región ventral.

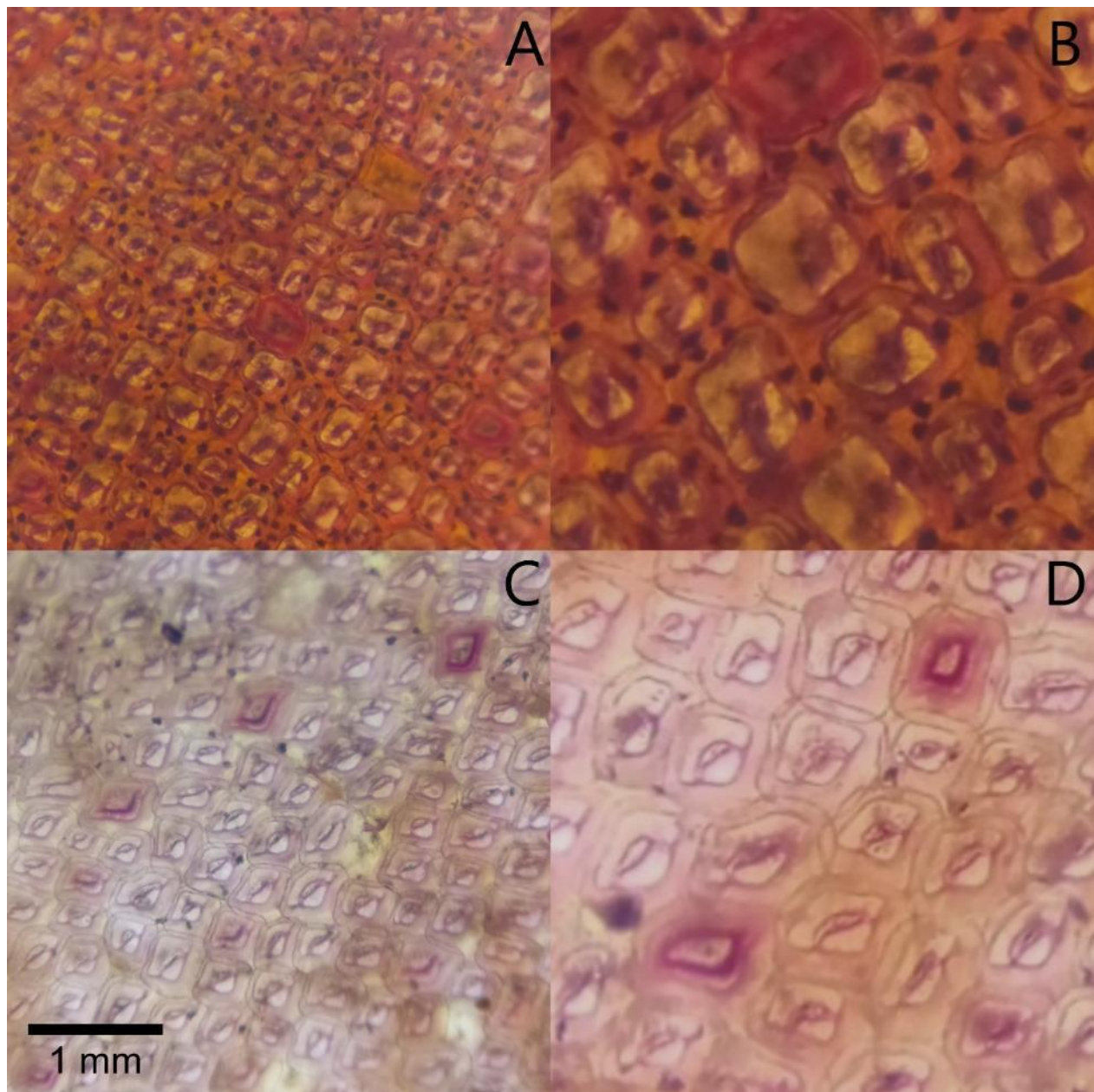


Figura 36. Dentículos teñidos con rojo de alizarina de *Pseudobatos lentiginosus*. A y B) Región dorsal; C y D) región ventral.

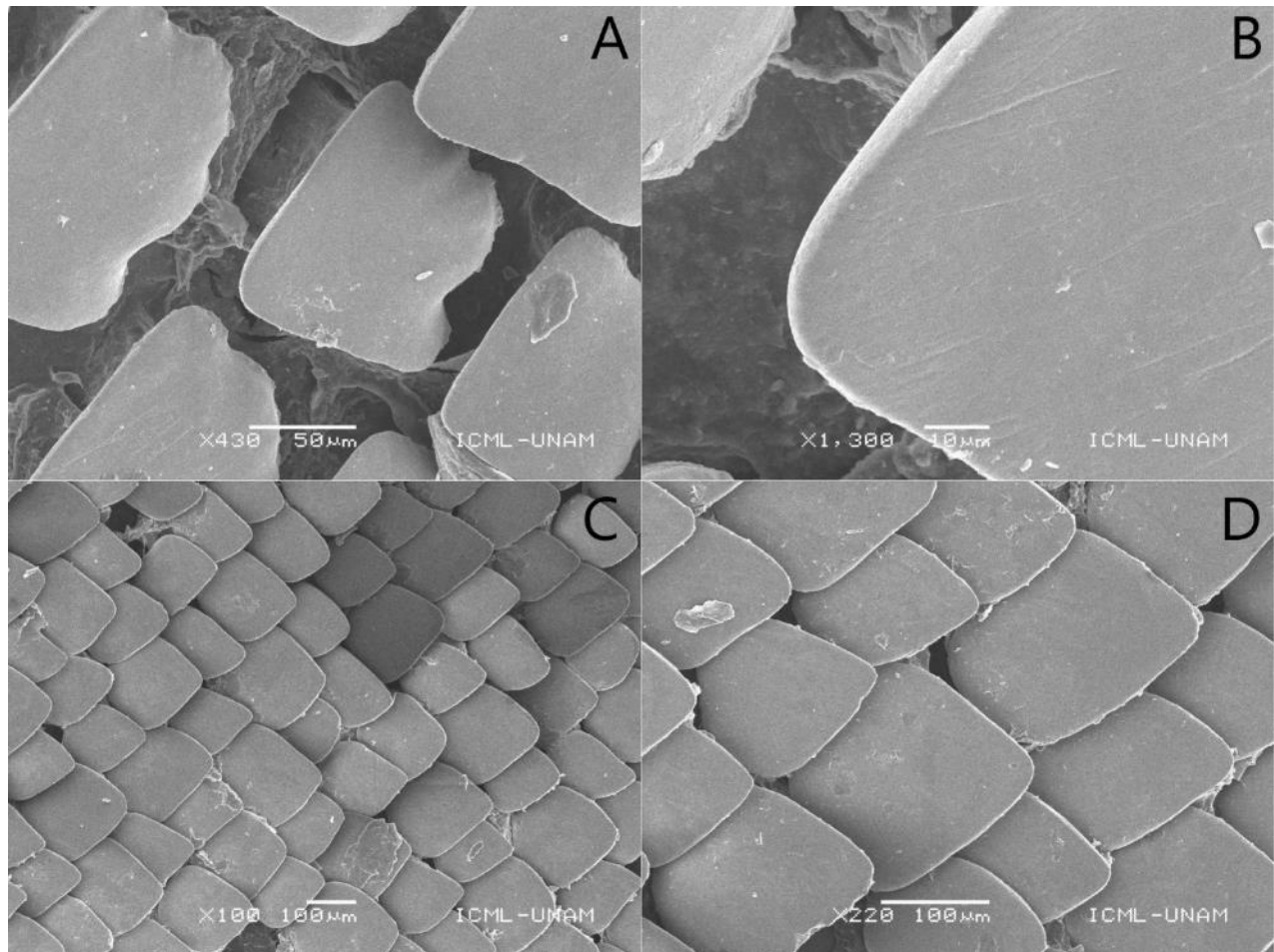


Figura 37. Micrografía en microscopía electrónica de barrido de los dentículos dérmicos de *Pseudobatos lentiginosus*. A y B) Región dorsal; C y D) región ventral.

Rostroraja texana (Chandler, 1921)

(Figs. 38-40)

Antes de iniciar, es importante mencionar que en esta especie se revisaron dos zonas dorsales, es decir, dorsal media y dorsal lateral, esto debido a que presentó diferentes morfologías entre dentículos.

Dorsal media: dentículos más cercanos al rostrum, grandes (1.6 mm) y se encuentran acomodados en una línea recta. Son de forma lanceolada, modificados a manera de espina. La base es redonda, el borde anterior es más ensanchado y tiene una proyección hacia arriba, es decir el borde posterior, que se muestra lanceolado a manera de espina. La superficie de la corona se observó lisa, sin cúspides. En algunos dentículos, las espinas se observaban rotas por posible desgaste; no se observaron micro ornamentaciones,

Dorsal lateral: dentículos de tamaño similar (1 mm) y se encontraban a los laterales de la región dorsal media, acomodados a manera de mosaico con evidente espacio entre éstos. Estos dentículos se observaron a manera de una espina, siendo más redondos en el borde anterior, donde se forma una curvatura hacia el borde posterior, que se mostraba lanceolado y su terminación es distal. Dicha espina se observó paralela a la dermis. La corona dorsal se mostró lisa, sin cúspides evidentes. En algunos dentículos al colocarlos a contraluz, se pudo observar la cavidad pulpar. No presentaron micro ornamentaciones.

Ventral: Dentículos pequeños a comparación de las otras regiones estudiadas (921 μ m), acomodados ordenadamente, a manera de mosaico, con evidente espacio entre ellos. Forma estrellada, simulando una espina. El borde anterior es alargado y presenta tres proyecciones alares equidistantes entre sí con terminaciones lanceoladas, mientras que el borde posterior es alargado, con terminación roma y se muestra como la espina. La corona dorsal se mostró lisa, sin cúspides evidentes y no presentaron desgaste o micro ornamentaciones.

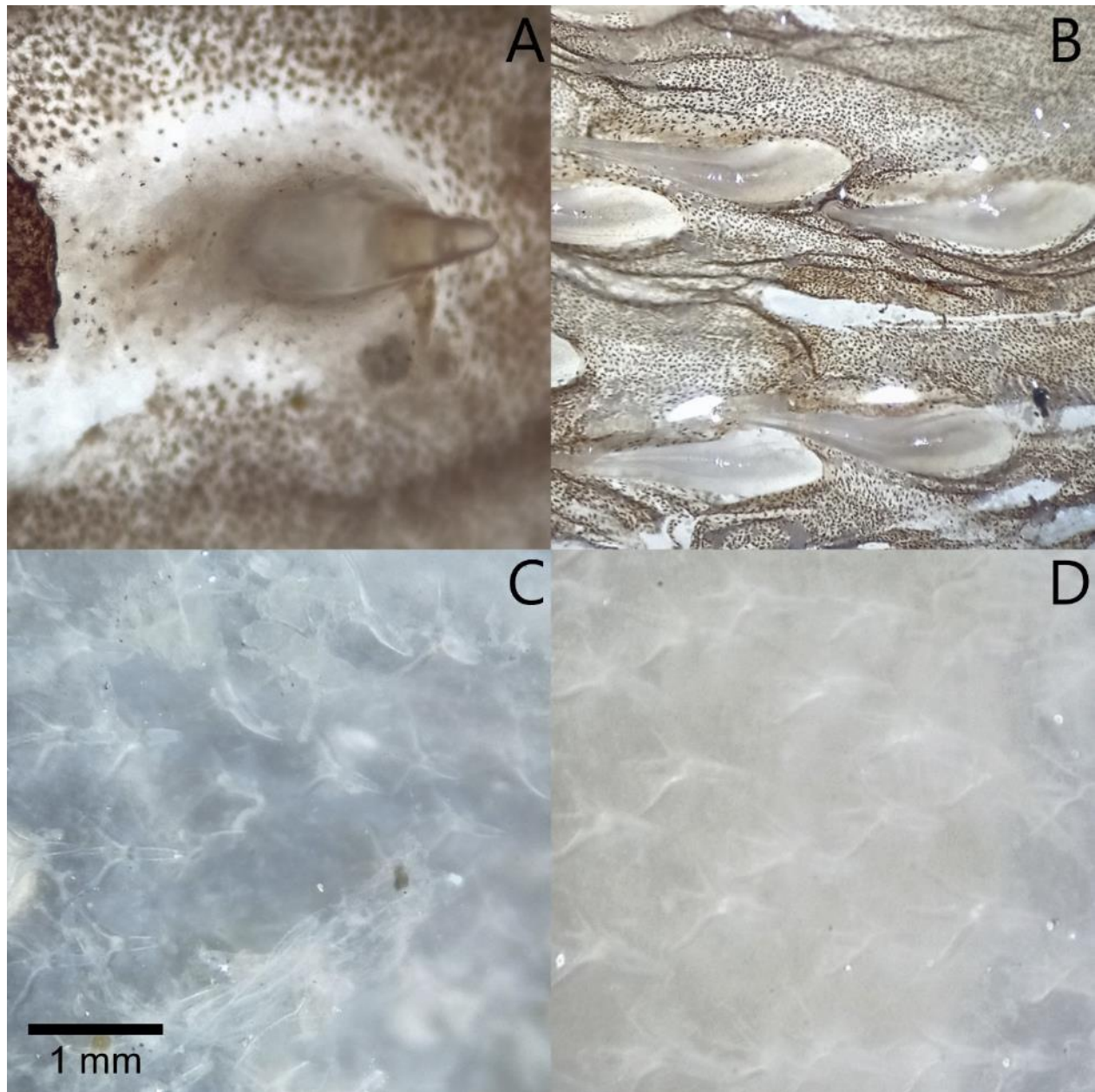


Figura 38. Dentículos dérmicos de *Rostroraja texana* vistos a microscopía estereoscópica. A) Dorsal media, B) dorsal lateral; C y D) ventral.

