

#

**UNIVERSIDAD DE SONORA**  
DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

VARIABILIDAD INTRAESPECÍFICA EN  
*LINNARSSONIA RARA* (COOPER)  
(BRACHIOPODA, LINGULATA) DEL  
CÁMBRICO (MIAOLINGIANO,  
WULIUANO) DE SONORA CENTRAL,  
MÉXICO: PALEOECOLOGÍA Y  
PALEOBIOGEOGRAFÍA

TESIS PROFESIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
GEÓLOGO

PRESENTA:  
DUSTIN DAVID OZUA IBARRA



HERMOSILLO, SONORA, SEPTIEMBRE DE 2020

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

Después de haber culminado mis estudios con éxito, no me queda más que agradecer a todas aquellas personas que de una u otra forma me apoyaron para alcanzar el objetivo de titularme. ¡Gracias a todos!

A mis principales apoyos y soportes: mis padres, Guadalupe Ibarra Escoboza y Jesús David Ozua Hernández por sus consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas, a mi hermana, Wanda Evelyn Ozúa Ibarra por su apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias, a mis amigos y compañeros de estudios: Jazmín Núñez, Rigoberto Puente, Leonardo Mata, Vania Flores, Zulema Serrano, Ilse romero, Jesús Alday, Analí Salazar, Geovanna Castro, y a toda mi familia, quiero hacerles llegar mis más sinceras palabras de agradecimiento por haberme apoyado hasta hacer realidad mi titulación.

Muchas gracias.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Sonora, por haberme brindado tantas oportunidades y enriquecerme en conocimiento.

Agradezco de manera especial mi director de tesis Dr. Francisco Javier Cuen Romero, por haberme guiado, no solo en la elaboración de este trabajo de titulación, sino a lo largo de mi carrera universitaria y haberme brindado el apoyo para desarrollarme profesionalmente y seguir cultivando mis valores. A mis sinodales, Dr. Francisco Javier Grijalva Noriega, M.C. José Alfredo Ochoa Granillo, M.C. Héctor Arturo Noriega Ruiz, por la revisión y grandes aportes para la versión final de tesis.

Agradezco a los todos docentes que, con su sabiduría, conocimiento y apoyo, motivaron a desarrollarme como persona y profesional en la Universidad de Sonora.

Esta tesis forma parte del proyecto PRODEP UNISON-PTC-301: “*Paleoecología de los ecosistemas marinos del Cámbrico de Sonora, México: Bioestratigrafía, Paleobiogeografía y su relación con el cratón de Norteamérica*”, bajo la responsabilidad del Dr. Francisco Javier Cuen Romero.

## Resumen

En la región de San José de Gracia, Sonora central, aflora una potente secuencia sedimentaria del Paleozoico inferior (Cámbrico), representada por las formaciones Proveedora, Buelna, Cerro Prieto, El Gavilán y El Tren; con una litología predominante de cuarzoarenita, caliza y lutita.

Particularmente la Formación El Gavilán, se caracteriza por una abundante y diversa biota fósil, dentro de la cual los braquiópodos y trilobites son las formas dominantes. En la parte superior de la unidad se recolectaron ejemplares de *Linnarssonina rara* (Cooper), braquiópodo linguliforme de distribución cosmopolita. Se realizó un análisis de variabilidad intraespecífica comparando un total de 148 individuos, provenientes del cerro El Chihuarruita (Miaolingiano, Wuliano, Zona de *Mexicella mexicana*) y El Sahuaral (Miaolingiano, Wuliuano, Zona de *Ehmaniella*), mediante el análisis de componentes principales. Se obtuvieron cuatro componentes principales, determinados por grupo 1: DF, AF- longitud total, EF, ED- ancho máximo; grupo 2: BD, CE; grupo 2: AB, CB- longitud del margen charnelar; grupo 4: AC. Los resultados demuestran diferencias significativas respecto a la talla de los individuos, para los cuales los del cerro El Chihuarruita son más grandes que los del cerro El Sahuaral, tanto en valva braquial como peduncular. Lo anterior sugiere diversos estadios ontogénicos de los individuos, variaciones y/o estrés ambiental.

## ÍNDICE

1. Introducción.....	9
2. Objetivo General.....	10
2.1. Objetivos específicos.....	10
3. Generalidades.....	10
3.1. Antecedentes y trabajos previos.....	10
3.2. Localización del área de estudio.....	11
3.3. Clima.....	12
3.4. Vegetación.....	13
3.5. Fisiografía.....	14
3.6. Marco Geológico Regional.....	15
4. Estratigrafía.....	19
5. Paleontología Sistemática.....	30
6. Variabilidad Intraespecífica en <i>Linnarssonía rara</i> Cooper, 1952.....	32
6.1. Estadísticos descriptivos.....	33
6.1.1. Media, mediana, moda, varianza, desviación estándar y coeficiente de variación.....	33
6.1.2. Valores extremos.....	37
6.2. Histogramas.....	39
6.2.1. El Chihuarruita.....	39
6.2.2. El Sahuaral.....	41
6.3. Componentes principales.....	42
7. Consideraciones Paleoecológicas.....	46

8. Consideraciones Paleobiogeográficas .....	46
9. Resultados y Conclusiones .....	48
10. Bibliografía .....	49
11. Anexo .....	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio. ....	12
Figura 2. Clima del área de estudio según García y CONABIO (1998). ....	13
Figura 3. Provincias fisiográficas de Sonora, modificado de CONABIO (1990). ....	15
Figura 4. Mapa geológico de la carta H12-D32, modificado de SGM (2002). ....	18
Figura 5. Mapa geológico del área El Sahuaral, modificado de Noriega <i>et al.</i> (2020). .....	27
Figura 6. Mapa geológico del área El Chihuarruita, tomado de Cuen-Romero <i>et al.</i> (2016). ....	28
Figura 7. Columna estratigráfica del área de estudio, modificada de Noriega <i>et al.</i> (2020). ....	29
Figura 8. Hitos colocados en <i>Linnarssonía rara</i> , donde la distancia CB corresponde a la longitud del margen charnelar, ED ancho máximo, AF longitud total. ....	32
Figura 9. Diagrama de los hitos colocados en <i>Linnarssonía rara</i> mostrando las mediciones tomadas. ....	33
Figura 10. Boxplot para la valva braquial de <i>Linnarssonía rara</i> del área del El Sahuaral. .....	37
Figura 11. Boxplot para valva peduncular de <i>Linnarssonía rara</i> del área El Sahuaral. .....	38

Figura 12. Boxplot para valva braquial de *Linnarssonina rara* del área El Chihuarruita.  
 ..... 38

Figura 13. Boxplot de para valva peduncular de *Linnarssonina rara* del área El  
 Chihuarruita..... 39

Figura 14. Histograma para ancho máximo, El Chihuarruita..... 40

Figura 15. Histograma para CB- longitud del margen charnelar, El Chihuarruita... 40

Figura 16. Histograma para AF- longitud total, El Chihuarruita. .... 41

Figura 17. Histograma para ED- ancho máximo, El Sahuaral. .... 41

Figura 18. Histograma para CB- longitud del margen charnelar, El Sahuaral. .... 42

Figura 19. Histograma para AF- longitud total, El Sahuaral..... 42

Figura 20. Gráfica de valores atípicos..... 44

Figura 21. Gráfica de sedimentación..... 44

Figura 22. Gráfica de puntuación. .... 45

Figura 23. Gráfica de componentes principales..... 45

Figura 24. Distribución del género *Linnarssonina* a nivel mundial. .... 47

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1.- Estadísticos descriptivos para la valva braquial (El Sahuaral y El Chihuarruita), donde Var: variable, N: total de datos, EEM: Error estándar de la media,  $\sigma$ : desviación estándar,  $s^2$ : varianza, C.V.: coeficiente de variación, Min: mínimo, Me: mediana, Max: máximo, Moda: moda, N moda: frecuencia de la moda..... 34

Tabla 2.- Estadísticos descriptivos para la valva peduncular (El Sahuaral y El Chihuarruita), donde Var: variable, N: total de datos, EEM: Error estándar de la media,  $\sigma$ : desviación estándar,  $s^2$ : varianza, C.V.: coeficiente de variación, Min: mínimo, Me: mediana, Max: máximo, Moda: moda, N moda: frecuencia de la moda..... 35

Tabla 3.- Estadísticos descriptivos para la valva braquial (El Chihuarruita), donde Var: variable, N: total de datos, EEM: Error estándar de la media,  $\sigma$ : desviación estándar,  $s^2$ :



varianza, C.V.: coeficiente de variación, Min: mínimo, Me: mediana, Max: máximo, Moda: moda, N moda: frecuencia de la moda. .... 35

Tabla 4.- Estadísticos descriptivos para la valva peduncular (El Chihuarruita), donde Var: variable, N: total de datos, EEM: Error estándar de la media,  $\sigma$ : desviación estándar,  $s^2$ : varianza, C.V.: coeficiente de variación, Min: mínimo, Me: mediana, Max: máximo, Moda: moda, N moda: frecuencia de la moda. .... 36

Tabla 5.- Estadísticos descriptivos para la valva braquial (El Sahuaral), donde Var: variable, N: total de datos, EEM: Error estándar de la media,  $\sigma$ : desviación estándar,  $s^2$ : varianza, C.V.: coeficiente de variación, Min: mínimo, Me: mediana, Max: máximo, Moda: moda, N moda: frecuencia de la moda. .... 36

Tabla 6.- Estadísticos descriptivos para la valva peduncular (El Sahuaral), donde Var: variable, N: total de datos, EEM: Error estándar de la media,  $\sigma$ : desviación estándar,  $s^2$ : varianza, C.V.: coeficiente de variación, Min: mínimo, Me: mediana, Max: máximo, Moda: moda, N moda: frecuencia de la moda. .... 36

Tabla 7. Análisis de los valores y vectores propios de la matriz de correlación..... 43

Tabla 8. Vectores propios ..... 43

Tabla 9. Hitos utilizados para los análisis estadísticos y el cálculo de variabilidad intraespecífica, donde CB corresponde a la longitud del margen charnelar, ED ancho máximo, AF longitud total del espécimen, AB, AC, BD, CE, DF, EF también se tomaron como parte de la forma del individuo..... 54

## 1. INTRODUCCIÓN

Las rocas del Cámbrico del estado de Sonora, México, se caracterizan porque constituyen secuencias aisladas y diversas en composición, las cuales afloran de manera esporádica y parcialmente expuestas, debido a que fueron cubiertas por rocas más jóvenes (Buitrón, 1992). De manera general, las rocas cámbricas poseen fauna en buen estado de conservación (Buitrón, 1992; Cuen-Romero *et al.*, 2018; Cuen-Romero *et al.*, 2020), y han sido ampliamente estudiadas desde mediados de siglo pasado (Lochman, 1948; Cooper *et al.*, 1952; 1956), enfocándose principalmente en el contenido de invertebrados fósiles.

Las rocas cámbricas de Sonora fueron depositadas en la parte occidental del cratón norteamericano durante el Cámbrico temprano y medio. En estas épocas, Laurentia debió constituir masas terrestres cercanas al ecuador, alineadas en dirección este-oeste, proporcionando las condiciones que favorecieron una abundante fauna de invertebrados marinos.

Por otra parte, en la región de Arivechi, al este de Sonora, se observan afloramientos del Paleozoico inferior (Cámbrico), en las que se incluyen las formaciones La Sata, El Mogallón, La Huerta y Milpillas, predominando secuencias de caliza, caliza arcillosa y lutita.

La secuencia del Cámbrico expuesta en el área de Arivechi se caracteriza por una gran diversidad de fósiles, la cual consiste en algas oncolíticas, icnofósiles, esponjas, braquiópodos y trilobites. Almazán-Vázquez (1989) identificó aproximadamente 20 especies en el área.

En el área de Arivechi, las rocas cámbricas se depositaron como parte de una potente secuencia de sedimentos del margen occidental del cratón de Laurentia, asociadas a un ambiente de plataforma exterior.

## 2. OBJETIVO GENERAL

El objetivo principal del presente trabajo de tesis es determinar la variabilidad intraespecífica de *Linnarssonina rara* Cooper, braquiópodo linguliforme colectado en capas del Cámbrico medio (Miaolingiano-Wuliano) de la Formación El Gavilán de Sonora central.

### 2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar una comparación entre los individuos de *Linnarssonina rara* de la Formación El Gavilán, Sonora central, con la especie tipo propuesta por Cooper (1952), para el área de Caborca, noroeste de Sonora.
2. Determinar las características paleoecológicas de *Linnarssonina rara* para Sonora, central.
3. Determinar las características paleobiogeográficas de *Linnarssonina rara* en Sonora, central.

## 3. GENERALIDADES

### 3.1. ANTECEDENTES Y TRABAJOS PREVIOS

El Cámbrico ha sido relativamente poco estudiado en México, debido a que aflora solamente en los estados de Chihuahua y Sonora (Buitrón, 1992; Cuen-Romero *et al.*, 2018; 2020). En el estado de Sonora, las rocas del Cámbrico se distribuyen en todo el estado, siendo estudiadas desde mediados de siglo pasado (Cooper *et al.*, 1952; 1956).

En el área de Caborca, noroeste de Sonora, afloran las formaciones Cerro Rajón (Barrón-Díaz *et al.*, 2019), Puerto Blanco, Proveedora, Buelna, Cerro Prieto, Arrojos y El Tren (Cooper *et al.*, 1952; 1956), las cuales representan la base del Cámbrico en la región. Estas unidades poseen una abundante biota fósil que comprende poríferos, arqueociatos, braquiópodos, trilobites, equinodermos y otros de afinidad incierta (Cooper *et al.*, 1952; 1956; Cuen-Romero *et al.*, 2018).

González-León (1986), describió en la sierra del Tule, Cananea, una secuencia de rocas sedimentarias del Cámbrico medio y superior, las cuales están constituidas por arenisca, caliza, lodolita y arenisca de grano fino.

Almazán-Vázquez (1989), documentó para el área de Arivechi, la presencia de rocas del Cámbrico medio y superior, constituidas por lutita, arenisca y caliza, las cuales incluyó en las formaciones La Sata, El Mogallón, La Huerta y Milpillas.

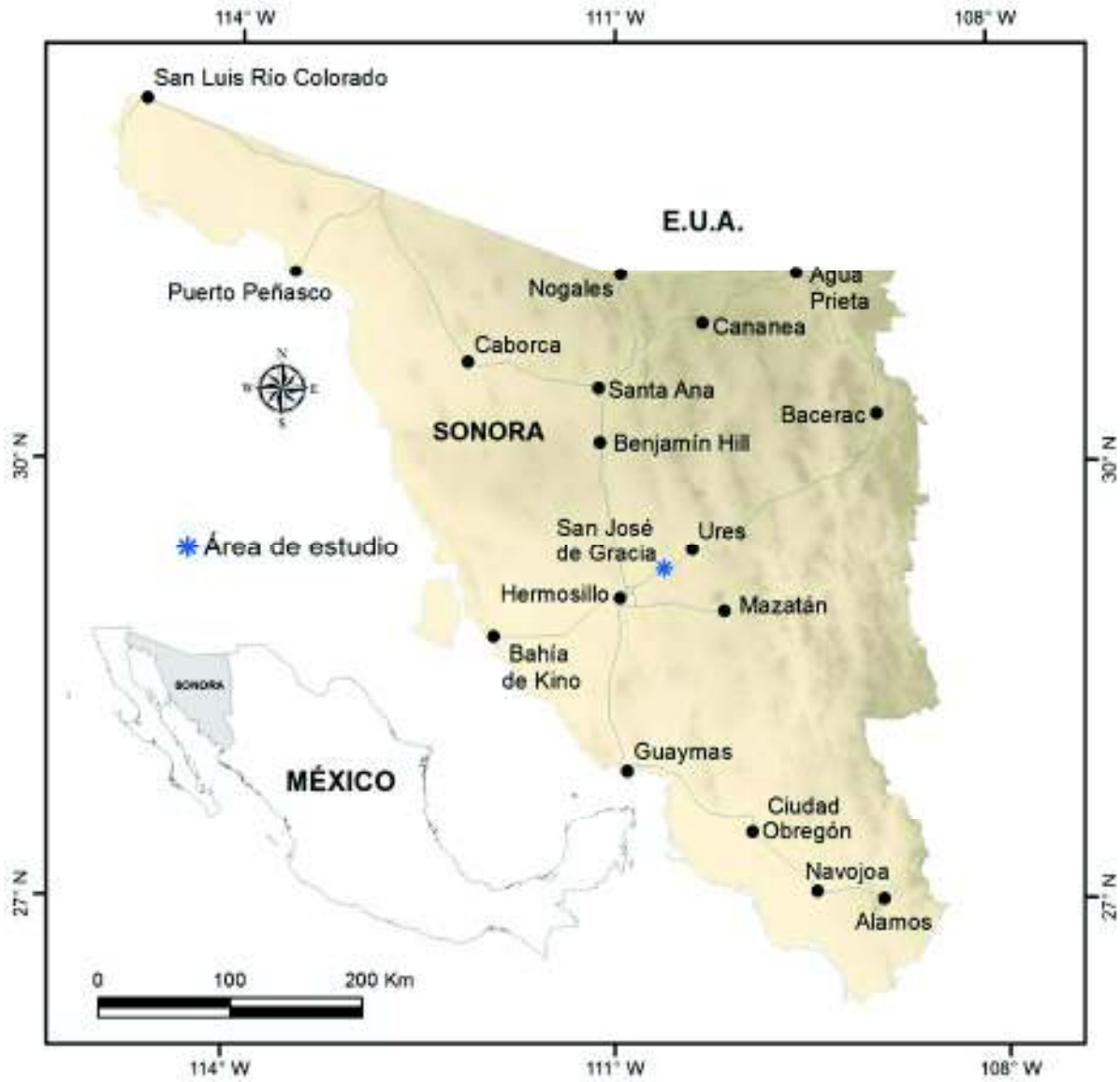
La estratigrafía y paleontología de las rocas del Cámbrico de San José de Gracia, Sonora central, ha sido estudiada en diversos trabajos, enfocados principalmente al contenido biótico del cerro El Chihuarruita, ubicado al sur del dicho poblado (Maytorena-Silva y Esparza-Yañez, 1990; Almazán-Vázquez, 2002; Cuen-Romero *et al.*, 2009; 2013; 2016; 2018; 2020; Nardin *et al.*, 2009; Buitrón-Sánchez *et al.*, 2011; 2017).

El cerro El Sahuaral, localizado al norte del poblado de San José de Gracia, ha sido estudiado por Stewart y Poole (2002), quienes reportaron la presencia de rocas del Cámbrico en esta localidad. Posteriormente, Beresi *et al.*, 2019, documentaron la presencia de *Chancelloria eros* Walcott (1920), asociada con escleritos aislados de *Allonia tintinopsis* Bengtson y Collins (2015), y *Archiasterella* sp., para la Formación El Gavilán en dicha área. Noriega-Ruiz *et al.* (2020), estudió la estratigrafía detallada del área del Sahuaral, documentando la presencia de las formaciones Proveedora, Buelna, Cerro Prieto, El Gavilán y El Tren. Estas unidades poseen una abundante biota fósiles constituida por esponjas, braquiópodos, trilobites y equinodermos.

### 3.2. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El poblado de San José de Gracia se localiza en la parte central del estado de Sonora, aproximadamente a 36 km al noroeste de Hermosillo, capital del estado. El área de interés aflora en la carta topográfica H12-D32 de INEGI (2001). El cerro El Chihuarruita, se ubica a 2 km el sureste del poblado de San José de Gracia, en las coordenadas geográficas 29° 17'06"

N y  $110^{\circ} 35'05''$  W (Fig. 1). El cerro El Sahuaral se ubica aproximadamente a 10 km el norte del poblado de San José de Gracia, en las coordenadas geográficas  $29^{\circ} 21'02''$  N y  $110^{\circ}37'12''$  W. (Fig. 1).



