

DENSIDAD POBLACIONAL DEL DÓLAR DE ARENA *Mellita quinquiesperforata* (Leske, 1778) (ECHINODERMATA: ECHINODEA: MELLITIDAE) Y SU RELACIÓN CON LA ÉPOCA CLIMÁTICA EN LA BOQUILLA, CARTAGENA DE INDIAS, CARIBE COLOMBIANO

MARIANDREA CUENTAS PÉREZ

MANUEL GONZÁLEZ ANAYA

Trabajo de grado para optar al título de Biólogo Marino

Directora

Dra. PATRICIA ROMERO MURILLO

Co-director

Dra. MILENA BENAVIDES SERRATO

UNIVERSIDAD DEL SINÚ SECCIONAL CARTAGENA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
ESCUELA DE BIOLOGÍA MARINA
CARTAGENA DE INDIAS
2024

Densidad poblacional del dólar de arena *Mellita quinquiesperforata* (Leske, 1778) (Echinodermata: Echinodea: Mellitidae) y su relación con la época climática en La Boquilla, Cartagena de Indias, Caribe Colombiano

Título corto: Densidad de *Mellita quinquiesperforata* (dólar de arena) en La Boquilla Cartagena de Indias, Caribe colombiano

RESUMEN

En Colombia el cambio climático está teniendo un fuerte impacto en los ecosistemas costeros, especialmente debido al rápido aumento del nivel del mar. Cartagena de Indias se encuentra entre las siete zonas más vulnerables a estos cambios. Además, desde Bocagrande hasta La Boquilla se han detectado alteraciones en el tipo y disposición del sustrato junto con cambios significativos en el borde costero, así como la presencia de microplásticos y otras formas de contaminación, junto a otros factores de deterioro ambiental. Es esencial actualizar la información disponible sobre los recursos asociados a estos ecosistemas, en especial aquellos con carencias de datos sobre ecología y conservación.

El dólar de arena *Mellita quinquiesperforata*, un equinodermo irregular que habita en sustratos arenosos, desempeña un papel como ingeniero ambiental al modificar las características del sustrato en el que reside. En las últimas décadas, no se han realizado estimaciones sobre la densidad poblacional, biometría (talla) u otros aspectos de *M. quinquiesperforata*, ni cómo ha sido afectado por los cambios ambientales recientes.

En este estudio, se llevaron a cabo muestreos mensuales entre enero y septiembre de 2023 en la playa La Boquilla, sector Norte de Cartagena de Indias,

para determinar su abundancia considerando la distancia desde la zona muestreada hasta la línea de marea baja. También se realizó un análisis granulométrico del área, identificando el tamaño de grano dominante y su relación con la presencia de *M. quinquiesperforata*.

Según las observaciones, *M. quinquiesperforata* se encuentra presente en las playas de La Boquilla en agregaciones o parches de 5 - 87 individuos/m². La distribución de la especie parece estar relacionada con la época climática, ya que se observó que el mes con mayor densidad fue abril, con un mínimo de 10 individuos/m² y un máximo de 35 a 45 individuos/m². En contraste, julio registró la menor densidad, con un máximo de 20 individuos/m² y un mínimo de 5 individuos/m².

En cuanto a la distancia de las agregaciones respecto a la línea de marea baja, se destacó que la franja B (30-40 m) alberga el mayor número de individuos. El tamaño de grano dominante en el sustrato fue de 0.125 mm a 0.75 mm, correspondiendo a arenas finas y muy finas. En lo que respecta al tamaño de los individuos, se observó que la talla se mantuvo estable relativamente en todos los meses en donde se encontró el organismo con un promedio general de 5.76 cm, talla mínima de 0.7 cm y una máxima de 9 cm.

Palabras clave: Abundancia, Caribe colombiano, *Mellita quinquiesperforata*, dólar de arena, equinodermos, sustrato, talla.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro más sincero agradecimiento siempre estará dirigido a nuestros padres y familiares, quienes nos brindaron su apoyo incondicional para alcanzar nuestros sueños. Valoramos profundamente a cada una de las personas involucradas a lo largo de este proyecto, cuyas contribuciones son invaluable y representan el éxito de esta investigación. Extendemos nuestro agradecimiento a nuestra directora, Patricia Romero, quien con su conocimiento y entusiasmo nos dirigió a lo largo de esta aventura, así como a nuestra co-directora, Milena Benavides Serrato, quien fue una guía incondicional durante todas las etapas del proyecto y un pilar fundamental en el diseño de este estudio. Asimismo, agradecemos a Ricardo Sarmiento por su labor y orientación en la parte estadística y al profesor Carlos Henry por su invaluable ayuda en nuestros laboratorios. Agradecemos de manera especial a los laboratorios de la Universidad del Sinú Seccional Cartagena, cuyas instalaciones y equipos han facilitado el proceso de recolección y análisis de datos, además, a la Universidad de Cartagena por brindarnos materiales de laboratorio esenciales para llevar a cabo este proyecto. Queremos destacar a Ángel Uparella, Luisa Mirquez y Jarem Zapata, nuestros amigos y compañeros que nos brindaron su apoyo en los muestreos.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN JUSTIFICADA	8
2. OBJETIVOS	14
3. VARIABLES Y FACTORES	15
4. METODOLOGÍA	15
4.1 ÁREA DE ESTUDIO	15
4.2 PRE- MUESTREO	19
4.3 ABUNDANCIA, TALLA Y PESO DE M. quinquiesperforata EN LA BOQUILLA (ENERO a SEPTIEMBRE DE 2023).	22
4.4 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL SEDIMENTO	25
4.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	26
5. RESULTADOS	27
5.1 ABUNDANCIA Y DISTRIBUCIÓN DE Mellita quinquiesperforata	27
5.1.1 RELACIÓN DE LA ABUNDANCIA CON LA ÉPOCA/MES/FRANJA	28
5.2 ABUNDANCIA DE M. quinquiesperforata DENTRO DE LOS PARCHES	29
5.2.1 RELACIÓN DE LA ABUNDANCIA CON LA FRANJA/MES/ÉPOCA	30
5.3 TALLA DE M. quinquiesperforata	32
5.4 PESO de M. quinquiesperforata	36
5.5 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	39
6. DISCUSIÓN	44
7. CONCLUSIONES	49
8. RECOMENDACIONES	50
9. REFERENCIAS	51
8. ANEXOS	57

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Mellita quinquiesperforata donde se observa su cara aboral y oral. Cartagena de Indias, 2023. Fotografía: Mariandrea Cuentas y Manuel Gonzalez. 11
- Figura 2. Esquema donde se observa estructuras morfológicas de Mellita quinquiesperforata. Cartagena de Indias, 2023. Ilustración: Mariandrea Cuentas y Manuel Gonzalez. 12
- Figura 3. Datos de precipitación total mensual y temperatura media mensual de los meses muestreados en la ciudad de Cartagena y época correspondiente por mes en el año 2023 obtenidos a través de la herramienta DHIME IDEAM en la estación AEROPUERTO RAFAEL NUNEZ [14015080].
<http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/> (IDEAM, 2023) 17
- Figura 4. Ubicación espacial de la playa La Boquilla. perteneciente al departamento de Bolívar, Caribe colombiano (Uparella, 2023). Ubicación de las áreas de muestreo. 1N: Estación Norte, 2C: Estación Centro, 3S: Estación Sur. Los tres sitios se evaluaron en un pre-muestreo, y solamente 2C (Recuadro rojo) se mantuvo para la evaluación total del dólar de arena. 18
- Figura 5. Curvas de abundancia acumulada de Mellita quinquiesperforata, en La Boquilla (febrero de 2023), basadas en conteo mediante cuadrantes (1m²) en la estación centro 2C. 21
- Figura 6. Esquema exploratorio de zona realizado en las tres estaciones (Estación Norte (1N), Estación Centro (2C) y Estación Sur (3S)) para determinar la presencia/ausencia de la especie. N (número de organismos encontrados en cada zona de muestreo). 22
- Figura 7. Diagrama en el que se evidencia la división de la banda transecto de 150 m en tres bloques de 50 m paralelos a la línea de costa y tres franjas (A, B, C) a partir de los 20 m desde la línea de marea baja (LMB) hacia mar adentro. Se evidencia la línea continua (Franja A - 20m) que se mantuvo en los nueve bloques pertenecientes a la estación seleccionada (2C). 24
- Figura 8. Vista aboral Lúnulas (L), Lúnula interambulacral (LI) y la toma de Longitud Total (LT) de un individuo recolectado de Mellita quinquiesperforata en las playas de la Boquilla, Cartagena de Indias, Caribe colombiano. Fotografía: Mariandrea Cuentas y Manuel Gonzalez, 2023. 25
- Figura 9. Abundancia de los individuos/m² de la especie Mellita quinquiesperforata por cada franja (Distancia desde los 20 m de la LMB) Franja A: 20-30 m, Franja B: 30-40 m, Franja C: 40-50 m en la estación de muestreo 2C en la playa de la Boquilla, Cartagena de Indias, Caribe colombiano dentro del periodo muestreado en 2023. En la franja B del mes de mayo se evidenció el mayor promedio de densidad con 12,96 ind/m². 29
- Figura 10. Densidad (Individuos/m²) dentro de los parches según la distancia a partir de los 20 m desde la LMB. Franja A: 20-30 m, Franja B: 30-40 m, Franja C: 40-50 m y la época climática en la estación 2C dentro del periodo muestreado en 2023. La franja B (30-40 m) destaca como la que alberga el mayor número de individuos. 30
- Figura 11. Densidad (Individuos/m²) de los individuos para la especie Mellita quinquiesperforata dentro de los parches por distancia a partir de los 20 m desde LMB (Distancia desde la línea de marea baja) dentro del periodo muestreado en 2023. Franja A: 20-30 m, Franja B: 30-40 m, Franja C: 40-50 m en la estación 2C. 31

