



UNIVERSIDAD DEL MAR

campus Puerto Ángel

**Caracterización morfológica y morfométrica de *Ophiocomella alexandri*
(Lyman, 1860) (Ophiuroidea: Ophiocomidae)**

TESIS

Que para obtener el Título Profesional de
Licenciada en Biología Marina

PRESENTA

Karla Janet Humara Gil

DIRECTORA

M. en C. María Rebeca Granja Fernández

CO-DIRECTOR

M. en C. José Alberto Montoya Márquez

Puerto Ángel, Oaxaca, México 2019

Resumen

Ophiocomella alexandri es uno de los ofiuroideos más conspicuos y abundantes del Pacífico oriental tropical. Debido a lo anterior, sería esperable que su caracterización morfológica estuviera completa y que sus problemas taxonómicos fueran menores o nulos; sin embargo, se han detectado dos problemáticas importantes en la taxonomía de la especie: 1) *O. alexandri* se describió con base en características adultas, por lo que en la actualidad son estas con las que se identifica a la especie, sin tomar en cuenta las posibles variaciones morfológicas en función de la talla, y 2) no se han utilizado herramientas estadísticas de análisis de datos merísticos y morfométricos que complementen sus descripciones y permitan analizar su variación ontogénica. Con el fin de abordar dichas problemáticas, se caracterizó la variación morfológica y morfométrica de *O. alexandri* analizando una serie de crecimiento, según el diámetro del disco (dd), de 54 ejemplares provenientes del Pacífico mexicano. En cada ejemplar se revisaron características morfológicas cuantitativas y cualitativas utilizadas en la taxonomía tradicional, y se consideraron dos variables morfométricas (diámetro del disco, longitud total del brazo). A partir de las características morfológicas cuantitativas se identificaron tres grupos de tallas de la especie (G_i), determinados a través de métodos estadísticos (análisis de conglomerados, análisis de la varianza con base en permutaciones, análisis discriminante): G_1 , dd= 1.64-3.67 mm; G_2 , dd= 3.95-13.76 mm; G_3 , dd= 14.77-23.64 mm. Cada grupo se describió detalladamente en términos morfológicos. Asimismo, se estimó la relación alométrica diámetro del disco-longitud total del brazo (modelo potencial) para cada uno de los grupos y para los grupos combinados (G_C), y se compararon sus pendientes a través de un análisis de covarianza con variables indicadoras. La relación fue isométrica ($b= 1$) para G_1 y alométrica positiva ($b > 1$) para G_2 , G_3 y G_C . Las pendientes estimadas no fueron estadísticamente diferentes entre los grupos. Los resultados indican que el conocimiento de las variaciones morfológicas que presenta *O. alexandri* según la talla es de suma importancia para identificar correctamente a los ejemplares de esta especie, y que los análisis cuantitativos tienen un gran potencial para ser utilizados en conjunto con la taxonomía de los ofiuroideos.

Palabras clave: Alometría, análisis multivariado, morfología, Pacífico mexicano, taxonomía.

Abstract

Ophiocomella alexandri is one of the most conspicuous and abundant brittle stars from the Tropical Eastern Pacific. Due to this, it would be expected that its morphological characterization was complete and its taxonomic problems were minimal or null. However, two important issues regarding the species' taxonomy have been detected: 1) *O. alexandri* was described based on adult characters. To date, the species' identification relies on these characters, without taking into account possible morphological variability according to size, and 2) statistical tools for meristic and morphometric data analysis have not yet been used for complementing its descriptions and analyze its ontogenetic variability. To approach both issues, morphological and morphometric variability of *O. alexandri* was characterized. The study was based on the analysis of a growth series according to the disk diameter (dd) of 54 specimens from the Mexican Pacific. Quantitative and qualitative morphological characters used in traditional taxonomy were revised in each specimen, as well as two morphometric variables (disk diameter, arm total length). Three size groups (G_i) of the species were identified: G_1 , dd= 1.64-3.67 mm; G_2 , dd= 3.95-13.76 mm; G_3 , dd= 14.77-23.64 mm. Size groups were determined through statistical analysis of the species' quantitative data (cluster analysis, permutational analysis of variance, discriminant analysis). Morphological characters of each group were described in detail. The allometric relationship disk diameter-arm total length (potential model) was estimated for each size group and the combined size groups (G_C), and its slopes were compared through an analysis of covariance with indicator variables. The relationship was isometric ($b= 1$) for G_1 and positively allometric ($b > 1$) for G_2 , G_3 and G_C . Estimated slopes were not significantly different among groups. Results point out that knowledge of the morphological variability presented by *O. alexandri* according to size is important to correctly identify specimens of this species, and on the other hand, that quantitative analyses have great potential for being used along taxonomy of Ophiuroidea.