**Figura 1.** Localización del área de estudio.

### 3.3. CLIMA

Según la carta de climas de la República Mexicana (García y CONABIO, 1998), escala 1:1000 000, el cerro El Chihuarruita se caracteriza por ser un tipo de clima BWh(x') el cual

corresponde a muy árido, semicálido, con una temperatura media anual que varía entre 18° y 22°, siendo la temperatura máxima anual de 38° (Fig. 2).

Para el cerro El Sahuaral, la parte norte está clasificada como BSo (h')(x'), el cual corresponde a árido, cálido con una temperatura media anual mayor de 22°C. En la parte sur se encuentra un clima BW (h')(x'), el cual corresponde al igual que el cerro El Chihuarruita a muy árido, con una temperatura media anual similar al anterior (Fig. 2).

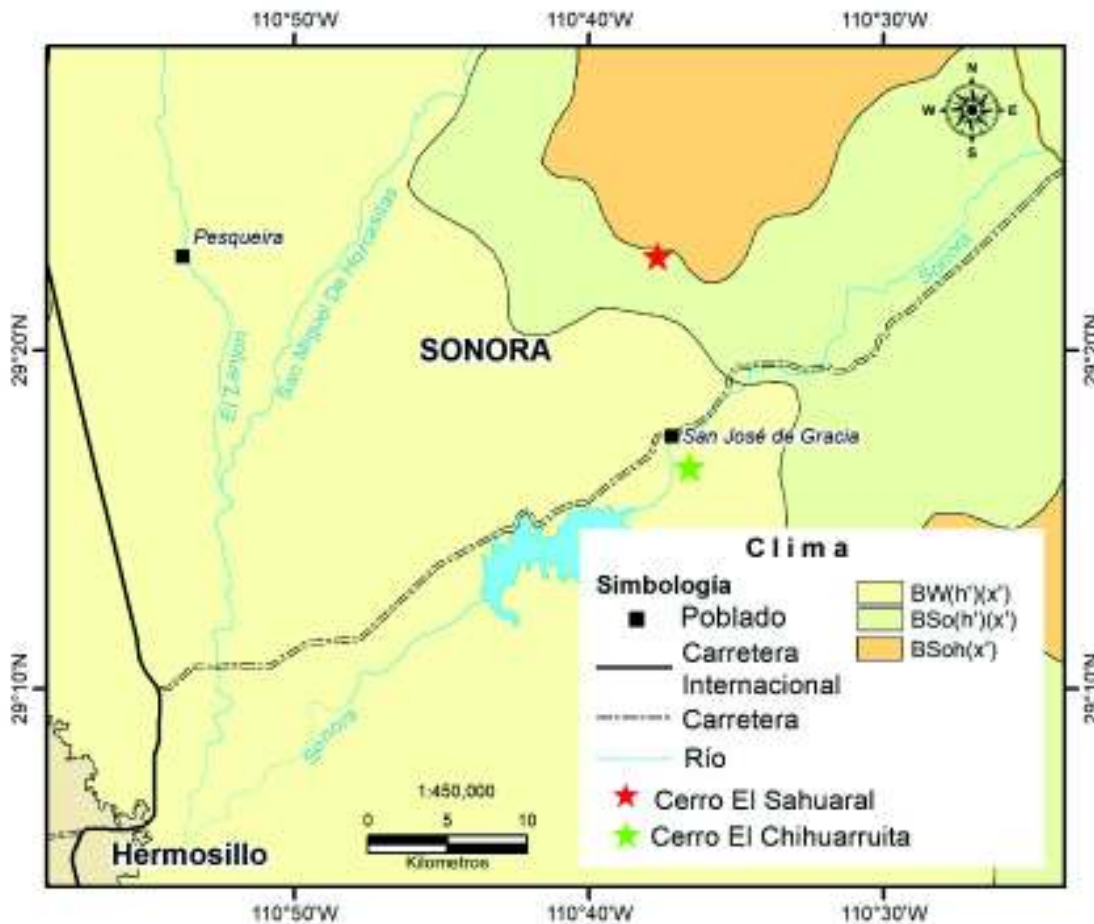


Figura 2. Clima del área de estudio según García y CONABIO (1998).

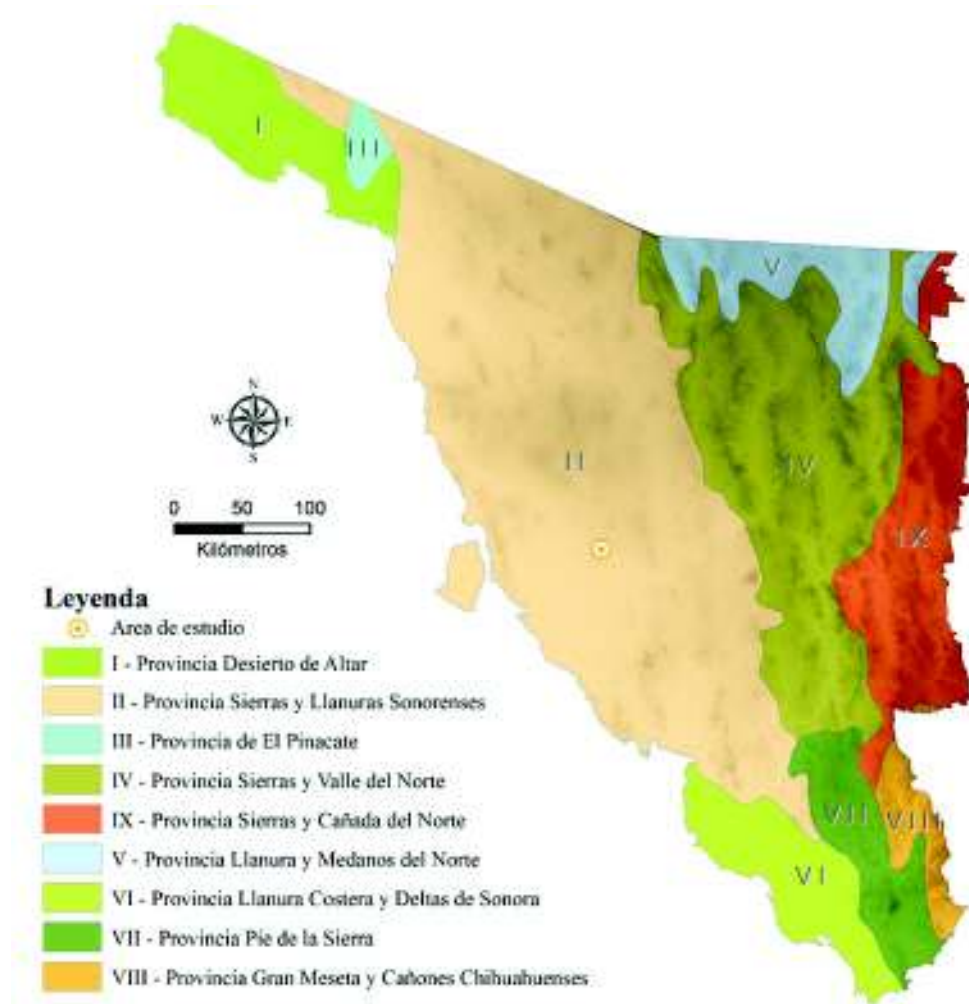
### 3.4. VEGETACIÓN

Según la carta de suelo y vegetación de INEGI (2011), el área de estudio está constituida por la presencia de matorral espinoso del género *Prosopis* (mezquite), el cual es

muy abundante en la mayor parte del estado de Sonora. También se tiene la presencia de *Parkinsonia* (palo verde), *Mimosa* (uña de gato) y *Fouquieria* (ocotillo). Las cactáceas también son muy abundantes, destacando la presencia de diversas especies de *Opuntia*.

### 3.5. FISIOGRAFÍA

Según la clasificación de CONABIO (1990), el área de estudio se encuentra localizada en la Provincia Fisiográfica de Sierras y Llanuras Sonorenses, la cual comprende más del 50% del área del estado de Sonora. La Provincia de Sierras y Llanuras Sonorenses se divide en tres subprovincias, conocidas como: Desierto de Altar, Sierras y Llanuras Sonorenses, y Sierra del Pinacate (Fig. 3).



**Figura 3.** Provincias fisiográficas de Sonora, modificado de CONABIO (1990).

### 3.6. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

El marco geológico en general lo constituyen rocas cuya antigüedad oscilan del Paleozoico inferior hasta el reciente. A continuación, se hace una breve descripción de las unidades litológicas que afloran en el área de estudio, en orden cronológico, de la más antigua a la más reciente, cuya distribución se observa en la (Fig. 4).

#### **Paleozoico**



Unidad compuesta caliza, dolomía y arenisca (EiPcp, Do, Ar). Formaciones Puerto Blanco, Cuarcita Proveedora, Buelna, Cerro Prieto, Arrojos, El Tren, El Bisani, Dolomía San Antonio, Fms Murciélago, El Represo y La Venada.

Esta unidad está constituida por una litología predominante de caliza, dolomía y arenisca del Paleozoico (Cámbrico inferior-Pérmico), identificando las formaciones Proveedora, Buelna, Cerro Prieto, Arrojos y el Tren, sugeridas como secciones de referencia para el Cámbrico de Caborca, definidas por Cooper *et al.* (1952) las cuales se depositaron en mares someros y aguas tranquilas, posiblemente en plataforma interna.

### **Mesozoico**

Unidad compuesta por andesita y toba andesítica (KspaA-TA). Formación Tarahumara.

Wilson y Rocha (1946) describen la Formación Tarahumara como un paquete compuesto de rocas volcánicas como toba riolítica, derrames y aglomerados de composición andesítica-dacítica con intercalaciones de rellenos sedimentarios (KsTpaA-TA, KsTpaA-Ar, KsTpaA-Tq, Ks Tpa Cgp-Ar, KsTpaR-TR). Por lo general, las rocas muestran indicios de alteración hidrotermal de tipo propílica, producidas por el emplazamiento de cuerpos intrusivos del complejo batolítico Laramide de Sonora durante el Cretácico Tardío - Paleoceno. Esta formación fue datada con métodos radiométricos y estimó edades entre 70 y 90 años Ma (Cretácico Superior) (McDowell *et al.*, 1994), en las que se incluyen las formaciones El Chanate, La Mesa y El Tuli.

### **Cenozoico**

#### **Paleógeno**

Unidad compuesta de basalto-andesita (NmB-A) Grupo Yécora (Infomal)

Grijalva-Noriega y Roldán-Quintana (1998) propusieron de manera informal el Grupo Yécora, que incluye rocas volcánicas y piroclásticas de composición félsica asociados a calderas ampliamente distribuidos en la porción superior de la Sierra Madre Occidental, en Sonora, como resultado de procesos de subducción. Con respecto a la litología, se destaca la presencia de flujos de basalto intercalados con aglomerados basálticos sobreyaciendo a la Formación Baúcarit. Los estudios radiométricos de K/Ar estimaron edades que varían de 39.2 a 24 Ma, algunos autores le confieren edades del Eoceno y Oligoceno (Damon *et al.*, 1983; McDowell *et al.*, 1997; Johnpeer, 1977).

### **Neógeno**

El Servicio Geológico Mexicano (2011) identifica el Neógeno inferior constituido por rocas volcánicas, principalmente por andesita y riolita (An- Rh) que cubren discordantemente las rocas preexistentes. El Mioceno medio está representado por la Formación Baúcarit (Cgp) que consiste en conglomerado polimíctico de fragmentos de rocas volcánicas e intrusivas, con edades radiométricas de K/Ar que varían de 17 a  $21 \pm 0.4$  (Bartolini *et al.*, 1994). El Mioceno superior representa derrames de andesita, andesita basáltica y basalto, sobreyaciendo discordantemente las unidades anteriores, se estiman edades de radiométricas de K/Ar  $10.4 \pm 0.2$  Ma (Bartolini *et al.*, 1994; McDowell *et al.*, 1997).

### **Cuaternario**

Esta unidad está compuesta por sedimentos de depósitos de talud y terrazas, constituida por conglomerados y gravas, donde el tamaño de los componentes puede variar desde bloques hasta arcillas del Pleistoceno. A la orilla de los arroyos en el área de estudio, se observa el aluvión compuesto por sedimentos no consolidados, principalmente gravas, arenas y arcillas.

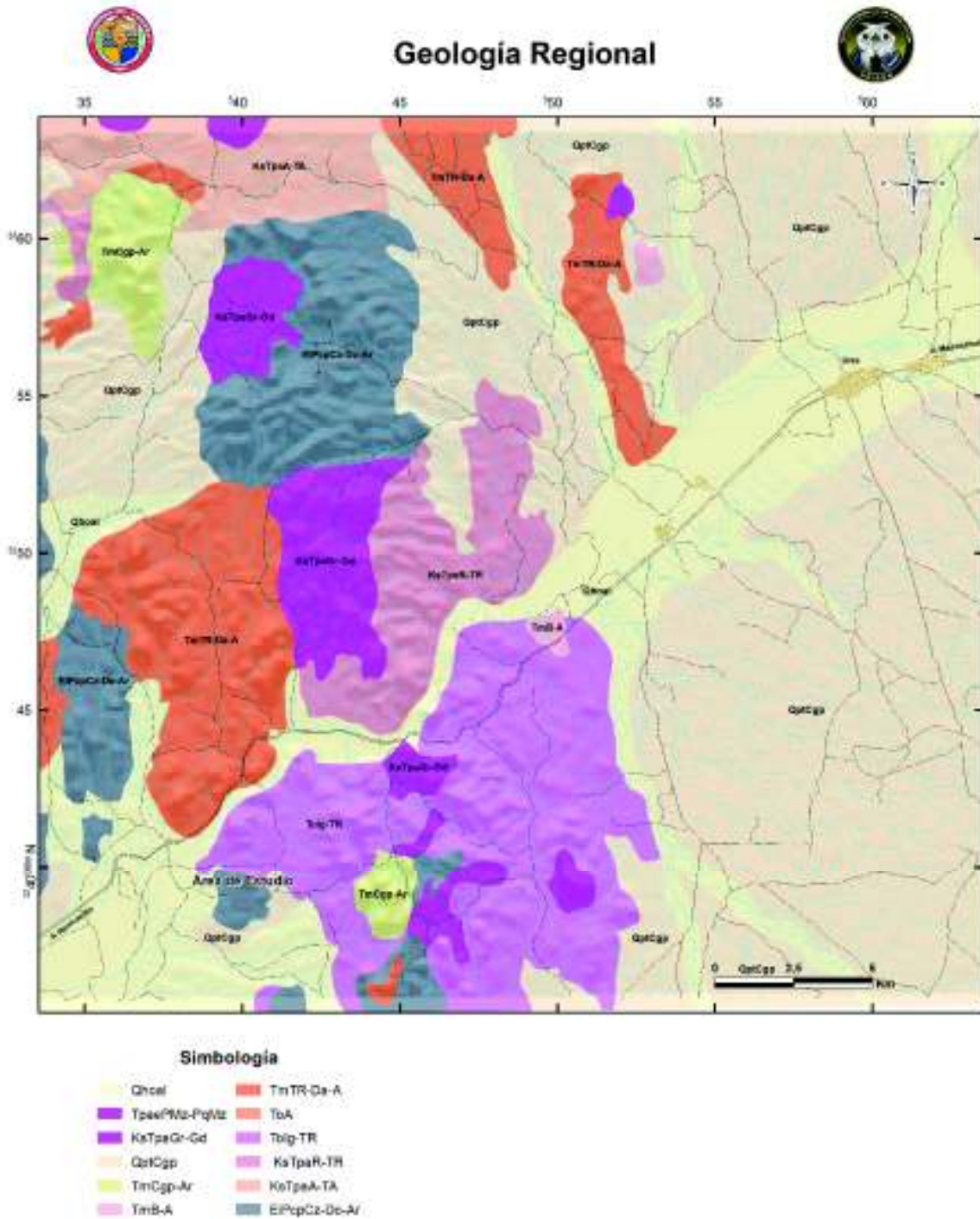


Figura 4. Mapa geológico de la carta H12-D32, modificado de SGM (2002).

#### 4. ESTRATIGRAFÍA

El cerro El Chihuarruita y el cerro El Sahuaral, ambas áreas ubicadas en las inmediaciones de la localidad de San José de Gracia, se encuentran representados por rocas sedimentarias del Cámbrico inferior-Cámbrico medio, de las cuales se han identificado las formaciones Proveedora, Buelna, Cerro Prieto, El Gavilán y El Tren (Cuen, 2013; Cuen-Romero *et al.*, 2016; Noriega-Ruiz *et al.*, 2020). Estas unidades fueron reconocidas por Cooper *et al.* (1952) en el área de Caborca, noroeste de Sonora. El contenido litológico y biótico que se presenta en estas unidades litoestratigráficas es bastante similar en ambas localidades, correspondientes a una secuencia sedimentaria constituida de una sucesión detrítico-carbonatada con una biota fósil relativamente bien conservada. Sin embargo, existen variaciones con respecto a la litología, contenido biótico, edad y espesor.

Los afloramientos del cerro El Chihuarruita se dividen en cuatro formaciones (de la base a la cima): Proveedora, Buelna, Cerro Prieto y El Gavilán (Cuen-Romero *et al.*, 2016); mientras que en el cerro El Sahuaral se identifican cinco formaciones, las anteriores, adicionando la Formación El Tren.

##### **Formación Proveedora**

**Definición:** Cooper y Arellano (1946) definieron la unidad en los cerros de la Proveedora, en el área de Caborca, noroeste de Sonora, las cuales están compuestas en su totalidad por sedimentos cámbricos, aunque la parte estratigráfica superior e inferior de la secuencia es desconocida. La Formación Proveedora consiste generalmente de una secuencia de cuarcita blanca y lutita gris oscura a verdosa, de espesores entre los 220 a 260 metros. La cuarcita se encuentra relativamente masiva con abundantes fracturas y manchas de óxido de hierro. Los fósiles se presentan de manera escasa, no obstante, en superficies erosionadas aparecen braquiópodos linguliformes y fragmentos de olenélidos.

**Litología y espesor:** La Formación Proveedora aflora en la cima del Cerro Chihuarruita y El Sahuaral, y se constituye generalmente de cuarzoarenita de grano fino en forma homogénea, presentando manchas de óxidos de fierro y fuerte fracturación. En la base del cerro El Chihuarruita aflora un paquete de cuarcita de color café-oscuro, con granos de cuarzo de tamaño fino. Posteriormente, aflora una secuencia compuesta de cuarzoarenita que presenta estratificación cruzada, seguido de una estratificación laminar, lo cual indica cambios en la mecánica del fluido. En la parte superior aflora un paquete de arenisca gruesa de cuarzo de color café, en donde es posible observar una estructura conglomerática. En el caso del cerro El Sahuaral, la base consiste de cuarzoarenita blanca con tonalidades rojizas. En la parte media de la secuencia es posible encontrar cuarzoarenita de color marrón de grano fino con estratificación cruzada tabular plana. La parte superior se caracteriza por un paquete de cuarzoarenita marrón (Fig. 7). El espesor de la secuencia en el cerro El Sahuaral es inferior a la secuencia expuesta en el cerro El Chihuarruita, con medidas de 168 metros y 225 metros, respectivamente.

**Distribución:** La unidad aflora en los cerros de la Proveedora, en el área de Caborca, y en El Chihuarruita y El Sahuaral, en San José de Gracia, encontrándose topográficamente en la cima (Fig. 5 y Fig. 6).

**Relaciones estratigráficas:** El contacto inferior no se observa, en cambio el contacto superior es concordante con la Formación Buelna en ambas localidades (Fig. 7).

**Fósiles y posición estratigráfica:** Esta unidad no proporcionó fósiles de trilobites, sin embargo, se reconoce abundante bioturbación en ambos cerros, principalmente, se presentan los icnofósiles *Skolithos* isp., *Arenicolites* isp., *Palaeophycus* isp., *Asteriacites* isp. y *Asterosoma* isp. en el cerro El Chihuarruita (Cuen *et al.*, 2016); mientras que las icnoespecies de *Skolithos* isp., *Arenicolites* isp., *Cruziana* isp., *Monocraterion* isp., y *Thalassinoides* isp. son documentadas en el cerro El Sahuaral (Noriega-Ruiz *et al.*, 2020) (Fig. 7). Aunque la unidad

no presenta fósiles indicadores de edad, se le asigna una edad de Cámbrico inferior por correlación con la Formación Provedora del área de Caborca (Cooper *et al.*, 1952).