Figura 12. Densidad (Individuos/m ²) mensual dentro de los parches según la distancia desde LMB (Distancia desde la línea de marea baja) dentro del periodo muestreado en 2023. Franja A: 20-30 m, Franja B: 30-40 m, Franja C: 40-50 m.	32
Figura 13. Número de individuos en porcentaje (%) de tallas (cm) para Mellita quinquiesperforata en La Boquilla - Cartagena de Indias, Caribe colombiano dentro del periodo en 2023, discriminado por épocas climáticas.	33
Figura 14. Gráfica mensual de la variación en la talla de los individuos en los meses muestreados para Mellita quinquiesperforata en La Boquilla - Cartagena de Indias, Caribe colombiano dentro del periodo en 2023. Se refleja la medida promedio de cada mes donde hubo presencia de organismos (marzo-agosto). cm: centímetros.	34
Figura 16. Frecuencia (%) de clases de peso (g) para Mellita quinquiesperforata, colectados en La Boquilla (Cartagena de Indias) en el período enero - septiembre de 2023.	36
Figura 17. Peso promedio (g) estimado para Mellita quinquiesperforata en las diferentes franjas muestreadas A (20-30 m), B (30-40 m), y C (40-50 m) de distancia con la Línea de Marea Baja (LMB) dentro del periodo muestreado en 2023.	37
Figura 18. Peso (g) promedio mensual de Mellita quinquiesperforata en La Boquilla - Cartagena de Indias, 2023.	38
Figura 19. Peso (g) promedio de Mellita quinquiesperforata en la Boquilla - Cartagena de Indias, 2023, según épocas climáticas.	38
Figura 20. Relación entre la talla (cm) y el peso (g) de Mellita quinquiesperforata en la Boquilla - Cartagena de Indias, 2023.	39
Figura 21. Diagrama de dispersión entre la importancia relativa del tamaño de grano 0,125 mm y la densidad promedio de Mellita quinquiesperforata dentro del periodo muestreado en 2023. En azul, densidad promedio general; en naranja, densidad promedio dentro de los parches.	43
Figura 22. Diagrama de dispersión entre la importancia relativa del tamaño de grano 0,075 mm y la densidad promedio de Mellita quinquiesperforata dentro del periodo muestreado en 2023. En azul, densidad promedio general; en naranja, densidad promedio dentro de los parches.	44

1. INTRODUCCIÓN JUSTIFICADA

Recientemente, en las playas de la ciudad de Cartagena se han venido presentando cambios en el tipo y disposición del sustrato, relacionados con varias fuentes de contaminación, entre los que se destacan los aportes del canal del Dique. En 2019, el canal drenaba el 6,5% y transporta el 5,1% de la descarga de agua y sedimentos del río Magdalena (Tosic *et al.*, 2019). Esto ha causado aumentos en las concentraciones de sedimentos en el área de Bocagrande, con niveles de hasta 50 mg/L, lo que reduce la calidad del ambiente acuático y afecta los servicios ecosistémicos que la bahía brinda para la pesca y el turismo (Tosic & Restrepo, 2017). Por ejemplo, los desequilibrios en el transporte de sedimentos pueden ocasionar la desaparición de áreas de playa; este es el caso de sectores como el Laguito, La Boquilla, Crespo, Bocagrande y Castillo Grande, al norte de Cartagena. Allí, la capacidad de recuperación natural de las playas ocurre a un ritmo aproximado de 4-5 m mensuales, que muchas veces es inferior al material desplazado por los períodos de mar embravecido (Maza & Rangel, 2015).

Los sistemas físicos y biológicos pueden ser impactados por una variedad de factores, que incluyen procesos geológicos, cambios en el uso de la tierra, prácticas de gestión, contaminación y la demografía humana, tanto directa como indirectamente, a través de sus efectos en el sistema climático (Rosenzweig & Neofotis, 2013). Sin embargo, las infraestructuras costeras actuales, como rompeolas, espigones y revestimientos, están demostrando ser insuficientes para hacer frente al crecimiento de la población, lo que conlleva efectos negativos en los ecosistemas marinos, como la degradación de corales, pastos marinos y manglares (Buitrago *et al.*, 2018).

Adicionalmente, los eventos climáticos (cambios en el nivel del mar, precipitaciones extremas, deslizamientos y veranos extremos) que se han presenciado en la ciudad de Cartagena tienen un gran impacto en la geomorfología de las playas. Estos eventos han tenido graves consecuencias y

desastres para sus poblaciones, actividad económica y patrimonio ambiental (Suarez & Rozo, 2015), tales como: la constante disminución de las playas, daños en la infraestructura costera, alteraciones en el funcionamiento de los humedales costeros y la intrusión del mar en el Canal del Dique (Rojas *et al.*, 2014).

La zona intermareal corresponde a la franja del borde costero afectada por el barrido de las olas y las mareas, sometida a inmersiones y emersiones periódicas. Se ubica entre los límites superior e inferior de la marea en condiciones normales, pudiendo presentar escalones, así como sucesiones de barras de arena y surcos (Ibarra-Arana & Rocha, 2019; Castellar & Ramírez, 2020). Es un hábitat rico y diverso que alberga una amplia variedad de individuos adaptados a condiciones ambientales cambiantes, influenciados especialmente por el régimen de marea alta y marea baja (Ibarra-Arana & Rocha, 2019). En Colombia se encuentran presentes algunos de los ecosistemas costeros marinos de mayor importancia socioeconómica y ecológica, que se localizan en la zona intermareal. Este hábitat alberga una amplia variedad de algas, moluscos, crustáceos, equinodermos, bivalvos, peces y aves marinas, entre otros individuos, adaptados a las condiciones cambiantes entre marea alta y marea baja (Morales *et al.*, 2009).

Los arrecifes de coral, manglares, praderas de pastos marinos y fondos sedimentarios son ecosistemas marinos clave que proporcionan hábitat, protección y recursos vitales para diversas especies, con impactos significativos en la biodiversidad, turismo y actividades económicas en el mar territorial colombiano (Morales *et al.*, 2009).

Junto con estos ecosistemas de altísimo valor, se encuentran las playas de arena. Estas, se definen como acumulaciones de sedimentos no consolidados que han sido transportados hacia la costa y moldeados por las corrientes, el oleaje, el viento y otros factores. Son entornos altamente susceptibles a cambios ambientales y sirven como hábitats para la alimentación, anidación y descanso de diversas especies marinas (Morales *et al.*, 2009). Además, las playas

desempeñan un papel fundamental en la recolección artesanal de recursos marinos, el establecimiento de comunidades humanas y el desarrollo de actividades turísticas (Morales *et al.*, 2009). Los cambios ambientales recientes en estas áreas probablemente inciden en la presencia y desarrollo de los individuos asociados al sustrato arenoso (Tosic & Restrepo, 2017).

Colombia cuenta con una extensión aproximada de 865,5 km de playas de arena, de las cuales 407,2 km están en la costa Caribe; entre estas, las 26 más importantes se localizan en el departamento de Bolívar (Gómez-Cubillos *et al.*, 2015). Dentro de se encuentra La Boquilla, una playa localizada en un corregimiento anexo al distrito de Cartagena, ubicado dos kilómetros al norte de la ciudad por la vía al mar (Llamas, 2020).

Entre los habitantes de las playas de arena, en su porción sumergida, llaman la atención varias especies de equinodermos asociados a sustratos particulares como los fondos blandos. Estas especies están morfológicamente adaptadas para el enterramiento, por lo que su presencia favorece la recirculación de materia orgánica que producen al mezclar los sedimentos y partículas orgánicas de las capas más superficiales del fondo marino (Galván-Villa *et al.*, 2018).

