

**ANÁLISIS DE VARIABLES MORFOMÉTRICAS DE
Toxaster roulini Agassiz (Echinoides: Toxasteriidae)
DE LA FORMACIÓN ROSA BLANCA,
MUNICIPIO DE ZAPATOCA (SANTANDER, COLOMBIA)**

*Cruz Guevara L. E.¹, Jerez Jaimes J. H.²,
Narváz Parra E. X.² y Franco Blanco R. A.¹*

RESUMEN

En la secuencia aflorante de la Formación Rosa Blanca sobre la carretera Zapatoca - Mina el Platanalito, se recolectaron directamente de los estratos que los contenían, 188 especímenes de *Toxaster roulini* Agassiz del Aptiano (Camacho, 1979). Se realizaron las respectivas mediciones de las variables morfométricas de los especímenes colectados: Largo 1, largo 2, ancho, alto, alto ano, distancia de la boca, con el fin de evaluar el tipo de crecimiento de estos individuos y la influencia de dichas variables en la deformación de los mismos durante el proceso de fosilización. Estos datos se procesaron aplicando regresiones lineales y correlaciones que utilizaron el programa STATISTICA versión 4.0. En el sitio de colección los individuos que predominaron (un 74.4%) se encontraban entre los 20 y 33 mm de longitud, con un ancho entre 17 y 30 mm, y una altura entre 11 y 18 mm, mostrando así, que éste es el tamaño común de la población de muestreo. Las variables alto ano y distancia de la boca constituyeron áreas específicas que no se vieron modificadas durante el crecimiento de los individuos, lo cual se confirma a partir de los bajos valores de correlación que presentan estas dos variables morfométricas con las demás. Los resultados de las regresiones y las correlaciones indican que el crecimiento de *T. roulini* Agassiz es isométrico y que además, existe una alteración en la variable altura inducida muy probablemente, por la presión de los estratos superiores durante el proceso de fosilización.

Se plantea una hipótesis para la distribución en el hábitat de *T. roulini* Agassiz en la que los individuos de tamaños más pequeños, habitaban en la superficie del fondo marino y los individuos más grandes, se encontraban completamente enterrados en el fondo marino, basados en la posición del ano ya que para los primeros el ano se encontraba ubicado por debajo de la mitad de la altura total de cada individuo y para los más grandes, el ano se encontraba ubicado por encima de la mitad de la altura total de estos.

Palabras clave: *Toxaster roulini*, fosilización, crecimiento, Formación Rosa Blanca, Paleontología.

¹ Escuela de Geología. Universidad Industrial de Santander. E-mail: leacruz@uis.edu.co

² Escuela de Biología. Universidad Industrial de Santander.

ABSTRACT

In the outcropping sequence of the Rosa Blanca Formation on the highway Zapatoca - the Platanalito Mines 188 specimens of *Toxaster roulini* Agassiz of the Aptiano (Camacho, 1979) were gathered directly from the strata that contained them. The respective measurements of the variable morphometrics of the collected specimens of *Toxaster roulini* Agassiz were carried out: long 1, long 2, width, high, high anus, distance of the mouth, with the purpose of evaluating the type of growth of these individuals and the influence of this variables in their deformation during the fossilization process. These data were processed applying lineal regressions and correlations using the program STATISTICA version 4.0. In the sampling place the individuals that prevailed (74.4%) between 20 and 33 mm in length, between 17 and 30 mm in width, and between 11 and 18 mm in height, showing this way that this is the size common of the sampling population. The variables high anus and distance of the mouth constituted specific areas that were not modified during the growth of the individuals, which confirms from the low correlation values that present these two variables morphometrics with the other ones. The results of the regressions and correlations indicate that the *T. roulini* growth is isometric and alteration exists in the variable height very probably induced by the pressure of the superior strata during the fossilization process.

We think about a hypothesis for the distribution in the habitat of *T. roulini* Agassiz in which the individuals of smaller sizes inhabited the surface of the marine bottom and the biggest individuals were totally buried in the marine bottom, based on the position of the anus for the first one the anus it is located below half of each individual's total height and for the biggest the anus it is located above half of the total height of these.

Keywords: *Toxaster roulini*, Fossilization, growth, Rosa Blanca Formation, Paleontology.

INTRODUCCIÓN

El registro fósil es un archivo confiable de los animales que han habitado en este planeta y de la secuencia de su aparición y extinción en la historia geológica. Este registro no es uniforme pues las probabilidades de conservación dependen del tipo de sedimentos que cubren a los organismos, del tipo de ambiente en el cual vivían estos y lo más importante de todo, del tipo de esqueleto que tenían.

Por lo general, la conservación fósil afecta a la evidencia de variabilidad de una población. El principal proceso geológico que tiende a acrecentar la variabilidad aparente, es la distorsión producida por la compactación de los sedimentos o por la deformación de las rocas sedimentarias. La reducción de variabilidad como resultado de la fosilización es mucho más frecuente, sobre todo porque la fosilización rara vez es perfecta (Raup y Stanley, 1978)

El *Toxaster roulini* Agassiz era un equinodermo irregular, de simetría bilateral, que excavaba en la arena inclinando su extremo anterior hacia abajo, y removía la arena con unas espinas especialmente modificadas en forma de paleta, situadas en los lados anteriores del cuerpo. Aunque la totalidad de los equinodermos actuales son dioicos (Barnes, 1989), no se puede establecer esto para *T. roulini* Agassiz a partir del registro fósil.