Ambiente de depósito: La Formación Provedora se le asigna la icnofacies de *Skolithos*, esto en consideración de la gran abundancia, indicando ambientes arenosos y de línea de costa, tales como zonas litorales y sublitorales, barras arenosas o frentes deltaicos (Pemberton *et al.*, 1992). La asociación litológica con las estratificaciones presentes sugiere la evidencia de altas energías y cambios en las fluctuaciones.

### **Formación Buelna**

**Definición:** Cooper *et al.* (1952) definieron la unidad en el cerro Buelna constituida principalmente de caliza y capas de arenisca calcárea. La base está compuesta de caliza gris de capa fina. La parte media consiste en caliza pardusca laminar con lechos de *Girvanella*, seguido de caliza gris de capa delgada y caliza oolítica. Posteriormente se presentan coquinas conformadas generalmente de fragmentos de concha de *Salterella*. Asimismo, en esta parte son frecuentes los trilobites olenélidos. En la parte superior se documenta la presencia de los trilobites *Onchocephalus*, *Antagmus* y *Bonnia*. La presencia de trilobites olenélidos sugiere una edad del Cámbrico inferior, no obstante, *Onchocephalus* y *Antagmus* comprueban que la secuencia se depositó a finales del Cámbrico inferior. La Formación Buelna posee un espesor de 100 a 120 metros.

**Litología y espesor:** La Formación Buelna en los cerros El Chihuarruita y El Sahuaral comparten características litológicas bastantes similares, generalmente, la secuencia se constituye de caliza granular con alternancias de lutita y caliza fosilífera. La base de la unidad presenta una caliza arenosa de estratificación masiva, de aproximadamente 19 metros de espesor. La parte media consta de intercalaciones de lutita y caliza donde se presentan fósiles como los hiolítidos en asociación con fragmentos de olenélidos y biceratópsidos. Posteriormente, aflora una capa de caliza gris arenosa con alto contenido de algas oncolíticas

asignadas a *Girvanella mexicana* Johnson, 1952 (Fig. 7). Ambas localidades poseen espesores entre los 70 a 75 metros.

**Distribución:** La sección de referencia de la Formación Buelna aflora en el cerro Buelna, área de Caborca. La unidad también aflora en la parte sureste del cerro El Chihuarruita, y en la parte suroeste del cerro El Sahuaral (Fig. 5 y Fig. 6).

**Relaciones estratigráficas:** La base y cima de esta unidad son concordantes con la Formación Proveedora y Cerro Prieto respectivamente (Fig. 7).

**Fósiles y posición estratigráfica:** Se presentan fósiles como los hiolítidos *Hyolithes sonora* Lochman, 1952, y *Haplophrentis reesei* Babcock y Robison, 1988, en asociación con fragmentos de *Olenellus* sp. y *Bristolia* sp. cf. *B. bristolensis* Resser, 1928, fauna representativa de la Zona de *Bristolia mohavensis* - *B. insolens* del Cámbrico inferior (Serie 2, Piso 4) (Webster, 2011) (Fig. 7).

**Ambiente de depósito:** La Formación Buelna fue depositada en una plataforma carbonatada bajo aguas moderadamente agitadas con aporte de material terrígeno. Las formas angulares de granos finos de arena y limo de cuarzo sugieren que fueron introducidos en la caliza a través de la escorrentía de las tormentas o por mecánica de fluidos. El contenido biótico indica ambientes marinos someros de condiciones submareales y arrecifales.

### **Formación Cerro Prieto**

**Definición:** Cooper *et al.* (1952, 1956) definieron la Formación Cerro Prieto en el cerro Prieto, ubicado a 3 km al suroeste de Caborca. La secuencia se constituye de una caliza oolítica oscura, aflorando de manera masiva con presencia de abundantes objetos esféricos oscuros a menudo con capas concéntricas indistintas, asignadas dudosamente a *Girvanella*. En esta unidad no se identificaron fósiles que pudieran proporcionar una edad para la secuencia, sin embargo, Cooper *et al.* (1952, 1956) la consideraron como la transición

Cámbrico inferior - Cámbrico medio debido a que sobreyace de manera concordante a la Formación Buelna y es sobreyacida de manera concordante por la Formación Arrojos, correspondientes a edades del Cámbrico inferior-Cámbrico medio respectivamente. La unidad posee un espesor de 85 a 125 metros.

**Litología y espesor:** La Formación Cerro Prieto mantiene características similares en los cerros El Chihuarruita y El Sahuaral, y consiste en una caliza oolítica masiva de color gris oscuro, con una intensa recristalización evidenciado por abundantes vetillas de calcita. La unidad forma crestones que sobresalen del terreno, encontrándose ligeramente dolomitizada con gran resistencia al intemperismo cárstico, formando cantiles (Fig. 7). La diferencia de espesores es considerable, la unidad en el cerro El Sahuaral mide 70 metros; mientras que en el cerro El Chihuarruita posee un espesor de 17 metros.

**Distribución:** La Formación Cerro Prieto también aflora en los cerros de los Arrojos, Provedora, Buelna, Cerro Prieto y Difuntos, área de Caborca, y en la parte sureste del cerro El Chihuarruita y en la parte suroeste del cerro El Sahuaral (Fig. 5 y Fig. 6).

**Relaciones estratigráficas:** Se limita concordante a la Formación Buelna y la Formación El Gavilán, contacto inferior y superior, respectivamente (Fig. 7).

**Fósiles y posición estratigráfica:** En el cerro El Chihuarruita, Cuen-Romero *et al.* (2016, 2018) identificaron fragmentos de trilobites correspondientes a *Amecephalus arrosensis*, especie indicadora del Cámbrico medio, por lo tanto, los afloramientos de la Formación Cerro Prieto fueron asignados a la Zona de *Amecephalus arrosensis* o *Poliella denticulata*, confiriendo una edad Lincolniano, Delamarano para Laurentia. Noriega-Ruiz *et al.* (2020) establecieron tentativamente una edad Lincolniano-Delamarano para la secuencia expuesta en el cerro El Sahuaral, esto debido a las características descritas y a su posición estratigráfica, establecida en el cerro El Chihuarruita.



**Ambiente de depósito:** La presencia de oolitas, así como de intraclastos en caliza, indica condiciones de alta energía en un ambiente de plataforma somera cercano a la línea de costa.

### **Formación El Gavilán**

**Definición:** Cuen-Romero *et al.* (2016) definieron la sección tipo de la Formación El Gavilán al sureste del cerro El Chihuarruita, y a su vez, proponen una nueva unidad litoestratigráfica debido a un notable cambio de facies desde ambiente marino somero (Formación Arrojos) a un ambiente de plataforma abierta (Formación El Gavilán), así como también la presencia de trilobites agnóstidos del Cámbrico medio, en el área de San José de Gracia. Por tal motivo, se establece una estrecha correlación con la estratigrafía propuesta por Cooper *et al.* (1952) para el área de Caborca.

**Litología y espesor:** La Formación El Gavilán está constituida de materiales detríticos y carbonatados, aflorando un potente paquete de lutita de color rojo muy fracturada e intercalada con caliza fosilífera de color gris-oscuro (Fig. 7). La secuencia expuesta en el cerro El Chihuarruita posee un espesor de 233 metros, mientras que en el área del Sahuaral se tiene un espesor de 255 metros.

**Distribución:** La unidad aflora en la parte sureste del cerro El Chihuarruita, mientras que en el cerro El Sahuaral aflora en la parte basal, en la porción suroeste del área (Fig. 5 y Fig. 6).

**Relaciones estratigráficas:** El contacto inferior es concordante con la Formación Prieto, mientras que el contacto superior es discordante con rocas volcánicas cenozoicas (Fig. 7).

**Fósiles y posición estratigráfica:** La Formación El Gavilán del cerro El Chihuarruita se caracteriza por su contenido en fósiles, entre los que destacan los trilobites *Pentagnostus*

(*Meragnostus bonnerensis*, *Pagetia resseri*, *Oryctocephalites walcotti*, *Bathyriscus* sp., *Elrathina antiqua*, entre otros, en asociación con braquiópodos inarticulados (*Acrotele* sp., *Linnarsonia* sp., *Dictyonina* sp., y *Prototreta* sp.), poríferos (*Chancelloria eros*, *Diagoniella* sp., *Allonia* sp.), hiolítidos (*Haplophrentis reesei*), entre otros. La unidad es asignada a la Zona de *Mexicella mexicana*, Subzona de *Albertella highlandensis*, y *Ptychagnostus praecurrens* para plataforma abierta, confiriendo una edad Miaolingiano, Wuliuano en cronología global, Lincolniano-Delamarano para *Laurentia* (Cuen-Romero *et al.*, 2016). La Formación El Gavilán expuesta en el cerro El Sahuaral contiene fósiles relevantes como *Quadragnostus depressa*, *Euagnostus interstrictus*, *Oryctocephalites burgessensis*, *O. reynoldsi*, *Tonkinella flabelliformis*, *T. valida*, entre otras especies, asociados con cancellóridos, hiolítidos y braquiópodos. Tales rocas son asignadas a la Subzona de *Altiocculus*, parte superior de la Zona de *Ehmaniella*, y *?Ptychagnostus praecurrens* - *?Ptychagnostus gibbus* para plataforma abierta; correspondientes a una edad Miaolingiano, Wuliuano en cronología global, Lincolniano-Topazano para *Laurentia* (Noriega-Ruiz *et al.*, 2020) (Fig. 7).

**Ambiente de depósito:** Las capas potentes de lutita en la Formación El Gavilán expuestas en los cerros El Chihuarruita y El Sahuaral, asociado al contenido biótico constituido de trilobites agnóstidos sugiere un cambio de facies hacia ambientes más profundos, en un ambiente nerítico bentónico, con respecto a la Formación Arrojos del área de Caborca, la cual se caracteriza por un ambiente de intermarea y submarea, en un ambiente de plataforma marina abierta (Rivera-Carranco, 1988; Cuen-Romero *et al.*, 2016; Noriega-Ruiz *et al.*, 2020).

### **Formación El Tren**

**Definición:** Cooper *et al.* (1952) definieron la unidad en el cerro Los Arrojos, área de Caborca, describiendo una secuencia de caliza dolomítica de color oscura con alto intemperismo. La parte basal de la secuencia consiste en caliza moteada que gradúa hacia la

parte superior a una caliza dolomitizada, con alternancias de dolomía color marrón (Rivera-Carranco, 1988). La unidad es restringida a la parte superior de la Zona de *Glossopleura walcotti*, y parte inferior de la Zona de *Ehmaniella* en el área de Caborca, correspondientes a una edad Miaolingiano, Wuliuano en cronología global, Lincolniano-Topazano para Laurentia (Cuen-Romero *et al.*, 2018).

**Litología y espesor:** En la región central del estado de Sonora, la Formación El Tren únicamente aflora en el cerro El Sahuaral, compuesta por capas de caliza gris oscuro parcialmente dolomitizadas (Fig. 7).

**Distribución:** La unidad aflora en la parte oeste y suroeste del cerro El Sahuaral (Fig. 5).

**Relaciones estratigráficas:** Sobreyace de manera concordante a la Formación El Gavilán del Cámbrico medio, mientras que el contacto superior no fue observado en el área (Fig. 7).

**Fósiles y posición estratigráfica:** Esta unidad no proporcionó fósiles que determinarán la edad de la secuencia, sin embargo, en secciones delgadas es posible observar cortes de trilobites (Noriega *et al.*, 2020). En el área de Caborca, se documenta el trilobite *Parehmania* sp., en asociación biótica principalmente con los braquiópodos *Linnarssonina* y *Dictyonina* (Cooper *et al.*, 1952). La presencia de *Parehmania* restringe a la Zona de *Ehmaniella* para estas rocas.

**Ambiente de depósito:** Rivera-Carranco (1988) sugiere que la Formación El Tren se depositó en un ambiente de alta energía que en relación con el efecto del reflujo de aguas sobresaturadas de magnesio provocaron la dolomitización en las rocas carbonatadas.

VARIABILIDAD INTRAESPECÍFICA EN *LINNARSSONIA RARA* (COOPER) (BRACHIOPODA, LINGULATA)  
DEL CÁMBRICO (MIAOLINGIANO, WULIUANO) DE SONORA CENTRAL, MÉXICO

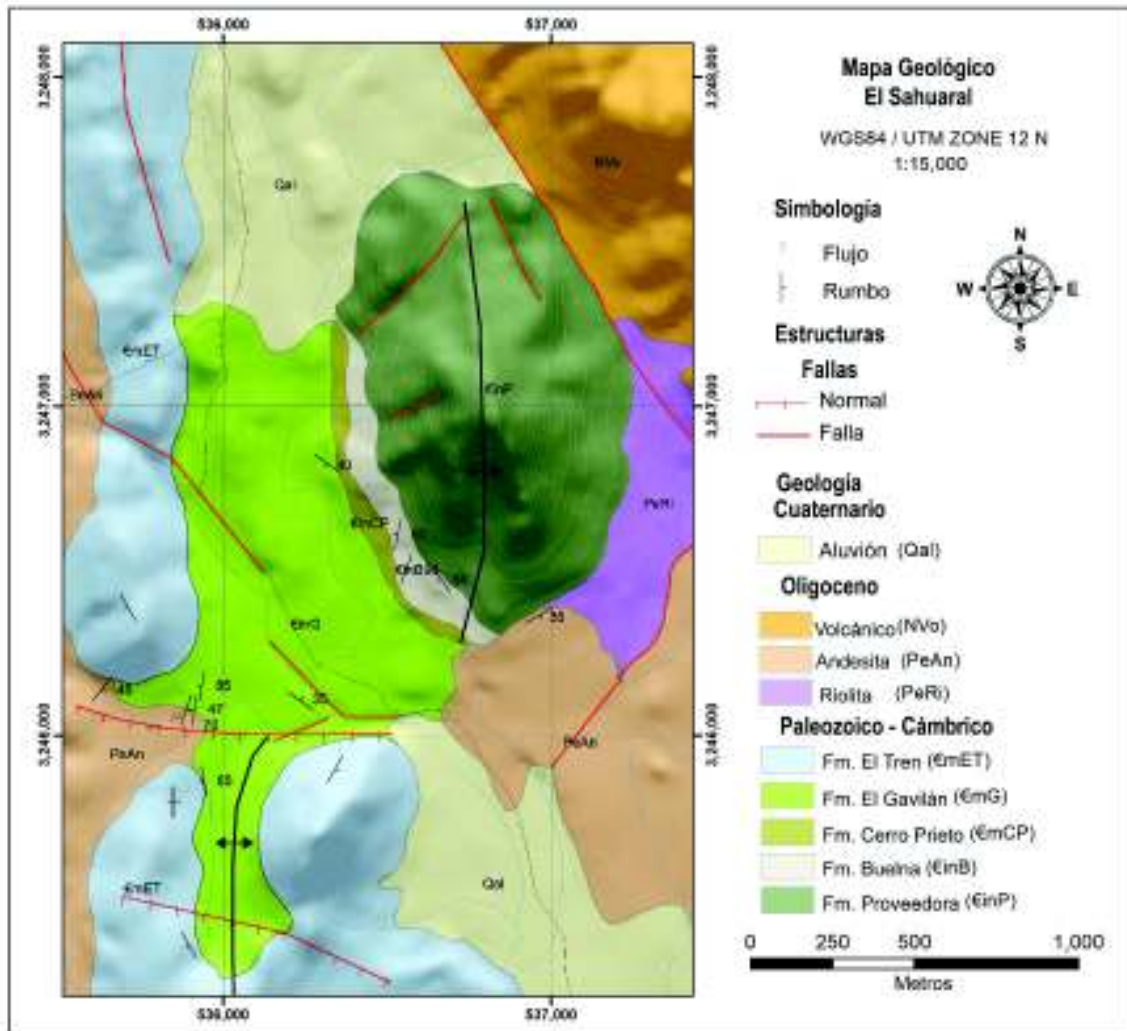
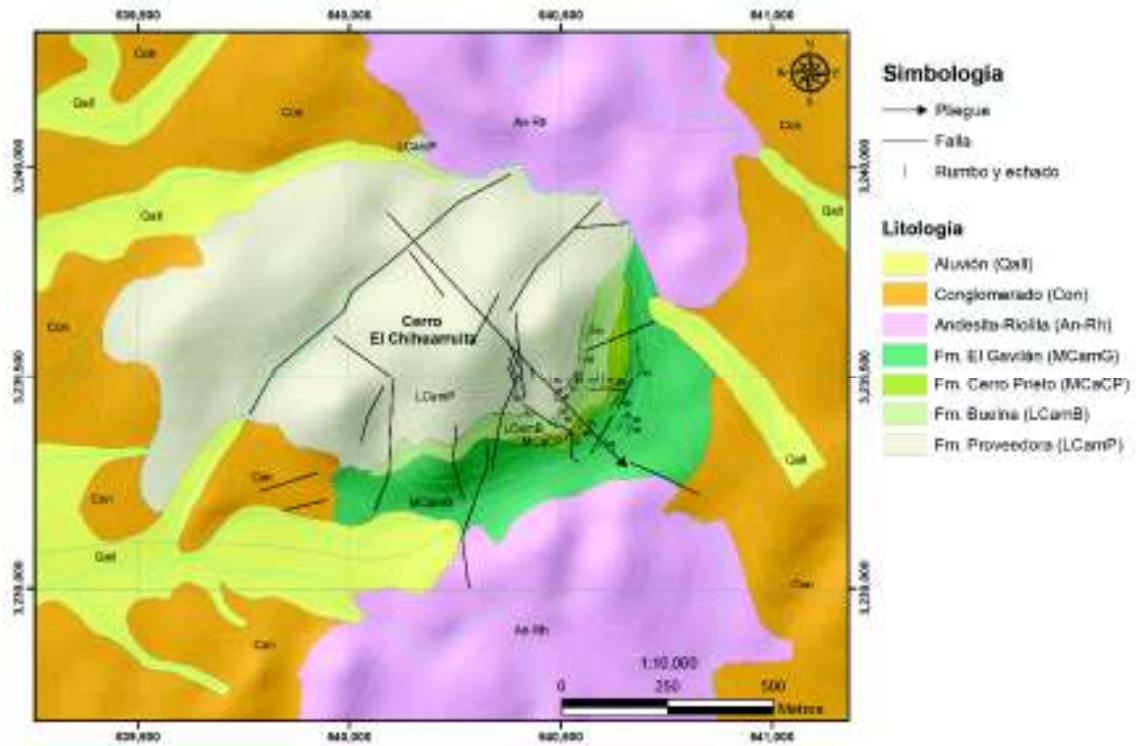


Figura 5. Mapa geológico del área El Sahuaral, modificado de Noriega *et al.* (2020).