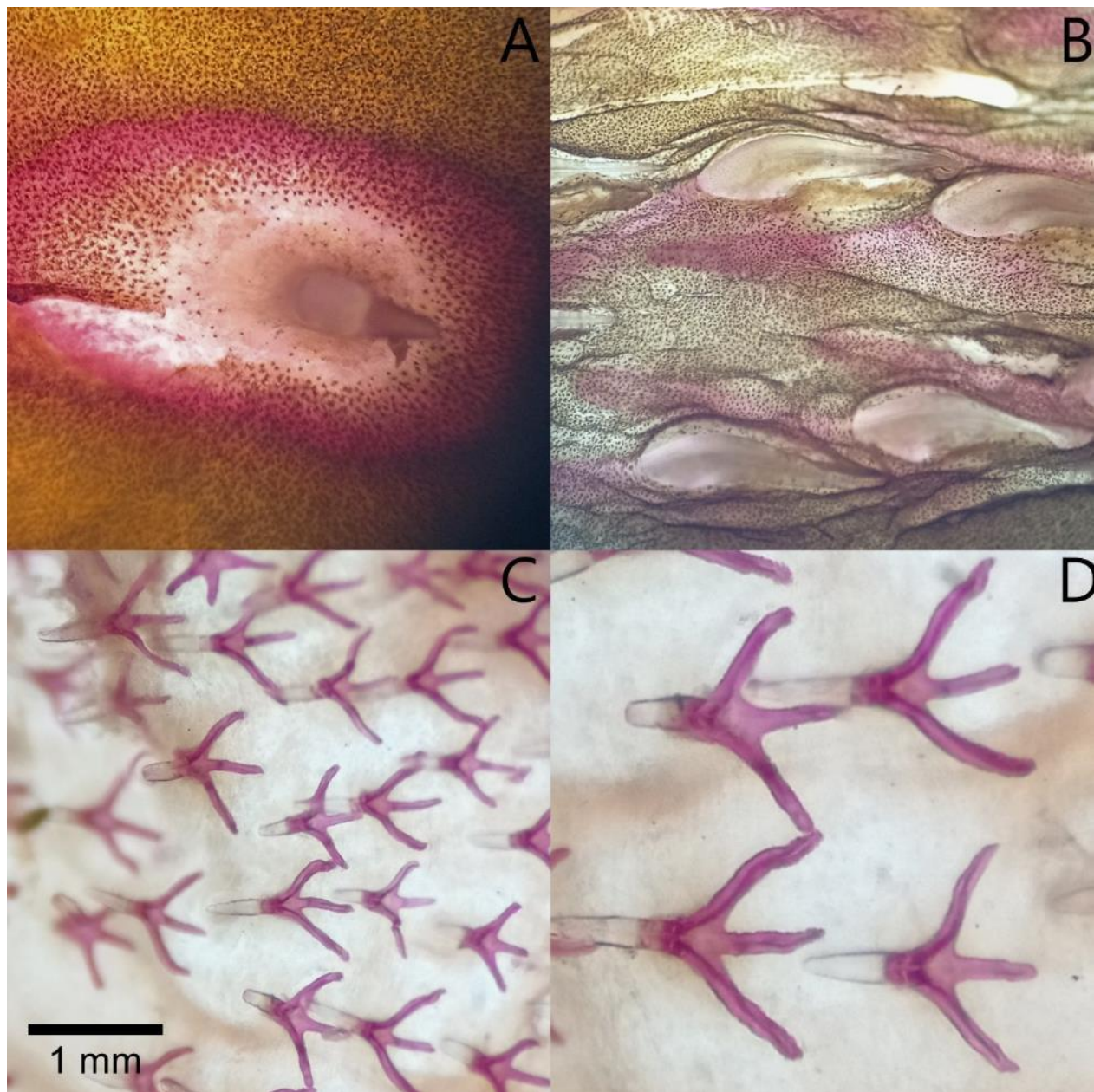


Figura 39. Dentículos teñidos con rojo de alizarina de *Rostroraja texana* vistos a microscopía estereoscópica. A) Dorsal media, B) dorsal lateral; C y D) ventral.

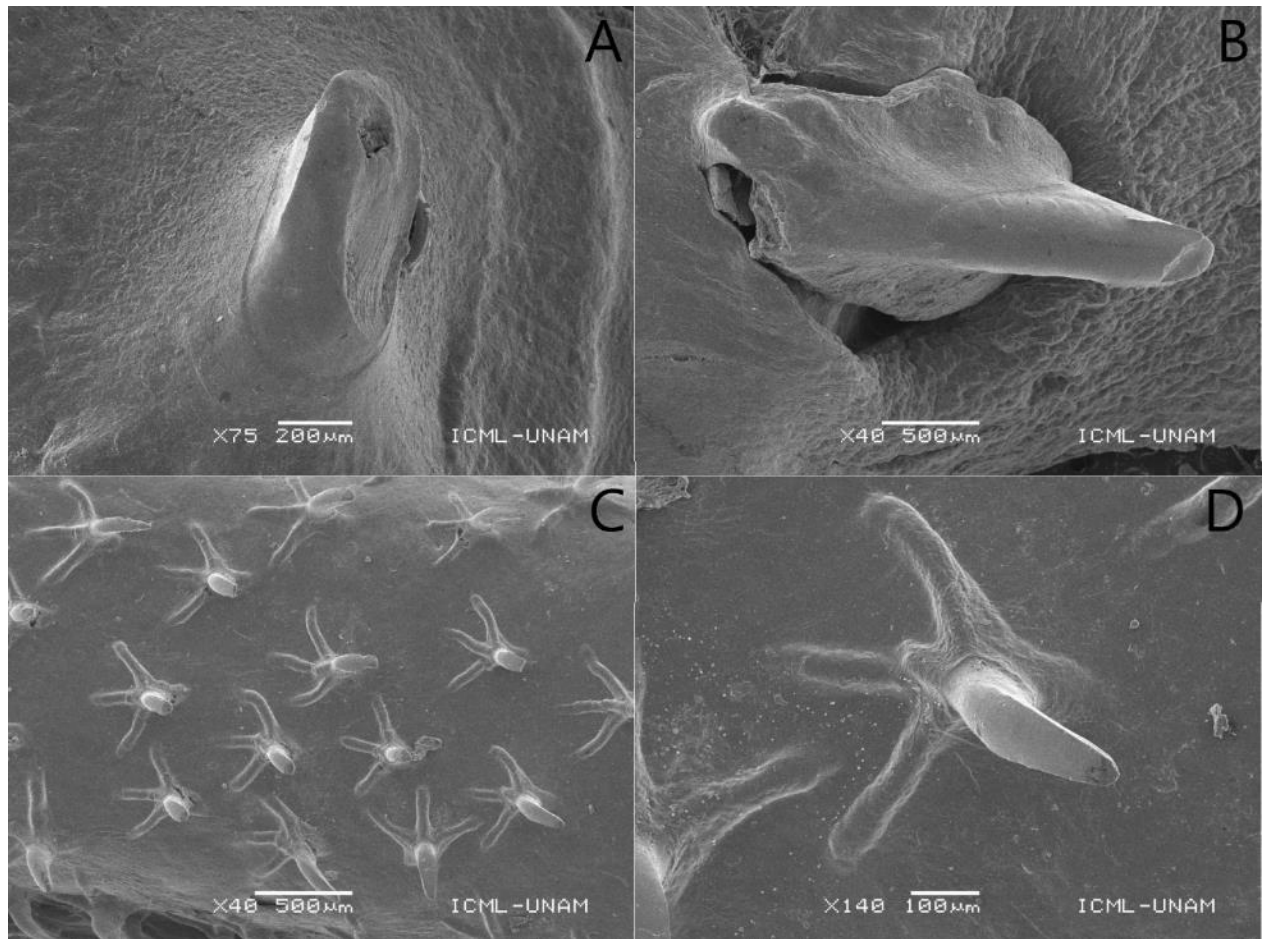


Figura 40. Micrografía en microscopía electrónica de barrido de los dentículos dérmicos de *Rostroraja texana*. A) Dorsal media, B) dorsal lateral; C y D) ventral.

Hypanus americanus (Hildebrand & Schroeder, 1928)

(Figs. 41 y 42)

Es importante mencionar que en el género *Hypanus* no se presentaron dentículos en la región ventral, por lo cual solo se describirán los dentículos dorsales.

Dorsal: dentículos de mediano tamaño (920 μm) que se posicionan de manera dispersa en la dermis sin un acomodo ordenado, con espacio entre ellos. Presentan formas circulares, ligeramente estrelladas. La superficie de la corona se observa lisa, sin cúspides evidentes. Los dentículos se encuentran modificados a manera de pequeños tubérculos, con el borde anterior redondeado e irregular, que se prolonga hacia el borde posterior, redondo, dando la forma de tubérculo. La corona presenta un ligero margen que rodea al dentículo y solo se observan líneas de posible desgaste. No se observaron micro ornamentaciones.

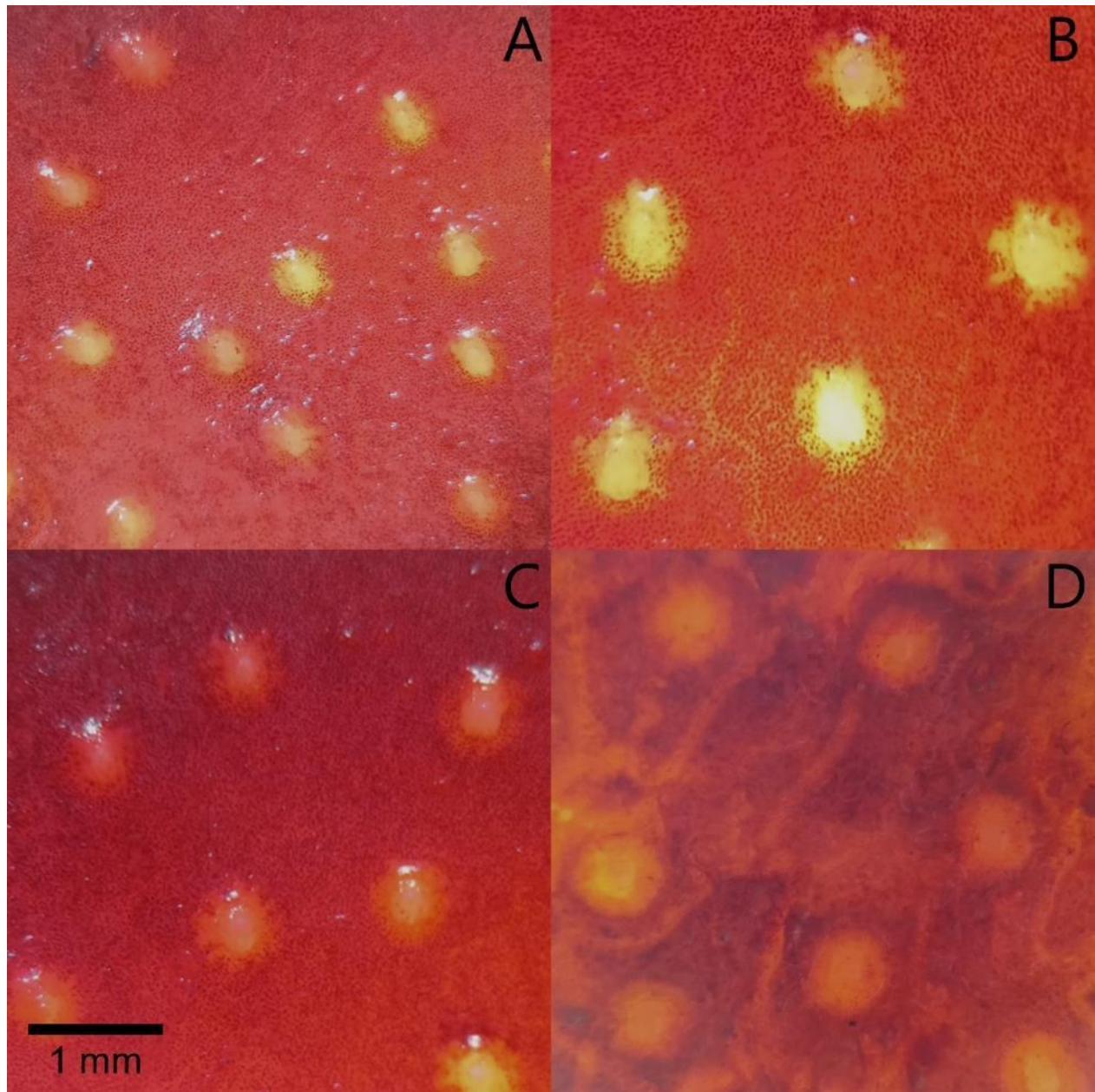


Figura 41. Dentículos dérmicos en región dorsal, teñidos con rojo de alizarina de *Hypanus americanus*. A y B) Dentículos en primer acercamiento con mayor iluminación; C y D) dentículos con menor cantidad de luz y más acercamiento.