Sólo se conocen las velocidades de crecimiento de unos cuantos equinoideos actuales, tal es el caso de dos galletas de mar del Golfo de Cortés, *Encope grandis* y *Mellita grantii*, dos equinoideos irregulares que alcanzan diámetros de 74 y 38 mm, respectivamente, los cuales requirieron cinco años para alcanzar el 95% de sus dimensiones máximas. La tasa anual de mortalidad es del 18% para el primero y del 58% para el segundo (Barnes, 1989).

Hipótesis

De la superficie al fondo. ¿Vivía el *Toxaster roulini* Agassiz desde su fijación al sustrato, completamente sepultado o en sus etapas más juveniles lo hacía a nivel superficial?

Si se analizan los trabajos de Nichols (1959a y 1959b) sobre la significación adaptativa de las tendencias morfológicas conocidas del *Micraster* donde se plantean las profundidades para tres especies del Cretácico con base en la homología de la morfología adaptativa de las formas actuales, se puede deducir que los individuos colectados de *Toxaster roulini* Agassiz en sus estadios más pequeños, se encontraban en ambientes superficiales en el fondo del mar y que a medida que crecían, se iban profundizando hasta alcanzar su profundidad específica. Esta hipótesis se desprende a partir de la variación de la posición en la altura del ano del *T. roulini* Agassiz encontrada en los tamaños pequeños donde la posición del ano era baja, inferior a la mitad de la altura total, característica de los equinodermos irregulares fósiles como *Micraster (Isomicraster) senonensis* que vivía de manera superficial en el fondo marino, presentaba una concha alta y un ano en posición baja (Nichols, 1959b). Los individuos más grandes del *T. roulini* Agassiz, presentan el ano en una posición más elevada, por encima de la mitad de la altura total, lo que plantea una vida excavadora más activa y completamente enterrado en el fondo marino, de la misma manera que el *Micraster coranguinum* de Nichols (1959b).

Al igual que a la altura del ano, la variable distancia de la boca también se estabiliza en un momento de su crecimiento; la altura del ano y la distancia de la boca se encuentran estrechamente relacionadas, por ser orificios claves y específicos.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos y la discusión realizada, se concluye:

En respuesta a la pregunta acerca del tipo de crecimiento del *Toxaster roulini* Agassiz, se afirma que se ajusta a un modelo isométrico.

La posición del ano y la distancia de la boca alcanzan una ubicación específica a determinado tamaño del individuo, característica definida por su hábitat.

Los coeficientes de determinación y correlación muestran que sí existe una alteración en la variable altura inducida, muy probablemente, por la presión de los estratos superiores durante el proceso de fosilización.

El porcentaje de deformación de la variable altura, se pudo establecer en un 11% con base en los valores de correlación y el factor de corrección de 1,74 mm, para los valores observados que se encuentran por debajo de los esperados.

De acuerdo con el índice calculado para la posición del ano que es simplemente la relación de la altura del ano respecto a la altura total, el *Toxaster roulini* Agassiz, pudo presentar una fase en estado juvenil cuando habitaba en el fondo marino de manera superficial y que a medida que crecía, se profundizaba hasta quedar completamente enterrado.

BIBLIOGRAFÍA

- Barnes, D. R. 1989. Zoología de los Invertebrados. Quinta edición. Interamericana. México. Pp 871 - 881.
- Nichols, D. 1959a. Changes in the Chalk heart-urchin *Micraster* interpreted in relation to living forms, Philos. Trans. Roy. Soc. London, B, n° 242, pp. 347 - 437.
- Nichols, D. 1959b. Mode of life and Taxonomy in irregular sea- urchins. System. Assoc., n° 3, pp. 61 - 80.
- Raup, M. R. y Stanley, M. S. 1978. Principios de Paleontología. Editorial Ariel. Barcelona. Pp 90.
- Zar, H. J. 1996. Bioestadistical Analysis. Third Edition. Prentice Hall. New Jersey. Pp 317 - 371.

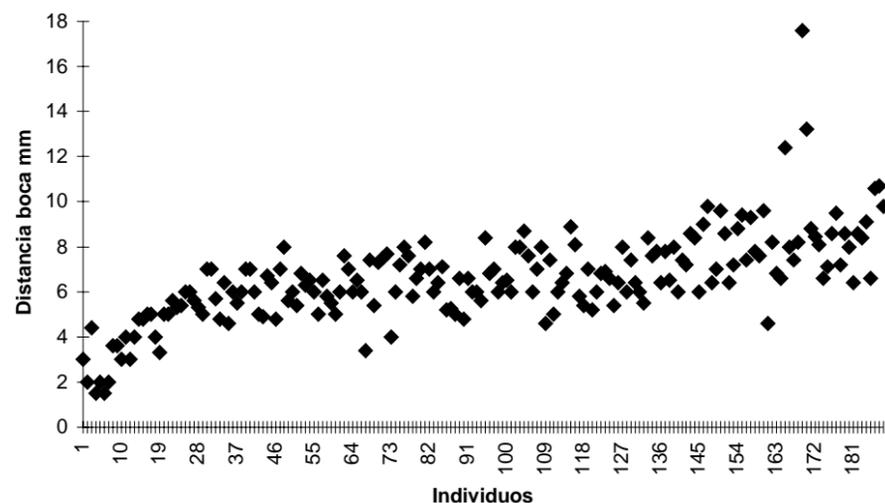


FIGURA 11. Valores de la distancia de la boca en cada uno de los *Toxaster roulini* Agassiz colectados en orden ascendente de acuerdo con su longitud (Largo 1).