VARIABILIDAD INTRAESPECÍFICA EN *LINARSSONIA RARA* (COOPER) (BRACHIOPODA, LINGULATA)  
DEL CÁMBRICO (MIAOLINGIANO, WULIUANO) DE SONORA CENTRAL, MÉXICO



**Figura 6.** Mapa geológico del área El Chihuarruita, tomado de Cuen-Romero *et al.* (2016).

VARIABILIDAD INTRAESPECÍFICA EN *LINNARSSONIA RARA* (COOPER) (BRACHIOPODA, LINGULATA)  
DEL CÁMBRICO (MIAOLINGIANO, WULIUANO) DE SONORA CENTRAL, MÉXICO

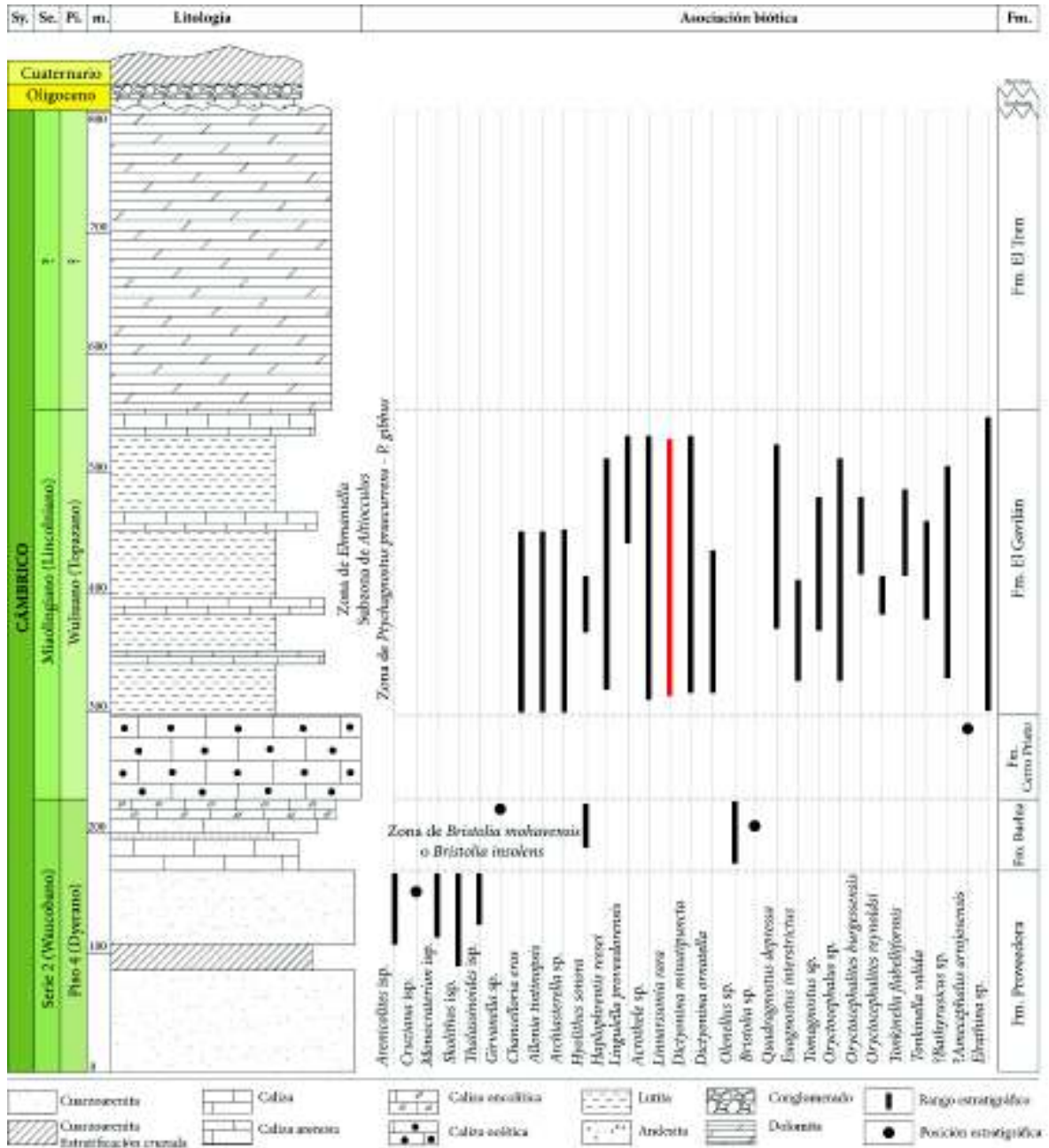


Figura 7. Columna estratigráfica del área de estudio, modificada de Noriega *et al.* (2020).

## 5. PALEONTOLOGÍA SISTEMÁTICA

Phylum Brachiopoda Duméril, 1806

Clase Lingulata Gorjansky y Popov, 1985

Orden Acrotretida Kuhn, 1949

Superfamilia Acrotretoidea Schuchert, 1893

Familia Acrotretidae Schuchert, 1893

Género *Linnarssonina* Walcott, 1885

*Linnarssonina rara* (Cooper, 1952)

**Sinonimia.**- *Pegmatreta rara*; Cooper (1952),

**Ocurrencia.**- Formación El Gavilán, cerro El Chihuarruita, Cámbrico medio (Miaolingiano-Wuliuano), Zona de *Mexicella mexicana*, Subzona de *Albertella highlandensis*.

Formación El Gavilán, cerro El Sahuaral, Cámbrico medio (Miaolingiano-Wuliuano), Zona de *Ehmaniella*, Subzona de *Altiocculus*.

**Comentarios.**- La Clase Lingulata comprende de abundantes representantes del Cámbrico temprano siendo dominantes los linajes de los braquiópodos lingúlidos y acrotretidos. Walcott (1912) realizó un estudio y análisis a detalle de los braquiópodos del Cámbrico medio en la Formación Stephen, Columbia Británica, en el cual mencionó dudas sobre la validez de *Linnarssonina*. La estructura interna de los braquiópodos acrotretidos era poco conocida. Walcott (1912) determinó que las conchas de *Linnarssonina* se constituían de fosfato de calcio y basado en un análisis morfológico decidió que *Linnarssonina* no era un género independiente, por lo que propuso que las especies identificadas correspondían a un subgénero de *Acrotreta*, abandonando *Linnarssonina* como género válido.

Bell (1941) identificó géneros y especies nuevas de braquiópodos acrotretidos, donde incluye a *Pegmatreta* Bell, 1941, procedente de la Caliza Meagher, del Cámbrico medio de Montana. La descripción original de Walcott (1885) y los diagnósticos posteriores por Bell (1941) de *Linnarssonina* coinciden y muestran similitudes morfológicas en la forma de la concha, así como también el desarrollo pseudointerarea braquial y la ubicación de la válvula peduncular (Peel et al., 2016). Por lo tanto, *Pegmatreta* es de nuevo considerado como sinonimia de *Linnarssonina*.

Rowell (1966) reveló que el género *Pegmatreta* Bell, 1941, era similar a *Linnarssonina* y posiblemente sea su sinónimo más reciente. No obstante, Rowell y Henderson (1978) concluyeron que *Pegmatreta* y *Linnarssonina* son bastante similares en características morfológicas externas, sin embargo, se observan diferencias en el interior de las valvas. Los autores explican que la mala conservación de la especie tipo, la ausencia de tales descripciones, figuras precisas y definidas sean el motivo de las variaciones. Por otro lado, los acrotretidos del Cámbrico inferior al Cámbrico medio son variables morfológicamente, esto debido al pequeño tamaño y a las cantidades relativamente abundantes de materia orgánica que constituyeron sus conchas durante su vida, causando diferencias en la estructura interna durante el proceso tafonómico (Peel et al., 2016).

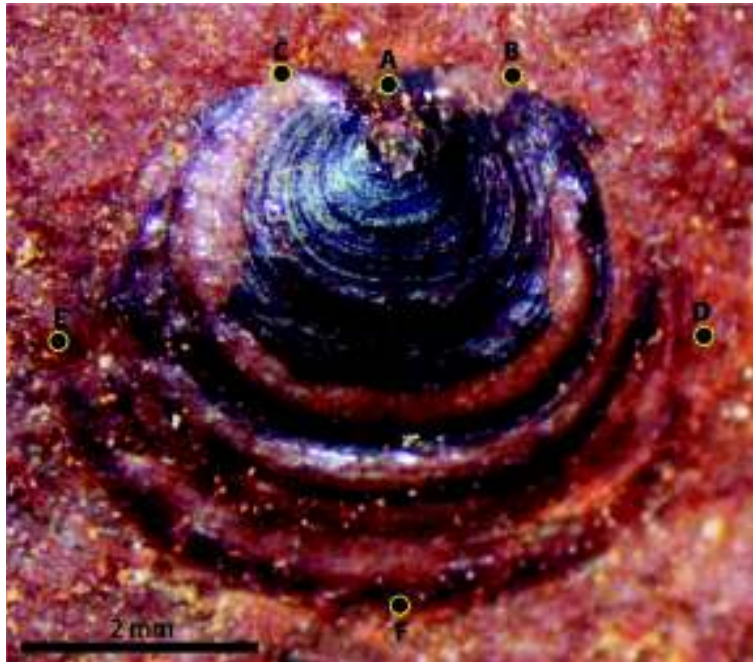


## 6. VARIABILIDAD INTRAESPECÍFICA EN *LINNARSSONIA RARA* COOPER, 1952

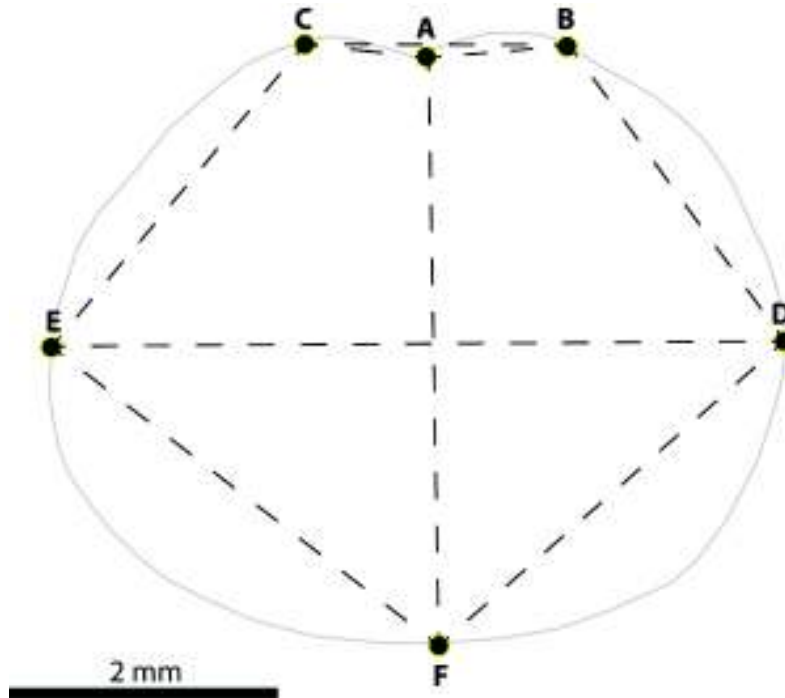
Los hitos (landmarks) fueron colocados de la siguiente manera:

CB: La distancia marcada por los puntos CB corresponde a la longitud del margen charnelar. ED: La distancia marcada por los puntos ED corresponde al ancho máximo. AF: Distancia marcada por los puntos AF, donde corresponde a la longitud total del espécimen.

También se tomó la distancia entre los puntos AB, AC, BD, CE, DF y EF, tal como se muestra en la Figura 8 y 9, de esta manera se tiene un total de 9 datos por ejemplar.



**Figura 8.** Hitos colocados en *Linnarssonina rara*, donde la distancia CB corresponde a la longitud del margen charnelar, ED ancho máximo, AF longitud total.



**Figura 9.** Diagrama de los hitos colocados en *Linnarssonina rara* mostrando las mediciones tomadas.

### 6.1. ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS

Para realizar el análisis de estadísticos descriptivos las muestras han sido divididas en dos localidades según el lugar de proveniencia (El Sahuaral y El Chihuarruita), también fueron analizadas de manera separada las valvas ventrales (peduncular) y dorsales (braquial), posteriormente se analizó toda la información en conjunto.

#### 6.1.1. MEDIA, MEDIANA, MODA, VARIANZA, DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y COEFICIENTE DE VARIACIÓN

Los datos analizados en la presente sección se encuentran en el apéndice 1. Para Mendenhall *et al.* (2010), la media aritmética o promedio de un conjunto de  $n$  mediciones es igual a la suma de las mediciones divididas entre  $n$ :

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i$$

La mediana  $m$  de un conjunto de  $n$  mediciones es el valor de  $x$  que cae en la posición media cuando las mediciones son ordenadas de menor a mayor, se representa por  $M_e$ .

La moda es la categoría que se presenta con más frecuencia o el valor de  $x$  que se presenta con más frecuencia. Cuando las mediciones en una variable continua se han agrupado como histograma de frecuencia o de frecuencia relativa, la clase con el pico más alto o frecuencia se llama clase modal, y el punto de esa clase se toma como la moda (Mendenhall *et al.*, 2010).

La varianza de una muestra de  $n$  mediciones es la suma de las desviaciones cuadradas de las mediciones alrededor de la media  $\bar{x}$  dividida entre  $(n - 1)$ . La varianza muestral se denota con  $s^2$  y está dada por la fórmula:

$$s^2 = \frac{\sum(x_i - \mu)^2}{n - 1}$$

La desviación estándar de un conjunto de mediciones es igual a la raíz cuadrada positiva de la varianza, mientras que el coeficiente de variación se utiliza para hacer referencia a la relación entre el tamaño de media y la variabilidad de la variable, mediante la siguiente formula:  $C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\%$

**Tabla 1.-** Estadísticos descriptivos para la valva braquial (El Sahuaral y El Chihuarruita), donde Var: variable, N: total de datos, EEM: Error estándar de la media,  $\sigma$ : desviación estándar,  $s^2$ : varianza, C.V.: coeficiente de variación, Min: mínimo, Me: mediana, Max: máximo, Moda: moda, N moda: frecuencia de la moda.

Var	N	$\bar{x}$	EEM	$\sigma$	$s^2$	C.V.	Min	$M_e$	Máx	R	Moda	N Moda
CB	108	1.86	0.04	0.38	0.15	20.64	1.05	1.83	3.35	2.30	1.74, 2.27	3
ED	108	3.16	0.05	0.52	0.27	16.44	1.92	3.17	4.95	3.03	2.73, 2.81, 2.99, 3.24	2
AF	108	2.89	0.05	0.51	0.26	17.54	1.74	2.93	4.73	2.99	3.02	3
AB	108	1.08	0.02	0.23	0.05	21.42	0.50	1.05	1.93	1.43	0.76, 0.81, 0.89, 0.98	2
AC	108	1.11	0.08	0.84	0.70	75.68	0.69	0.99	9.47	8.78	0.68, 0.82, 0.86, 0.87	2
BD	108	1.24	0.02	0.20	0.04	16.47	0.80	1.25	1.87	1.07	0.84, 1.14, 1.31, 1.33	2

VARIABILIDAD INTRAESPECÍFICA EN *LINNARSSONIA RARA* (COOPER) (BRACHIOPODA, LINGULATA)  
DEL CÁMBRICO (MIAOLINGIANO, WULIUANO) DE SONORA CENTRAL, MÉXICO

CE	108	1.28	0.02	0.25	0.06	19.35	0.72	1.26	1.97	1.25	1.23, 1.26, 1.37	2
DF	108	2.06	0.04	0.37	0.14	18.20	1.22	2.05	3.89	2.67	1.87	3
EF	108	2.18	0.03	0.36	0.13	16.55	1.35	2.18	3.24	1.89	1.96, 1.98	2

**Tabla 2.-** Estadísticos descriptivos para la valva peduncular (El Sahuaral y El Chihuarruita), donde Var: variable, N: total de datos, EEM: Error estándar de la media,  $\sigma$ : desviación estándar,  $s^2$ : varianza, C.V.: coeficiente de variación, Min: mínimo, Me: mediana, Max: máximo, Moda: moda, N moda: frecuencia de la moda.

Var	N	$\bar{x}$	EEM	$\sigma$	$s^2$	C.V.	Min	$M_e$	Máx	R	Moda	N Moda
CB	40	2.24	0.12	0.73	0.53	32.35	1.23	2.14	4.44	3.22	2.22	2
ED	40	3.49	0.12	0.78	0.60	22.23	2.36	3.41	5.58	3.22		0
AF	40	3.15	0.11	0.70	0.49	22.21	2.14	3.02	4.71	2.57		0
AB	40	1.23	0.06	0.36	0.13	29.00	0.73	1.19	2.07	1.34	0.92, 1.34, 1.65	2
AC	40	1.24	0.06	0.40	0.16	32.28	0.55	1.19	2.72	2.17	0.82	2
BD	40	1.31	0.03	0.22	0.05	16.74	0.94	1.29	1.85	0.91		0
CE	40	1.36	0.04	0.27	0.07	20.18	0.80	1.36	2.01	1.21	1.5	2
DF	40	2.26	0.08	0.51	0.26	22.41	1.58	2.12	3.61	2.03		0
EF	40	2.39	0.08	0.53	0.28	22.18	1.61	2.35	3.68	2.07		0

**Tabla 3.-** Estadísticos descriptivos para la valva braquial (El Chihuarruita), donde Var: variable, N: total de datos, EEM: Error estándar de la media,  $\sigma$ : desviación estándar,  $s^2$ : varianza, C.V.: coeficiente de variación, Min: mínimo, Me: mediana, Max: máximo, Moda: moda, N moda: frecuencia de la moda.

Var	N	EEM	$\sigma$	$s^2$	C.V.	Min	Me	Max	R	Moda	N Moda
CB	50	1.96	0.06	0.44	0.2	22.65	1.33	1.85	3.35	2.275	3
ED	50	3.32	0.08	0.54	0.29	16.3	2.44	3.25	4.95	2.73, 3.24, 3.46	2
AF	50	2.98	0.08	0.54	0.29	18.17	2.15	2.96	4.73	3.015	3
AB	50	1.12	0.04	0.26	0.07	23.68	0.73	1.06	1.93	0.76, 1.00	2
AC	50	1.08	0.03	0.24	0.06	21.99	0.77	1.01	1.92	0.89, 1.19	2
BD	50	1.26	0.03	0.18	0.03	14.37	0.84	1.25	1.87	1.14, 1.31, 1.33, 1.40	2
CE	50	1.32	0.03	0.21	0.04	16.08	0.95	1.34	1.79		0
DF	50	2.17	0.06	0.41	0.17	18.87	1.54	2.11	3.89	1.87, 2.101, 2.36	2
EF	50	2.24	0.05	0.37	0.14	16.67	1.67	2.21	3.24		0

VARIABILIDAD INTRAESPECÍFICA EN *LINNARSSONIA RARA* (COOPER) (BRACHIOPODA, LINGULATA)  
DEL CÁMBRICO (MIAOLINGIANO, WULIUANO) DE SONORA CENTRAL, MÉXICO

**Tabla 4.-** Estadísticos descriptivos para la valva peduncular (El Chihuarruita), donde Var: variable, N: total de datos, EEM: Error estándar de la media,  $\sigma$ : desviación estándar,  $s^2$ : varianza, C.V.: coeficiente de variación, Min: mínimo, Me: mediana, Max: máximo, Moda: moda, N moda: frecuencia de la moda.

Var	N	$\bar{x}$	EEM	$\sigma$	$s^2$	C.V.	Min	$M_e$	Máx	R	Moda	N Moda
CB	19	2.71	0.17	0.76	0.57	27.86	1.23	2.69	4.44	3.22	2.22	2
ED	19	3.94	0.20	0.87	0.75	21.98	2.36	3.88	5.58	3.22		0
AF	19	3.60	0.17	0.74	0.55	20.65	2.18	3.65	4.71	2.53		0
AB	19	1.46	0.08	0.37	0.13	25.14	0.73	1.37	2.07	1.34	1.34, 1.65	2
AC	19	1.48	0.10	0.44	0.19	29.80	0.55	1.49	2.72	2.17		0
BD	19	1.38	0.06	0.25	0.06	18.17	0.94	1.43	1.85	0.91		0
CE	19	1.47	0.07	0.31	0.10	21.28	0.98	1.50	2.01	1.03	1.5	2
DF	19	2.60	0.12	0.54	0.29	20.58	1.58	2.51	3.61	2.03		0
EF	19	2.73	0.13	0.56	0.31	20.51	1.68	2.65	3.68	2.00		0

**Tabla 5.-** Estadísticos descriptivos para la valva braquial (El Sahuaral), donde Var: variable, N: total de datos, EEM: Error estándar de la media,  $\sigma$ : desviación estándar,  $s^2$ : varianza, C.V.: coeficiente de variación, Min: mínimo, Me: mediana, Max: máximo, Moda: moda, N moda: frecuencia de la moda.