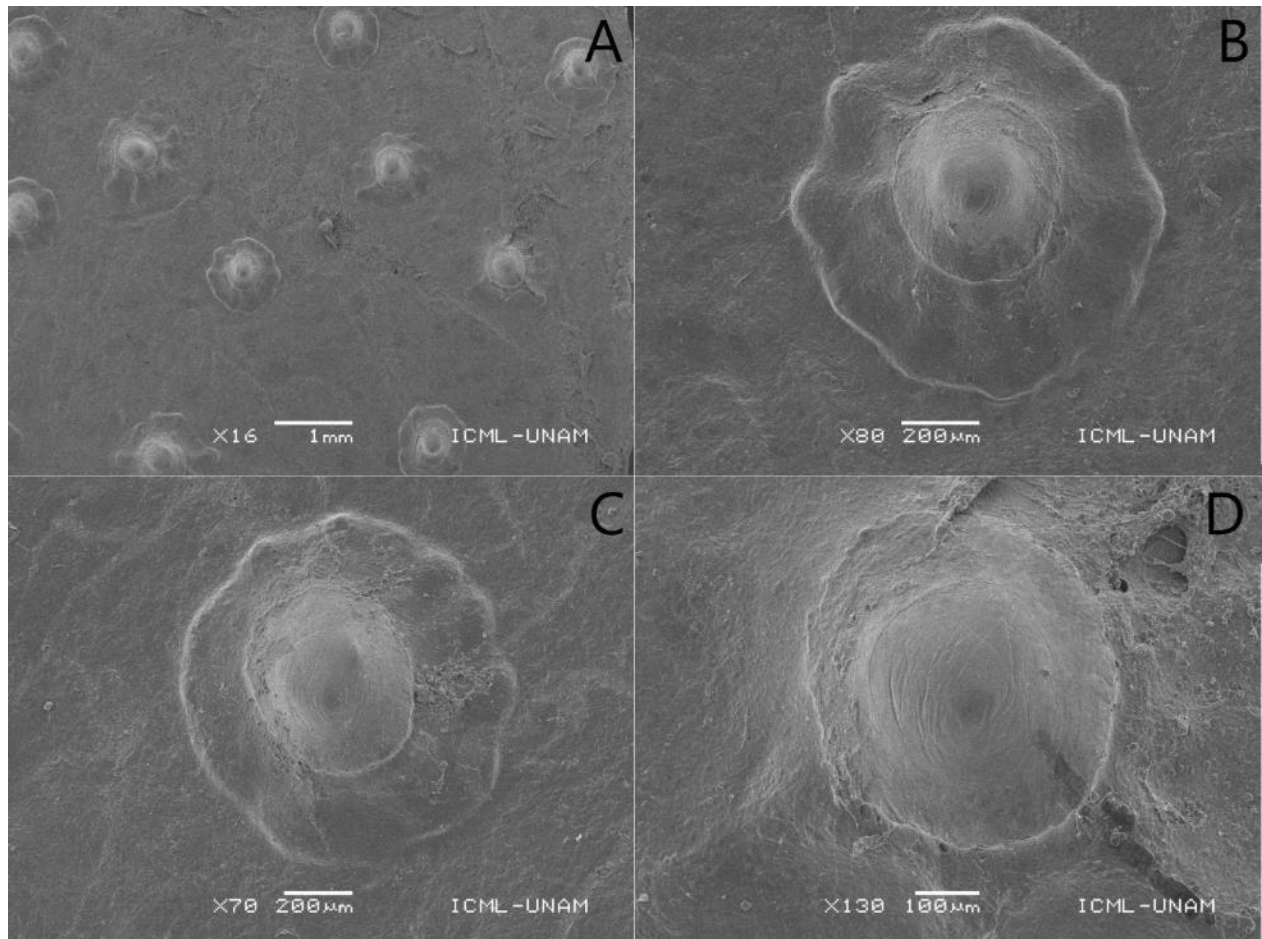


Figura 42. Micrografía en microscopía electrónica de barrido de los dentículos dérmicos en región dorsal vistas a diferentes aumentos de *Hypanus americanus*. A) Dentículos dispersos, B, C y D) variaciones morfológicas en los dentículos

Hypanus sabinus (Lesueur, 1824)

(Figs. 43 y 44)

Dorsal: dentículos medianos (778 μm), en un acomodo ordenado, con evidente espacio entre estos. Forma circular, en algunos casos, estrellada; la corona se observa lisa, sin cúspides evidentes. Los dentículos se observaron modificados a manera de tubérculos, poco menos marcados en comparación con *H. americanus*; el borde anterior se observa irregular (lo que da la forma estrellada) y se prolonga hacia arriba al borde posterior, donde termina a manera de pirámide con terminación roma, poco más lanceolado que la especie anterior. No se observó desgaste en los dentículos ni presencia de micro ornamentaciones.

En esta especie, los dentículos dorsales son medianos. La base del dentículo es circular e irregular, con la base estrellada y de ésta, sale una cúspide central que da origen a una espina: esta espina se proyecta hacia arriba y la parte terminal, a diferencia del resto de especies, es más redondeada que lanceolada, es decir, cónica. Estos dentículos se visualizan un poco más gruesos en comparación con *H. americanus*. No se visualizan microestructuras en el dentículo por lo que se considera que es liso, incoloro y se encuentra un gran espacio entre ellos.

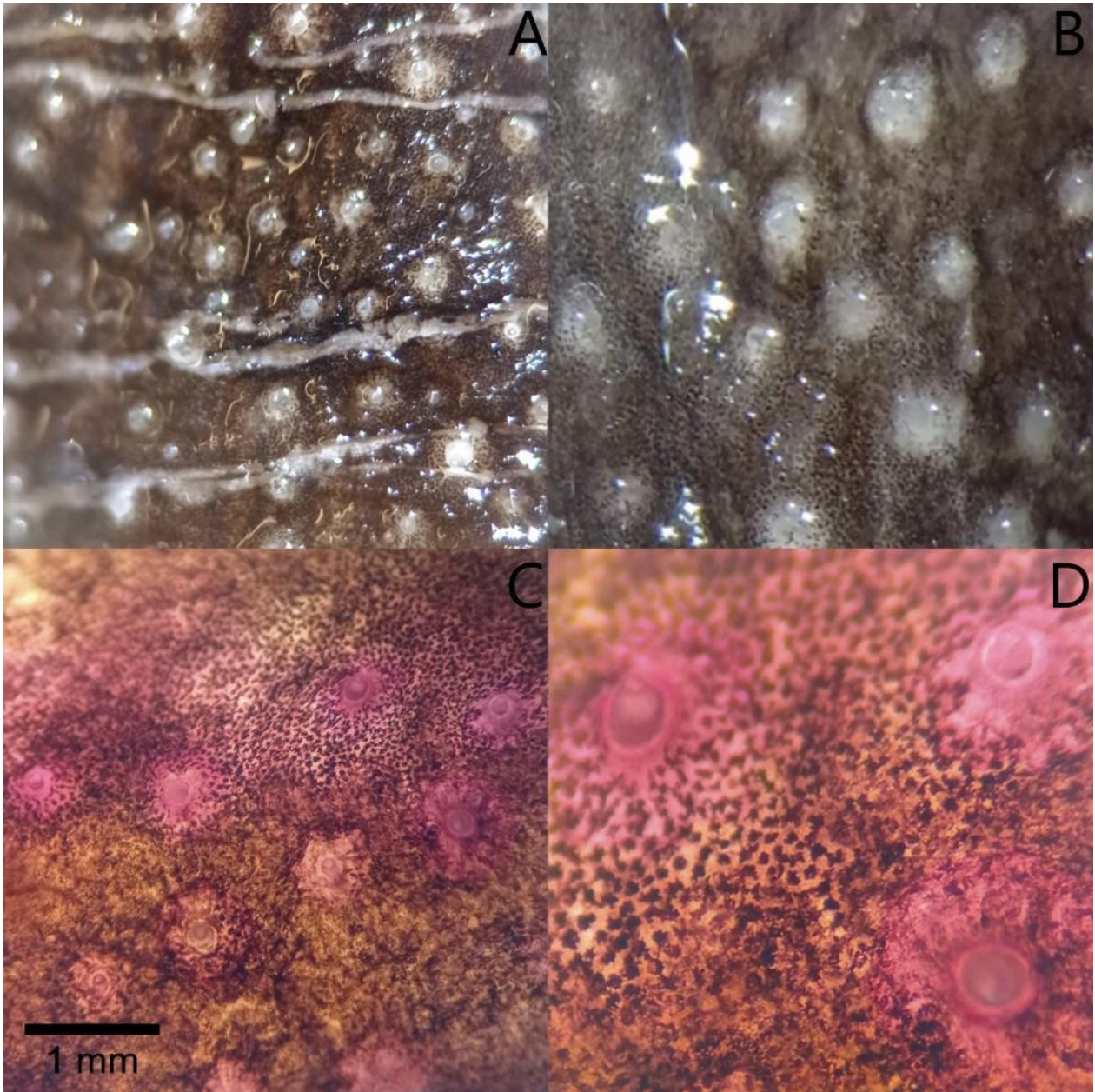


Figura 43. Dentículos dérmicos de *Hypanus sabinus* vistos a microscopía estereoscópica. A y B) Región dorsal; C y D) región dorsal en tinción con rojo de alizarina.

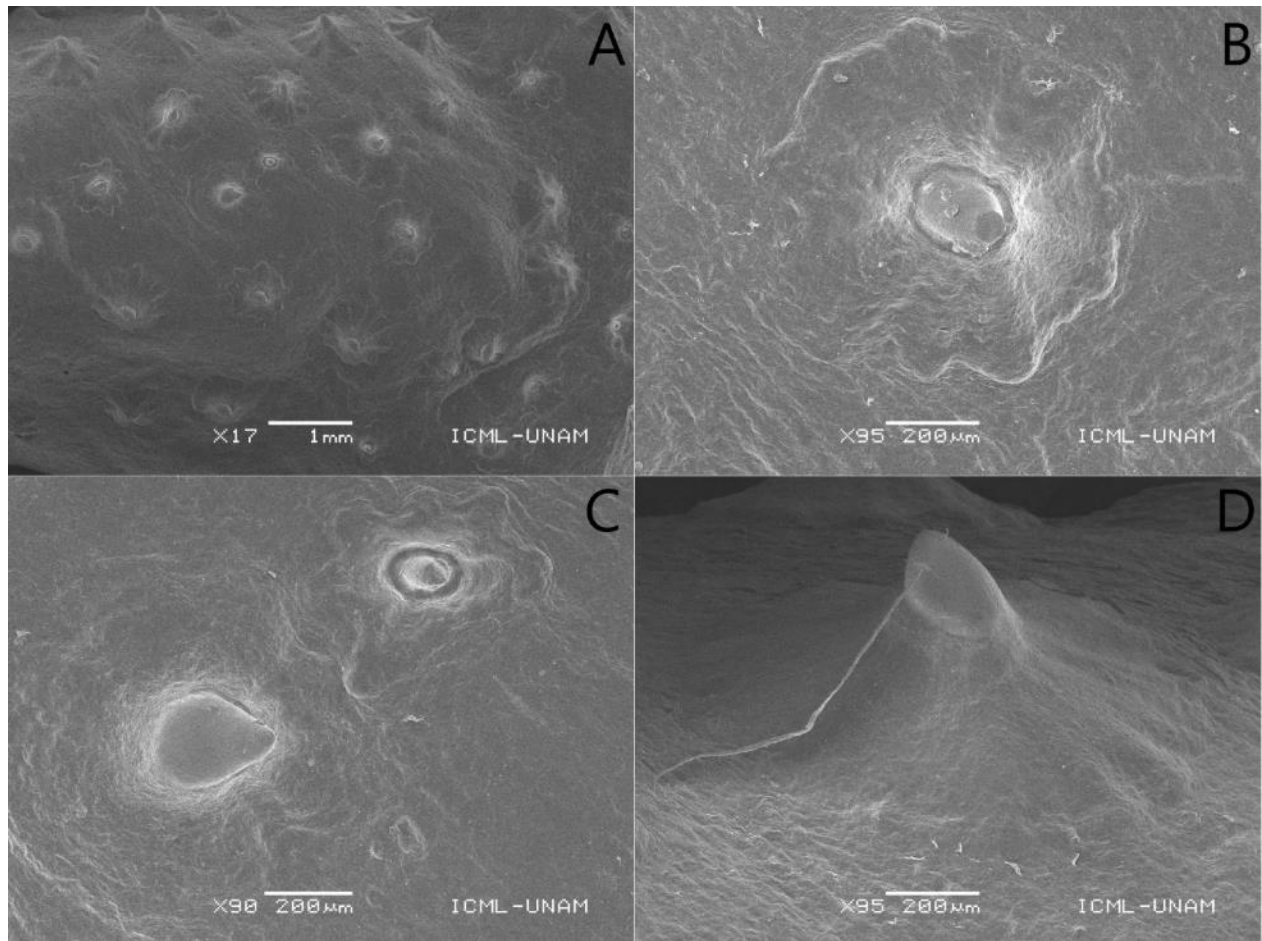


Figura 44. Micrografía en microscopía electrónica de barrido de los dentículos dérmicos dorsales de *Hypanus sabinus*. A) Dentículos dérmicos dispersos, B) acercamiento de un dentículo, C) variaciones morfológicas de los dentículos y D) dentículo enfocado de manera que se observa una vista lateral.