Mellita quinquiesperforata (Leske, 1778) pertenece al grupo de los equinoideos del orden Clypeasteroidea (A. Agassiz, 1872). Ésta especie es popularmente conocida como galletas de mar, dólares de arena o lochas de mar. Se caracterizan por presentar una testa aplanada, generalmente en forma de disco, con un contorno oval circular, los bordes redondeados y cubiertos por numerosas espinas cortas (Francisco & Pauls, 2008). Su simetría bilateral está asociada con especializaciones para vivir en la arena con una forma más o menos acorazada y algo aplanada en el sentido oral-aboral (Lawrence *et al.*, 1998) (Figura 1). Su estructura interna está formada por numerosos osículos que se han aplanado y fusionado entre sí para formar una testa compacta. Además, estos osículos presentan numerosos tubérculos y perforaciones, los cuales ayudan a reducir el

peso de estas placas y sirven como caracteres fundamentales para diferenciar a las demás especies que se encuentran dentro de esta familia (Borrero-Pérez *et al.*, 2002).



Figura 1. *Mellita quinquiesperforata* donde se observa su cara aboral y oral. Cartagena de Indias, 2023. Fotografía: Mariandrea Cuentas y Manuel Gonzalez.

El dólar de arena *M. quinquiesperforata* es un equinodermo irregular que habita en sustratos arenosos con fragmentos calcáreos y en fondos blandos a profundidades entre 1 y 180 m. Presenta cinco lúnulas: una interambulacral y cuatro ambulacrales; lúnula interambulacral más larga que las ambulacrales (Figura 2). Sus dimensiones pueden llegar hasta los 160 mm, y presentan un patrón de color que varía desde el marrón oscuro al pardo claro (Borrero *et al.*, 2012).

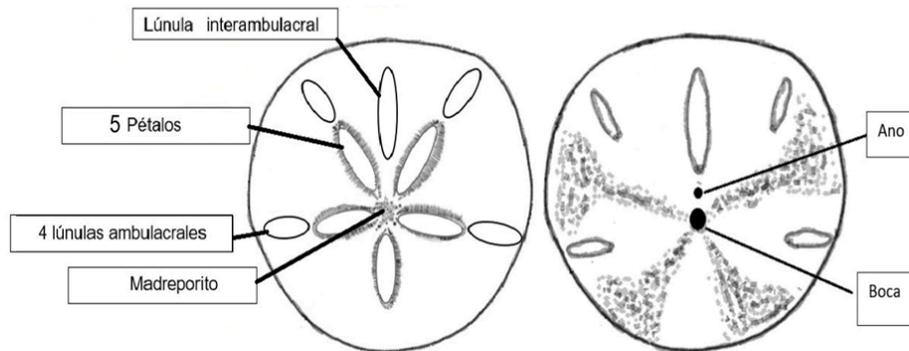


Figura 2. Esquema donde se observa estructuras morfológicas de *Mellita quinquesperforata*. Cartagena de Indias, 2023. Ilustración: Mariandrea Cuentas y Manuel Gonzalez.

M. quinquesperforata vive en aguas de salinidad marina normal (Aproximadamente 35 ppt), y puede aparecer en ambientes marinos marginales durante períodos de escorrentía baja y consecuentes salinidades más altas. Actúa como agente modificador de propiedades texturales del sedimento, principalmente en la actividad de bioturbación de la meiofauna (Bell & Frey, 1969). Asimismo, gracias a su capacidad para excavar el sedimento, esta especie influye en el crecimiento de la actividad microbiana al alterar el tamaño de los detritos debido a la homogeneización y resuspensión de sedimentos, lo cual reduce la zona anaeróbica del mismo y ayuda a la regeneración de nutrientes minerales (Costa, 2008).

Para su alimentación, *M. quinquesperforata* ingiere los detritos inorgánicos y orgánicos y materia viva dispuestos sobre la superficie de los gránulos de sedimento. Entre estos granos de arena y limo, también es posible encontrar diatomeas, dinoflagelados, foraminíferos, loricas de tintínidos, espículas de esponjas y fragmentos de caparazones de copépodos (Lane & Lawrence, 1982). Al mismo tiempo, utilizando espinas y pies ambulacrales como órganos de

locomoción, los dólares de arena construyen su refugio con un canal de entrada y uno o más canales de salida (Galván-Villa *et al.*, 2018).

El estudio más reciente que referenció la presencia de la especie en la ciudad de Cartagena fue Arévalo, 1978 quien realizó observaciones de la biología y biometría de *M. quinquiesperforata* en las playas externas de la ciudad de Cartagena de Indias. Se determinó que existen variaciones morfométricas y de comportamiento con respecto a las poblaciones de otras localidades costeras del Atlántico. Además, se estimó que el número de individuos colectados presentes en playas muestreadas comprendidas desde Bocagrande hasta Manzanillo fue de 2365.

En Colombia han sido pocos los estudios realizados que tengan en cuenta los cambios hidrodinámicos, sedimentológicos y morfodinámicos ocurridos en las playas debido a factores antrópicos como las construcciones costeras. Sin embargo, existen evidencias de estudios realizados en Cartagena de Indias desde 1980 en donde se encontraron características sedimentológicas que permitieron evidenciar arenas de distintos tipos en sectores diferentes de la franja litoral entre Bocagrande y Manzanillo, así como la formación de una flecha litoral natural en el sector de El Laguito sometida a condiciones antrópicas (Díaz, 2004). Junto con esto, que el tamaño promedio de las partículas de sustrato en las playas de Marbella-Crespo está entre 0,21 mm y 0,14 mm, el diámetro disminuye de sur a norte, y la zona de lavado tiene una pendiente baja de 2° a 1° y el ancho de la zona de rompientes varía entre 120 y 240 m. La playa La boquilla tiene una pendiente media inferior a 1° y un tamaño promedio de sedimentos de 0,15 mm a 0,18 mm, igual al anterior de sur a norte, el ancho de la zona de rompientes varía de 150 a 700 m en promedio (Gómez, 2021).

Como se observa en todo el mundo, la urbanización costera y los procesos de blindaje se han asociado estrictamente con el aumento de actividades relacionadas con la población y el turismo en la costa. Esta se ha vuelto altamente

desarrollada y, por ejemplo, durante el período 1970 y 2016 el número de residentes de Cartagena aumentó de 348.961 a 1.001.680 habitantes, un aumento incremental del 187% (Rangel-Buitrago *et al.*, 2018).

A partir de la importancia del sustrato para la disposición de *M. quinquiesperforata*, y teniendo en cuenta los cambios geomorfológicos y sus afectaciones en el tipo y disposición del sedimento en playas como La Boquilla durante los últimos años (Díaz, 2004), es fundamental analizar la incidencia de estos cambios en la densidad poblacional de la especie en la zona sublitoral. Los antecedentes disponibles no analizan el impacto potencial de los fenómenos naturales y antropogénicos que pueden modificar la morfología de las playas de arena, y los recursos asociados a estos ecosistemas, especialmente en lo que se refiere a recursos tan poco estudiados como es la especie objeto de este estudio.

A partir de lo anterior, este estudio pretende aportar elementos que promuevan futuras investigaciones acerca del dólara de arena *M. quinquiesperforata*, como un recurso parte de la biodiversidad asociada a las playas de arena de Cartagena de Indias, y especialmente al sector de La Boquilla. Entre estos, se propone establecer ¿Cuál es la densidad (Abundancia) y características morfométricas (Peso y Talla) de *Mellita quinquiesperforata* en esta zona? y ¿Cómo se relacionan estas variables con el régimen climático, las características del sustrato y la distancia desde la línea de marea baja?

2. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la población de la especie *Mellita quinquiesperforata* (Leske, 1778) durante el año 2023 a partir de su relación con la época climática (época lluviosa y seca) en La Boquilla, Cartagena de Indias, Caribe Colombiano.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la densidad poblacional, media de talla y peso de la especie en la playa La Boquilla, Cartagena de Indias, Caribe Colombiano.
- Relacionar la densidad poblacional de esta especie con el tamaño de grano registrado dentro del sitio de muestreo (Playa La Boquilla).
- Analizar la incidencia de la época seca y lluviosa sobre la densidad poblacional de *Mellita quinquiesperforata* (Leske, 1778).

3. VARIABLES Y FACTORES

Para este estudio, se consideraron como variables la abundancia de los individuos y su tamaño, tomando como indicadores el número de individuos presente en un área predeterminada (Densidad), su talla y peso individual. Estas variables fueron analizadas en relación con los factores; (1) época climática, (2) la distancia del punto de observación con la línea de marea baja (LMB), y (3) las características del sedimento.