Var	N	$\bar{x}$	EEM	$\sigma$	$s^2$	C.V.	Min	$M_e$	Máx	R	Moda	N Moda
CB	58	1.77	0.04	0.30	0.09	16.98	1.05	1.79	2.37	1.32	1.64	2
ED	58	3.03	0.06	0.47	0.22	15.38	1.92	3.04	3.83	1.91	2.81, 2.99	2
AF	58	2.82	0.06	0.47	0.22	16.58	1.74	2.85	3.98	2.24		0
AB	58	1.04	0.03	0.19	0.04	18.36	0.50	1.02	1.49	0.99	0.81, 0.89, 1.02	2
AC	58	1.13	0.15	1.13	1.27	99.58	0.69	0.97	9.47	8.78	0.68, 0.82, 0.87, 1.14	2
BD	58	1.23	0.03	0.22	0.05	18.22	0.80	1.24	1.78	0.98		0
CE	58	1.25	0.04	0.27	0.07	21.83	0.72	1.24	1.97	1.25	1.37	2
DF	58	1.95	0.04	0.31	0.09	15.76	1.22	2.00	2.55	1.33	1.85, 2.06	2
EF	58	2.12	0.04	0.34	0.12	16.06	1.35	2.12	2.84	1.49	1.96	2

**Tabla 6.-** Estadísticos descriptivos para la valva peduncular (El Sahuaral), donde Var: variable, N: total de datos, EEM: Error estándar de la media,  $\sigma$ : desviación estándar,  $s^2$ : varianza, C.V.: coeficiente de variación, Min: mínimo, Me: mediana, Max: máximo, Moda: moda, N moda: frecuencia de la moda.

Var	N	$\bar{x}$	EEM	$\sigma$	$s^2$	C.V.	Min	$M_e$	Máx	R	Moda	N
-----	---	-----------	-----	----------	-------	------	-----	-------	-----	---	------	---

VARIABILIDAD INTRAESPECÍFICA EN *LINNARSSONIA RARA* (COOPER) (BRACHIOPODA, LINGULATA)  
DEL CÁMBRICO (MIAOLINGIANO, WULIUANO) DE SONORA CENTRAL, MÉXICO

											Moda	
CB	21	1.82	0.07	0.33	0.11	18.23	1.33	1.78	2.63	1.30	0	
ED	21	3.08	0.08	0.36	0.13	11.79	2.41	2.98	3.75	1.34	0	
AF	21	2.73	0.06	0.28	0.08	10.38	2.14	2.76	3.18	1.04	0	
AB	21	1.02	0.04	0.18	0.03	17.57	0.79	0.94	1.51	0.72	0.92	2
AC	21	1.02	0.04	0.18	0.03	17.26	0.73	1.01	1.42	0.69	0	
BD	21	1.25	0.04	0.17	0.03	13.48	0.97	1.24	1.59	0.63	0	
CE	21	1.25	0.04	0.19	0.04	15.09	0.80	1.22	1.63	0.83	0	
DF	21	1.96	0.05	0.21	0.05	10.80	1.58	1.94	2.38	0.80	0	
EF	21	2.09	0.05	0.25	0.06	11.80	1.61	2.02	2.45	0.84	0	

6.1.2. VALORES EXTREMOS

Mediante gráficas de cajas y bigotes (*Boxplots*) se obtuvieron los valores extremos para las valvas braquiales y pedicelares de las muestras del Sahuaral como del Chihuarruita, tal como se observa en las figuras 10–13.

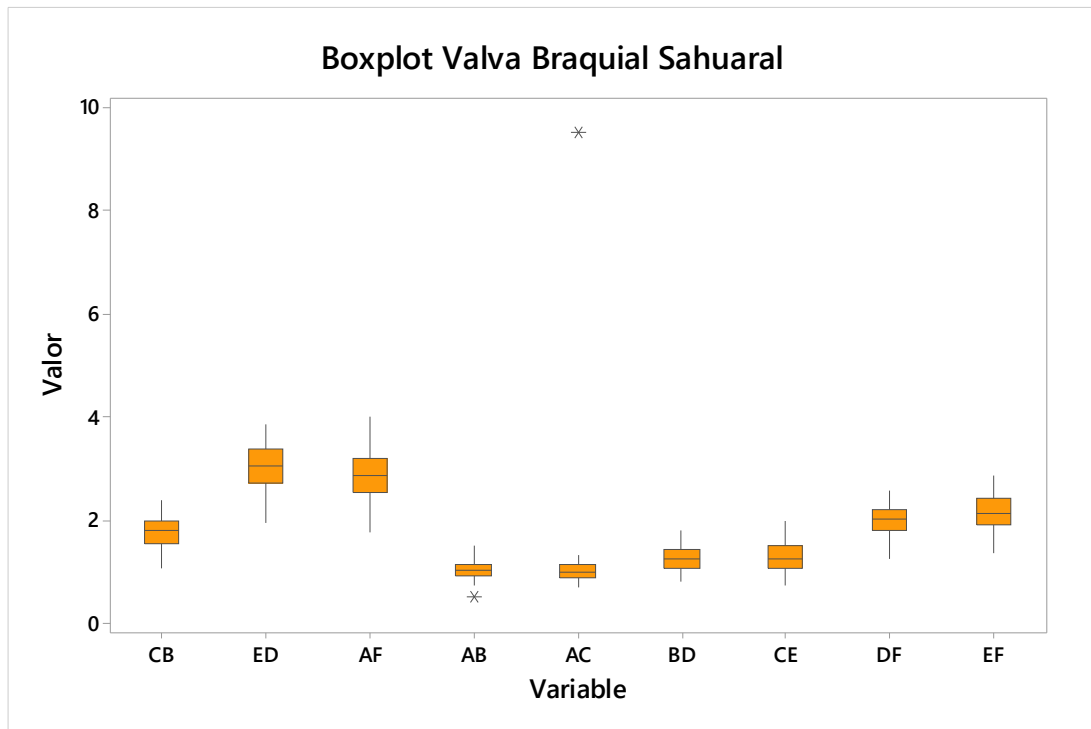


Figura 10. Boxplot para la valva braquial de *Linnarssonina rara* del área del El Sahuaral.

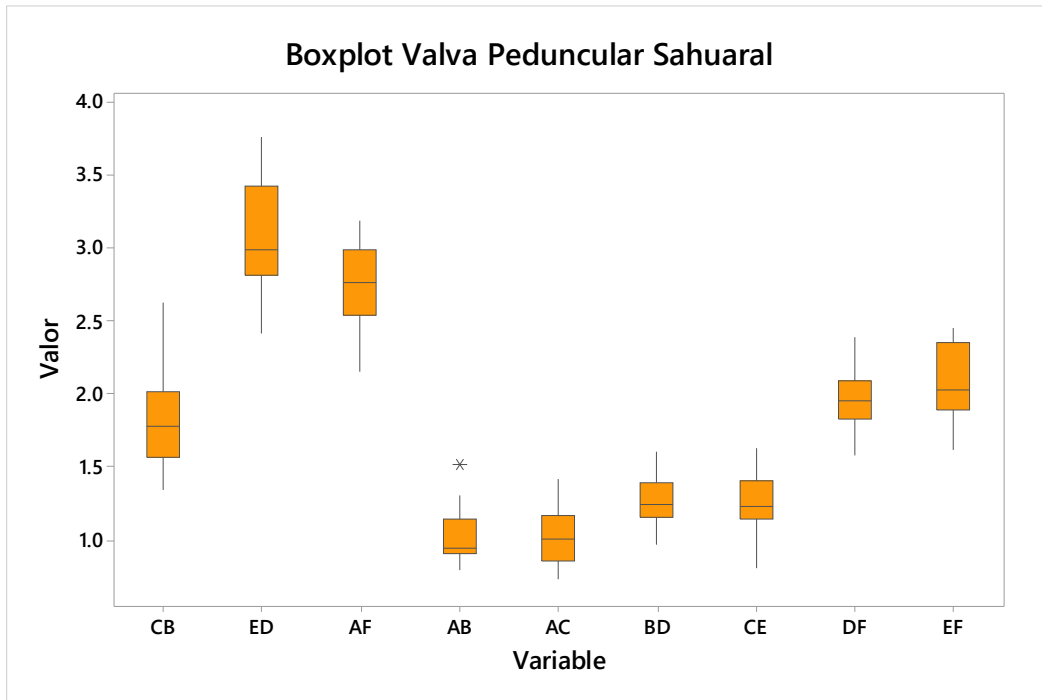


Figura 11. Boxplot para valva peduncular de *Linnarssonina rara* del área El Sahuaral.

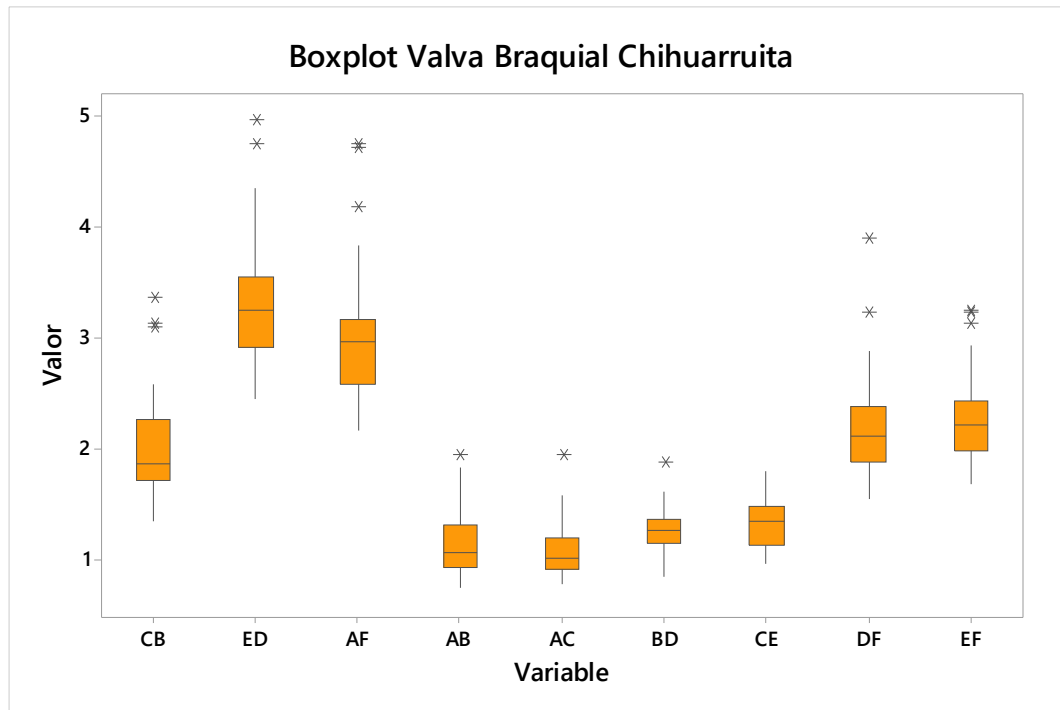
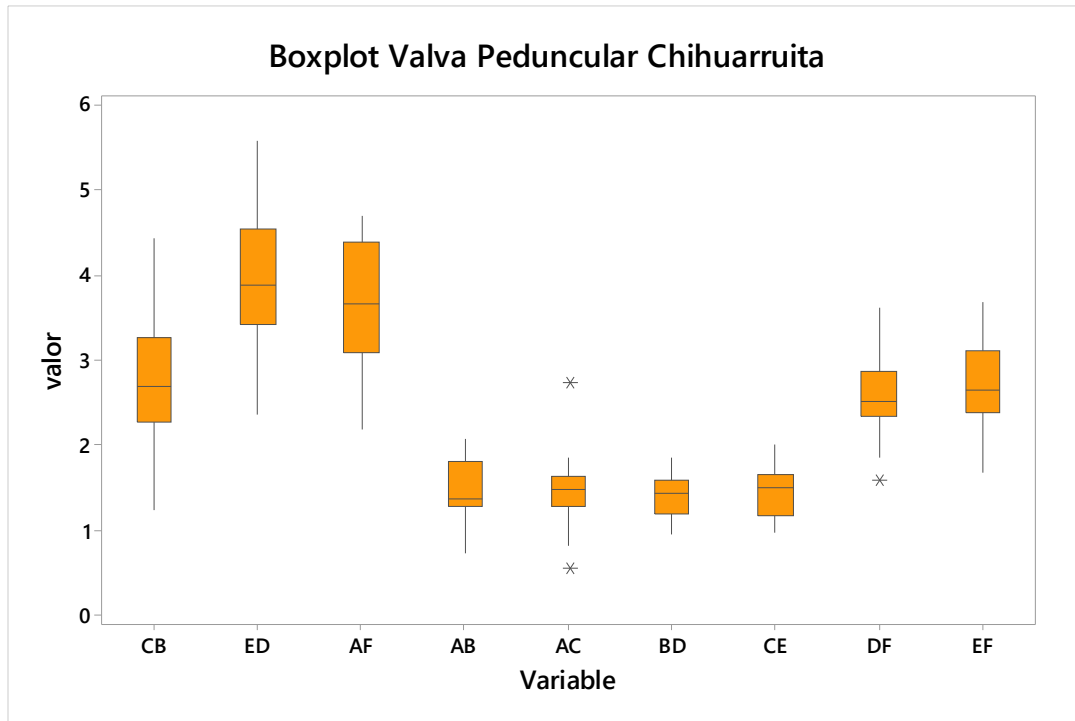


Figura 12. Boxplot para valva braquial de *Linnarssonina rara* del área El Chihuarruita.



**Figura 13.** Boxplot de para valva peduncular de *Linnarssonia rara* del área El Chihuarruita.

## 6.2. HISTOGRAMAS

Se elaboraron las estructuras de talla mediante la utilización de histogramas, donde se observa que las tallas del cerro El Chihuarruita son mayores a las tallas del cerro El Sahuaral. Los histogramas únicamente fueron elaborados para los parámetros CB- longitud del margen charnelar, ED- ancho máximo y AF- longitud total (Figuras 14-19).

### 6.2.1. EL CHIHUARRUITA



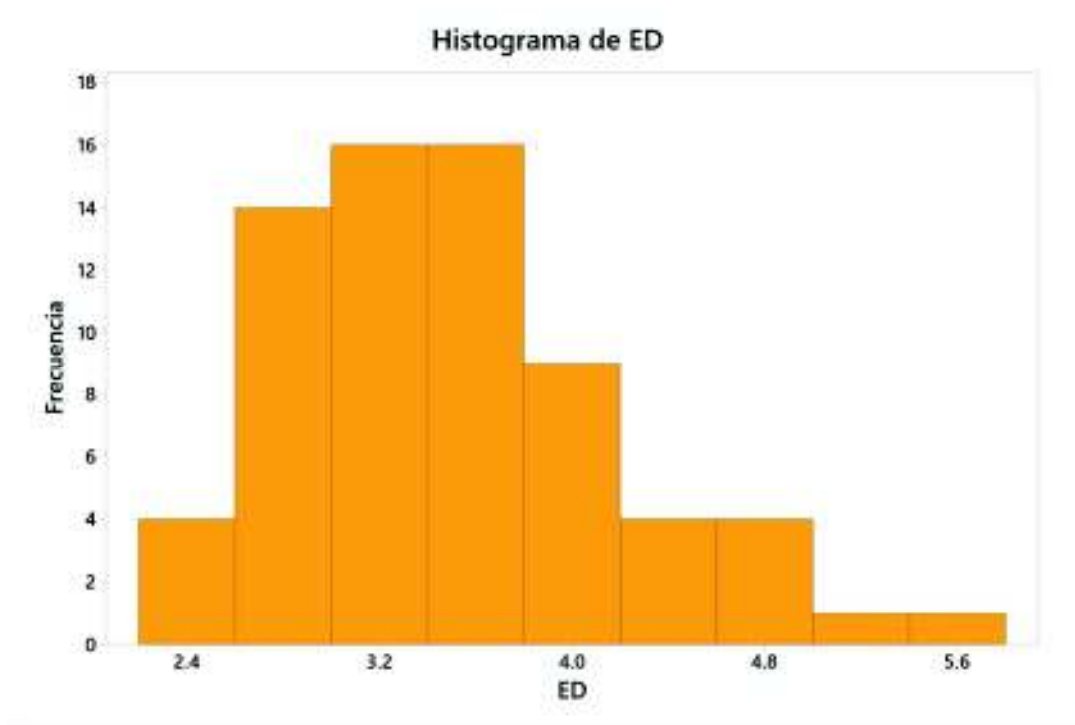


Figura 14. Histograma para ancho máximo, El Chihuarruita.

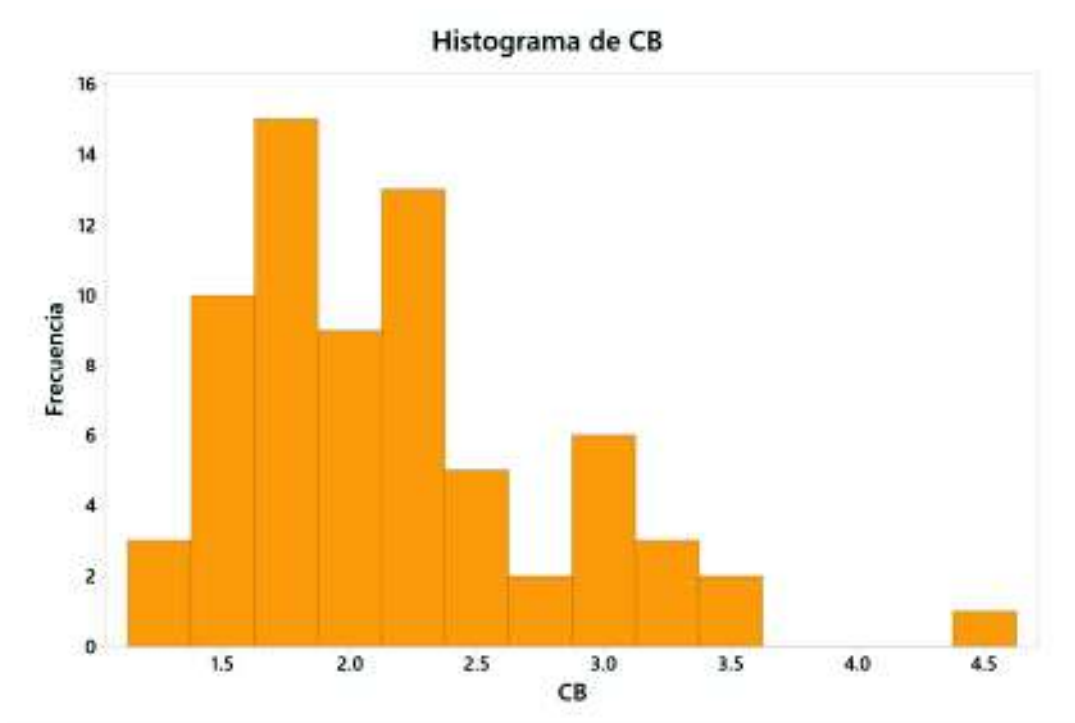


Figura 15. Histograma para CB- longitud del margen charnelar, El Chihuarruita.