Rhinoptera bonasus (Mitchill, 1815)

(Figs. 45-47)

Dorsal: dentículos pequeños (380 μm) y se encuentran dispersos en la piel sin un acomodo y presentan gran espacio entre ellos. Poseen formas triangulares y lanceoladas; la superficie de la corona es lisa, sin cúspides. Se pueden observar dos proyecciones alares, equidistantes que dan origen al dentículo y se observa a manera de espina. El borde anterior es circular, alargado y se proyecta hacia afuera dando origen a la espina; el borde posterior es lanceolado, terminando en la espina que se encuentra paralela a la dermis. Se observó que algunos dentículos se encontraban fragmentados por posible desgaste. No presentaron micro relieves.

Ventral: dentículos medianos (290 μm) y acomodados de manera dispersa, con gran espacio entre ellos. Poseen formas triangulares, lanceoladas y a manera de espina. Se conforma, de igual manera, de dos proyecciones alares y equidistantes que dan origen a la espina; a diferencia de los dentículos dorsales, esta espina se observa con la terminación más roma e incompleta, posiblemente por mayor desgaste en estos dentículos. No se observaron micro relieves.

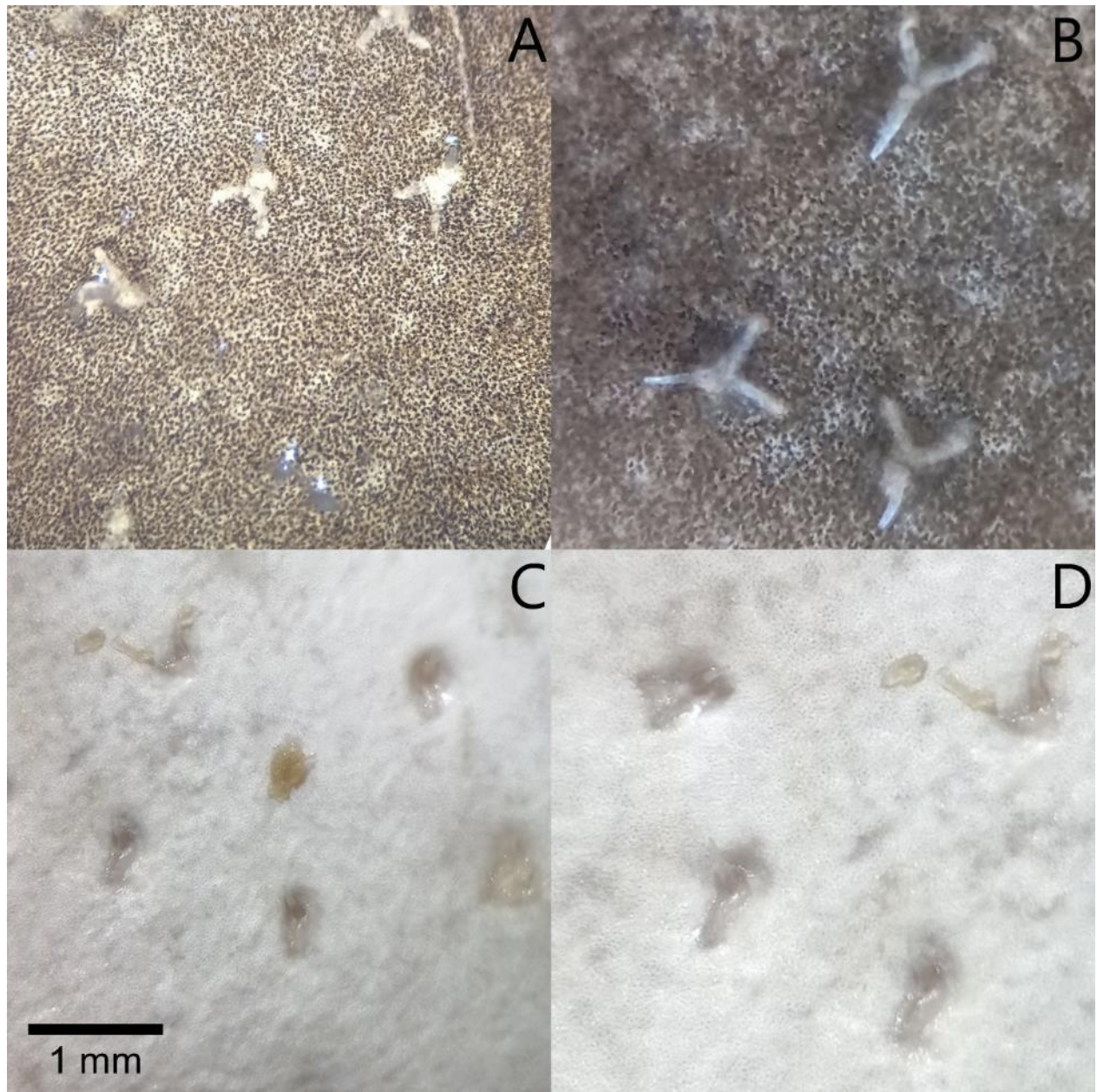


Figura 45. Fotografía de microscopía estereoscópica de dentículos dérmicos de *Rhinoptera bonasus*. A y B) Región dorsal; C y D) región ventral.

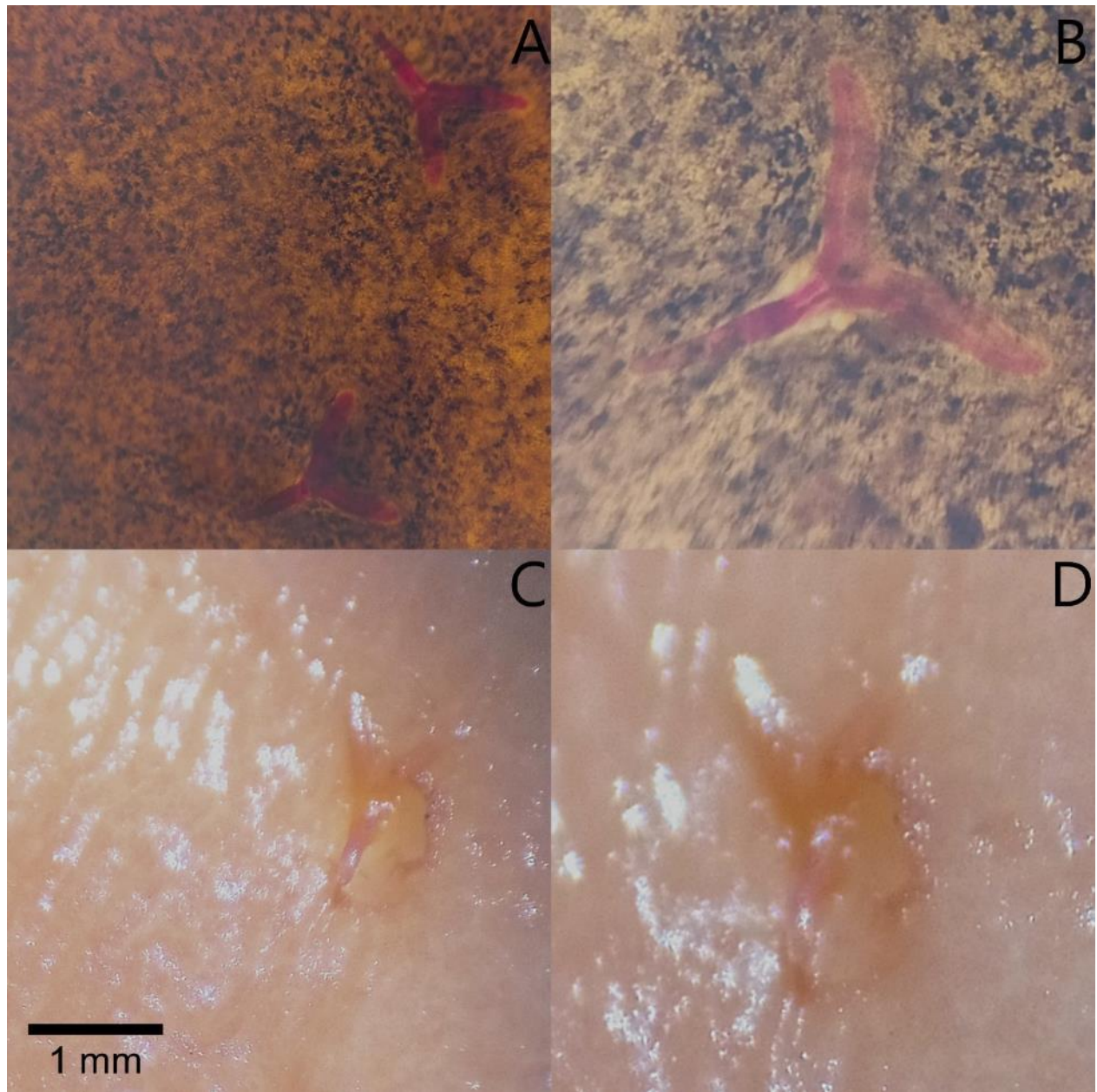


Figura 46. Dentículos dérmicos teñidos con rojo de alizarina de *Rhinoptera bonasus* vistos a microscopía estereoscópica. A y B) Región dorsal; C y D) región ventral.

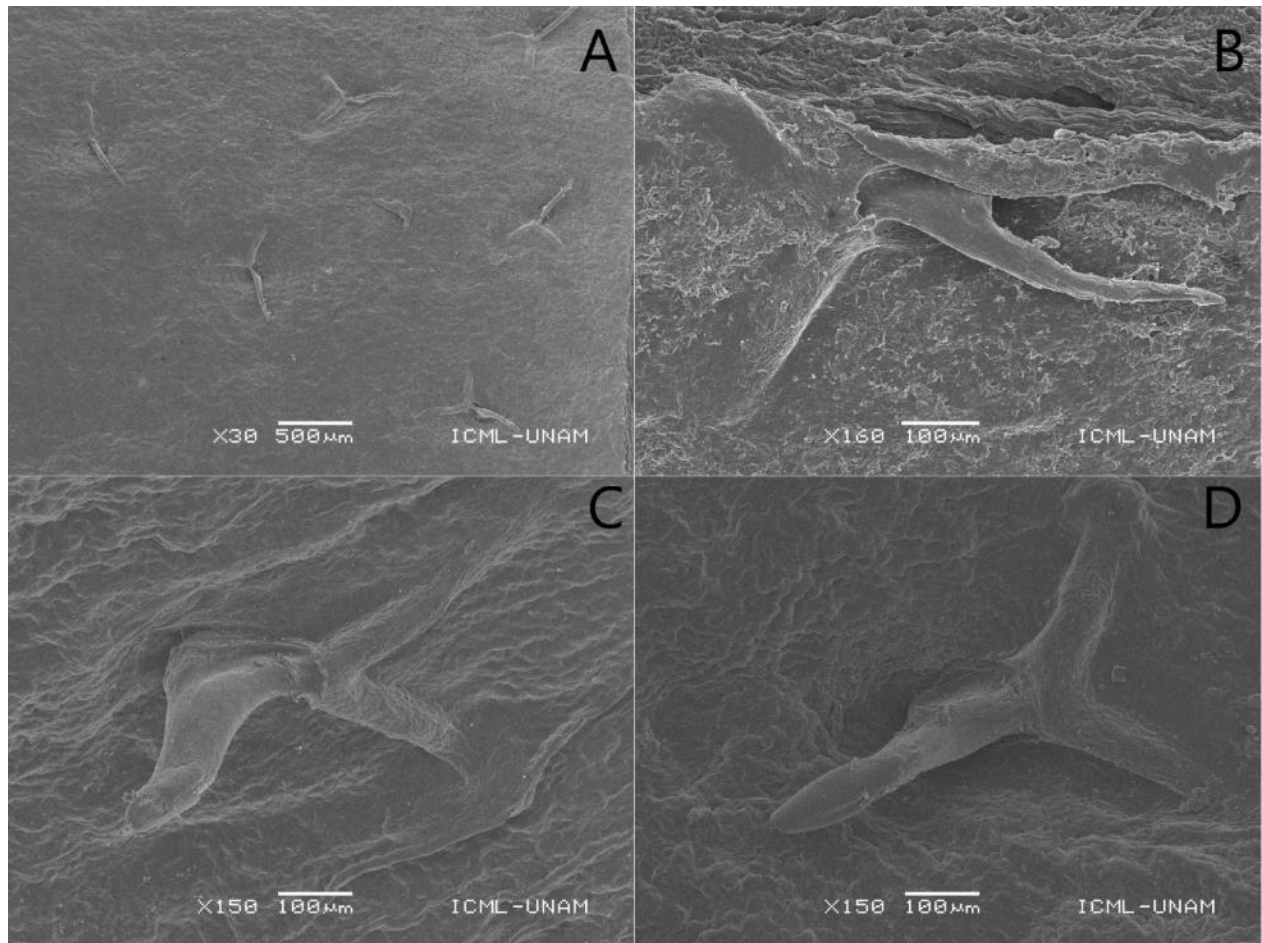


Figura 47. Micrografía en microscopía electrónica de barrido de los dentículos dérmicos de *Rhinoptera bonasus*. A y B) Región dorsal; C y D) Región ventral.