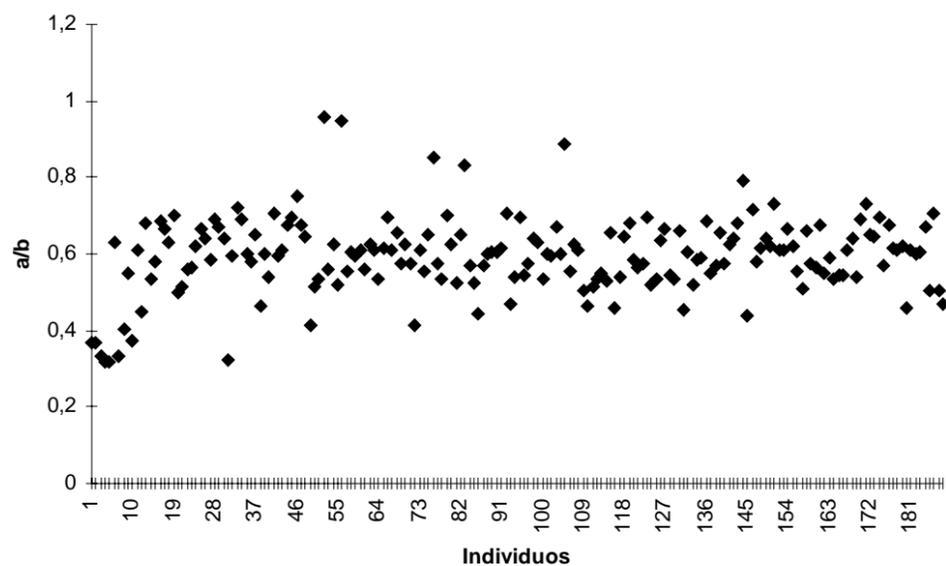


FIGURA 12. Relación de altura del año (a) con la altura total (b) en todos los especímenes colectados.

La baja correlación de la variable altura del año con respecto a las demás variables, puede deberse a que existe una posición específica del año a una determinada altura, que se alcanza antes del crecimiento máximo del individuo.

La posición del año, como es natural, es característica de cada especie en este tipo de Echinodermos y está

determinada por la profundidad a la cual se adaptó. La Figura 12 nos ilustra más acerca de la variación de la posición del año durante el crecimiento de *T. roulini* Agassiz, que plantea un interrogante y a su vez, una hipótesis sobre el hábitat utilizado durante su desarrollo.

El *Strongylocentrotus purpuratus* de la costa de California, es uno de los erizos mejor conocidos: alcanza la madurez sexual durante el segundo año, cuando sólo mide 25 mm de diámetro y vive 30 años o más (Barnes, 1989).

Las investigaciones en equinodermos actuales aún son muy pocas teniendo en cuenta su diversidad, lo que dificulta más los estudios de equinodermos fósiles pues se hacen necesarios muchos aspectos ecológicos actuales para poder establecer las relaciones que nos permitan conocer las características en vida, de los organismos fósiles.

OBJETIVOS

- ◆ Determinar el tipo de crecimiento posfijación de *Toxaster roulini* Agassiz
- ◆ Evaluar las diferentes variables morfométricas para determinar la influencia de la deformación en los individuos.

PREGUNTAS PARA RESOLVER

¿Es el crecimiento posfijación de *T. roulini* Agassiz de tipo isométrico? ¿Las fracturas del exoesqueleto de *T. roulini* Agassiz se pueden explicar por un proceso de presión de los estratos superiores durante la fosilización que afectó las variables morfométricas, principalmente la altura?

METODOLOGÍA

Area de Estudio

Se estudiaron los 50 metros inferiores de la secuencia aflorante de la Formación Rosa Blanca aproximadamente a 6 Km de la población de Zapatoca (Santander, Colombia) sobre la carretera que conduce a la Mina de yeso el Platanalito (Figura 1). Litológicamente se trata de una secuencia de aproximadamente 50 m de bioesparuditas en capas medias a gruesas con abundantes thalassinoides.