4. METODOLOGÍA

4.1 ÁREA DE ESTUDIO

Cartagena de Indias está localizada al noreste de Colombia (Latitud norte, 10° 25' 30"; longitud oeste, 75° 32' 25"), a 2 m.s.n.m. (Alcalá-Cerra *et al.*, 2012). La temperatura media en la ciudad es de 27,7°C y la humedad media anual es de 79,5%. El régimen de lluvias que se presenta se debe principalmente a tres

factores: su posición geográfica, el régimen de vientos Alisios y la influencia del Cinturón de Convergencia Intertropical (CIT). El régimen de vientos se caracteriza por el predominio de los vientos Alisios del norte y noreste en la época seca y de los vientos del sur suroeste en la época húmeda (Alandete & Romero, 2016).

La hidrodinámica de la ciudad corresponde a tres condiciones climáticas estacionales: época húmeda, época seca y época de transición (Gonzalez *et al.*, 2022). La época seca va de diciembre-abril, caracterizada por vientos Alisios que soplan del norte/noreste. La época lluviosa abarca el período comprendido entre agosto-noviembre; con una precipitación media de 125.7 mm, y soplan vientos débiles de norte a sur hasta agosto (Osorio, 2010). En el periodo de transición, que abarca desde mayo-julio, los vientos se reducen al mínimo a medida que aparecen las lluvias. Por otra parte, regularmente se presenta un "Veranillo de San Juan", un período corto de menos de un mes caracterizado por vientos persistentes y uniformes que provienen del norte y noreste con disminución de las lluvias. Estos vientos decrecen su intensidad poco antes del amanecer para luego aumentar en velocidad durante la tarde (Osorio, 2010).

Al examinar los patrones climáticos mensuales proporcionados por (IDEAM, 2023) para el año 2023 a través de la herramienta DHIME IDEAM (Figura 3), se evidencia que el mes de abril podría ser más apropiado clasificarlo como época de transición, en sintonía con los meses de mayo, junio y julio. Sin embargo, es importante destacar que, se consideró al mes de abril como época seca siguiendo lo indicado por el CIOH, donde se especifica que la época seca va desde diciembre hasta el mes de abril (Betancur-Turizo & Rivero, 2020).

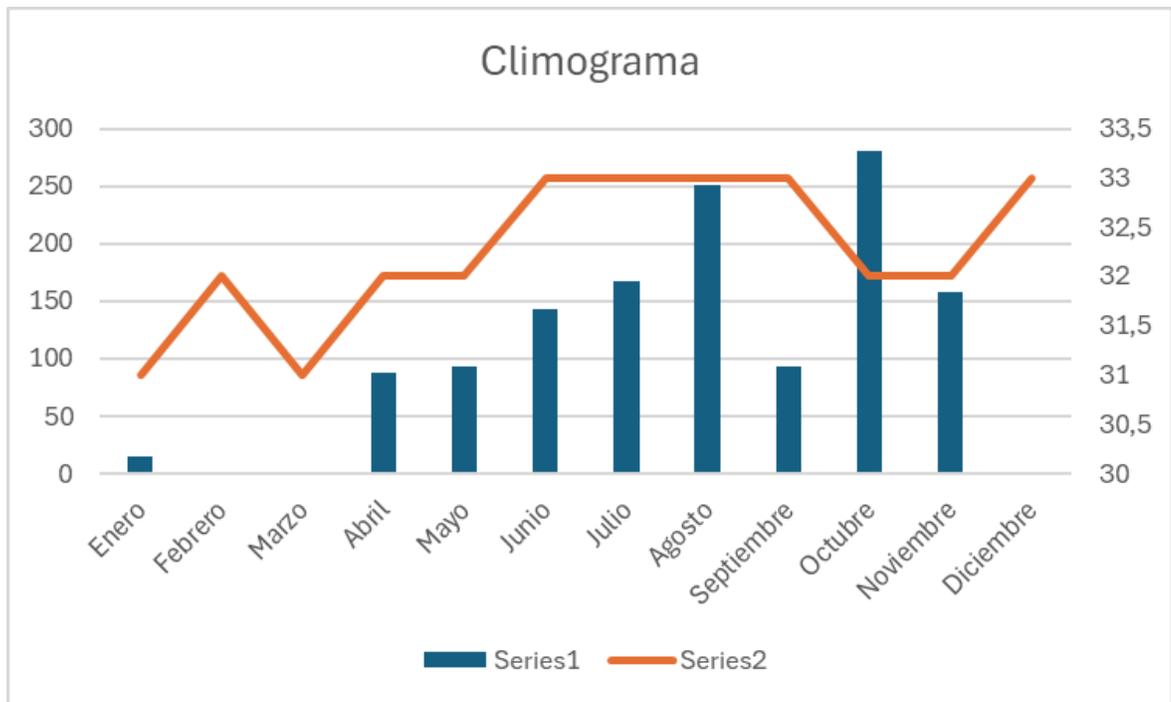


Figura 3. Datos de precipitación total mensual y temperatura media mensual de los meses muestreados en la ciudad de Cartagena y época correspondiente por mes en el año 2023 obtenidos a través de la herramienta DHIME IDEAM en la estación AEROPUERTO RAFAEL NUNEZ [14015080]. <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/> (IDEAM, 2023)

Durante el año 2023 el evento climático El Niño en el caribe colombiano, empezó aproximadamente desde el mes de julio, extendiéndose hasta finalizar el año (Zambrano *et al.*, 2023). Este fenómeno, es representado por un incremento de la salinidad a causa de la disminución de los flujos de agua dulce que ingresan al sistema lagunar (Herrera *et al.*, 2024). Algunos países o zonas, como Venezuela, Colombia, Perú y partes del Caribe, experimentan los dos extremos del impacto de El Niño, con condiciones tanto de sequía como de aumento de las precipitaciones e inundaciones (OCHA, 2024). Al comparar los meses en los que se obtuvo mayor abundancia de la especie (Abril, mayo, junio y agosto) se puede deducir que este fenómeno no tuvo incidencia sobre la presencia / ausencia de la especie.

Por otro lado, el fenómeno de la niña favorece la dispersión de especies de agua dulce. Así mismo, provoca un aumento de agua en ríos y ensambles, lo cual genera inundaciones y deslizamientos de tierra (Marino *et al.*, 2024). En el año 2023, hubo una pérdida acelerada de vigencia de este fenómeno al punto de que desde enero el IDEAM declaró su finalización y dio el inicio de una fase neutral en febrero (Zambrano *et al.*, 2023).

La playa de La Boquilla comprende un área de 1,72 km aproximadamente, la cual se encuentra entre los 10°28'23.02 N y 75°29'57.20 W (Figura 4). Esta playa está formada por sustrato arenoso, y presenta una temperatura media del agua de 27,4°C, presentando un clima tropical semiárido a lo largo de todo el año (Acevedo, 2017).

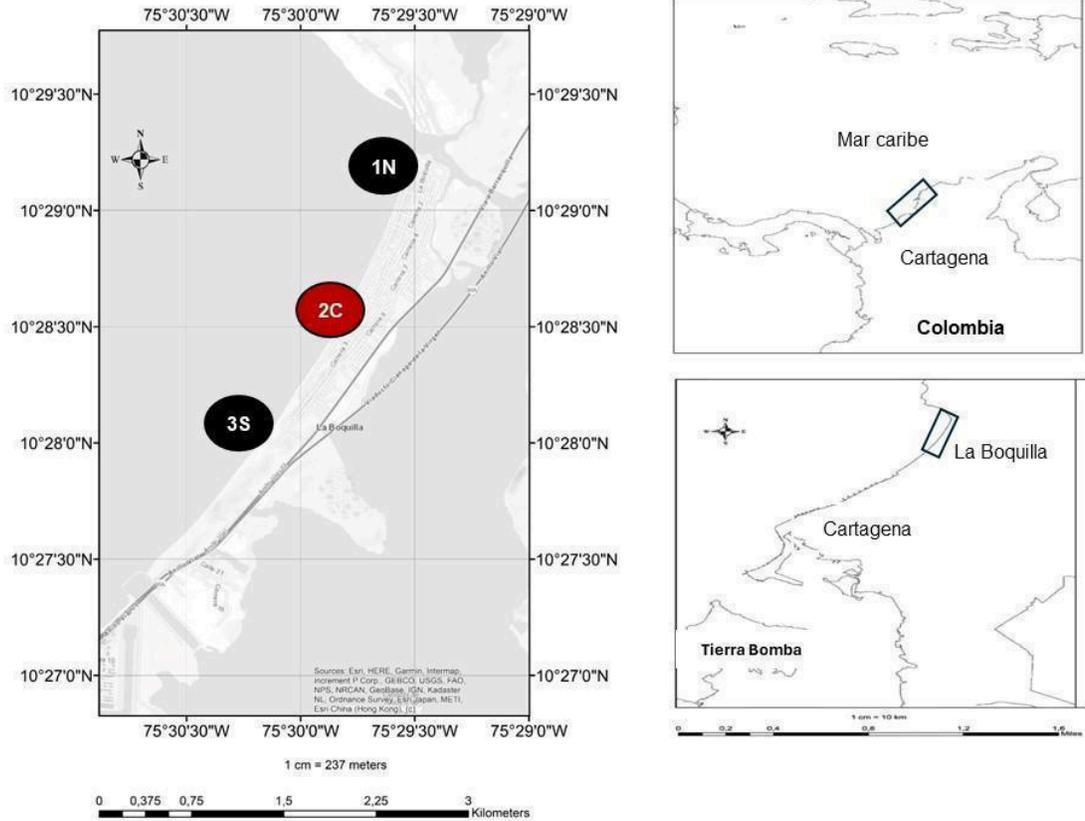


Figura 4. Ubicación espacial de la playa La Boquilla, perteneciente al departamento de Bolívar, Caribe colombiano (Uparella, 2023). Ubicación de las áreas de muestreo. 1N: Estación Norte, 2C: Estación Centro, 3S: Estación Sur. Los tres sitios se evaluaron en un pre-muestreo, y solamente 2C (Recuadro rojo) se mantuvo para la evaluación total del dólar de arena.