Mobula hypostoma (Bancroft, 1831)

(Figs. 48-50)

En esta especie, los dentículos dorsales y ventrales se observaron similares, por lo cual se describen en conjunto: dentículos pequeños (283-272 μm) acomodados de manera dispersa en la dermis con evidente espacio entre ellos. Forma triangular y lanceolada; la superficie de la corona se observó lisa, sin presencia de cúspides. La base se conforma de dos estructuras alares, equidistantes entre sí que dan origen al borde anterior ensanchado y circular que se prolonga hacia arriba al borde posterior, que termina en una espina ligeramente lanceolada y roma; esta espina se observó casi adherida a la dermis. Se observó desgaste principalmente en la parte terminal del borde posterior de las espinas y presencia de micro relieves solamente en el borde anterior.

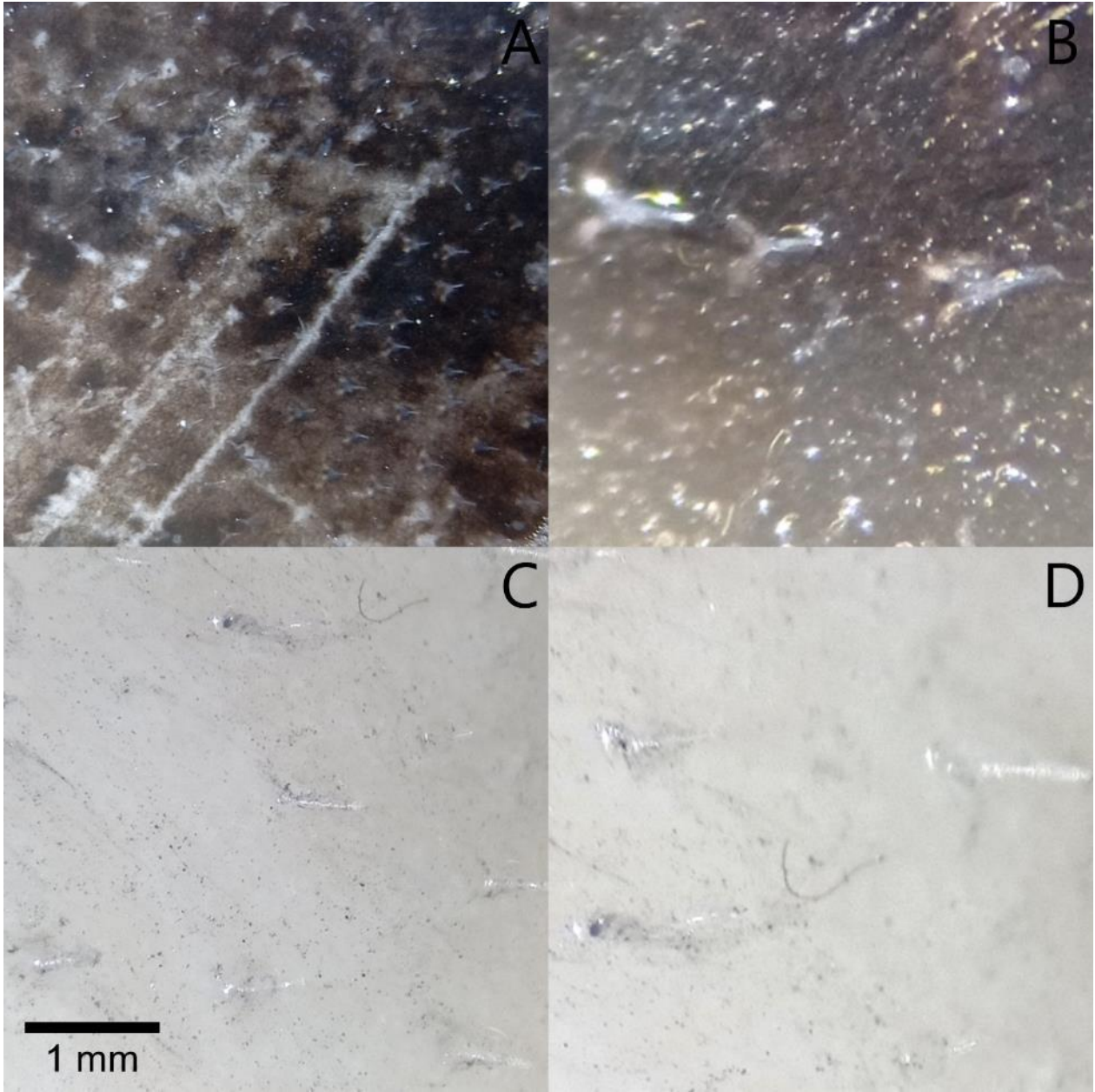


Figura 48. Dentículos de *Mobula hypostoma* vistos a microscopía estereoscópica. A y B) Región dorsal; C y D) región ventral.

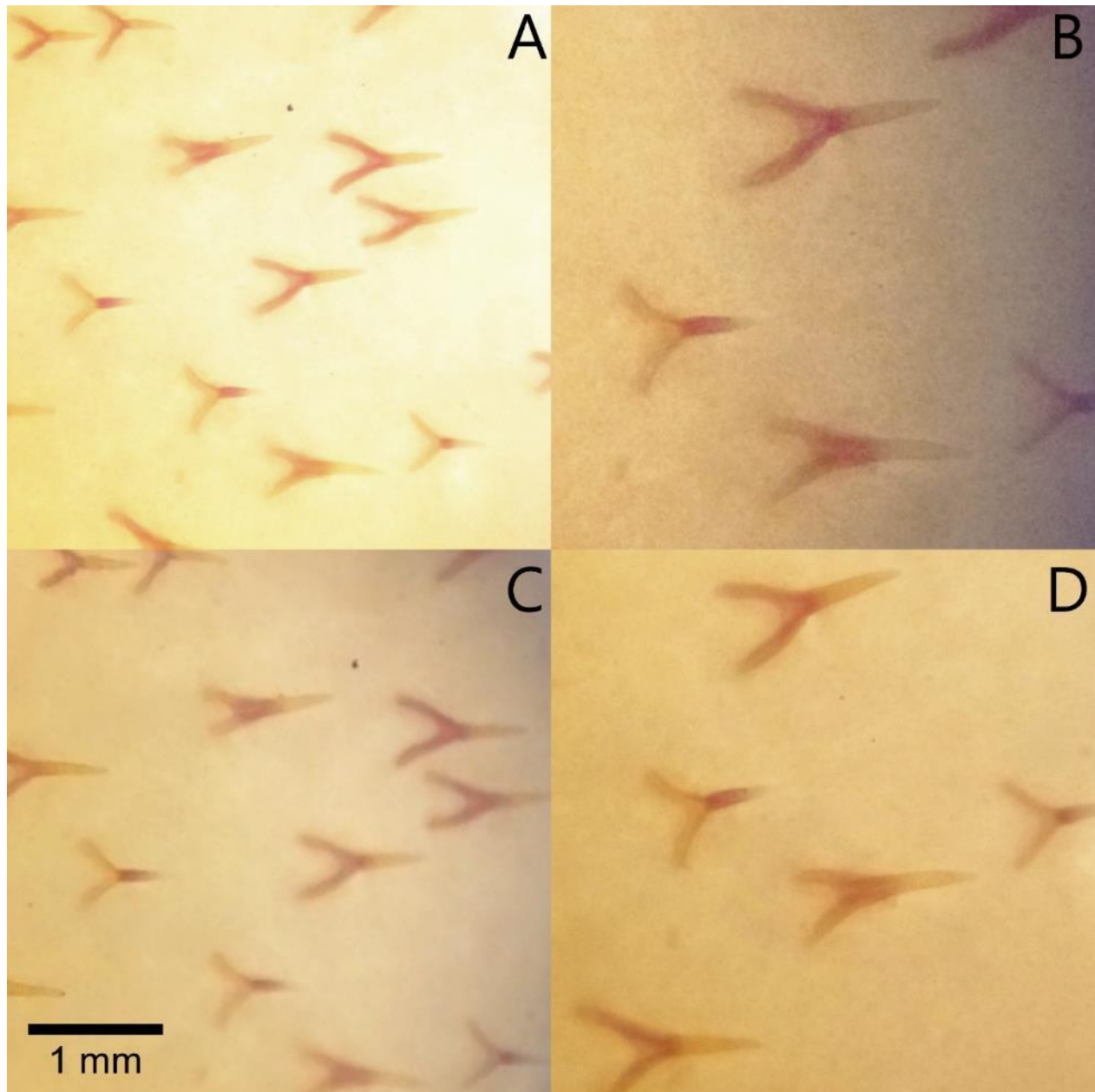


Figura 49. Dentículos teñidos con rojo de alizarina de *Mobula hypostoma* vistos a microscopía estereoscópica. A y B) Región dorsal; C y D) región ventral.

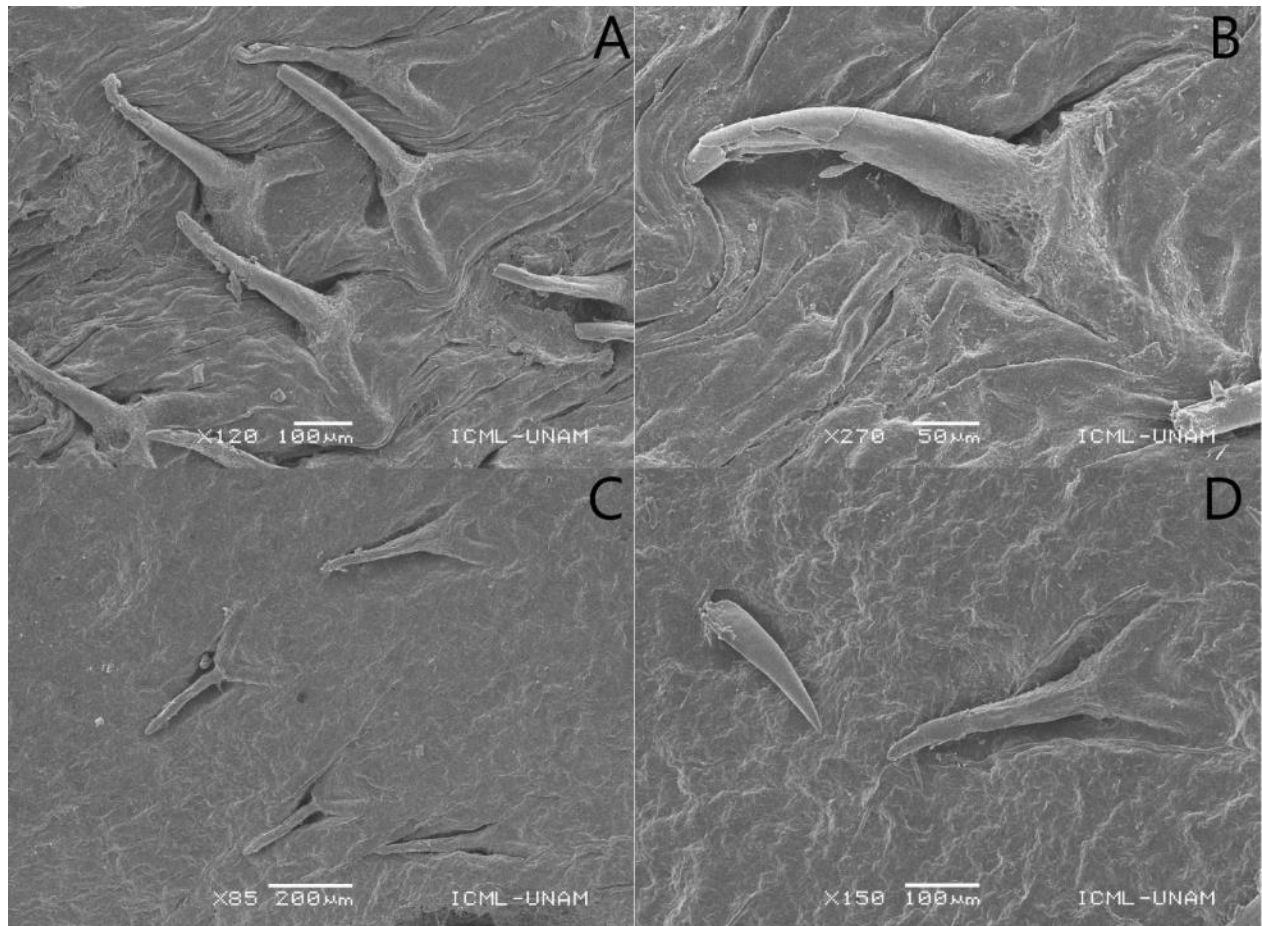


Figura 50. Micrografía microscopia electrónica de barrido de los dentículos dérmicos de *Mobula hypostoma*. A y B) Región dorsal; C y D) región ventral.

Tamaño y densidad de dentículos dérmicos

Con relación al tamaño de los dentículos, la especie que presentó los dentículos más pequeños fue *Isurus oxyrinchus*. Esto se pudo observar de acuerdo con las fotografías de microscopía óptica y con tinción, en las cuales se distinguían muy poco los dentículos dérmicos. Mientras que la especie con los dentículos más grandes, eran observables incluso a simple vista sin necesidad de un microscopio, fue *S. aff. dumeril*.

En las especies de tiburones que se estudiaron, *I. oxyrinchus* presentó la mayor densidad de dentículos dérmicos en ambas regiones (601.25/cm² para la región dorsal y 713.5/cm² para la región ventral); le siguen *C. limbatus* (560 y 485/cm²), *G. cuvier* (520 y 473.75/cm²) y *S. cubensis* (464 y 397.5/cm²). Contrario a esto, la especie con menor densidad de dentículos dérmicos fue *S. retifer* (211.67 y 346.66), le siguen *C. falciformis* (265 y 285/cm²) y *S. clarkae* (301.83 y 296.77/cm²) (Tabla 4; Figs. 51 y 52).