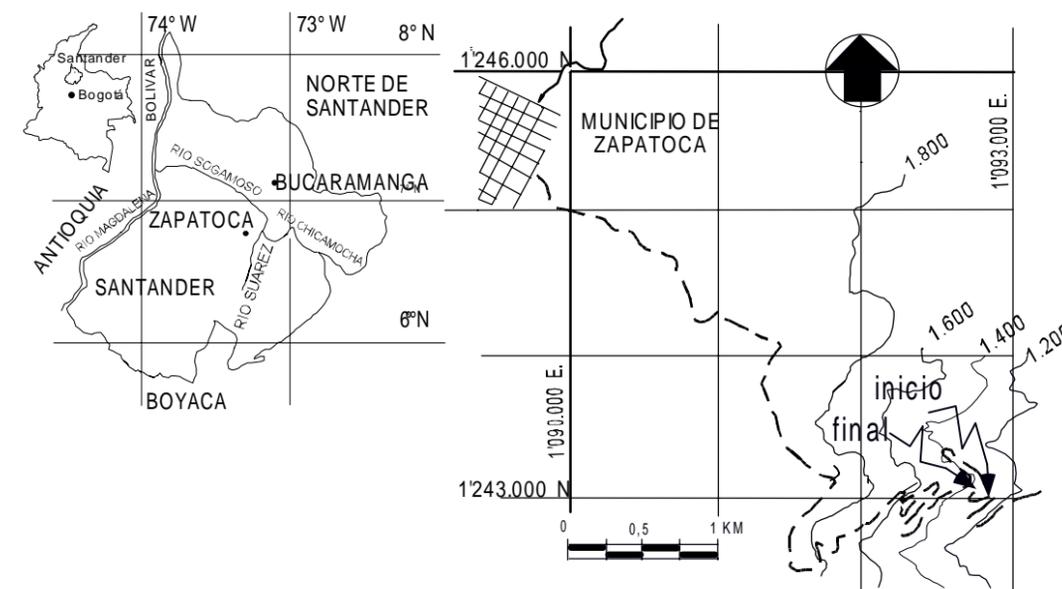


FIGURA 1. Localización de la sección inferior de la Formación Rosa Blanca en donde se recolectaron los 188 especímenes, carretera Zapatoca mina de yeso El Platanalito; se indican el inicio y el final de la sección.

Colección de los especímenes

Para este estudio, los ejemplares fueron extraídos directamente de los estratos que los contenían procurando no deteriorarlos; se recolectó y analizó un total de 188 especímenes de *T. roulini*, los cuales fueron lavados con agua a una temperatura de 40° C y con detergente; el exceso de sedimento se eliminó con un cepillo dental; posteriormente, se secaron a temperatura ambiente y se marcaron con pintura de color blanco, numerándolos en orden ascendente de acuerdo con su longitud.

Morfometría

Las mediciones de los 188 especímenes se realizaron con un calibrador de 0,1 mm. Se tuvieron en cuenta las siguientes variables morfométricas: **Largo 1**, que corresponde a la longitud total del individuo, se midió desde la región anterior hasta la región posterior; **Largo 2**, corresponde a la longitud medida desde la región posterior hasta el surco ambulacral; **Ancho**, se tomó la mayor medida de la región anterior; **Alto-Ano**, se midió entre el plano ventral y el espiráculo; **Distancia Boca**, medida desde el surco ambulacral hasta la boca. (Figura 2)

Relación de la altura del ano respecto a la altura total

Conociendo la importancia de la posición del ano en la determinación del hábito de las especies de

equinoideos irregulares y para este caso, del *Toxaster roulini* Agassiz, se graficó la relación altura del ano (a) sobre altura total (b) para determinar la variación en la posición del ano y su relación con el hábitat.

Análisis Estadístico

Para el análisis de los datos obtenidos se realizaron regresiones simples y correlaciones, utilizando el programa STATISTICA versión 4.0 y los Análisis Bioestadísticos de Zar (1996).

DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA

La especie *Toxaster roulini* Agassiz se caracteriza por su forma acorazonada globosa, presenta una placa apical en la mitad posterior en dirección al ano y no se aprecia el desarrollo de ninguna clase de fasciolas. Presenta ambulacros pentaloideos anteriores laterales hacia la boca, largos y abiertos, con terminación aguda y ambulacros posteriores cortos, madreporito pentagonal (Figura 3). El ambulacro anterior central está alojado en un surco muy profundo.

La región apical es de tipo tetrabasal etmofracto con el madreporito en posición central hexagonal, rodeado por cuatro placas basales, cada una de ellas con un gonoporo. El peristoma está en posición avanzada; existe un labro y dos placas externas.

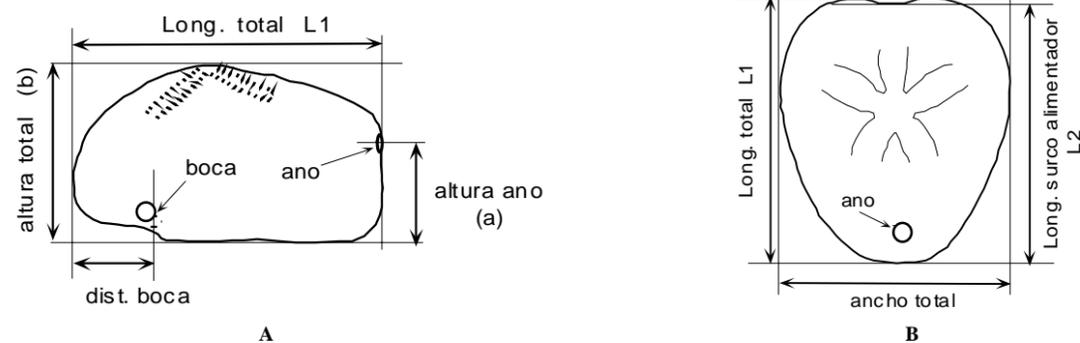


FIGURA 2. *T. roulini* Agassiz, A. Vista lateral; B. Vista dorsal.