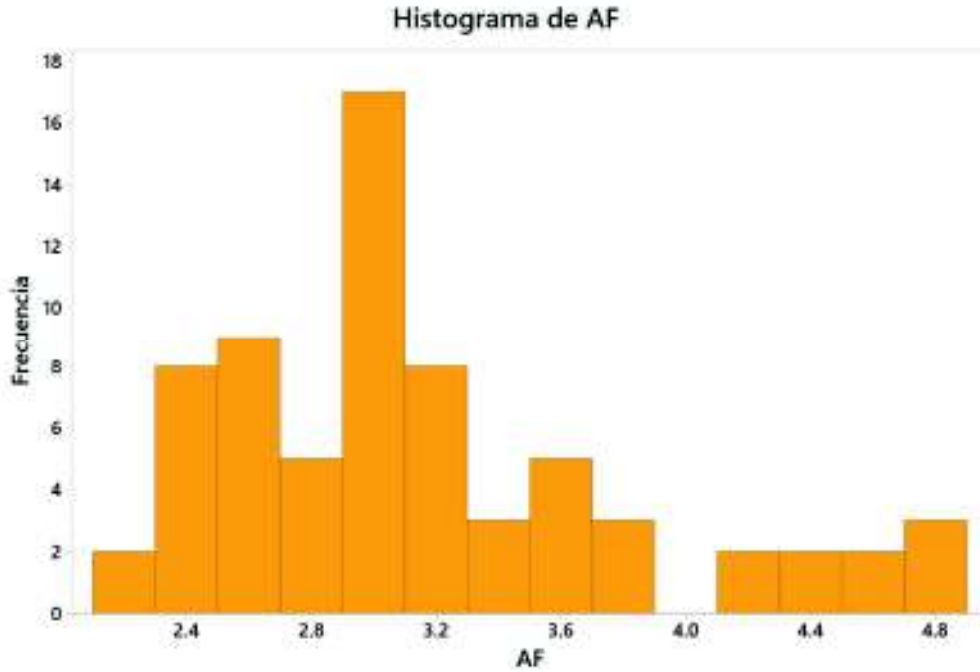


Figura 16. Histograma para AF- longitud total, El Chihuarruita.

#### 6.2.2. EL SAHUARAL

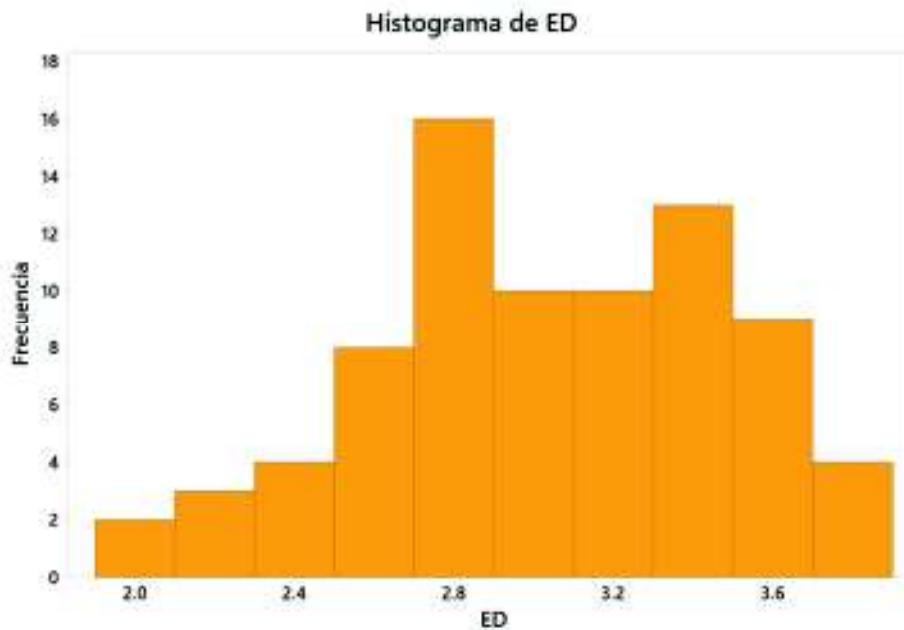


Figura 17. Histograma para ED- ancho máximo, El Sahuaral.

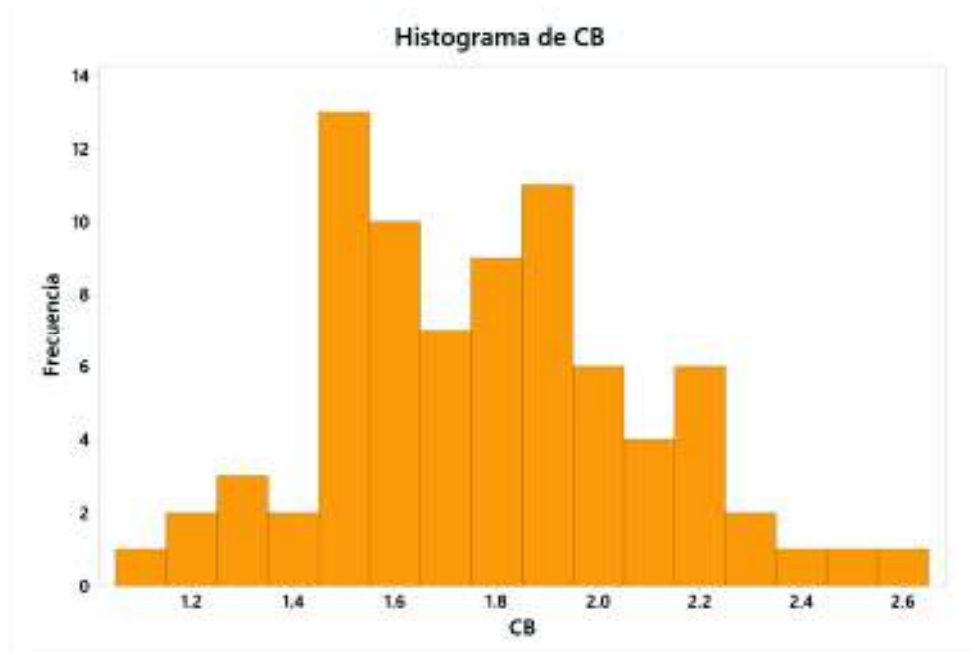


Figura 18. Histograma para CB- longitud del margen charnelar, El Sahuaral.

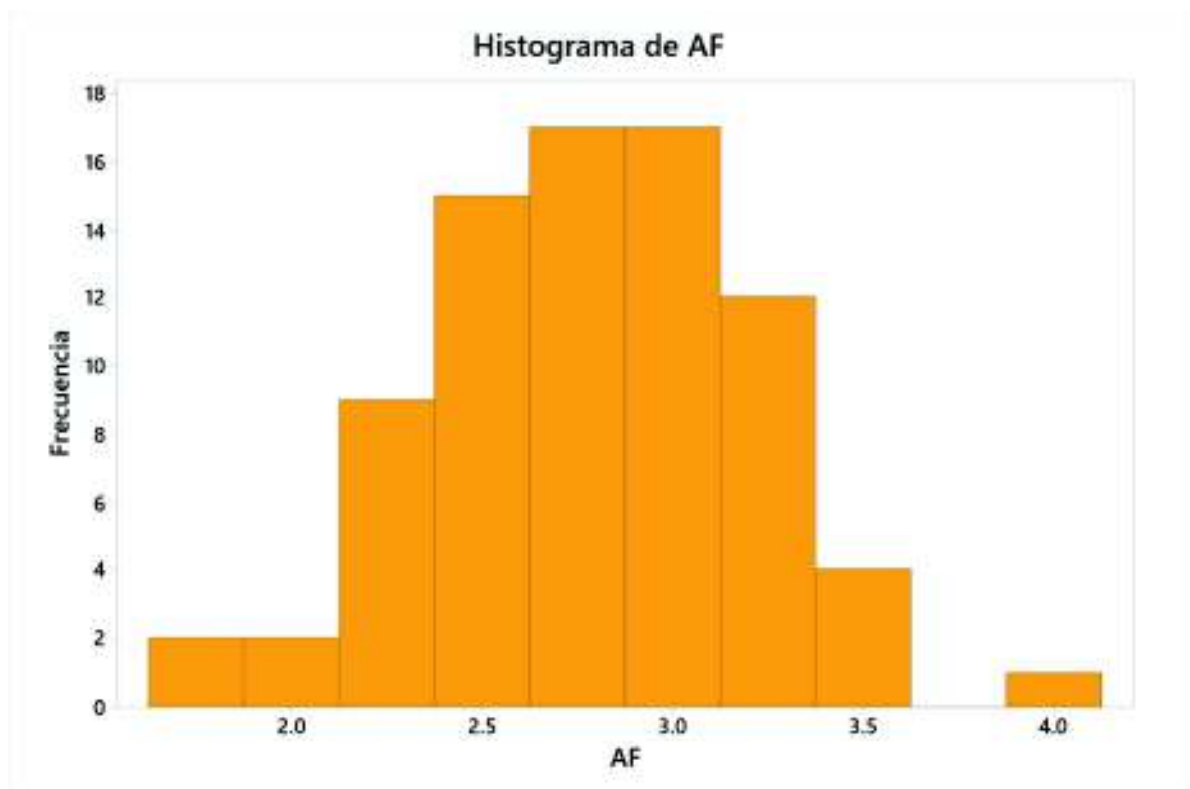


Figura 19. Histograma para AF- longitud total, El Sahuaral.

### 6.3. COMPONENTES PRINCIPALES

VARIABILIDAD INTRAESPECÍFICA EN *LINNARSSONIA RARA* (COOPER) (BRACHIOPODA, LINGULATA)  
 DEL CÁMBRICO (MIAOLINGIANO, WULIUANO) DE SONORA CENTRAL, MÉXICO

---

**Tabla 7.** Análisis de los valores y vectores propios de la matriz de correlación.

Valor propio	6.5474	1.0563	0.7064	0.2320	0.1633	0.1285	0.0806	0.0525	0.0330
Proporción	0.727	0.117	0.078	0.026	0.018	0.014	0.009	0.006	0.004
Acumulada	0.727	0.845	0.923	0.949	0.967	0.982	0.991	0.996	1.000

**Tabla 8.** Vectores propios

<b>Variable</b>	<b>PC1</b>	<b>PC2</b>	<b>PC3</b>	<b>PC4</b>
CB	0.347	-0.266	-0.342	-0.017
ED	0.379	0.030	-0.069	-0.069
AF	0.372	0.020	-0.019	-0.143
AB	0.336	-0.262	-0.411	0.348
AC	0.128	-0.760	0.630	0.075
BD	0.296	0.401	0.499	-0.229
CE	0.322	0.343	0.243	0.776
DF	0.369	0.051	0.012	-0.378
EF	0.375	0.030	-0.058	-0.224

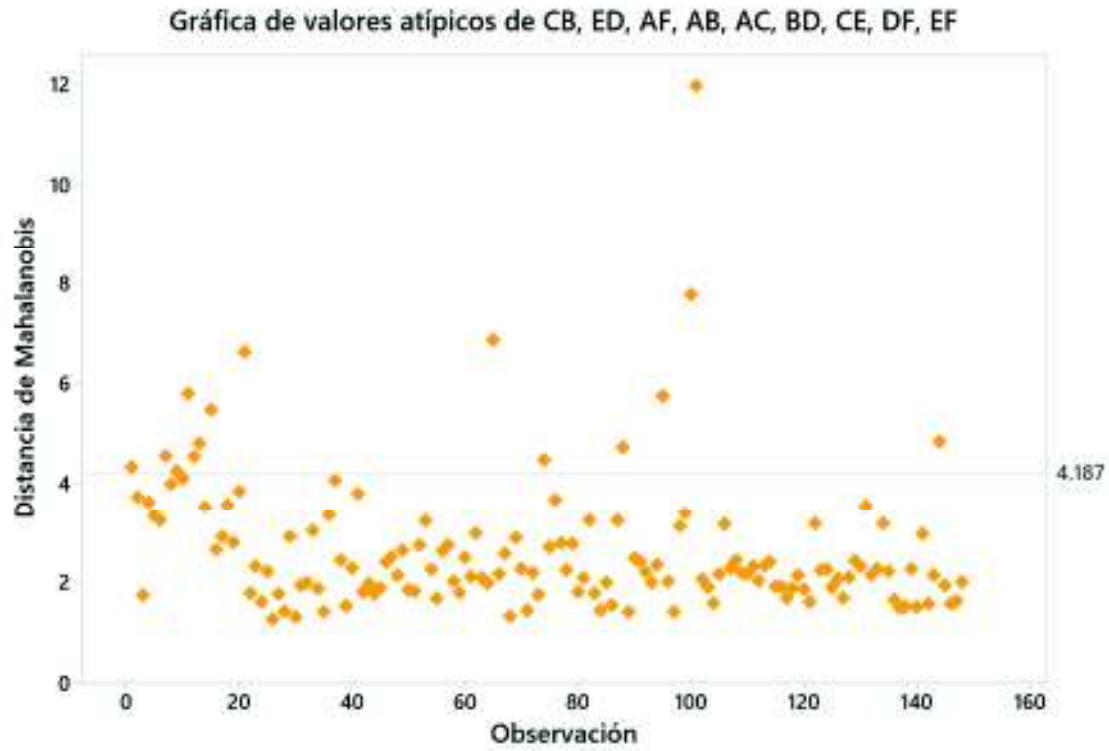


Figura 20. Gráfica de valores atípicos.

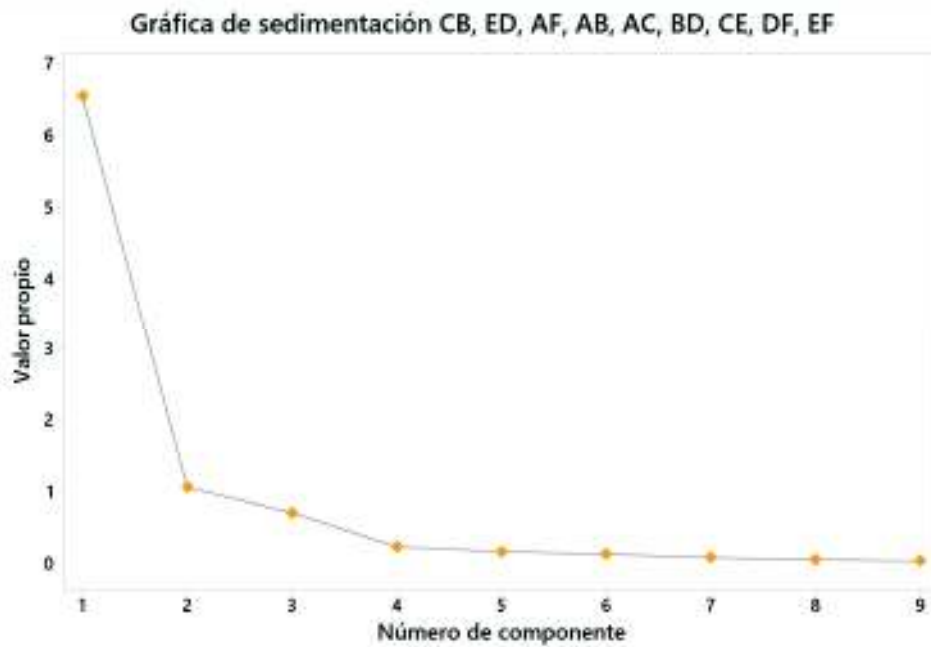


Figura 21. Gráfica de sedimentación.

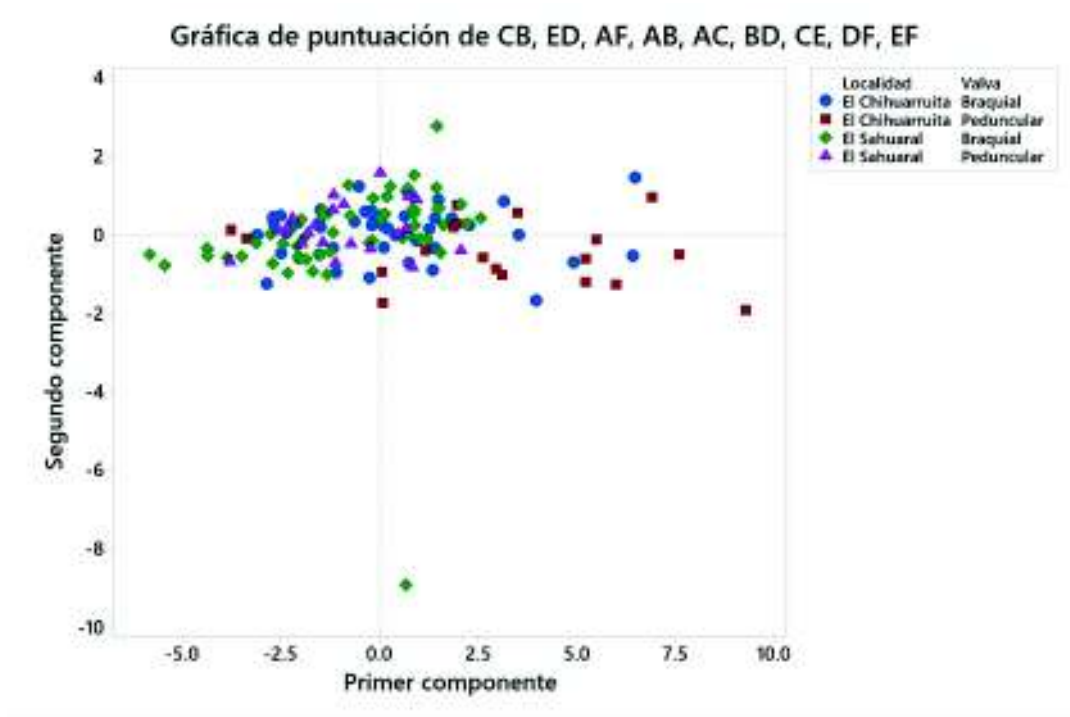


Figura 22. Gráfica de puntuación.

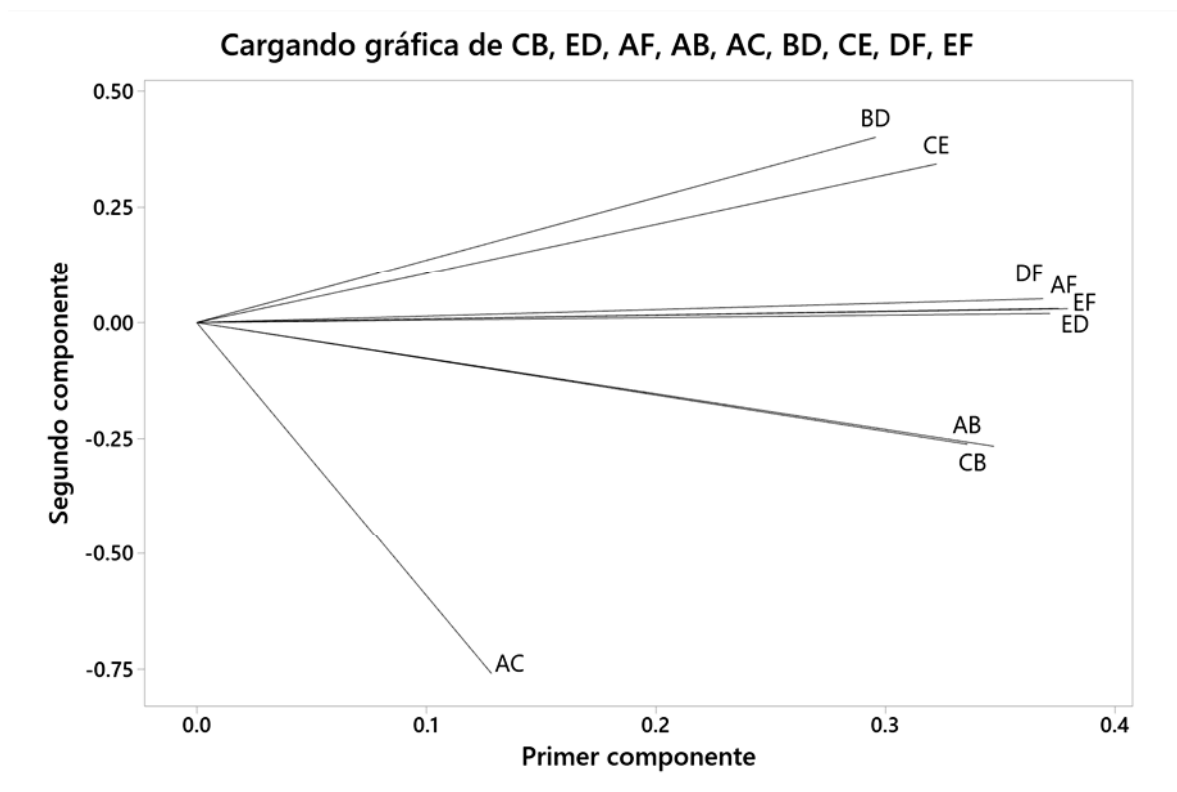


Figura 23. Gráfica de componentes principales.