Tabla 4. Densidad de dentículos dérmicos/ cm² contabilizados en los diversos grupos de elasmobranquios bajo estudio (+: máximo, -: mínimo, □: promedio)

Especie/ (n)	Dorsal	Ventral
	(Máx + - Min ($\bar{x} \pm SD$))	Máx + - Mín ($\bar{x} \pm SD$)
<i>I. oxyrinchus</i> (2)	372.5-830 (601.25 ± 323.50)	520-907.5 (713.5 ± 274)
<i>S. retifer</i> (6)	85-340 (211.67 ± 85.53)	245-575 (346.67 ± 121.89)
<i>C. falciformis</i> (1)	265	285
<i>C. limbatus</i> (1)	560	485
<i>R. terraenovae</i> (1)	377.5	350
<i>G. cuvier</i>	475-565 (520 ± 65.05)	470-477.5 (473.75 ± 5.30)

(2)		
<i>S. tiburo</i>	370-457.5 (413.75 ± 61.87)	335-550 (442.5 ± 152.02)
(2)		
<i>S. cubensis</i>	392.5-537.5 (464 ± 43.04)	270-547.5 (397.5 ± 93.69)
(15)		
<i>S. clarkae</i>	215-412.5 (301.83 ± 72.92)	210-412.5 (296.77 ± 72.41)
(15)		
<i>S. afin mexicana</i>	67.5-55 (61.25 ± 8.83)	92.5-50 (71.25 ± 30.05)
(2)		
<i>P. lentiginosus</i>	347.5-477.5 (421 ± 53.19)	357.5-532.5 (470 ± 68.03)
(5)		
<i>R. texana</i>	2-57.5 (17.85 ± 16.69)	32.5-100 (71.3 ± 25.72)
(5)		
<i>H. americanus</i>	15	-
(1)		
<i>H. sabinus</i>	25-45 (37 ± 8.55)	-
(5)		
<i>R. bonasus</i>	12.5-27.5 (19.5 ± 6.47)	4-17.5 (11.7 ± 6.10)
(5)		
<i>M. hypostoma</i>	47.5-50 (48.75 ± 1.76)	45-45 (45 ± 0)
(2)		

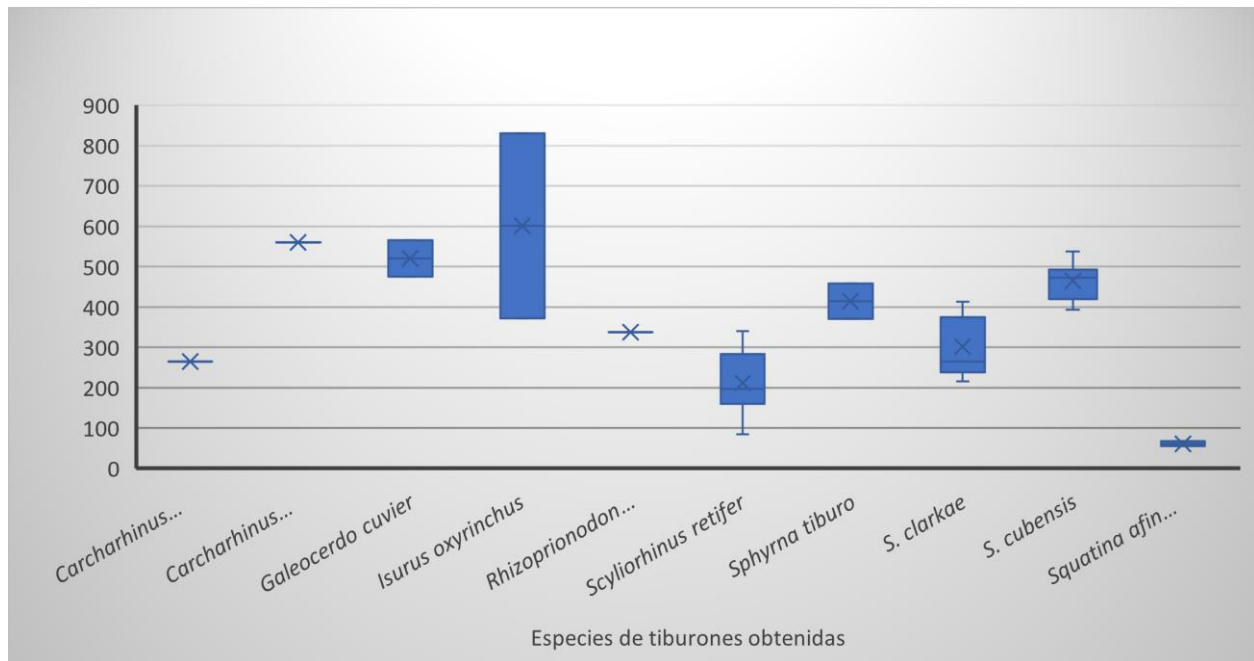


Figura 51. Promedios de dentículos dérmicos/cm² en la región cercana a la primera aleta dorsal de las especies de tiburones revisadas.

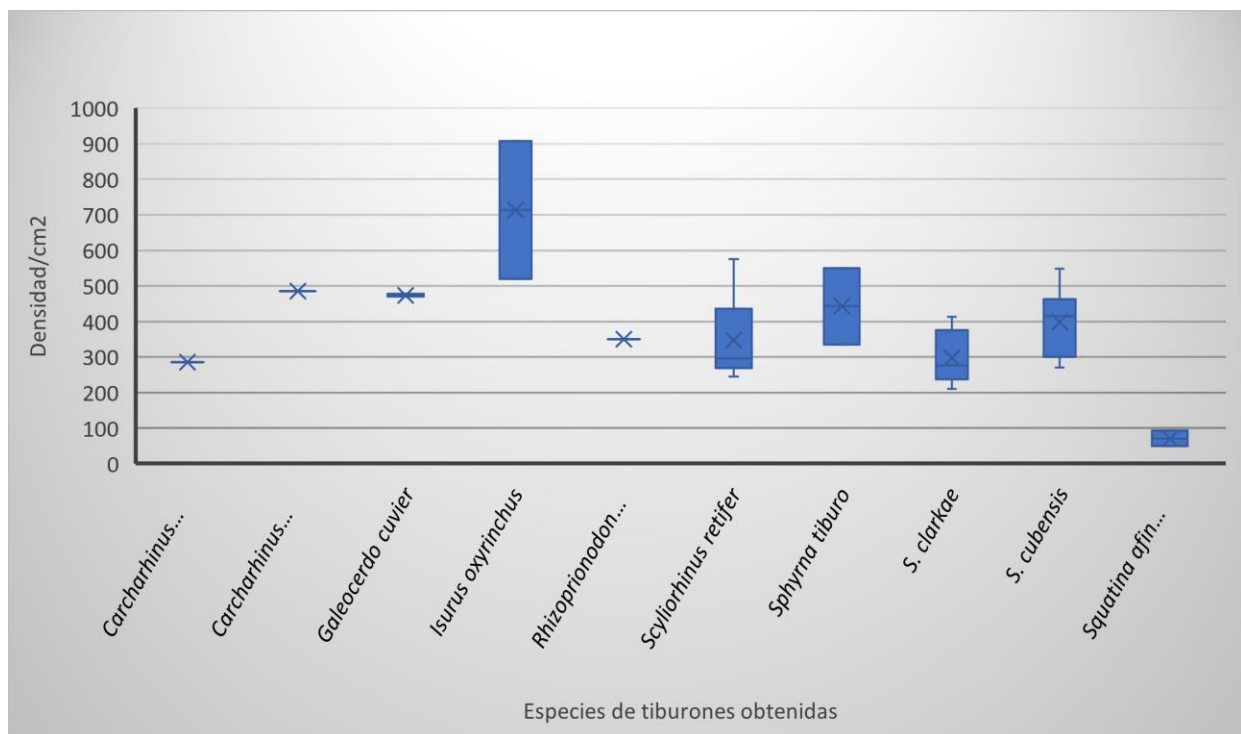


Figura 52. Promedios/cm² de dentículos dérmicos de la región ventral de las especies de tiburones revisadas

En el caso de rayas y mantarrayas, *P. lentiginosus* es la especie con mayor densidad de dentículos tanto en región dorsal y ventral (421 y 470, respectivamente) y le sigue *M. hypostoma* (48.75 y 45, respectivamente). En contraste, la especie *R. bonasus* fue quien presentó menor densidad de dentículos en ambas regiones (19.5 y 11.7, respectivamente). Después, le seguiría *H. americanus* con 15 dentículos aproximadamente (Tabla 4; Figs. 53 y 54).

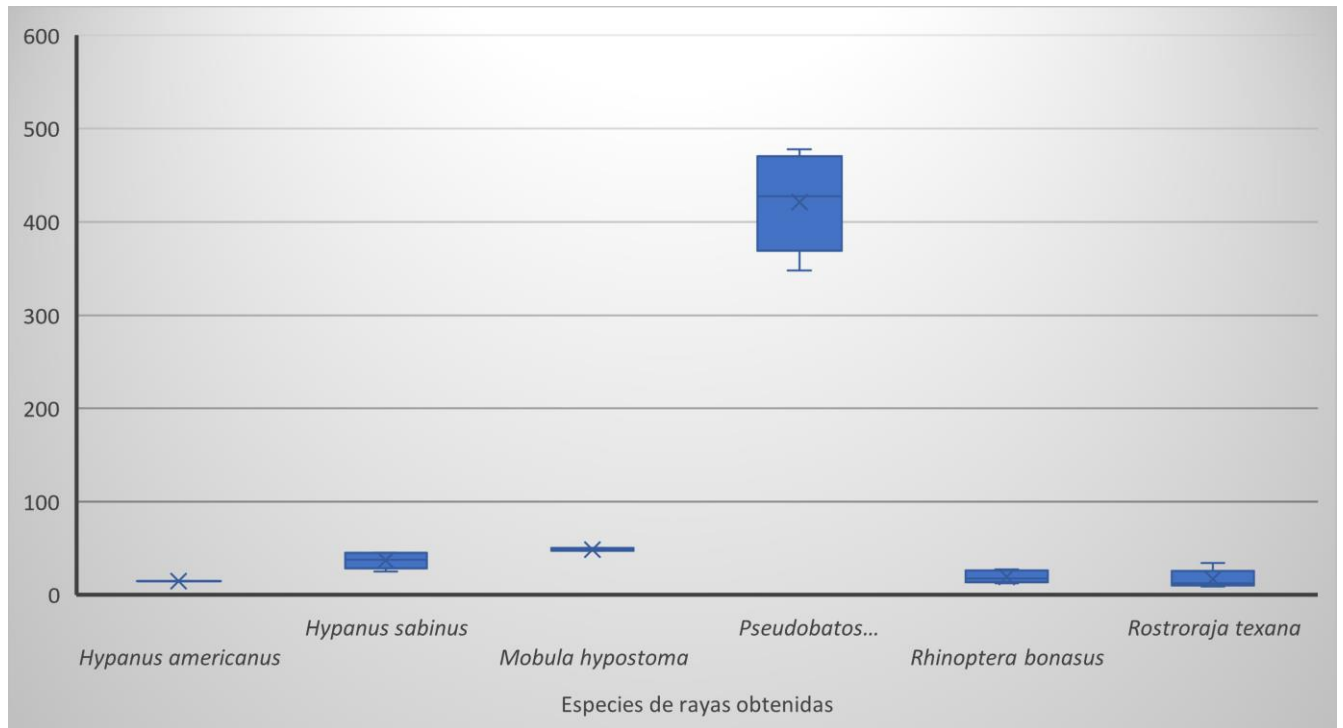


Figura 53. Promedios/cm² de dentículos dérmicos en la región dorsal de las rayas analizadas.