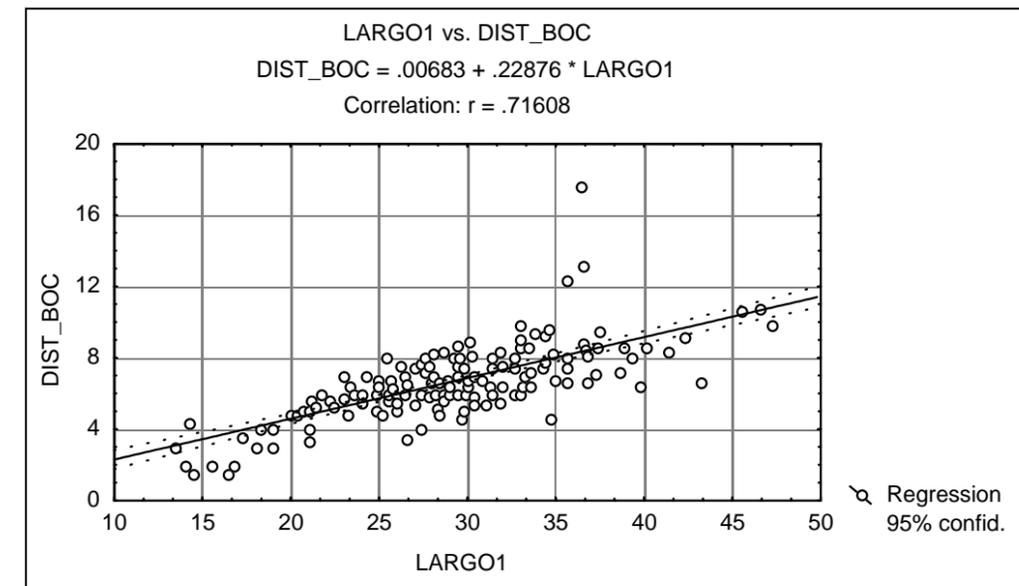


FIGURA 9. Regresión lineal de las variables Largo 1 vs Distancia de la boca, ecuación para esta recta.

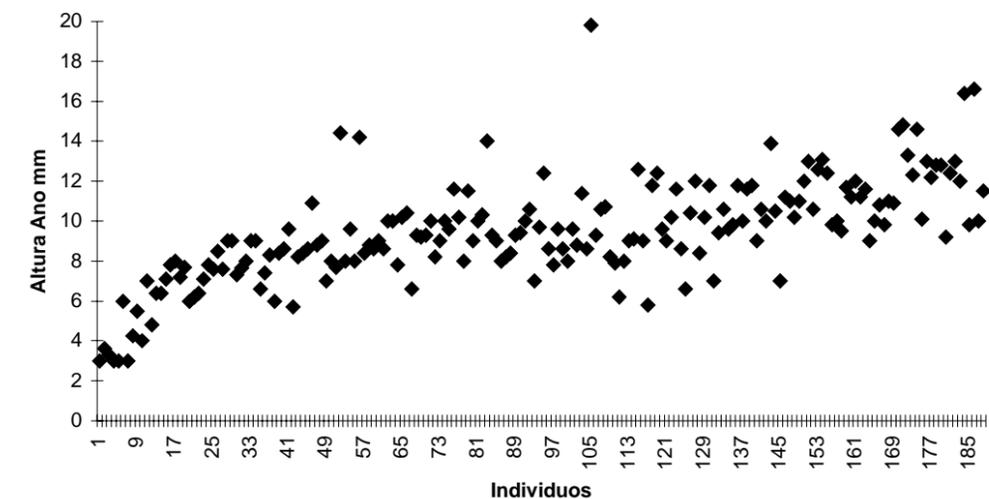


FIGURA 10. Valores de la altura del ano en cada uno de los *Toxaster roulini* Agassiz colectados en orden ascendente de acuerdo a su longitud (Largo 1).

Para aproximarnos al valor real de la altura, debemos promediar el valor de la altura para todos los individuos muestreados es de 15,8212 mm y aplicar el 11% a dicho valor para calcular el valor de corrección es igual a 1,74, el cual se adiciona al valor observado en los especímenes colectados que se encuentran alejados del valor esperado según la ecuación: $Altura = 2.9830 + 0.44602 * Largo1$.

Vale la pena anotar que el modelo estadístico propuesto, considera el aplastamiento para los individuos en posición natural; para los que presentan otro tipo de aplastamiento, es decir, para aquellos que sufrieron algún tipo de transporte o desplazamiento y cuya posición de fosilización no fue la natural, se presentan incongruencias cuando se aplican los valores de corrección.