Key words: Allometry, Mexican Pacific, morphology, multivariate analysis, taxonomy.

A la mujer de mi vida, Janet.

«...mint chocolate chip ice cream will fix about everything. and for the pains it can't
there will always be my mother's arms». – rupi kaur

Agradecimientos

Al proyecto «Inventario de ofiuroides del Pacífico mexicano» (CONABIO JF047), mediante el cual se realizó la recolecta de las muestras de ofiuroides revisadas en esta tesis.

Al proyecto «Evaluación del potencial de las técnicas de secuencia masiva, ADN ambiental y código de barras genético para la descripción de la biodiversidad bentónica de los ecosistemas marinos y costeros de Oaxaca» (PDCPN 2015_1418), por el apoyo económico brindado durante la realización de este trabajo; así como al responsable técnico del proyecto, la Dra. Valentina Islas Villanueva (UMAR-Puerto Ángel), por permitirme formar parte de este.

A la M. en C. Rebeca Granja Fernández (UAM-Iztapalapa), por compartir conmigo tus conocimientos sobre los ofiuroides desde el primer momento y por confiar en mí para realizar este trabajo. Becky, has sido la mejor guía que pude encontrar. Mil gracias. Es alentador saber que mujeres como tú están haciendo Ciencia en el país; tienes toda mi admiración.

Al M. en C. Alberto Montoya Márquez (UMAR-Puerto Ángel), por haber aceptado el reto de trabajar con los organismos más bonitos del mundo (no, los peces no), por resolver cada duda con la que aparecí en su cubo y por dirigir esta tesis de la mejor manera posible.

A la M. en C. Ana María Torres Huerta (UMAR-Puerto Ángel) y a los Dres. Andrés López Pérez (UAM-Iztapalapa) y Rolando Bastida Zavala (UMAR-Puerto Ángel), por sus comentarios y sugerencias los cuales indudablemente mejoraron este escrito.

A la Dra. Socorro García Madrigal (UMAR-Puerto Ángel) y nuevamente, al Dr. Rolando, por enseñarme lo fascinantes que son los invertebrados marinos, por abrirme las puertas del LABSIM y por impulsarme a ser una buena investigadora.

Al Laboratorio de Pastos Marinos y Bentos (UAM-Iztapalapa), por el espacio brindado para la revisión de las muestras incluidas en esta tesis durante las estancias realizadas en 2017 y 2018.

A mi mamá, Janet. Gracias por construir el camino para sacar adelante a tus tres hijas. Me consta que no hay montaña que no puedas mover por nosotras. Eres mi más grande ejemplo de perseverancia, determinación, fortaleza y, sobre todo, de amor.

A Pablo. Gracias por el apoyo incondicional que nos has ofrecido; sin ti, cumplir algunos sueños habría sido bastante más complicado.

A mis hermanas, «mis personas», Bere y Rach. Mi vida sería gris si ustedes no se encontraran en ella. Gracias por las llamadas telefónicas eternas, las referencias cinematográficas, los chistes cultos, el sarcasmo, las canciones... En resumen, por estar ahí para mí SIEMPRE. En un mundo de cambios, ustedes son mis constantes.

A mi papá, Carlos, por inculcarme una de las cosas que más disfruto en la vida, el hábito de la lectura, que ha sido una parte crucial en esta travesía. Asimismo, gracias por enseñarme a mantener los pies en la tierra mediante dos lecciones muy importantes: 1) siempre hay alguien mejor que tú y, 2) mientras más conoces, menos sabes.

A los amigos que me acompañaron en el transcurso de estos años, Yessi, Ray, Ale, Zapato, Marco (Marginal), Moni, Bany y Wally. Una mención especial a Yas y Rasta, las dos personas con las que reí, lloré, volé, intenté salir a correr y fallé, compartí una experiencia cercana a la muerte, entre otras cosas. En los momentos en los que me sentía un poco perdida, ustedes me demostraron que no estaba sola.