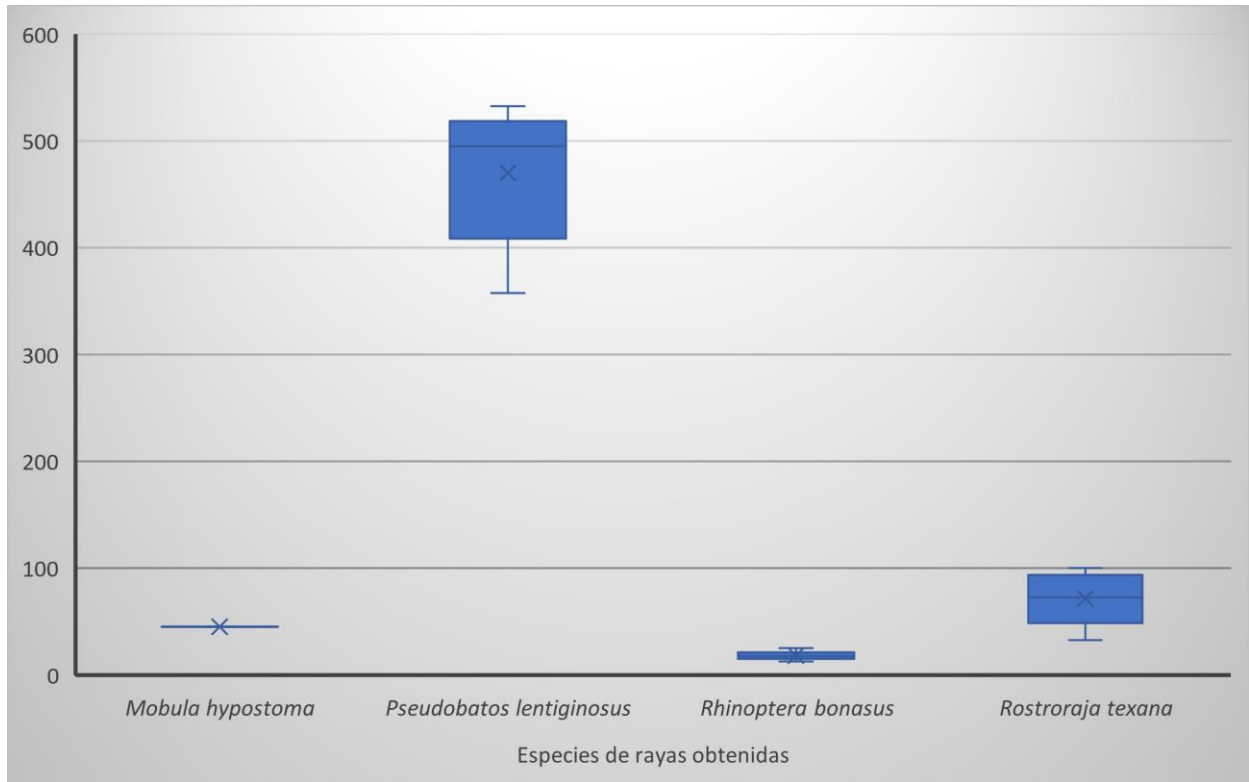


Figura 54. Promedios/cm² de los dentículos cuantificados en la región ventral de las rayas revisadas.

Por último, se realizó un cuadro comparativo de acuerdo con la clasificación de Muñoz-Chapuli (1985) clasificando a los dentículos analizados de acuerdo con el hábitat del organismo.

Tabla 5. Lista de tiburones y rayas obtenidos ordenados en el listado de Muñoz-Chapuli (1985) de acuerdo con tipo de hábitat:

Categoría	Especies	Tipo de Hábitat
Grupo 1	<i>Scyliorhinus retifer</i>	Bentodemersales de fondo arenoso
Grupo 3	<i>Squatina aff. dumeril</i>	Demersales o bentónicos
Grupo 4	<i>Isurus oxyrinchus</i> <i>Carcharhinus falciformis</i> <i>Sphyrna tiburo</i>	Pelágicos y rápidos nadadores
Grupo 6	<i>Galeocerdo cuvier</i>	Pelágicos, lentos nadadores

DISCUSIÓN

Diferencias en dentículos dérmicos

Se observó que los dentículos de las especies revisadas variaron en formas, acomodo, tamaños y características, como el número de cúspides o microestructuras. Aunque fue posible hacer algunas agrupaciones en: dentículos de formas circulares, romboidales, triangulares, como espinas modificadas, entre otras. Estas variaciones se han estudiado como posibles aspectos evolutivos, adaptación al ambiente o debido a los hábitos que presenten. Reif (1982) clasificó a los dentículos de acuerdo con su morfología en relación con la función que desempeñaban: no funcionales, propios de especies que viven cercanas al fondo y no presentan especialización alimenticia; dentículos en forma de botón o cruz como protección contra la abrasión; espinosos, que producen mucus como función defensiva, entre otros. Posterior a esto, Muñoz-Chapuli (1985) modificó dicha clasificación agrupando los dentículos en seis grupos dependiendo sus funciones, formas además de los hábitos de vida de los organismos. De las especies que se tienen en la lista ya descrita (Tabla 1) y *S. retifer* podría acomodarse en el grupo 1 por presentar de una a cuatro cúspides y ser tiburones demersales de fondos arenosos; *S. aff. dumeril* también puede clasificarse en el grupo 3 por presentar dentículos más grandes, sin cúspides y ser un organismo demersal, bentónico y poco móvil. El tiburón alecrín *I. oxyrinchus*, *C. falciformis* y *S. tiburo* entran en el grupo número 4, pues coincide con ciertas características observadas: dentículos muy pequeños, con pocas cúspides (de 3 a 7) y esto se debe a que funcionan reduciendo el rozamiento en la capa límite entre la piel y el agua, favoreciendo la natación en dichas especies; *G. cuvier* se clasifica en el grupo 6 por tener dentículos pequeños y dispersos y con una o dos cúspides debido a ser especies muy grandes, pelágicas y lentos como nadadores (Tabla 5).

Dichas variaciones morfológicas han permitido, incluso, la reconstrucción de las comunidades, observando sus aspectos evolutivos a lo largo del tiempo debido a la gran capacidad de preservación que tienen los dentículos dérmicos en los estratos fósiles (Dillon *et al.*, 2017). Este tipo de información obtenida podría permitirnos reconstruir a las comunidades de tiburones y rayas que se hayan encontrado en la región centro-sur del Golfo de México.

Variaciones entre sexos

El tiburón *S. retifer* fue la especie clave que permitió revisar el dimorfismo sexual que pueden presentar los dentículos dérmicos. Los dentículos del tiburón macho fueron de menor tamaño, además de presentar diferencias en las cúspides y la forma de la corona. El dimorfismo sexual se ha observado en diversas especies como en *Galeus mincaronei* (Macías-Cuyare y Oddone, 2022), quienes observaron variaciones en los dentículos dérmicos de diferentes regiones corporales de la especie, encontrando también que existe dimorfismo sexual en el ancho de la corona y la morfología de dentículos dérmicos en adultos en estado de reproducción. Otra especie con dimorfismo sexual es *Scyliorhinus canicula* con diferencias entre los dentículos dérmicos y el grosor de la capa dérmica, donde las hembras poseen piel más gruesa (Crooks y Waring, 2012). Esto puede ir de la mano con la investigación de Kajiura *et al.* (2000) quienes encontraron mayor engrosamiento en la piel de *Hypanus sabinus* principalmente en organismos en etapa reproductiva. Mencionan que las hembras de *H. sabinus* poseen pieles más gruesas en sus estadios reproductivos por las mordeduras que puedan sufrir a causa de los machos. Nordell (1994) destaca en un estudio comparativo entre sexos de *Urobatis halleri* que las hembras suelen poseer pieles más gruesas en zonas donde los machos puedan morderlas durante la cópula, pero como contraste, machos de *U. halleri* suelen poseer denticiones más desarrolladas con la finalidad de poder morder a las hembras durante la reproducción.

Otro aspecto para considerar, lo destaca De Sousa Rangel *et al.* (2016) quienes al estudiar dentículos dérmicos de las rayas *Atlantoraja cyclophora* y *A. castelnaui* observaron que la morfología de los dentículos a manera de espina es distinta en la etapa de reproducción de los individuos, pues la morfología de la espina y la parte termina de ésta, ayuda junto a las aletas pectorales para poder sujetar el cuerpo de la hembra en una posición de vientre con vientre durante la cópula. Los aspectos reproductivos señalados con anterioridad deben ser considerados al momento de analizar la morfología de los dentículos dérmicos de los elasmobranquios.

Variaciones ontogénicas.

En organismos como *Squalus cubensis* y *S. clarkae* (quienes fueron especies que presentaron organismos en estadios juveniles y adultos) se observa una morfología definida en la mayoría de los dentículos, sin embargo, fue posible encontrar dentículos de menor tamaño y con una morfología distinta, es decir, dentículos de formas triangulares más irregulares, con el borde anterior indefinido y las cúspides poco marcadas. En el caso de rayas *Pseudobatos lentiginosus* mostró una tendencia similar, los dentículos de menor tamaño no presentaban la forma romboidal definida y el borde posterior se encontraba muy redondeado. Esto puede deberse al desarrollo ontogénico del organismo o de la estructura, ya que los dentículos dérmicos suelen ser remplazados conforme estos se caen.

Kanagusuku *et al.* (2021) encontraron diferencias morfológicas en dentículos dérmicos del tiburón de siete branquias *Nothorynchus cepedianus*, de acuerdo con su desarrollo ontogénico, destacando que los dentículos tienen forma de cruz en su estado de madurez, pero dicho carácter no se observa en neonatos, juveniles y se pierde conforme el organismo va envejeciendo; también mencionan que las terminaciones de las cúspides se pueden ir perdiendo a medida que el individuo va creciendo. Rincon *et al.* (2021) al estudiar un organismo neonato de *Centroscymnus owstonii* mencionan que conforme el organismo va desarrollándose, los dentículos dérmicos se irán sustituyendo, variando la forma y el acomodo que tengan. Esto quiere decir que los organismos más juveniles no presentarán la misma morfología de dentículo dérmico que un organismo en estado maduro o “viejo”. Si comparamos lo descrito para otras especies con lo observado en este trabajo, podemos inferir que los dentículos dérmicos no se mantienen igual durante el desarrollo ontogénico del organismo pues sufren cambios importantes en la morfología general de la corona, acomodo de éstos, tamaño de cada dentículo e inclusive podríamos inferir que varía la densidad de dentículos que puedan presentar las especies.

Desgaste en dentículos dérmicos

Otro aspecto importante para destacar es el desgaste observado en dentículos dérmicos. En especies pelágicas como *I. oxyrinchus*, se observó un mayor desgaste en sus dentículos, principalmente en las terminaciones de las cúspides que posee. Fernández-Waid *et al.* (2019) mencionan que la morfología de los dentículos dérmicos del tiburón mako (*I. oxyrinchus*) está adaptada para un nado más rápido. Sin embargo, este aspecto también ha determinado que los dentículos tienden a tener un mayor desgaste, principalmente en zonas como la primera aleta dorsal, que ayudan a tener un menor fricción y mayor flujo de agua. Esto nos permite inferir que, debido a esta condición fue la especie con mayor desgaste en sus dentículos.

Gabler-Smith *et al.* (2021) al estudiar las diferencias entre dentículos de trece especies (entre ellas, *Sphyrna tiburo*, *Scyliorhinus retifer*, *Isurus oxyrinchus* y *Carcharhinus falciformis*, que destacan por coincidir con los resultados que se presentan aquí), mencionan que las especies pelágicas presentan un alto nivel de desgaste en comparación con especies bentónicas y demersales, es decir, el flujo de corriente que pasa sobre la piel y por ende, sobre los dentículos, determina el desgaste que puedan tener algunas especies, más no se considera como la causa principal, puesto que también se pueden ver afectados por otros aspectos como la presencia de parásitos, abrasión de dentículos en especies bentónicas (al momento de estar cerca del fondo marino) o por ataques de otros organismos depredadores.

Un aspecto importante que se observó al revisar esta literatura está relacionado con el proceso de preservación de las muestras antes del estudio. La mayoría de los estudios (Mello *et al.* 2011; Ankhelyi *et al.*, 2018; Kanagusuku *et al.*, 2021) preservan sus muestras en alcohol inicialmente y después son congeladas previo a su estudio. Esto pudo ser un factor que haya afectado la morfología de los dentículos dérmicos, ya que en nuestro caso la mayoría de las muestras se conservaron en formol (10%). Es importante que otros estudios evalúen los posibles efectos ante diferentes métodos de preservación.

Dentículos dérmicos como un carácter taxonómico

Entre las 16 especies estudiadas, se tuvieron dos especies de la misma familia, es decir *Squalus cubensis* y *S. clarkae* (Squalidae). Al caracterizar los dentículos dérmicos de ambas especies, se encontraron diferencias en la forma del dentículo, la forma de la corona, cúspides, tamaño y acomodo; dicho parentesco fue similar en el caso de *Hypanus sabinus* e *H. americanus* (Dasyatidae), donde se encontraron características similares en sus dentículos con variaciones en el margen del dentículo, la terminación del borde posterior y el acomodo de éstos. Estas características podrían ser consideradas al momento de realizar una identificación taxonómica, pues pueden verse diferencias muy claras en los dentículos. Se han realizado incluso caracterizaciones de especies de tiburones y rayas utilizando solamente dentículos dérmicos de aletas dorsales, destacando que pueden utilizarse como herramienta de identificación taxonómica en dado caso de no poseer otras estructuras o al organismo completo para poder identificar a una especie (Gravendeel *et al.*, 2002; Tanaka *et al.*, 2002) siempre y cuando se tengan imágenes nítidas de los dentículos, por lo cual, es importante considerar la futura realización de un catálogo de dentículos dérmicos para una mejor identificación (teniendo distintas imágenes de microscopía).

Carrasco-Martínez *et al.* (2021) mencionan que en dos especies hermanas de tiburones pala (*Sphyrna tiburo* y *S. vespertina*) se observa un patrón morfológico común, pero también presentan diferencias en la longitud de las crestas, microornamentación y acomodo de los dentículos. Mello *et al.* (2011) revisan el parentesco y características similares en dentículos de esfírnidos y carcarrínidos, añadiendo que estos pueden apoyar los análisis filogenéticos y complementar la taxonomía de la mayoría de las especies de condriictios. Esta idea es compartida igualmente por De Sousa Rangel *et al.* (2016) que, a su vez, también encontraron diferencia en las dos especies de rájidos que estudiaron, destacando variaciones en las espinas de los machos de ambas especies. Mencionan que el conocimiento de la morfología de las espinas y demás dentículos dérmicos es de suma importancia en estudios comparativos tanto de rayas como de tiburones debido al

importante papel que juegan estas estructuras en la protección y reproducción de los organismos.