Las playas de Cartagena de Indias en la franja litoral entre Bocagrande y Manzanillo presentan arenas de distintos tipos (Díaz, 2004). Para el caso de la playa La Boquilla, se encuentra una pendiente media inferior a 1° y un tamaño promedio de sedimentos de 0,15 mm a 0,18 mm, que aumenta en sentido sur - norte, mientras el ancho de la zona de rompientes varía de 150 a 700 m en promedio (Gómez, 2021).

De acuerdo con Arévalo (1978) y al conocimiento tradicional, la presencia de *M. quinquiesperforata* es común en esta área, en los primeros metros de arena por debajo de la línea de marea. Por esta razón, se seleccionó la playa La Boquilla, ya que es el único lugar, de entre los analizados por Arévalo (1978), donde se evidenció la presencia de esta especie en un análisis de área realizado con anterioridad del proyecto durante los meses desde junio hasta diciembre del 2022.

4.2 PRE- MUESTREO

Mediante una curva de abundancia acumulada (Figura 5), se determinó el tamaño muestral y el número de cuadrantes a medir por área en cada jornada de trabajo. La jornada de trabajo para el pre-muestreo se realizó los días siete y ocho de enero de 2023. Para esto se delimitó un área rectangular de 150 m de largo (paralelos a la línea de costa) por 50 m de ancho (hacia mar adentro), en tres estaciones de la playa La Boquilla (Estación Norte (1N), Estación Centro (2C) y Estación Sur (3S)).

En cada estación se dispusieron tres transectos de 50 m forma de zigzag perpendiculares a la línea de costa, separados a 2 m de distancia entre sí. En cada uno de estos transectos, se marcó cada 10 metros, con la finalidad de detectar hasta qué distancia de la línea de marea baja (LMB) estaban presentes los organismos (Figura 6).

Además, cada estación fue dividida en tres bloques de 50 m, y a su vez, cada bloque se dividió en nueve sectores a partir de los 20 m de distancia de la LMB clasificadas en tres franjas (Franja A, correspondiente a los 20-30 m desde la LMB; Franja B, 30-40 m, y Franja C, 40-50 m) de acuerdo con su distancia desde la Línea de Marea Baja (LMB). En cada uno de estos sectores se dispusieron 30 cuadrantes (1 m^2) siguiendo una línea continua tal cual se muestra en la franja A (Figura 7). Se obtuvieron datos de nueve sectores, todos correspondientes a la estación centro.

Además de obtener la talla (cm) y peso de cada organismo muestreado, este pre-muestreo se realizó con la finalidad de saber en qué estaciones y profundidad/franja (A, B, C) se encontraban ejemplares de *M. quinquiesperforata*.

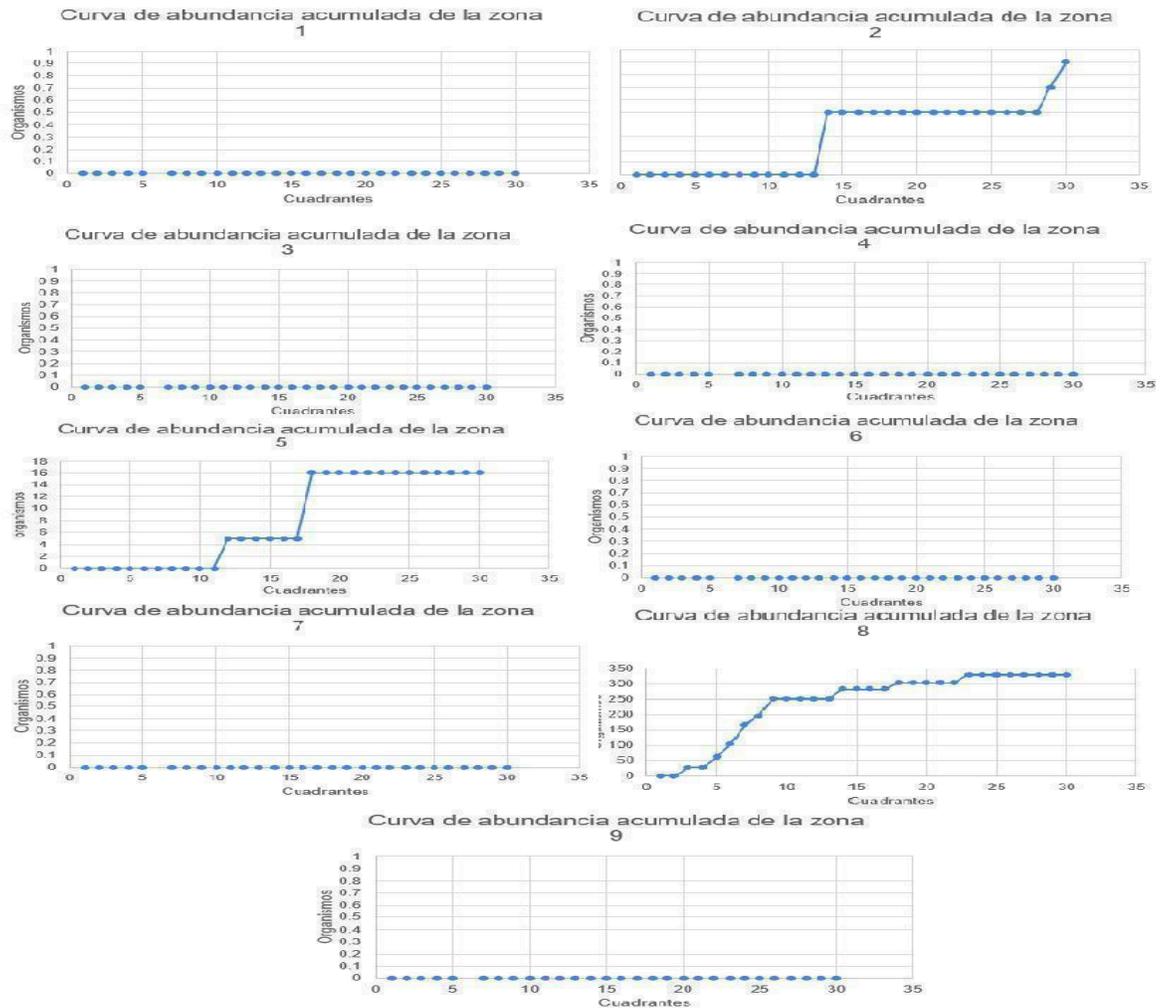


Figura 5. Curvas de abundancia acumulada de *Mellita quinquiesperforata*, en La Boquilla (febrero de 2023), basadas en conteo mediante cuadrantes (1m²) en la estación centro 2C.

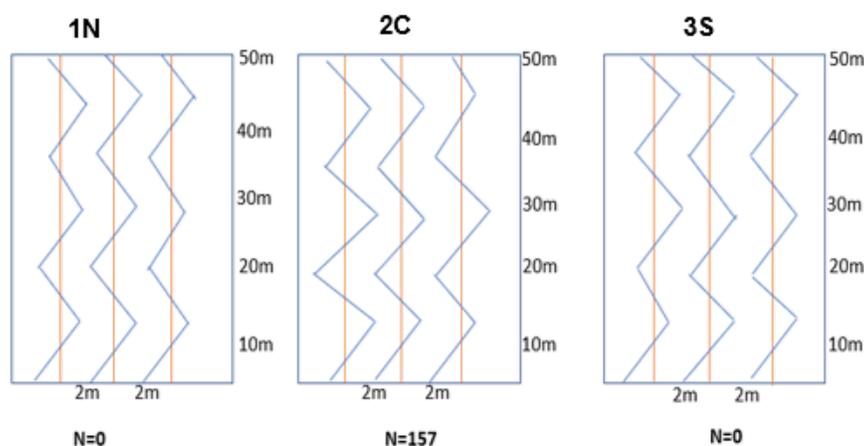


Figura 6. Esquema exploratorio de zona realizado en las tres estaciones (Estación Norte (1N), Estación Centro (2C) y Estación Sur (3S)) para determinar la presencia/ausencia de la especie. N (número de organismos encontrados en cada zona de muestreo).