A las chicas que hicieron de mis veranos de trabajo, experiencias dignas de recordar: Mariela, Citlalli, Dahani y Bren. Gracias por las tristes historias y las risas que las seguían, y por darme la oportunidad de mostrarles que no soy tan seria después de todo.

A Tita, por ser la mejor compañera de siestas y por hacer nuestros días más felices con tu gordura, bailes, ronroneos e hiperactividad nocturna. Algún día nuestra pequeña familia estará unida de nuevo.

A Chris. Tú encabezas la lista de las cosas que no esperaba que me sucedieran y, sin embargo, fuiste (eres) la mejor vuelta que dio el destino. Gracias por compartir tu vida conmigo y seguir presente a pesar de la distancia. Me inspiras a ser mejor cada día para lograr ser la mujer que ves en mí.

Índice	
Índice de figuras	viii
Índice de tablas	xi
Introducción	1
<i>Clase Ophiuroidea</i>	1
<i>Problemática en la taxonomía de los ofiuroideos</i>	5
<i>Ophiocomella alexandri</i>	6
Antecedentes	8
Hipótesis	12
Objetivos	12
<i>General</i>	12
<i>Específicos</i>	12
Material y métodos	13
<i>Área de estudio</i>	13
<i>Selección del material</i>	14
<i>Obtención de variables morfométricas y morfológicas</i>	15
<i>Determinación y caracterización morfológica de los grupos de tallas</i>	19
<i>Caracterización morfométrica: relaciones alométricas</i>	20
Resultados	21
<i>Obtención de variables morfológicas</i>	21
<i>Determinación de los grupos de tallas</i>	27
<i>Caracterización morfológica de los grupos de tallas</i>	32
Grupo uno	32
Grupo dos	35
Grupo tres	39
<i>Caracterización morfométrica: relaciones alométricas</i>	43

Discusión	45
<i>Grupos de tallas</i>	45
<i>Caracterización morfológica: variables cuantitativas</i>	48
<i>Caracterización morfológica: variables cualitativas</i>	54
<i>Caracterización morfométrica: relaciones alométricas</i>	59
<i>Comentarios finales</i>	61
Conclusiones	63
Referencias	65
Anexos	75

Índice de figuras

- Figura 1.** Morfología general de un ofiuroido. **A.** Superficie dorsal del disco y sus diferentes tipos de ornamentación; **B.** Corte transversal de un segmento del brazo (modificado de LeClair 1996); **C.** Superficie ventral del disco y brazos. 3
- Figura 2.** *Ophiocomella alexandri* (dd= 10.96 mm). **A.** Vista dorsal; **B.** Disco, vista dorsal; **C.** Disco, vista ventral; **D.** Brazo, vista dorsal; **E.** Brazo, vista ventral. 7
- Figura 3.** Mediciones realizadas en *Ophiocomella alexandri* (vista dorsal). dd: diámetro del disco; lb: longitud total del brazo. 15
- Figura 4.** Estructuras de las cuales se obtuvieron datos cuantitativos para cada ejemplar estudiado (vista ventral). Los números en los escudos orales indican el orden en el que se examinó cada mandíbula, tomando como punto inicial a la madreporita (1). Las placas de los brazos señaladas con gris representan aquellas en las que se contabilizaron las espinas. et: escamas tentaculares; pd: papilas dentales; po: papilas orales; sb: segmentos del brazo; sbd: segmentos del brazo incluidos en el disco; sd: segmentos distales; sm: segmentos medios; sp: segmentos proximales. 16
- Figura 5.** Muestreo aleatorio sistemático de paso k para la obtención de la densidad de gránulos del disco por mm^2 (vista dorsal). Las flechas indican los cuadrantes que serían muestreados según los valores establecidos de k y r. k: intervalo de muestreo; n: número de muestra; N: marco de muestreo; r: punto de inicio del muestreo. 17
- Figura 6.** Número de papilas orales por mandíbula (M1, M2, M3, M4, M5) y por lado (I: izquierdo; D: derecho). Las líneas verticales representan los intervalos de confianza (95%) para la media. 22
- Figura 7.** Número de papilas dentales por mandíbula (M1, M2, M3, M4, M5). Las líneas verticales representan los intervalos de confianza (95%) para la media. 23
- Figura 8.** Número de espinas por sección del brazo (P: proximal; M: media; D: distal). Las líneas verticales representan los intervalos de confianza (95%) para la media. 24
- Figura 9.** Número de espinas por segmento (SP1, SP2, SP3) y por lado (I: izquierdo; D: derecho) de la sección proximal del brazo. Las líneas verticales representan los intervalos de confianza (95%) para la media. 25