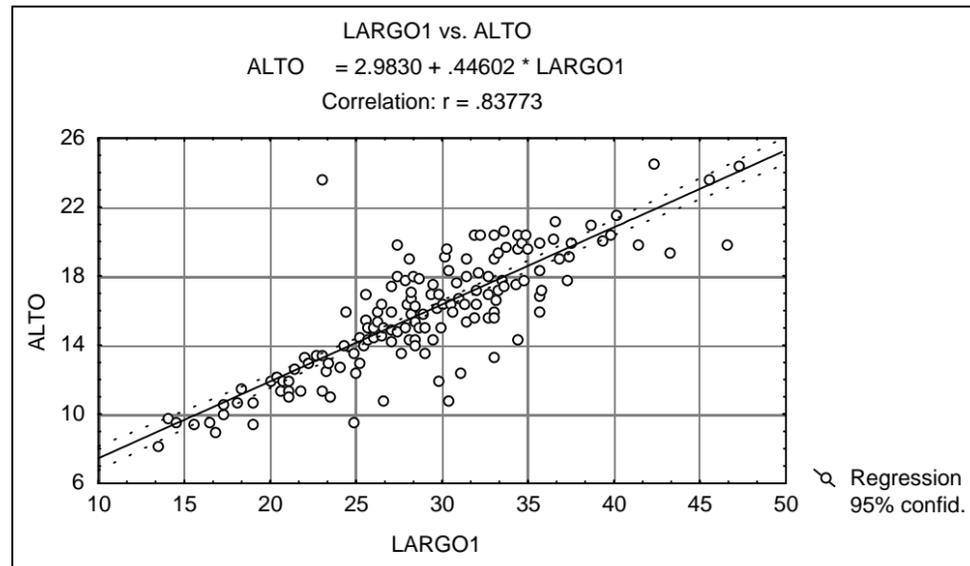


FIGURA 7. Regresión lineal de las variables Largo 1 vs Alto, ecuación para esta recta.

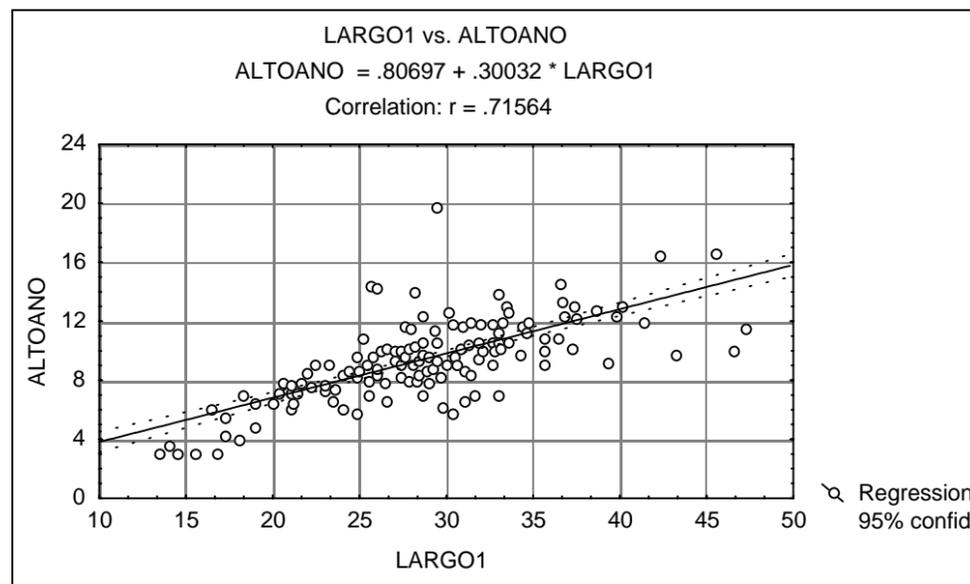


FIGURA 8. Regresión lineal de las variables Largo 1 vs Alto ano, ecuación para esta recta.

largo total y ancho, deberán tener una correlación altamente significativa con la variable altura, pues de otra manera, el individuo se deformaría completamente a medida que se desarrollaba: tendería a ser aplanado.

Los resultados de correlación de largo con respecto a la altura, muestran un valor del 84%; dicho valor sería altamente significativo, pero no como se espera para un crecimiento isométrico: esa diferencia puede ser explicada por el aplastamiento que modifica la variable altura. Si consideramos un alfa de 0,05, la diferencia sería del 11%.

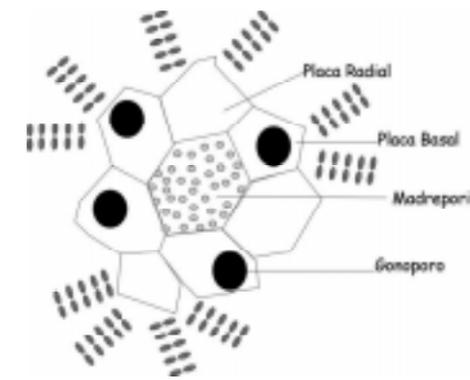


FIGURA 3. Detalle de la placa apical de *Toxaster roulini* Agassiz.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Tipo de Crecimiento

Vale la pena aclarar que al determinar el tipo de crecimiento en las poblaciones fósiles, es imposible determinar el tiempo y las velocidades del mismo, pues sólo se cuenta con los fragmentos de información que aportan los individuos de estudio que nos permiten suponer de manera muy general, su desarrollo. Es importante destacar que se

desconoce el tamaño exacto en el cual los individuos pasan a ser adultos desde el punto de vista de madurez sexual

Al graficar los valores correspondientes a las variables Largo 1, ancho y alto (Figura 4), las curvas indican que en el sitio de colección los individuos que predominaron (un 74.4%) se encontraban entre los 20 y 33 mm de longitud, con un ancho entre 17 y 30 mm y una altura entre 11 y 18 mm, lo cual demuestra que éste es el tamaño común de los individuos de la población cuando morían.