La alta preservación que pueden mostrar los dentículos dérmicos debido a su composición y a los dentículos que se han encontrado en los sedimentos de diversos arrecifes de coral (Dillon *et al.*, 2017), permite no solo la identificación de los organismos, si no que puede ser una herramienta para la reconstrucción de las filogenias y encontrar caracteres similares o compartidos entre especies. Sería importante realizar una caracterización más exhaustiva quizás en especies similares, observar otras características y analizar dentículos de manera más minuciosa para poder crear incluso una clave de identificación taxonómica a partir de dentículos dérmicos.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos de la investigación, se concluye lo siguiente:

- Se logró la caracterización de dieciséis especies de elasmobranquios asociados a las pesquerías de la región centro-sur del estado de Veracruz.
- Los dentículos dérmicos muestran diferencias morfológicas entre las especies, lo cual, puede utilizarse como un carácter taxonómico al momento de identificar una especie.
- La morfología de los dentículos dérmicos de los tiburones y su relación biológica permitió el reconocimiento de cuatro grupos: Grupo “Bentodemersales de fondo arenoso (*Scyliorhinus retifer*); Grupo “Demersales o bentónicos” (*Squatina* aff. *dumeril*); Grupo “Pelágicos y rápidos nadadores” (*Isurus oxyrinchus*, *Carcharhinus falciformis* y *Sphyrna tiburo*); y Grupo “Pelágicos, lentos nadadores” (*Galeocerdo cuvier*).
- En los grupos de rayas, también se encontraron diferencias morfológicas en los dentículos (espinas), lo que permitió identificar a nivel especie a un organismo.
- Los dentículos dérmicos pueden mostrar dimorfismo sexual de acuerdo con la morfología que presenten (por ejemplo, visto en *S. cubensis* y *S. clarkae*).
- La variación en el número de dentículos que posee cada especie es importante ya que va relacionado con la morfología y los hábitos de vida de cada organismo (dentículos pequeños y numerosos o pocos dentículos y de mayor tamaño).

REFERENCIAS

- Ankhelyi, M.V., Wainwright, D.K., Lauder, G.V. 2018. Diversity of dermal denticle structure in sharks: skin surface roughness and three-dimensional morphology. *Journal of Morphology*, 279(8): 1132-1154.
- Arreguín-Sánchez, F., Arcos-Huitrón, E. 2011. La pesca en México: estado de la explotación y uso de los ecosistemas. *Hidrobiología*, 21(3): 431-462.
- Beltrán de la Torre, K.P. 2018. *Anatomía del Sistema esquelético, taxonomía y biogeografía de Pseudobatos lentiginosus (Garman, 1880) (Rhinoprístiformes: Rhinobatidae)*. Tesis de Licenciatura en Biología, UNAM, México. 55 p.
- Bonfil, R. 1994. *Overview of world elasmobranch fisheries*. FAO Fisheries Technical Paper No. 341, Roma, FAO.
- Carrasco-Martínez, L.B., Del Moral-Flores, L.F., Quintanar-Zúñiga, R.E., Sancho-Vásquez, F. 2021. Morfología Microestructural Dérmica en Juveniles de Dos Especies Hermanas de Tiburón Pala, *Sphyrna tiburo* y *S. vespertina*. *International Journal of Morphology*, 39(4): 1160-1163.
- Castro, J.I. 2011. *The sharks of North America*. Oxford: Oxford University.
- Comisión Nacional de Pesca y Acuicultura (CONAPESCA-INP). 2004. *Plan de Acción Nacional para el Manejo y Conservación de Tiburones, Rayas y Especies Afines en México*. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca e Instituto Nacional de la Pesca, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Mazatlán, México.

- Compagno, L., Didier, D., Burgess, G. 2005. Chapter 2 Classification of Chondrichthyan Fish. En: Fowler, S.L., Cavanagh, R.D., Camhi, M., Burgess, G.H., Cailliet, G.M., Fordham, S.V., Simpfendorfer, C.A., Musick, J.A. (Eds.). *Sharks, Rays and Chimaeras: The Status of the Chondrichthyan Fishes* (pp.4-11). Grupo de especialistas en tiburones de la UICN, UICN, Gland.
- Crooks, N., Waring, C.P. 2012. Sexual dimorphisms in the dermal structure of the lesser-spotted catshark, *Scyliorhinus canicula* (Linnaeus, 1758). *Acta Zoologica*, 0: 1-4.
- Cuevas-Gómez, G., Gastélum-Nava, E., Amador-Castro, I., Hernández-Velasco, A., Fulton, S., Fernández-Rivera-Melo, J., Rocha-Tejeda, L., Hudson-Weaver, A., Espinosa-Romero, M. 2019. México y la pesca: conociendo las herramientas de manejo. *Biodiversitas CONABIO*, 146: 2-7.
- De la Lanza-Espino, G. 1991. *Oceanografía de Mares mexicanos*. México: AGT Editor, S.A.
- Del Moral-Flores, L., Pérez-Ponce de León, G. 2013. Tiburones, rayas y quimeras de México. *Biodiversitas CONABIO*, 111: 1-6.
- De Sousa Rangel, B., Wosnick, N., Leandro, R.M., Ferreira de Amorim, A., Kfoury-Junior, J.R., Grassi-Rici, R.E. 2016. Thorns and dermal denticles of skates *Atlantoraja cyclophora* and *A. castelnaui*: Microscopic features and functional implications. *Microscopy Research & Technique*, 79(12): 1133-1138.
- Deynat, P.P. 1998. Le revêtement cutané des raies (Chondrichthyes, Elasmobranchii, Batoidea). II. Morphologie et arrangement des tubercules cutanés. *Annales des Sciences Naturelles*, 3(4): 155-172.
- Dillon, E.M., Norris, R.D., O'Dea, A. 2017. Dermal denticles as a tool to reconstruct shark communities. *Marine Ecology Progress Series*, 566: 117-134.

- Feld, K., Kolborg, A.N., Nyborg, C.M., Salewski, M., Steffersen, J.F., Berg-Sorensen, K. 2019. Dermal denticles of three slowly swimming shark species: microscopy and flow visualization. *Biomimetics*, 4(38): 1-20.
- Fernández-Waid, P., Diez, G., Bidaguren, I., Izagirre, U., Blanco, J.M. 2019. Morphological Characterization and Hydrodynamic Behavior of Shortfin Mako Shark (*Isurus oxyrinchus*) Dorsal Fin Denticles. *Journal of Bionic Engineering*, 16: 730-741.
- Frumkin, J.A., Shimada, K. 2020. Integument-based inferences on the swimming ability and prey hunting strategy of the bigeye thresher shark, *Alopias superciliosus* (Lamniformes: Alopiidae). *Zoomorphology*, 139(2): 213-229.
- Gabler-Smith, M.K., Wainwright, D.K., Wong, G.A., Lauder, G.V. 2021. Dermal denticle diversity in sharks: novel patterns on the interbranchial skin. *Integrative Organismal Biology*: 3(1): 1-21.
- García-Amaro, E. 2004. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. México, CDMX. Instituto de Geografía, UNAM.
- Gilligan, J.J., Otway, N.M. 2011. Comparison of dorsal and pectoral fin denticles for grey nurse, great white, and six whaler sharks from east Australian Waters. *Journal and Proceedings of the Royal Society of New South Wales*, 144: 66-82.
- Gravendeel, R., Van Neer, W., Brinkhuizen, D. 2002. An identification key for dermal denticles of Rajidae from the North Sea. *International Journal of Osteoarchaeology*, 12: 420-441.
- Inoue, J., Miya, M., Lam, K., Tay, B., Danks, J., Bell, J., Walker, T.I., Venkatesh, B. 2010. Evolutionary origin and phylogeny of the modern holocephalans (Chondrichthyes:

Chimaeriformes): a mitogenomic perspective. *Molecular Biology and Evolution*, 27(11): 2576-2586.

Kajiura, S.M., Sebastian, A.P., Tricas, T.C. 2000. Dermal bite wounds as indicators of reproductive seasonality and behavior in the Atlantic stingray, *Dasyatis sabina*. *Environmental Biology of Fishes*, 58: 21-23.

Kanagusuku, K., Dufflocq, P., Sánchez-Rea, A., Huamantínco, A.A., Ramírez-Amaro, S. 2021. Morphological characterization of dermal denticles of the Broadnose Sevengill Shark *Notorynchus cepedianus* (Elasmobranchii: Hexanchidae). *Universitas Scientiarum*, 26(3): 261-279.

Karpenter, K.E. 2002. *The Living Marine Resources of the Western Central Atlantic Volume 1: Introduction, Mollusks, Crustaceans, Witch Fish, Sharks, Batoid Fish and Chimeras*. Norfolk, Virginia, EE.UU. FAO.

Kriwet, J., Benton, M.J. 2004. Neoselachian (Chondrichthyes, Elasmobranchii) diversity across the Cretaceous-Tertiary boundary. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 214: 181-194.

Kriwet, J., Kiessling, W., Klug, S. 2009. Diversification trajectories and evolutionary life-history traits in early sharks and batoids. *Proceedings of the Royal Society, Biological Series*, 276: 945-951.

Laranjeira, M.E., Guimaraes, J.P., Amorim, A.F., Rotundo, M., Rici, R.E.G., Mari, R.B. 2015. Ultrastructure of dermal denticles in sharpnose shark (*Rhizoprionodon lalandii*) (Elasmobranchii, Carcharhinidae). *Microscopy Research and Technique*, 78: 859-864.

- Macías-Cuyare, M., Oddone, M. C. 2022. Morphological pattern of the dermal denticles of the Southern sawtail catshark *Galeus mincaronei* Soto, 2001. *Journal of Morphology*, 283(8): 1120-1134.
- Mancera-Flores, A., Morales-Méndez, D., Saavedra-Gallardo, E., Hernández-Santa, J.R., Méndez-Linares, A.P. 2020. Morfodinámica de las costas septentrionales del estado de Veracruz, México: tendencias en las últimas cuatro décadas (1973-2017). *Investigaciones Geográficas, Instituto de Geografía, UNAM*, 103: 1-17.
- McEachram, J.D., Fechhelm, J.D. 2013. *Fishes of the Gulf of Mexico, Vol. 1: Myxiniformes to Gasterosteiformes*. Texas, EE.UU. University of Texas Press.
- Mello, W.C., de Carvalho, J.J., Brito, P.M.M. 2011. Microstructural morphology in early dermal denticles of hammerhead sharks (Elasmobranchii: Sphyrnidae) and related taxa. *Acta Zoologica*, 94(2): 147-153.
- Motta, P., Habegger, M. L., Lang, A., Hueter, R., Davis, J. 2012. Scale morphology and flexibility in the shortfin mako *Isurus oxyrinchus* and the blacktip shark *Carcharhinus limbatus*. *Journal of Morphology*, 273 (10): 1096-1110.
- Muñoz-Chapuli, R. 1985. Ornamentación ultraestructural del esqueleto dérmico de algunas especies Carcharhiniformes. *Miscelánea Zoológica*, 9: 394-396.
- Musicks, J.A., Musick, S. 2011. *Sharks. FAO Fisheries and Aquaculture Reviews and Studies*. Roma, FAO.
- Nelson, J.S. 2006. *Fishes of the World Fourth Edition*. Alberta, Canada. John Wiley & Sons, Inc.
- Nordell, S.E. 1994. Observations of the mating behavior and dentition of the round stingray, *Urolophus helleri*. *Environmental Biology of Fishes*, 39: 219-229.

- Oeffner, J., Lauder, G.V. 2012. The hydrodynamic function of shark skin and two biomimetic applications. *The Journal of Experimental Biology*, 215(5): 785-795.
- Ortiz-Pérez, M.A., De la Lanza-Espino, G. 2006. *Diferenciación del espacio costero de México: Un inventario regional*. México, CDMX. Instituto de Geografía, UNAM.
- Parsons, G.R. 2006. *Sharks, Skates and Rays of the Gulf of México*. Mississippi, E.E.U.U. University Press of Mississippi.
- Reif, W-E. 1982. Evolution of dermal skeleton and dentition in vertebrates: the odontode-regulation theory. *Evolutionary Biology*, 15: 287–368.
- Rincon, G., Mota, R., Mazzoleni, R., Lessa, R., Ferreira de Moura, M., Charvet, P. 2021. Dermal denticle variations on a newborn Roughskin Dogfish *Centroscymnus owstonii* (Chondrichthyes: Somniosidae) captured off northeastern Brazil with notes on ontogenetic differentiation. *Regional Studies in Marine Science*, 44: 1-11.
- Southall, E.J., Sims, D.W. 2003. Shark skin: a function in feeding. *Proceedings of the Royal Society, Biological Sciences*, 270: 47-49.
- Sullivan, T., Regan, F. 2011. The characterization, replication and testing of dermal denticles of *Scyliorhinus canicular* for physical mechanisms of biofouling prevention. *Bioinspiration & Biomimetics*, 6: 1-11.
- Tanaka, S., Kitamura, T., Nakano, H. 2002. Identification of shark species by seem observation of denticle of shark fins. *Collective Volume of Scientific Papers ICCAT*, 54(4): 1386-1394.
- van der Laan, R., Eschmeyer, W.N., Fricke, R. (2022). Family-group names of Recent fishes. *Zootaxa*, 3882(2): 001-230.

Valenzuela, A., Bustamante, C., Lamilla, J. 2008. Morphological characteristics of five bycatch sharks caught by southern Chilean demersal longline fisheries. *Scientia Marina*, 72(2): 231-237.