A partir de estas observaciones se pudo establecer que la abundancia acumulada (N individuos) se estabilizó alrededor de los 23 cuadrantes; así entonces se fijó este número como tamaño de la muestra para los conteos mensuales de individuos. Por otra parte, el conteo de individuos en líneas transecto perpendiculares a la línea de costa evidenció la ausencia de individuos en el área entre la línea de marea baja (LMB) y los 20 m de distancia.

4.3 ABUNDANCIA, TALLA Y PESO DE *M. quinquesperforata* EN LA BOQUILLA (ENERO a SEPTIEMBRE DE 2023).

Según los resultados del pre-muestreo, se evaluó la abundancia de organismos solamente en la estación central (2C) de la playa La Boquilla, dado que fue en esa estación donde se encontró una presencia notable de organismos (Figura 4).

Una vez al mes, en el período enero - septiembre de 2023, se estableció un área de 150 m de largo (Paralelos a la línea de costa) y 50 m de ancho (hacia mar adentro) dentro de la estación 2C, divididos en tres bloques de 50 m cada uno.

Estos bloques se dividieron en nueve sectores a partir de los 20 m de distancia de la LMB clasificadas en tres franjas (Franja A, correspondiente a los 20-30 m desde la LMB; Franja B, 30-40 m, y Franja C, 40-50 m) de acuerdo con su distancia desde la Línea de Marea Baja (LMB). En cada uno de sectores se dispusieron 23 cuadrantes (1 m²) siguiendo una línea continua tal cual se muestra en la franja A (Figura 7).

El cuadrante fue demarcado con un marco cuadrado fabricado con tubos y uniones de PVC. A partir de la metodología descrita por (Erazo *et al.*, 2013) se estructuró la toma de muestra de la siguiente forma: Se recolectaron todos los individuos presentes en la capa superior del sustrato con ayuda de una cuchara Hoocozi. Se midió la Longitud Total (LT) de cada uno de los individuos recolectados con un calibrador estándar, mientras que el peso fue registrado con una balanza gramera portátil. La talla de los individuos correspondió a la distancia, en cm, desde el borde del lado de la lúnula interambulacral hasta su extremo opuesto (Zamorano & Leyte-Morales, 2009) (Figura 8). Una vez registrados y medidos, los individuos fueron devueltos al mar fuera del sitio de muestreo.

Se conoce que *M. quinquiesperforata* alcanza la madurez sexual con la aparición de orificios genitales, cuando los individuos presentan tallas por encima de los 4 cm. De acuerdo con esto, los individuos con tallas menores son juveniles, y los que sobrepasan los 4 cm se consideran como adultos (Tavares & Borzone, 2014).

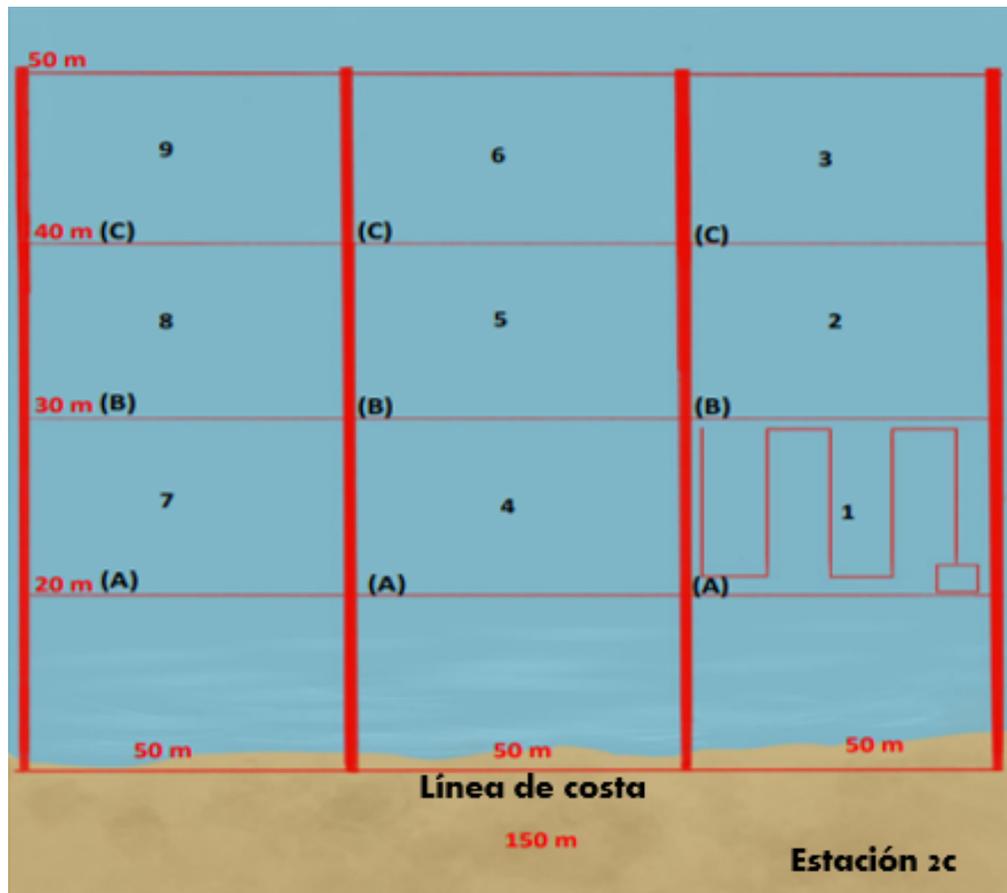


Figura 7. Diagrama en el que se evidencia la división de la banda transecto de 150 m en tres bloques de 50 m paralelos a la línea de costa y tres franjas (A, B, C) a partir de los 20 m desde la línea de marea baja (LMB) hacia mar adentro. Se evidencia la línea continua (Franja A - 20m) que se mantuvo en los nueve bloques pertenecientes a la estación seleccionada (2C).



Figura 8. Vista aboral Lúnulas (L), Lúnula interambulacral (LI) y la toma de Longitud Total (LT) de un individuo recolectado de *Mellita quinquesperforata* (Leske, 1778) en las playas de la Boquilla, Cartagena de Indias, Caribe colombiano. Fotografía: Mariandrea Cuentas y Manuel Gonzalez, 2023.

4.4 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL SEDIMENTO

Para analizar el tamaño de grano dominante y su relación con la abundancia del organismo, se tomó una muestra de sedimento por cada sector de muestreo en las tres épocas climáticas (Seca, lluviosa y transición) con una cuchara Hooczi (27 muestras en total) en bolsas ziploc.

Para el secado de las muestras, estas fueron dejadas en el laboratorio húmedo de la Universidad del Sinú al aire libre durante tres a cinco días en bandejas de aluminio, para reducir la concentración de humedad, y posteriormente fueron secadas en horno a una temperatura de 70°C por 24 h en el laboratorio de biotecnología de la Universidad del Sinú. Para la tamización, de forma manual se pesaron 100 gr de cada muestra, que luego fueron tamizados en seco por 10

minutos con una batería de tamices conteniendo diferentes tamaños de poro así: 3,35 mm, 1,7 mm, 0,600 mm, 0,25 mm, 0,125 mm, 0,75 mm (Erazo *et al.*, 2013) con el tamaño de grano indicado en la Tabla 1. Seguidamente, el sedimento retenido en cada tamiz fue pasado a cajas Petri para ser pesadas en una balanza analítica. Los datos obtenidos fueron organizados en una matriz indicando la época y zona en la cual se tomó la muestra. Con base a estos datos se analizó la composición del sedimento, en términos de importancia (%) de cada tamaño de grano y el grano dominante, donde para comprobar los supuestos de normalidad y homocedasticidad se aplicaron las pruebas de Shapiro Wilks y Levene. Finalmente, se evaluó la relación estadística entre estas variables y la abundancia media de *M. quinquiesperforata* utilizando correlación de Spearman, asumiendo que los datos fueran de naturaleza no paramétrica, o que no cumplieran con los supuestos de normalidad (Quinn & Keough, 2002).

Tabla 1. Escala de tamaños de granos de sedimentos (Dos santos, 2022).

TAMAÑO	media (mm)
Gravilla muy fina o guijarro	4 a 2
Arena muy gruesa	2 a 1
Arena gruesa	1 a 0,5
Arena media	0,5 a 0,25
Arena fina	0,25 a 0,125
Arena muy fina	0,125 a 0,062
Limos-arcillas	< 0,062

4.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos recolectados en campo fueron tabulados en dos matrices. En primer lugar, se agruparon las mediciones de talla y peso por individuo, considerando como factores época climática, sector y sedimento. Por su parte, los datos de

abundancia (N de individuos) por cuadrante (m^2) se consolidaron considerando también estos factores.