Aparentemente la Figura 4 nos muestra que el crecimiento en las tres variables es continuo, una característica común de los invertebrados pero que a la luz del muestreo realizado, al parecer eran muy pocos los individuos que alcanzaban tamaños máximos: tan sólo un 18% de los individuos colectados. Los individuos más pequeños constituyeron el 7.5% del total colectado, lo que nos indica que la mortandad en estados "juveniles" o estados muy pequeños, fue baja o que su tamaño pequeño y la fragilidad de su exoesqueleto, no favorecieron el proceso de fosilización de los mismos.

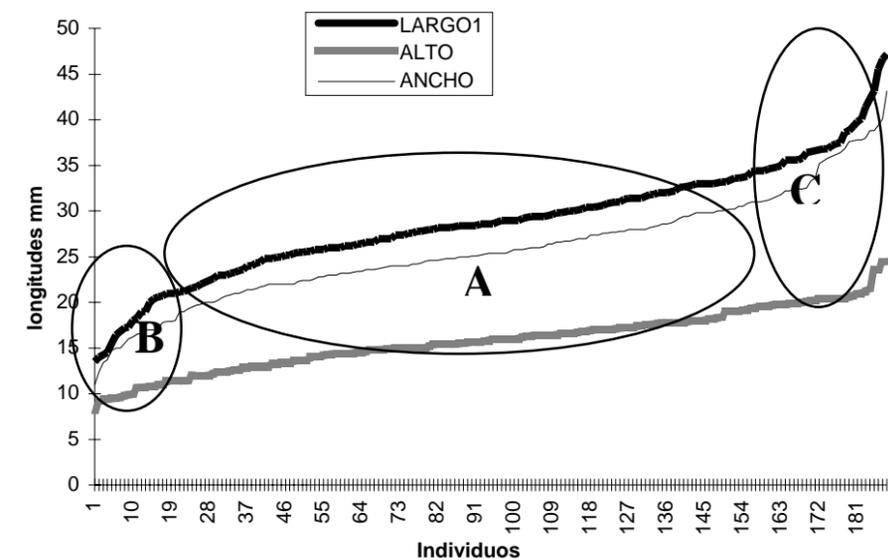


FIGURA 4. Curvas de las variables Largo 1, Ancho y Alto de los individuos colectados. El círculo A corresponde al grupo que presenta el tamaño común cuando los organismos morían, el círculo B corresponde al grupo que se considera como «estados juveniles» y el círculo C a los individuos que alcanzan los tamaños máximos de *T. Roulini*.

Crecimiento Isométrico

El crecimiento isométrico se caracteriza porque el individuo, a medida que va creciendo, no pierde su forma inicial, es decir, si se consideran dos variables X y Y, su relación sería igual a uno, $X/Y = 1$, lo que a su vez, manifiesta que el modelo de crecimiento isométrico se ajusta a un modelo lineal, por lo cual las correlaciones de las variables deben ser elevadas.

Con base en el principio anterior, se realizaron regresiones y correlaciones para determinar la relación de las variables morfométricas y de esta manera, confirmar el tipo de crecimiento posfijación del *Toxaster roulini* Agassiz; dichos valores se resumen en la Tabla 1.

Las variables Largo 2, ancho y alto, se encuentran altamente correlacionadas con la variable Largo 1 y se ajustan a un modelo lineal, lo que nos permite asegurar que el crecimiento del *Toxaster roulini* Agassiz es isométrico; además, las Figuras 5, 6 y 7 de regresión permiten analizar el ajuste de las variables al modelo lineal determinándose la ecuación para cada una de ellas; de igual forma, se observa que las variables alto ano y distancia de la boca presentan valores de regresión y correlación inferiores a las demás variables (Tabla 1, Figuras 8 y 9), lo que permite vislumbrar que estas distancias alcanzan un máximo en determinado tamaño, después del cual la posición de estos orificios no se

modifica. Para analizar esto, se graficaron los valores de las variables alto ano y distancia de la boca los cuales corroboraron lo expresado anteriormente. En las Figuras 10 y 11, se aprecia un incremento en la longitud de las variables, que al llegar a un punto máximo, tienden a estabilizarse y a su vez, la pendiente tiende a cero, lo que significa que la posición de las estructuras ano y boca son caracteres específicos y pueden ser considerados caracteres taxonómicos. Todas estas relaciones se ven confirmadas en la matriz de correlación (Tabla 2) donde los valores más bajos los tienen las variables alto ano y distancia de la boca con respecto al largo 1 que es de 0,72 para ambas variables.

Relación de la altura del ano respecto a la altura total

La Figura 12 nos muestra la variación de la posición del ano con respecto a la altura; los especímenes más pequeños, tienen el ano ubicado por debajo de la mitad de la altura total; los más grandes, presentan el ano por encima de la mitad de la altura total, lo que fundamenta la diferencia en el uso del hábitat de los estados juveniles y los adultos de *T. Roulini*.

DISCUSIÓN

Partiendo de los resultados obtenidos que demuestran que el crecimiento de *T. roulini* Agassiz es de tipo isométrico, los valores de correlación de las variables

TABLA 2. Matriz de correlaciones de las variables morfométricas de *Toxaster roulini* Agassiz.