## 7. CONSIDERACIONES PALEOECOLÓGICAS

Los braquiópodos han sido identificados en diversos ambientes, desempeñando un papel fundamental en la bioestratigrafía, paleobiogeografía, paleoecología, morfología funcional y paleobiología evolutiva (Kondo *et al.*, 2006). Los estudios del Cámbrico inferior de la plataforma Yangtze, Sur de China, documentan la preservación de tejidos blandos de braquiópodos, contribuyendo al entendimiento de los planes corporales y la paleoecología presente durante el Cámbrico temprano (Zhang *et al.*, 2008). El descubrimiento de tejidos blandos en braquiópodos revelan el considerable éxito evolutivo durante la rápida radiación evolutiva y adaptativa de los metazoos, esto se comprueba numéricamente debido a que se ha estimado que el 60% de los fósiles del Cámbrico corresponden a trilobites, seguido de braquiópodos con un 30% (McAlester, 1973; Cuen y Radelli, 2007). Los braquiópodos fueron un componente importante de las comunidades bentónicas marinas durante ese periodo.

Los braquiópodos corresponden a un grupo de invertebrados suspensívoros-epifaunales bentónicos. Se reporta la presencia de *Linnarssonina rara* en la Formación El Gavilán, Sonora central, en asociación con abundantes cancellóridos, braquiópodos, hiolítidos y trilobites relativamente bien preservados en una secuencia de potentes capas de lutita en intercalación con caliza, denotando un ambiente de depósito de plataforma externa hacia aguas más profundas (Cuen-Romero *et al.*, 2016; Noriega-Ruiz *et al.*, 2020). Por otro lado, la fauna documentada en la Formación Arrojos, área de Caborca, indica que el mayor número de géneros y especies de braquiópodos y trilobites se encuentra en capas de caliza, lo cual se ha interpretado como entornos de aguas poco profundas e iluminadas por el sol lo que permitía la acumulación de los carbonatos (Cooper *et al.*, 1952).

## 8. CONSIDERACIONES PALEOBIOGEOGRÁFICAS

*Linnarssonina* es un género común durante el Cámbrico, donde se han documentado faunas de braquiópodos linguliformes del Cámbrico medio en diversos sitios del mundo tales

como Australia, Rusia, Groenlandia, Reino Unido, Sur de China y Norteamérica (Walcott, 1912; Henderson y MacKinnon, 1981; Zell y Rowell, 1988; Babcock *et al.*, 2006; Cuen-Romero *et al.*, 2018; Ushatinskaya y Korovnikov, 2019) (Fig. 24). Se ha considerado que los braquiópodos y la fauna *Small Shelly Fossils* se distribuyeron en todo el mundo durante el Cámbrico temprano siendo el resultado de la explosión cámbrica y el resultado de repetidos intentos de mineralización por parte de los primeros animales (Zhang *et al.*, 2008).

*Linnarssonina rara* ha sido identificada en la Formación Arroyos (Zona de *Amecephalus arjosensis*), área de Caborca, y en la Formación El Gavilán (Zona de *Ehmaniella*) que aflora en el cerro El Sahuaral.

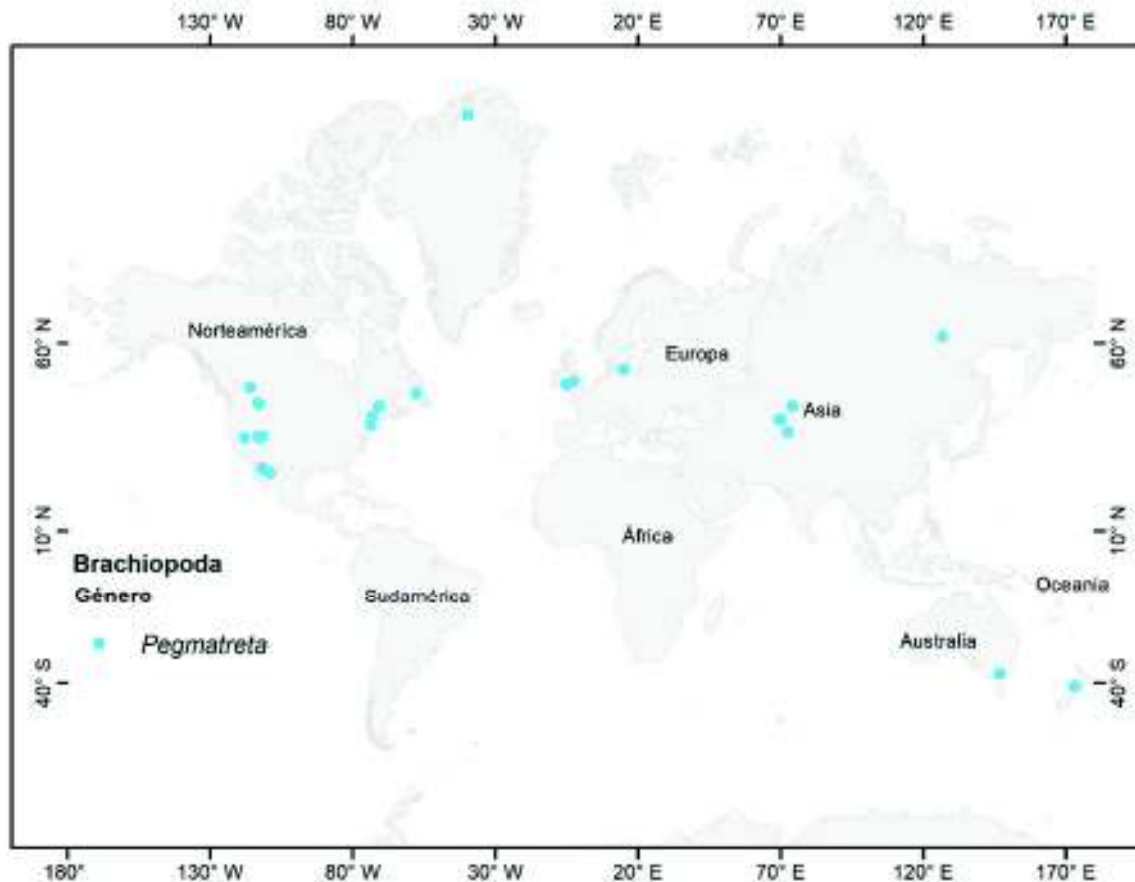


Figura 24. Distribución del género *Linnarssonina* a nivel mundial.



## 9. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Se analizó la variabilidad intraespecífica para dos poblaciones de *Linnarssonina rara* (Cooper), las cuales presentan diferencias notorias entre si. Los individuos procedentes de la Formación El Gavilán del área El Chihuarruita presentan una talla mayor en cuanto a los de la Formación El Gavilán del área El Sahuaral. Ambas localidades también presentan diferencias notorias en cuanto a la edad, pues, aunque ambas corresponden al Miaolingiano-Wuliano, la fauna de trilobites indica edades diferentes. La Formación El Gavilán corresponde a la Zona de *Mexicella mexicana* en el cerro El Chihuarruita, mientras que la Formación El Gavilán del cerro El Sahuaral, corresponde a la Zona de *Ehmaniella*. Lo anterior podría explicar la diferencia entre ambas poblaciones, lo cual se ha interpretado como cambios en estadios ontogénicos y no como variaciones ambientales o de estrés. Esta idea es reforzada porque la unidad presenta las mismas facies, incluyendo la asociación biótica en ambas localidades.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Almazán-Vázquez, E., 1989. El Cámbrico-Ordovícico de Arivechi, en la región Centro- Oriental del Estado de Sonora. Instituto de Geología, Revista, 8(1), 58-66.
- Almazán, V.E., 2002. El Cámbrico Temprano y Medio de San José de Gracia, Sonora Central, México. Unión Geofísica Mexicana, 22(2), 333.
- Babcock, L.E., Robison, R.A., 1988. Taxonomy and paleobiology of some Middle Cambrian *Scenella* (Cnidaria) and hyolithids (Mollusca) from western North America. University of Kansas Paleontological Contributions 121, 1-22.
- Babcock, L.E., Robison, R.A., Rees, M.N., Peng, S.C., Saltzman, M.R., 2006. Proposed global standard stratotype-section and point for the Drumian stage (Cambrian). International Subcommission on Cambrian Stratigraphy, 1-27.
- Barrón-Díaz, A.J., Paz-Moreno, F.A., Hagadorn, J.W., 2019. The Cerro Rajón Formation—a new lithostratigraphic unit proposed for a Cambrian (Terreneuvian) volcano-sedimentary succession from the Caborca region, northwest Mexico. Journal of South American Earth Sciences, 89, 197-210.
- Bartolini, C., Damon, P.E., Shafiqullah, M., Morales-Montaña, M., 1994. Geochronologic contributions to the Tertiary sedimentary-volcanic sequences (“Baucarit Formation”) in Sonora. México: Geofísica Internacional, 33, 67-77.
- Bell, W.C., 1941. Cambrian Brachiopoda from Montana. Journal of Paleontology 15, 193-255.
- Bengtson, S., Collins, D., 2015. Chancelloriids of the Cambrian Burgess Shale: Palaeontologia Electronica, 18, 1.6A, 1-67.
- Beresi, M. S., Buitrón-Sánchez, B., Cuen-Romero, F. J., Palafox, J. J., 2019. Escleritomos de *Chancelloria eros* y escleritos del Cámbrico medio (Serie 3, Piso 5) de Sonora central, México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 36(1), 54-63.
- Buitrón, B.E., 1992. Las rocas sedimentarias marinas del Paleozoico inferior de México y su contenido biótico. In: Gutiérrez Marco, J.C., Saavedra, J., Rábano, I. (Eds.), Paleozoico inferior de Ibero-América. Universidad de Extremadura, 193-201.
- Buitrón, B.E., D. Vachard, S. Clausen y E.C. Gómez. 2011. Moluscos del Cámbrico (Hyalolithida Syssoiev, 1957) de San José de Gracia, Sonora, Noroeste de México. Reunión Internacional de Malacología, 175.
- Buitrón-Sánchez, B., Cuen-Romero, F., Huerta-Ruiz, A., Montijo-González, A., 2017. Hiolítidos del Cámbrico (Hyalolitha) de San José de Gracia, Sonora, México. Consideraciones estratigráficas y paleogeográficas. Paleontología Mexicana 6(1), 25-34.

- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 1990. Provincias fisiográficas de México. Carta 1:4000000.
- Cooper, G.A., Arellano, A.R.V., 1946. Stratigraphy near Caborca, northwest Sonora, México. *Bulletin American Association Petroleum Geologists*. 30(4), 606-611.
- Cooper, G.A., Arellano, A.R.V., Johnson J. H., Okulitch, V.J., Stoyanow. A., Lochman, C., 1952. Cambrian Stratigraphy and Paleontology near Caborca, northwestern Sonora, México. *Smithsonian Miscellaneous Collections*. 119(1), 1-184.
- Cooper, G.A., 1952. Brachiopoda. In: Cooper, G.A., Arellano, A.R.V., Johnson, J.H., Okulitch, V.J., Stoyanow, Alexander, Lochman, Christina (Eds.), *Cambrian Stratigraphy and Paleontology Near Caborca, Northwestern Sonora, Mexico*. *Smithsonian Miscellaneous Collections*. 119(1), 1-184.
- Cooper, G.A., Arellano, A.R.V., Johnson, J.H., Okulitch, V.J., Stoyanow, A., Lochman, C., 1956. Geología y paleontología de la region de Caborca, norponiente de Sonora [Geology and paleontology of the Caborca region, northwestern Sonora, Mexico]. In: *Congreso Geologico Internacional, 20th*. Mexico, pt. 13, 239 pp.
- Cuen-Romero, F. J., L. Radelli. 2007. Un problema estratigráfico en el Cámbrico y Precámbrico de Caborca. 6 p. En: Montijo-González, A. (Eds). *Resúmenes de la XXXI Semana Cultural de Geología*. 26 al 30 de mayo de 2007. Hermosillo, Sonora, México.
- Cuen, R.F., Almazán-Vázquez, E., Montijo, G.A., Minjárez, S.I., Grijalva, N.F., Monreal, S.R., Schwennicke, T., Ochoa. G., 2009. Faunas marinas de invertebrados del Cámbrico temprano y medio en la parte central del estado de Sonora, México. *Unión Geofísica Mexicana*. 29(1), 91.
- Cuen, F. J., Beresi, M. S., Montijo, A., Buitrón, B.E., Minjárez, I., De la O, M., Palafox, J.J., 2013. *Chancelloria* Walcott, 1920 y *Reticulosa* Reid, 1958 del Cámbrico medio de San José de Gracia, Sonora, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 65(3):581-590.
- Cuen-Romero, F.J., Valdez-Holguín, J.E., Buitrón, B.E., Monreal, R., Sundberg, F., Montijo-González, A., Minjarez-Sosa, I., 2016. Cambrian Stratigraphy of San José de Gracia, Sonora, Mexico: El Gavilán Formation, a new lithostratigraphic unit of middle Cambrian open shelf environment. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 68(3), 429-441.
- Cuen-Romero, F.J., Valdez-Holguín, J.E., Buitrón-Sánchez, B.E., Monreal, R., Enríquez-Ocaña, L.F., Aguirre-Hinojosa, E., Ochoa-Granillo, J.A., Palafox-Reyes, J.J., 2018. Trilobite-based biostratigraphy (arthropoda-trilobita) and related faunas of the Cambrian from Sonora, Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 83, 227-236.

- Cuen-Romero, F.J., Reyes-Montoya, D.R., Noriega-Ruiz, H.A., 2020. El Paleozoico inferior de Sonora, México: 120 años de investigación paleontológica. *Paleontología Mexicana*, 9(1), 21-35.
- Damon, P.E., Shafiqullah, M., Roldan-Quintana, J., Cochemé, J.J., 1983. El batolito Laramide (90-40 Ma) de Sonora: Guadalajara. Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México (AIMMGM), Memoria técnica XV, 63-95.
- García, E., 1998. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), (1998). 'Climas' (clasificación de Köppen, modificado por García). Escala 1: 1 000 000. México. Climas.
- González-León, C., 1986. Estratigrafía del Paleozoico de la Sierra del Tule, noreste de Sonora: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 6(2), 117-135.
- Henderson, R.A., MacKinnon, D.I., 1981. New Cambrian inarticulate Brachiopoda from Australasia and the age of the Tasman Formation. *Alcheringa*, 5, 289-309.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2001. Carta H12-D32, escala 1:50000.
- Johnpeer, G.D., 1977. Reconnaissance geology and petrology of the Guaymas area, Sonora, Mexico: Tempe, Arizona State University, M. Sc. thesis, 67 p.
- Kondo, Y., Kozai, T., Kikuchi, N., Sugawara, S., 2006. Ecologic and taxonomic diversification in the Mesozoic brackish-water bivalve faunas in Japan, with emphasis on infaunalization of heterodonts. *Gondwana Research*, 10, 316-327.
- Lochman, C., 1948. New Cambrian trilobite genera from northwest Sonora, Mexico: *Journal of Paleontology*, 22, 451-464.
- Lochman, C., 1952. Trilobites, in Cooper, G.A., Arellano, A., Johnson, J., Okulitch, J., Stoyanow, A. (Eds.), *Cambrian stratigraphy and paleontology near Caborca, northwestern Sonora, México: Smithsonian Miscellaneous Collections*, 119, 60-107.
- Maytorena-Silva, J.F., Esparza-Yañez, F.A. 1990. The Cambrian succession of central Sonora: Tectonic implications. *Geological Society of America. Abstracts with ptograms* 22(3), 65.
- McAlester, A.L., 1973. *La historia de la Vida*. Omega. Barcelona, España.
- McDowell, F.W., Roldán, Q.J., Amaya, M.R., González, C.M., 1994. The Tarahumara Formation a neglected component of the Laramide magmatic arc in Sonora: *GEOS. Boletín de la Unión Geofísica Mexicana*, Epoca II, 12(5), 76.

- McDowell, F.W., Roldán-Quintana, J., Amaya-Martínez, R., 1997. Interrelationship of sedimentary and volcanic deposits associated with Tertiary extension in Sonora, Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, 109(10), 1349-1360.
- Nardin, E., Almazán-Vásquez, E., Buitrón-Sánchez, B.E., 2009. First report of *Gogia* (Eocrinoidea – Echinodermata) from the EarlyMiddle Cambrian of Sonora (Mexico), with biostratigraphical and palaeoecological comments: *Geobios*, 42(2), 233-242.
- Noriega-Ruiz, H.A., Cuen-Romero, F.J., Enríquez-Ocaña, L.F., Sundberg, F.A., Monreal, R., Varela-Romero, A., Palafox-Reyes, J.J, Grijalva-Noriega, F. J., 2020. Cambrian stratigraphy (Series 2 to Miaolingian) of the El Sahuaral area in central Sonora, Mexico: Biostratigraphic implications. *Journal of South American Earth Sciences*, 102797.
- Peel, J.S., Streng, M., Geyer, G., Kouchinsky, A., Skovsted, C.B., 2016. 'Ovatoryctocara granulata' assemblage (Cambrian Series 2-Series 3 boundary) of LØndal, North Greenland. *Australasian Palaeontological Memoirs*, (49), 241-282.
- Pemberton, S.G., 1992. Trace fossil facies models: environmental and allostratigraphic significance. *Facies models: response to sea level change*, 47-72.
- Resser, C.E. 1928. Cambrian fossils from the Mohave Desert. *Smithsonian Miscellaneous Collections* 21(2), 1-14.
- Rivera-Carranco, E., 1988. Condiciones paleoambientales de depósito de las formaciones cámbricas del área de Caborca, Sonora. *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Rev. Rev. Interam.* 07(1), 22-27.
- Rowell, A.J., 1966. Revision of some Cambrian and Ordovician inarticulate brachiopods. *University of Kansas Paleontological Contributions* 7, 1-36.
- Rowell, A.J., Henderson, R.A., 1978. New genera of acrotretids from the Cambrian of Australia and the United States. *University of Kansas Paleontological Contributions* 93, 1-11.
- Servicio Geológico Mexicano, 2011. Carta Geológico-Minera y Geoquímica Carbó H12-D21 escala 1: 50 000, Estado de Sonora.
- Stewart, J.H., Poole, F.G., 2002, Inventory of Neoproterozoic and Paleozoic strata in Sonora, Mexico. *U.S. Geological Survey Open-File Report* 02-97, 50 p.
- Ushatinskaya, G.T., Korovnikov, I.V., 2019. Revision of the Early and Middle Cambrian Acrotretids (Brachiopoda, Linguliformea) from the Siberian Platform. *Paleontological Journal*, 53(7), 689-714.
- Walcott, C.D., 1885. Paleontologic notes. *American Journal of Science (Third series)* 29, 114-117.

- Walcott, C.D., 1912. Cambrian Brachiopoda. United States Geological Survey Monograph 51, 872, 363.
- Walcott, C.D., 1920. Middle Cambrian Spongiae: Smithsonian Miscellaneous Collections, 67(6), 261-364.
- Webster, M., 2011. Trilobite biostratigraphy and sequence stratigraphy of the upper Dyeran (Traditional Laurentian “lower Cambrian”) in the southern Great Basin, U.S.A. In: Hollingsworth, J.S., Sundberg, F.A. and Foster, J.R. (Eds.), Cambrian Stratigraphy and Paleontology of Northern and Southern Nevada. Western Nevada and Eastern California. Museum of Northern Arizona, Bulletin 67, 121-154.
- Zell, M.G., Rowell, A.J., 1988. Brachiopods of the Holm Dal Formation (late Middle Cambrian), central North Greenland. Meddelelser om Grønland, Geoscience 20, 119-144.
- Zhang, Z., Robson, S.P., Emig, C., Shu, D., 2008. Early Cambrian radiation of brachiopods: A perspective from South China. Gondwana Research, 14(1-2), 241-254.