Figura 10. Número de espinas por segmento (SM1, SM2, SM3) y por lado (I: izquierdo; D: derecho) de la sección media del brazo. Las líneas verticales representan los intervalos de confianza (95%) para la media. 26

Figura 11. Número de espinas por segmento (SD1, SD2, SD3) y por lado (I: izquierdo; D: derecho) de la sección distal del brazo. Las líneas verticales representan los intervalos de confianza (95%) para la media. 27

Figura 12. Dendrograma obtenido a partir del análisis de conglomerados (medida de similitud: distancias euclidianas; algoritmo de agrupamiento: UPGMA). Los ejemplares de *Ophiocomella alexandri* se encuentran enumerados en orden creciente de acuerdo a la talla. Cada grupo identificado se muestra de un color diferente: grupo uno: azul; grupo dos: rojo; grupo tres: verde. 29

Figura 13. Tallas (diámetro del disco) de los tres grupos obtenidos de *O. alexandri*. Las líneas verticales representan los intervalos de confianza (95%) para la media. 30

Figura 14. Gráfico territorial (análisis discriminante) de los ejemplares de *Ophiocomella alexandri* según sus características morfológicas cuantitativas. Cada grupo identificado se muestra de un color diferente: grupo uno: azul; grupo dos: rojo; grupo tres: verde. 31

Figura 15. Grupo de tallas uno de *O. alexandri*. A-I, ejemplar 1 (dd= 1.64 mm). J-R, ejemplar 13 (dd= 3.63 mm). **A, J.** Disco, VD; **B, K.** Disco, VV; **C, L.** Mandíbulas; **D, M.** Sección proximal del brazo, VD; **E, N.** Sección proximal del brazo, VV; **F, O.** Sección media del brazo, VD; **G, P.** Sección media del brazo, VV; **H, Q.** Sección distal del brazo, VD; **I, R.** Sección distal del brazo, VV. 1plv: primera placa ventral del brazo; ea: escudo adoral; eo: escudo oral; et: escama tentacular; ir: interrradio; pd: papilas dentales; pld: placa dorsal del brazo; pll: placa lateral del brazo; plo: placa oral; plv: placa ventral del brazo; po: papilas orales; sbd: segmentos del brazo incluidos en el disco; VD: vista dorsal; VV: vista ventral. 34

Figura 16. Grupo de tallas dos de *O. alexandri*. A-I, ejemplar 15 (dd= 3.95 mm). J-R, ejemplar 24 (dd= 5.76 mm). **A, J.** Disco, VD; **B, K.** Disco, VV; **C, L.** Mandíbulas; **D, M.** Sección proximal del brazo, VD; **E, N.** Sección proximal del brazo, VV; **F, O.** Sección media del brazo, VD; **G, P.** Sección media del brazo, VV; **H, Q.** Sección distal del brazo, VD; **I, R.** Sección distal del brazo, VV. 1plv: primera placa ventral del brazo; ea: escudo adoral; eo: escudo oral; et: escama tentacular; ir: interrradio; pd: papilas dentales; pld: placa

dorsal del brazo; pll: placa lateral del brazo; plo: placa oral; plv: placa ventral del brazo; po: papilas orales; sbd: segmentos del brazo incluidos en el disco; VD: vista dorsal; VV: vista ventral. 37

Figura 17. Grupo de tallas dos de *O. alexandri*. A-I, ejemplar 35 (dd= 11.09 mm). J-R, ejemplar 43 (dd= 13.76 mm). **A, J.** Disco, VD; **B, K.** Disco, VV; **C, L.** Mandíbulas; **D, M.** Sección proximal del brazo, VD; **E, N.** Sección proximal del brazo, VV; **F, O.** Sección media del brazo, VD; **G, P.** Sección media del brazo, VV; **H, Q.** Sección distal del brazo, VD; **I, R.** Sección distal del brazo, VV. 1plv: primera placa ventral del brazo; ea: escudo adoral; eo: escudo oral; et: escama tentacular; ir: interrradio; pd: papilas dentales; pld: placa dorsal del brazo; pll: placa lateral del brazo; plo: placa oral; plv: placa ventral del brazo; po: papilas orales; sbd: segmentos del brazo incluidos en el disco; VD: vista dorsal; VV: vista ventral. 38