	Largo 1	largo 2	Ancho	Alto	Alto Ano	Dist. Boca
Largo1	1,00	0,99	0,96	0,84	0,72	0,72
largo 2	0,99	1,00	0,97	0,84	0,71	0,71
Ancho	0,96	0,97	1,00	0,82	0,69	0,71
Alto	0,84	0,84	0,82	1,00	0,78	0,72
Alto Ano	0,72	0,71	0,69	0,78	1,00	0,65
Dist. Boca	0,72	0,71	0,71	0,72	0,65	1,00

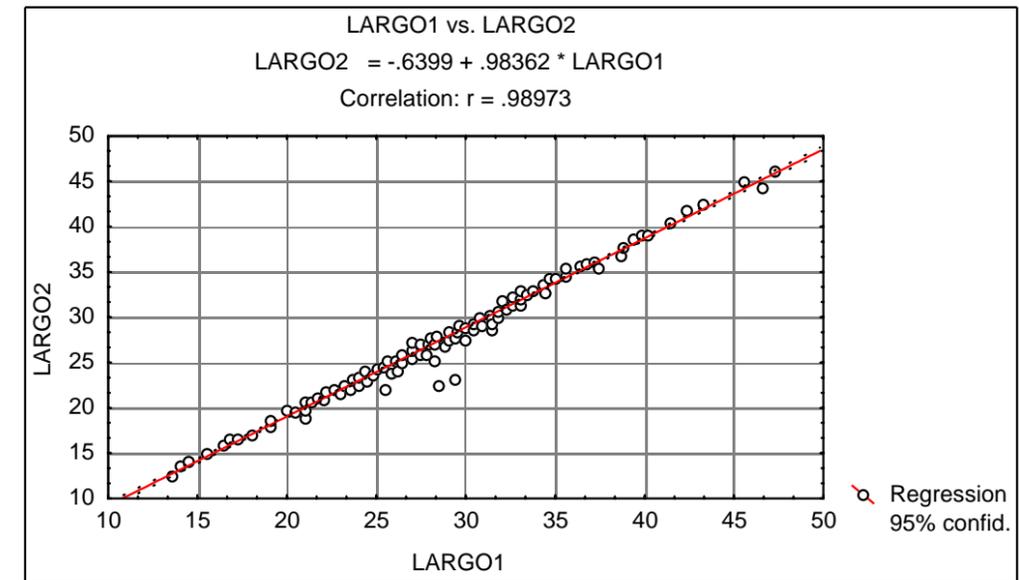


FIGURA 5. Regresión lineal de las variables Largo1 y Largo2, ecuación para esta recta.

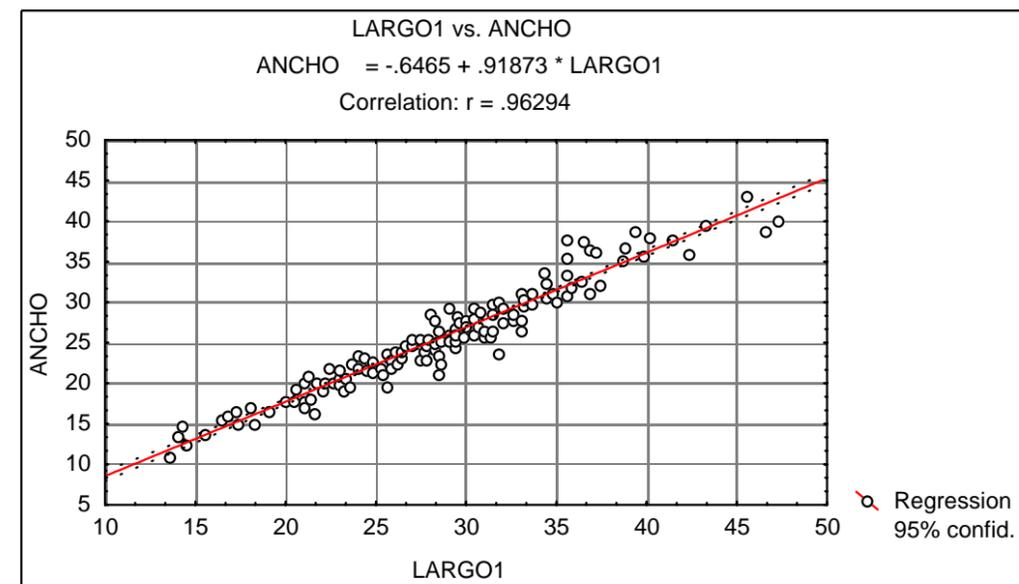


FIGURA 6. Regresión lineal de las variables Largo1 y Ancho, ecuación para esta recta.

TABLA 1. Valores de relación de la variable Largo 1 contra el resto de variables con un α 0,05.

Variable Independiente	Variable Dependiente	Coefficiente de determinación R ²	Coefficiente de Correlación R	Probabilidad
Largo 1	Largo 2	0,9795 (97,9%)	0,9897 (98,9%)	F (1,186): 8915,6 p<0,00
Largo 1	Ancho	0,9272 (92,7%)	0,9629 (96,2%)	F(1,186): 2370,8 p<0,00
Largo 1	Alto	0,7017 (70,1%)	0,8377(83,7%)	F(1,186): 437,73 p<0,00
Largo 1	Alto Ano	0,5121(51,2%)	0,7156(71,5%)	F(1,186): 195,26 p<0,00
Largo 1	Distancia Boca	0,5127(51,2%)	0,7160(71,6%)	F(1,186): 195,75 p<0,00