Posteriormente, se realizaron pruebas para evaluar si los datos de abundancia, talla y peso cumplían con los supuestos de normalidad y homocedasticidad (Quinn & Keough, 2002). Con base en los resultados obtenidos, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (Quinn & Keough, 2002) para determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas en los valores de abundancia entre épocas climáticas, meses y franjas de distancia con LMB. Adicionalmente, se realizaron pruebas post hoc de Dunn para evaluar las diferencias entre las épocas climáticas. Estos análisis se llevaron a cabo utilizando los programas Excel y R.

Además, se realizó un diagrama de dispersión con los datos obtenidos de talla y peso, lo que permitió visualizar la relación entre estas dos variables y explorar posibles patrones o tendencias en la distribución de organismos en función de su tamaño y peso.

Se realizaron los test de Shapiro-Wilk, Lilliefors y Fligner-Killeen, con el fin de evaluar la normalidad de los datos y la homogeneidad de las varianzas en el estudio de la granulometría.

5. RESULTADOS

5.1 ABUNDANCIA Y DISTRIBUCIÓN DE *Mellita quinquiesperforata*

La densidad de individuos en general varió entre 0 y 87, con un promedio de $1,36 \pm 6,99$ individuos/ m^2 . La prueba de Shapiro-Wilk reveló una distribución no normal ($P=2.2e-16$), mientras que la prueba de Fligner-Killeen indicó falta de homogeneidad de varianzas entre épocas ($p = 1.991e-09$), meses ($p = 1.201e-12$) y franjas ($p = 1.991e-09$). Por su parte, el análisis de variabilidad no paramétrica (Prueba de Kruskal-Wallis) mostró diferencias significativas entre las medianas

de las densidades estimadas en diferentes épocas ($N=1863$, $P=7.427e-10$), meses ($p = 2.284e-12$) y franjas ($p < 2.2e-16$). En el caso de las épocas, las diferencias están dadas (Test de comparaciones múltiples de Dunn) especialmente por la época de transición, que tiene diferencias significativas tanto con lluvias ($p = 1.1e-06$) como con la época seca ($p=5.6e-09$); mientras que la abundancia general entre época seca y época de lluvias no tiene diferencias significativas ($p= 0.9859$). En el caso de las franjas, se encuentran diferencias significativas en la abundancia de organismos tanto entre la franja de 30-40m con la de 20-30m ($p<2e-16$), como entre la franja 30-40m con la franja de 40-50m ($p <2e-16$), mientras que la abundancia estimada en las franjas de 20-30m y 40-50m son significativamente similares ($p=0.0877$).

5.1.1 RELACIÓN DE LA ABUNDANCIA CON LA ÉPOCA/MES/FRANJA

Con relación a la densidad general por franjas/mes (Figura 9), se observó que el promedio mensual en cada franja se mantuvo por debajo de los 5 individuos/m². Sin embargo, se pueden destacar meses como abril, mayo, junio y agosto en los que, especialmente en la franja B (30-40 m) se obtuvieron promedios por encima de los 2 ind/m² (Anexo 1).

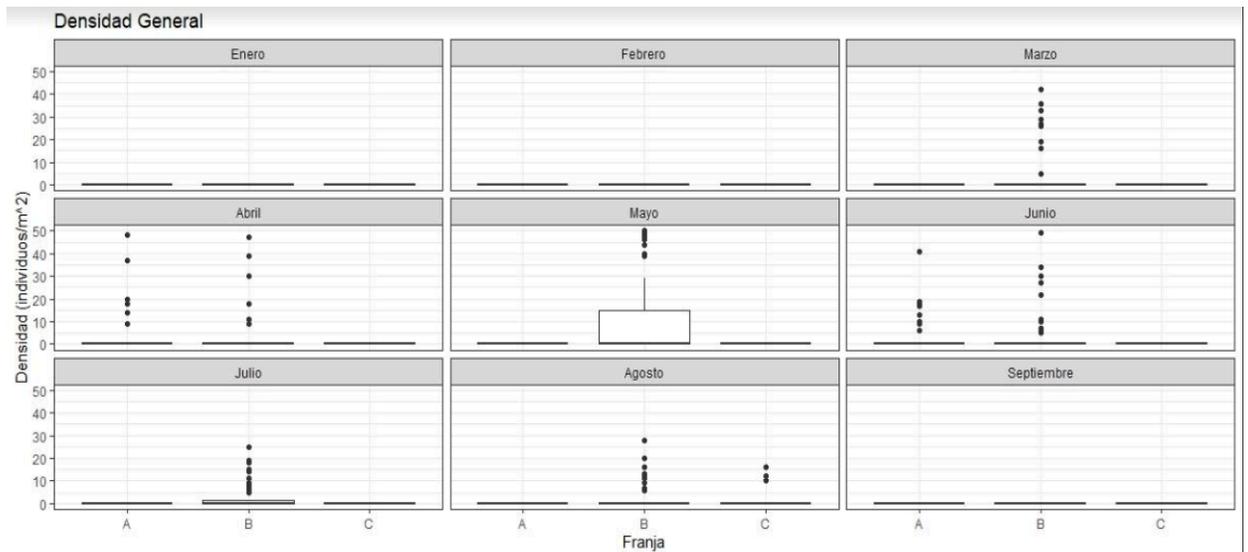


Figura 9. Abundancia de los individuos/m² de la especie *Mellita quinquesperforata* por cada franja (Distancia desde los 20 m de la LMB) Franja A: 20-30 m, Franja B: 30-40 m, Franja C: 40-50 m en la estación de muestreo 2C en la playa de la Boquilla, Cartagena de Indias, Caribe colombiano dentro del periodo muestreado en 2023. En la franja B del mes de mayo se evidenció el mayor promedio de densidad con 12,96 ind/m².

5.2 ABUNDANCIA DE *M. quinquesperforata* DENTRO DE LOS PARCHES

De acuerdo con las observaciones registradas en este estudio, es preciso anotar que *M. quinquesperforata* presenta una distribución en parches o agregaciones de individuos, donde varios individuos se encuentran agrupados en pequeñas porciones de la superficie del sustrato. En este caso la densidad de individuos (N=108) dentro del parche, es decir considerando solo los cuadrantes con presencia de organismos, varió entre 5 y 87 individuos con un promedio de $23,37 \pm 17,92$ individuos/m².

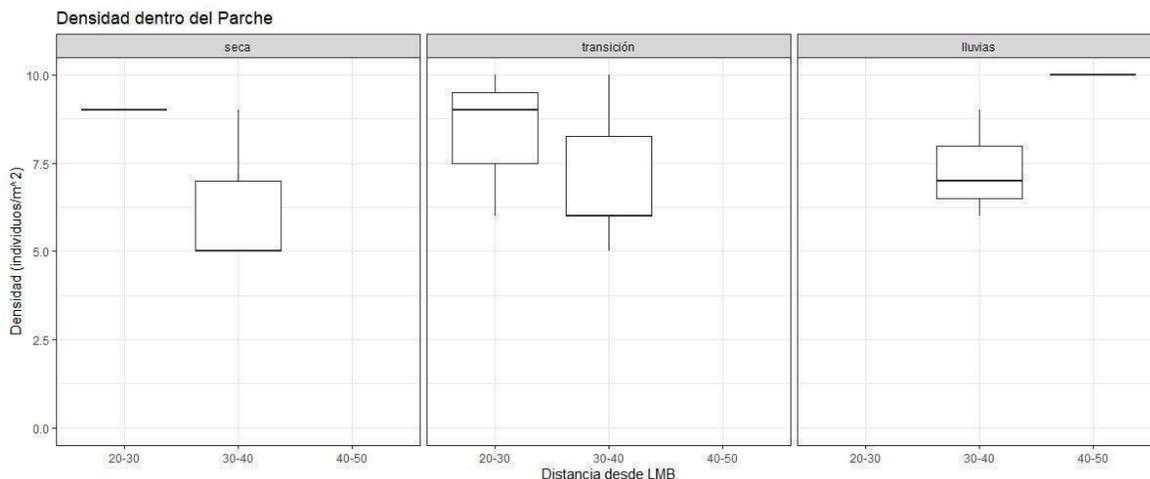


Figura 10. Densidad (Individuos/m²) dentro de los parches según la distancia a partir de los 20 m desde la LMB. Franja A: 20-30 m, Franja B: 30-40 m, Franja C: 40-50 m y la época climática en la estación 2C dentro del periodo muestreado en 2023. La franja B (30-40 m) destaca como la que alberga el mayor número de individuos.