VARIABILIDAD INTRAESPECÍFICA EN *LINNARSSONIA RARA* (COOPER) (BRACHIOPODA, LINGULATA)  
DEL CÁMBRICO (MIAOLINGIANO, WULIUANO) DE SONORA CENTRAL, MÉXICO

11. ANEXO

**Tabla 9.** Hitos utilizados para los análisis estadísticos y el cálculo de variabilidad intraespecífica, donde CB corresponde a la longitud del margen charnelar, ED ancho máximo, AF longitud total del espécimen, AB, AC, BD, CE, DF, EF también se tomaron como parte de la forma del individuo.

Muestra	Localidad	Valva	CB	ED	AF	AB	AC	BD	CE	DF	EF
1	El Chihuarruita	Braquial	3.346	4.158	3.687	1.825	1.923	1.461	1.272	2.477	2.754
2	El Chihuarruita	Peduncular	2.647	3.272	2.814	1.268	1.567	1.024	1.033	2.022	2.464
3	El Chihuarruita	Peduncular	2.686	3.821	3.507	1.444	1.487	1.391	1.362	2.509	2.646
4	El Chihuarruita	Peduncular	2.966	4.139	3.095	1.656	1.509	1.337	1.501	2.405	2.596
5	El Chihuarruita	Peduncular	3.262	4.547	3.832	1.819	1.634	1.578	1.578	2.813	2.963
6	El Chihuarruita	Peduncular	2.928	4.388	4.388	1.656	1.624	1.592	1.648	2.857	3.294
7	El Chihuarruita	Peduncular	3.303	4.439	4.439	1.958	1.448	1.198	1.642	2.738	3.001
8	El Chihuarruita	Peduncular	3.393	4.605	4.605	1.863	1.848	1.429	1.501	3.087	3.105
9	El Chihuarruita	Peduncular	3.109	3.877	3.722	1.348	1.674	1.299	1.367	2.575	2.854
10	El Chihuarruita	Peduncular	3.458	4.988	4.526	1.912	1.809	1.502	1.928	3.291	3.679
11	El Chihuarruita	Braquial	3.078	4.341	4.704	1.648	1.518	1.395	1.491	2.527	3.217
12	El Chihuarruita	Braquial	3.119	4.729	4.729	1.926	1.571	1.496	1.658	3.214	3.123
13	El Chihuarruita	Peduncular	2.293	2.938	3.065	1.272	1.055	1.042	1.039	2.498	2.339
14	El Chihuarruita	Peduncular	2.381	3.412	3.225	1.311	1.472	1.517	1.161	2.135	2.379
15	El Chihuarruita	Peduncular	2.955	5.147	4.104	1.373	1.583	1.845	1.768	3.571	3.656
16	El Chihuarruita	Braquial	2.569	3.971	3.823	1.323	1.517	1.512	1.451	2.875	2.917
17	El Chihuarruita	Braquial	1.744	3.468	3.015	1.139	1.108	1.316	1.427	2.511	2.242
18	El Chihuarruita	Braquial	2.211	3.468	3.468	1.078	1.356	1.355	1.458	2.461	2.238
19	El Chihuarruita	Peduncular	2.499	4.001	3.653	1.445	1.468	1.587	1.844	2.462	2.608
20	El Chihuarruita	Peduncular	2.227	3.664	3.107	1.348	1.219	1.661	1.579	2.371	2.248
21	El Chihuarruita	Peduncular	4.441	5.575	4.709	2.067	2.717	1.494	2.012	3.607	3.489
22	El Chihuarruita	Braquial	2.051	3.219	2.937	1.102	1.111	1.289	1.361	2.272	2.196
23	El Chihuarruita	Braquial	2.288	3.362	2.818	1.240	1.333	1.146	1.010	2.101	2.135
24	El Chihuarruita	Braquial	2.028	3.172	3.076	1.196	1.157	1.128	1.339	2.186	2.252
25	El Chihuarruita	Braquial	1.744	3.494	3.071	0.908	0.985	1.441	1.468	2.372	2.475
26	El Chihuarruita	Braquial	1.842	3.382	2.954	1.061	0.956	1.283	1.407	2.140	2.228
27	El Chihuarruita	Braquial	2.275	3.533	3.020	1.321	1.248	1.321	1.429	2.087	2.276
28	El Chihuarruita	Braquial	1.875	3.008	2.529	1.100	1.005	1.086	1.076	1.874	1.946
29	El Chihuarruita	Peduncular	2.227	3.483	3.697	1.129	1.269	1.426	1.374	2.620	2.655
30	El Chihuarruita	Peduncular	2.264	3.705	3.394	1.276	1.332	1.430	1.513	2.349	2.440
31	El Chihuarruita	Peduncular	1.226	2.356	2.178	0.812	0.549	0.939	1.036	1.580	1.682
32	El Chihuarruita	Braquial	2.315	3.525	3.015	1.346	1.148	1.114	1.230	2.364	2.350
33	El Chihuarruita	Braquial	1.502	2.894	2.402	0.817	0.767	0.934	1.192	1.874	1.972
34	El Chihuarruita	Braquial	1.752	2.914	2.530	0.909	0.948	1.239	1.229	1.930	1.865
35	El Chihuarruita	Braquial	1.667	2.965	2.589	1.007	0.833	1.221	1.137	1.816	2.033

VARIABILIDAD INTRAESPECÍFICA EN *LINNARSSONIA RARA* (COOPER) (BRACHIOPODA, LINGULATA)  
DEL CÁMBRICO (MIAOLINGIANO, WULIUANO) DE SONORA CENTRAL, MÉXICO

36	El Chihuarruita	Braquial	1.900	3.151	3.151	0.872	1.216	1.207	1.362	2.342	2.419
37	El Chihuarruita	Braquial	2.212	3.984	3.058	1.204	1.194	1.408	1.535	2.167	2.778
38	El Chihuarruita	Braquial	2.275	3.865	3.350	1.466	1.044	1.316	1.620	2.379	2.596
39	El Chihuarruita	Braquial	1.787	3.220	2.913	0.994	0.966	1.408	1.259	2.176	2.171
40	El Chihuarruita	Braquial	2.064	3.596	3.298	1.052	1.160	1.611	1.413	2.364	2.472
41	El Chihuarruita	Braquial	2.270	3.726	3.031	1.462	1.120	1.079	1.603	2.400	2.306
42	El Chihuarruita	Braquial	2.105	3.161	3.180	1.232	1.174	1.331	1.350	2.003	2.258
43	El Chihuarruita	Braquial	1.750	3.086	2.941	0.922	0.988	1.264	1.216	2.002	2.336
44	El Chihuarruita	Braquial	1.591	2.845	2.365	0.943	0.817	1.146	1.265	1.747	1.785
45	El Chihuarruita	Braquial	1.431	2.686	2.486	0.731	0.824	1.206	1.113	1.810	1.781
46	El Chihuarruita	Braquial	2.242	3.245	3.015	1.284	1.175	1.331	1.480	2.033	2.186
47	El Chihuarruita	Braquial	1.792	3.483	2.738	1.010	1.002	1.214	1.421	2.101	2.274
48	El Chihuarruita	Braquial	1.727	2.730	2.463	1.003	0.940	0.994	1.105	1.597	1.729
49	El Chihuarruita	Braquial	1.736	3.462	3.282	0.997	1.020	1.380	1.569	2.384	2.279
50	El Chihuarruita	Braquial	1.849	2.733	2.517	1.047	0.973	1.015	1.061	1.857	1.821
51	El Chihuarruita	Braquial	1.475	2.489	2.303	0.822	0.779	1.049	1.035	1.738	1.671
52	El Chihuarruita	Braquial	1.988	2.964	2.777	1.319	0.989	0.999	1.028	2.005	1.974
53	El Chihuarruita	Braquial	1.803	2.681	2.152	0.985	1.194	0.841	0.955	1.545	2.001
54	El Chihuarruita	Braquial	2.503	3.657	3.114	1.378	1.329	1.198	1.190	2.488	2.457
55	El Chihuarruita	Braquial	1.428	2.804	2.514	0.821	0.897	1.136	1.087	1.788	2.008
56	El Chihuarruita	Peduncular	1.271	2.412	2.346	0.728	0.821	0.954	0.980	1.853	1.781
57	El Chihuarruita	Braquial	1.607	3.031	3.045	0.964	0.889	1.197	1.384	2.197	2.399
58	El Chihuarruita	Braquial	1.333	2.699	2.400	0.762	0.777	1.233	0.995	1.744	1.861
59	El Chihuarruita	Braquial	1.382	2.730	2.392	0.762	0.825	1.204	1.023	1.727	1.822
60	El Chihuarruita	Braquial	1.892	3.395	2.664	1.177	0.866	1.169	1.488	2.077	2.163
61	El Chihuarruita	Braquial	1.546	3.063	2.854	0.851	0.864	1.369	1.520	2.074	2.138
62	El Chihuarruita	Braquial	1.398	2.724	2.956	0.833	0.897	1.253	1.226	2.116	1.892
63	El Chihuarruita	Braquial	2.275	4.080	3.590	1.294	1.182	1.503	1.743	2.648	2.724
64	El Chihuarruita	Braquial	1.381	2.441	2.624	0.848	0.796	1.071	1.114	1.696	1.898
65	El Chihuarruita	Braquial	2.379	4.950	4.165	1.464	1.368	1.865	1.791	3.887	3.240
66	El Chihuarruita	Braquial	2.088	3.550	3.192	1.308	0.951	1.265	1.590	2.387	2.432
67	El Chihuarruita	Braquial	1.754	3.400	2.698	1.027	0.953	1.306	1.401	2.144	1.983
68	El Chihuarruita	Braquial	1.848	3.245	2.962	1.113	1.008	1.330	1.242	2.062	2.165
69	El Chihuarruita	Braquial	1.769	3.279	2.599	1.003	1.288	1.245	1.062	1.962	1.929
70	El Sahuaral	Peduncular	2.627	3.751	3.180	1.506	1.208	1.287	1.482	2.377	2.451
71	El Sahuaral	Peduncular	1.776	2.878	2.452	0.974	0.959	1.132	1.077	1.811	1.843
72	El Sahuaral	Peduncular	2.477	3.611	3.017	1.220	1.417	1.214	1.194	2.229	2.422
73	El Sahuaral	Peduncular	2.122	3.240	2.895	1.074	1.195	1.201	1.202	1.992	2.323
74	El Sahuaral	Braquial	2.007	3.295	3.013	1.486	0.878	1.183	1.438	1.889	2.482
75	El Sahuaral	Braquial	1.542	2.669	2.515	1.010	0.954	0.841	1.067	1.634	1.889
76	El Sahuaral	Braquial	2.285	3.833	2.861	1.095	1.288	1.431	1.146	2.354	2.540
77	El Sahuaral	Braquial	2.165	3.217	3.308	1.315	1.230	1.327	1.501	1.969	2.180
78	El Sahuaral	Peduncular	1.546	2.697	2.212	0.919	0.773	1.037	1.223	1.616	1.901



VARIABILIDAD INTRAESPECÍFICA EN *LINNARSSONIA RARA* (COOPER) (BRACHIOPODA, LINGULATA)  
DEL CÁMBRICO (MIAOLINGIANO, WULIUANO) DE SONORA CENTRAL, MÉXICO

79	El Sahuaral	Braquial	1.640	2.338	2.403	0.857	0.965	1.111	1.049	1.465	1.613
80	El Sahuaral	Braquial	2.191	3.799	3.487	1.313	1.186	1.341	1.567	2.551	2.568
81	El Sahuaral	Peduncular	1.504	2.407	2.143	0.848	0.912	0.966	0.799	1.578	1.607
82	El Sahuaral	Peduncular	1.586	3.489	2.746	0.849	0.851	1.594	1.453	2.050	2.271
83	El Sahuaral	Peduncular	2.047	3.414	3.031	1.078	1.089	1.243	1.255	2.380	2.435
84	El Sahuaral	Peduncular	1.609	2.929	2.604	0.853	1.039	1.257	1.132	1.844	2.023
85	El Sahuaral	Braquial	1.747	2.671	2.671	0.956	0.973	1.006	0.985	1.871	2.039
86	El Sahuaral	Braquial	1.974	3.494	3.045	1.114	1.145	1.447	1.497	2.260	2.243
87	El Sahuaral	Peduncular	1.744	3.077	2.757	1.300	1.006	0.989	1.136	1.872	2.080
88	El Sahuaral	Braquial	1.516	3.353	3.482	0.836	0.814	1.780	1.974	2.225	2.316
89	El Sahuaral	Peduncular	1.792	2.984	2.666	0.936	1.146	1.168	1.146	1.910	1.957
90	El Sahuaral	Peduncular	1.864	3.575	3.018	0.922	1.189	1.518	1.496	2.188	2.372
91	El Sahuaral	Braquial	2.242	3.772	3.593	1.314	1.152	1.466	1.474	2.520	2.841
92	El Sahuaral	Braquial	1.880	3.366	2.775	1.167	0.888	1.293	1.379	1.996	2.337
93	El Sahuaral	Peduncular	1.471	2.769	2.427	0.789	0.821	1.242	1.047	1.845	2.003
94	El Sahuaral	Peduncular	1.984	3.333	3.139	1.160	1.074	1.484	1.625	2.101	2.242
95	El Sahuaral	Braquial	1.543	3.227	3.980	0.965	0.866	1.470	1.372	2.048	2.518
96	El Sahuaral	Braquial	1.849	3.135	2.527	0.985	1.042	1.178	1.309	1.833	1.989
97	El Sahuaral	Peduncular	1.893	3.022	2.662	1.114	1.224	1.205	1.278	1.943	2.119
98	El Sahuaral	Peduncular	1.779	2.834	2.774	0.882	1.004	1.382	1.412	1.984	1.910
99	El Sahuaral	Peduncular	1.332	2.852	2.852	1.017	0.831	1.394	1.378	1.950	1.795
100	El Sahuaral	Braquial	1.787	2.427	3.072	0.999	1.041	1.379	1.638	2.145	2.547
101	El Sahuaral	Braquial	1.925	2.939	2.934	1.136	9.469	1.182	1.102	2.049	2.082
102	El Sahuaral	Braquial	1.847	2.697	2.503	1.092	1.010	0.929	0.973	1.788	1.782
103	El Sahuaral	Braquial	1.875	3.455	3.219	1.194	1.055	1.395	1.505	2.113	2.390
104	El Sahuaral	Peduncular	1.709	2.790	2.592	0.941	0.979	1.245	1.083	1.806	1.882
105	El Sahuaral	Braquial	1.502	2.819	2.838	0.860	0.873	1.288	1.194	2.066	1.918
106	El Sahuaral	Braquial	1.050	1.924	1.869	0.496	0.770	0.798	0.722	1.221	1.426
107	El Sahuaral	Braquial	1.513	2.373	2.197	0.792	0.947	0.940	0.922	1.481	1.551
108	El Sahuaral	Braquial	1.239	2.017	1.740	0.716	0.785	0.810	0.739	1.269	1.354
109	El Sahuaral	Braquial	1.291	2.156	2.157	0.810	0.902	0.974	0.827	1.343	1.531
110	El Sahuaral	Braquial	1.820	3.223	3.179	0.957	1.131	1.449	1.235	2.235	2.248
111	El Sahuaral	Braquial	1.869	2.999	2.605	1.117	0.969	1.171	0.980	2.027	2.043
112	El Sahuaral	Braquial	2.088	3.583	3.100	1.066	1.233	1.438	1.265	2.275	2.469
113	El Sahuaral	Braquial	1.900	2.691	2.426	1.112	0.941	1.067	1.038	1.674	1.965
114	El Sahuaral	Braquial	1.433	2.639	2.330	0.863	0.845	0.966	1.230	1.603	1.869
115	El Sahuaral	Braquial	2.207	3.595	3.347	1.221	1.145	1.526	1.601	2.387	2.584
116	El Sahuaral	Braquial	1.941	2.878	2.644	1.134	1.091	1.048	0.940	1.853	1.919
117	El Sahuaral	Braquial	1.935	3.173	3.086	1.088	1.168	1.219	1.246	1.967	2.334
118	El Sahuaral	Peduncular	1.607	2.897	2.829	0.927	0.855	1.221	1.392	1.907	1.971
119	El Sahuaral	Braquial	1.247	2.269	1.991	0.777	0.686	0.887	0.853	1.488	1.644
120	El Sahuaral	Peduncular	2.160	3.433	2.943	1.226	1.092	1.384	1.345	2.078	2.366
121	El Sahuaral	Braquial	2.089	3.625	3.226	1.163	1.057	1.456	1.496	2.295	2.586

VARIABILIDAD INTRAESPECÍFICA EN *LINNARSSONIA RARA* (COOPER) (BRACHIOPODA, LINGULATA)  
DEL CÁMBRICO (MIAOLINGIANO, WULIUANO) DE SONORA CENTRAL, MÉXICO

122	El Sahuaral	Braquial	1.684	3.514	3.121	1.004	0.823	1.418	1.756	2.132	2.442
123	El Sahuaral	Braquial	1.592	2.896	2.236	0.902	0.873	1.018	1.052	1.903	1.810
124	El Sahuaral	Braquial	1.604	2.999	2.297	1.005	0.988	1.091	1.212	1.726	1.965
125	El Sahuaral	Braquial	1.988	3.321	3.224	1.083	1.158	1.479	1.469	2.098	2.408
126	El Sahuaral	Braquial	2.045	3.487	3.519	1.238	1.167	1.346	1.423	2.456	2.614
127	El Sahuaral	Braquial	1.744	3.213	2.803	1.020	0.923	1.406	1.478	2.051	2.103
128	El Sahuaral	Braquial	2.369	3.306	3.345	1.330	1.140	1.339	1.379	2.181	2.391
129	El Sahuaral	Braquial	1.733	3.314	2.936	1.028	0.920	1.560	1.484	2.012	2.210
130	El Sahuaral	Braquial	1.475	2.955	2.290	0.927	0.717	1.083	1.264	1.869	1.983
131	El Sahuaral	Braquial	2.234	3.310	3.309	1.323	1.093	1.572	1.553	2.152	2.231
132	El Sahuaral	Braquial	1.396	3.154	2.799	0.824	0.686	1.362	1.330	2.176	2.189
133	El Sahuaral	Braquial	1.517	3.056	2.611	0.891	0.911	1.342	1.150	2.039	1.907
134	El Sahuaral	Braquial	2.332	3.640	3.207	1.376	1.300	1.084	1.602	2.303	2.535
135	El Sahuaral	Braquial	1.586	2.757	2.588	1.058	0.771	1.032	1.017	1.766	2.035
136	El Sahuaral	Braquial	1.549	2.818	2.505	0.816	0.904	1.158	1.091	1.847	1.832
137	El Sahuaral	Braquial	1.694	3.016	2.873	1.020	0.820	1.308	1.207	2.003	2.187
138	El Sahuaral	Braquial	1.854	2.880	2.549	1.047	1.097	1.073	1.044	1.804	1.850
139	El Sahuaral	Braquial	1.838	3.619	3.271	1.123	0.974	1.552	1.563	2.248	2.520
140	El Sahuaral	Peduncular	1.486	2.678	2.484	0.922	0.727	1.044	1.197	1.781	1.863
141	El Sahuaral	Braquial	1.797	2.819	2.925	0.891	1.241	1.192	0.921	1.855	2.174
142	El Sahuaral	Braquial	1.578	2.886	2.673	1.008	0.874	1.257	1.345	1.780	1.977
143	El Sahuaral	Braquial	1.505	2.511	2.320	0.810	0.929	0.991	0.844	1.552	1.704
144	El Sahuaral	Braquial	1.635	2.731	3.047	1.390	1.086	0.977	1.021	1.874	2.009
145	El Sahuaral	Braquial	1.298	2.168	2.052	0.811	0.698	0.919	0.887	1.420	1.538
146	El Sahuaral	Braquial	1.931	3.199	2.949	1.179	0.991	1.142	1.239	2.194	2.131
147	El Sahuaral	Braquial	1.640	2.850	2.756	0.958	0.823	1.309	1.172	1.853	1.931
148	El Sahuaral	Braquial	2.093	3.541	3.032	1.133	1.140	1.417	1.516	2.066	2.326