Figura 18. Grupo de tallas tres de *O. alexandri*. A-I, ejemplar 45 (dd= 14.77 mm). J-R, ejemplar 54 (dd= 23.64 mm). **A, J.** Disco, VD; **B, K.** Disco, VV; **C, L.** Mandíbulas; **D, M.** Sección proximal del brazo, VD; **E, N.** Sección proximal del brazo, VV; **F, O.** Sección media del brazo, VD; **G, P.** Sección media del brazo, VV; **H, Q.** Sección distal del brazo, VD; **I, R.** Sección distal del brazo, VV. 1plv: primera placa ventral del brazo; ea: escudo adoral; eo: escudo oral; et: escama tentacular; ir: interrradio; pd: papilas dentales; pld: placa dorsal del brazo; pll: placa lateral del brazo; plo: placa oral; plv: placa ventral del brazo; po: papilas orales; sbd: segmentos del brazo incluidos en el disco; VD: vista dorsal; VV: vista ventral. 41

Figura 19. Relación diámetro del disco-longitud total del brazo de *Ophiocomella alexandri*: grupo de tallas uno. 43

Figura 20. Relación diámetro del disco-longitud total del brazo de *Ophiocomella alexandri*: grupo de tallas dos. 44

Figura 21. Relación diámetro del disco-longitud total del brazo de *Ophiocomella alexandri*: grupo de tallas tres. 44

Figura 22. Relación diámetro del disco-longitud total del brazo de *Ophiocomella alexandri*: grupos de tallas combinados. 45

Figura 23. *O. alexandri* en campo. **A.** Fotografía en donde se muestra la longitud de sus brazos en comparación con su disco; **B.** Organismos con los brazos extendidos. 60

Índice de tablas

- Tabla I.** Número de especies de ofiuroides por familia de las cuales se conocen los cambios morfológicos a través del desarrollo (posterior a la metamorfosis). Basado en: Océano Atlántico- Ludwig (1899), Mortensen (1912), H.L. Clark (1914), Mortensen (1936), Schoener (1967, 1969), Stancyk (1973), Hendler (1978), Muus (1981), Bartsch (1985), Webb & Tyler (1985), Hendler (1988), Turner & Miller (1988), Sumida et al. (1998), Stöhr (2005), Borges et al. (2015). Océano Pacífico- Fell (1952), Vadon (1990), Falkner & Byrne (2006), Martynov (2015). 9
- Tabla II.** Sitios de muestreo en el Pacífico mexicano: Baja California (BC), Baja California Sur (BCS), Nayarit (NAY), Jalisco (JAL), Colima (COL), Oaxaca (OAX). 13
- Tabla III.** Variables obtenidas con base en las papilas orales, las papilas dentales y las espinas del brazo. Secciones del brazo: P: proximal; M: media; D: distal. Lados: I: izquierdo; D: derecho. 21
- Tabla IV.** Probabilidades obtenidas con la prueba de Duncan para el número de papilas dentales por mandíbula. Los valores significativos ($p < 0.05$) se encuentran marcados con un asterisco (*). 24
- Tabla V.** Valores obtenidos para cada variable con el análisis discriminante general. Las variables con mayor poder discriminante ($\lambda p < 0.70$, F de salida alto, $p < 0.05$) se encuentran marcadas con un asterisco (*). D: distal; M: media; M1-D: mandíbula uno, lado derecho; M1: mandíbula uno; M4: mandíbula cuatro; S1-D: segmento uno, lado derecho; S3-D: segmento tres, lado derecho. 31
- Tabla VI.** Variaciones de las características morfométricas, cuantitativas y cualitativas de *Ophiocomella alexandri* por grupo de tallas. En el caso de las características cuantitativas, se registran los valores más frecuentes; los valores menos frecuentes se indican con un asterisco (*). 42
- Tabla VII.** Parámetros estimados y tipo de alometría de la relación morfométrica diámetro del disco-longitud total del brazo de *Ophiocomella alexandri* para cada grupo de tallas (G_1 , G_2 , G_3) y para los grupos de tallas combinados (G_C). a: ordenada al origen; b: pendiente; gl: grados de libertad; N: número de individuos; r^2 : coeficiente de determinación; Sb: error estándar de la pendiente; t: estadístico de prueba para la pendiente. 43