5.2.1 RELACIÓN DE LA ABUNDANCIA CON LA FRANJA/MES/ÉPOCA

El test de Shapiro-Wilk ($P= 4,134e-09$) indicó que estos datos no se ajustaron a una distribución normal (Anexo 2). Así también, el test Fligner-Killeen indicó la ausencia de homogeneidad de varianzas entre las épocas ($P=0,0052$), y meses ($P= 0,001665$), aunque no entre las franjas ($P=0,05601$) evaluadas. El análisis de variabilidad Kruskal-Wallis evidenció diferencias estadísticamente significativas en las medianas de las densidades entre las diferentes épocas ($P= 0.02347$) y meses ($p = 0.0002513$), pero no entre las franjas ($p=0.6367$) evaluadas (Figura 10). En este caso, la prueba de comparaciones múltiples (Test de Dunn) identifica diferencias significativas en la comparación seca-lluvias (suma de rangos = 26.85 $p=0.0275$), y no en transición-lluvias (suma de rangos = 12.44 $p= 0.1763$) o transición-seca (suma de rangos = -14.41846 $p=0.0865$). Para los meses muestreados, las comparaciones múltiples (Test de Dunn) permiten identificar

diferencias significativas en mayo-agosto ($p = 0.0360$), mayo-julio ($p = 0.0039$), y mayo-junio (0.0303).

Al analizar la densidad dentro de las agregaciones en relación con la distancia de la LMB, la franja B (30-40 m) destacó como la que albergó el mayor número de individuos evidenciado en las épocas climáticas analizadas. De esta forma, se registró un máximo de aproximadamente 60 ind/m^2 y una mediana de alrededor de 18 ind/m^2 . Le siguió la franja A (20-30 m) con una mediana de aproximadamente 20 ind/m^2 . Por último, la franja C (40-50 m) presentó la menor densidad en comparación con las franjas anteriores con una mediana cercana a los 10 ind/m^2 (Figura 11).

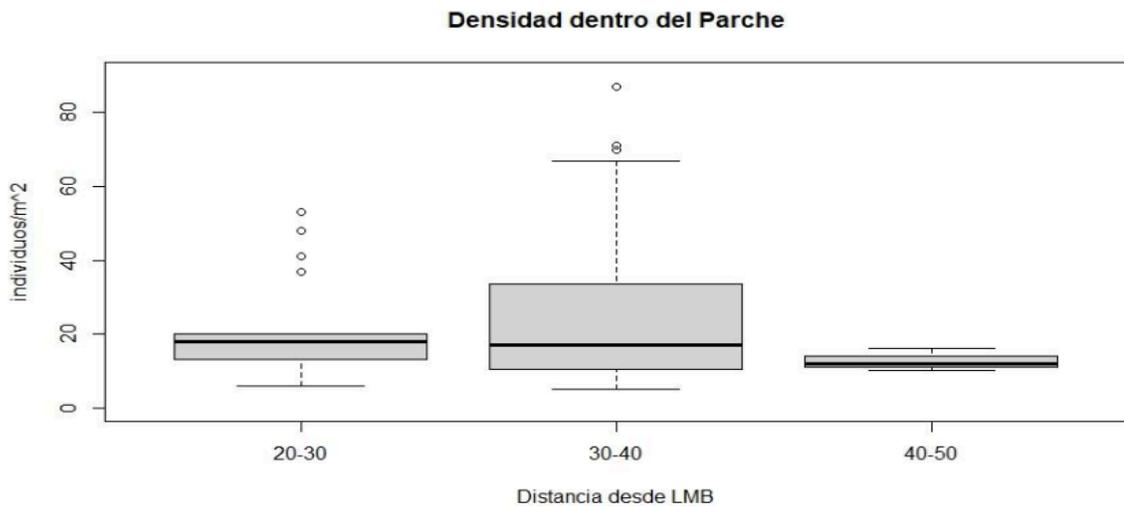


Figura 11. Densidad (Individuos/m^2) de los individuos para la especie *Mellita quinquesperforata* dentro de los parches por distancia a partir de los 20 m desde LMB (Distancia desde la línea de marea baja) dentro del periodo muestreado en 2023. Franja A: 20-30 m, Franja B: 30-40 m, Franja C: 40-50 m en la estación 2C.

En contraste, la densidad dentro de los parches en cada mes (Figura 12), fue mayor en abril (Época seca), cuando se encontraron en las franjas A y B cuadrantes con una abundancia de entre 10 y 45 ind/m^2 , y una mediana de 15 y 25 ind/m^2 respectivamente. Adicionalmente, teniendo en cuenta sólo los meses en los que sí se encontraron individuos (marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto) se

pudo evidenciar que el mes del que se encontró la menor densidad fue Julio (época de transición) con un máximo de 20 ind/m² y un mínimo de 5 ind/m² aproximadamente.

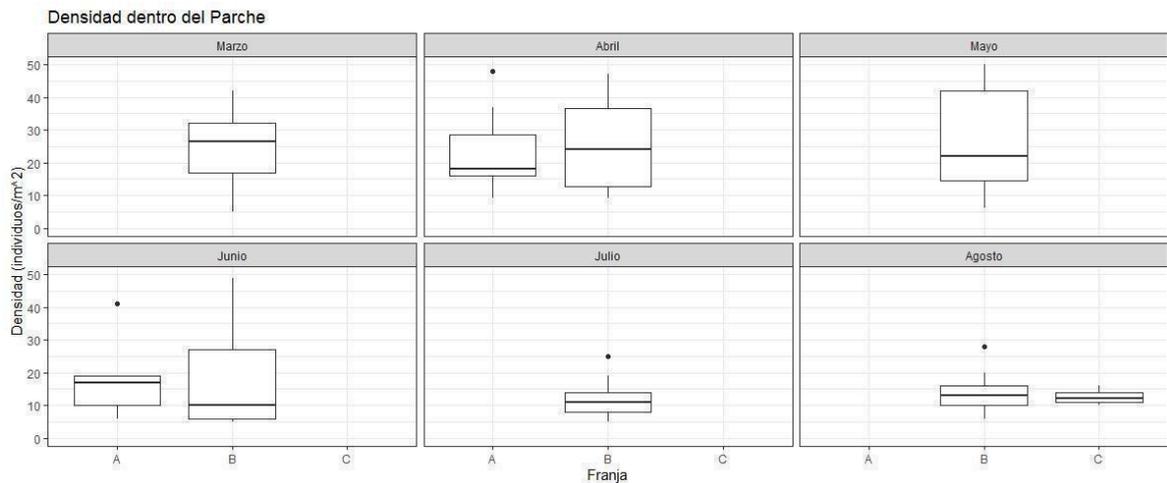


Figura 12. Densidad (Individuos/m²) mensual dentro de los parches según la distancia desde LMB (Distancia desde la línea de marea baja) dentro del periodo muestreado en 2023. Franja A: 20-30 m, Franja B: 30-40 m, Franja C: 40-50 m.

5.3 TALLA DE *M. quinquiesperforata*

A partir de 207 cuadrantes observados (N=2524) en cada mes de muestreo desde enero hasta septiembre de 2023, se estimó una talla promedio de 5,76 cm ± 0,68 cm con una talla mínima de 0,7 cm y una máxima de 9 cm. En cuanto al análisis de distribución Shapiro-Wilk test (P= 2,2e-16), se encontró que los datos no se ajustaron a una distribución normal, igual que el análisis de varianzas (Test de Fligner-Killeen) indicó la ausencia de homogeneidad de varianzas en los datos entre épocas (P= 0,007622), meses (P= 0,01787) y franja (P= 0,01956) muestreadas. El análisis de variabilidad (Kruskal-Wallis) entre épocas (P=

0,008962) mostró diferencias significativas, al igual que al comparar estos valores entre meses ($P= 2,06e-11$) y franjas ($P= 0,0009591$) (Anexo 2). En el caso de las épocas, solo se encuentran diferencias significativas al comparar (Test de Dunn) transición-seca ($p = 0.0064$). Entre meses, las comparaciones múltiples permiten identificar diferencias significativas entre marzo-abril ($P = 2.8e-06$), marzo-julio ($P = 8.4e-08$), y marzo-junio ($P = 4.6e-10$). Por su parte, la talla media mostró diferencias significativas solo entre 30 - 40m y 20 - 30m ($P = 0.00068$) (Anexo 2).

En la figura 13, se destaca que, de los 2526 individuos examinados, alrededor del 30% pertenecen al grupo de adultos jóvenes, con tallas comprendidas entre 4.9 y 6.5. Además, se identificó que el 7% de los individuos recolectados correspondieron a adultos maduros sexualmente, evidenciando tallas superiores a los 4 cm. En contraste, se registraron únicamente 28 individuos juveniles, con tallas inferiores a 4 cm. Esta tendencia se mantuvo constante a lo largo de las tres épocas climáticas muestreadas.

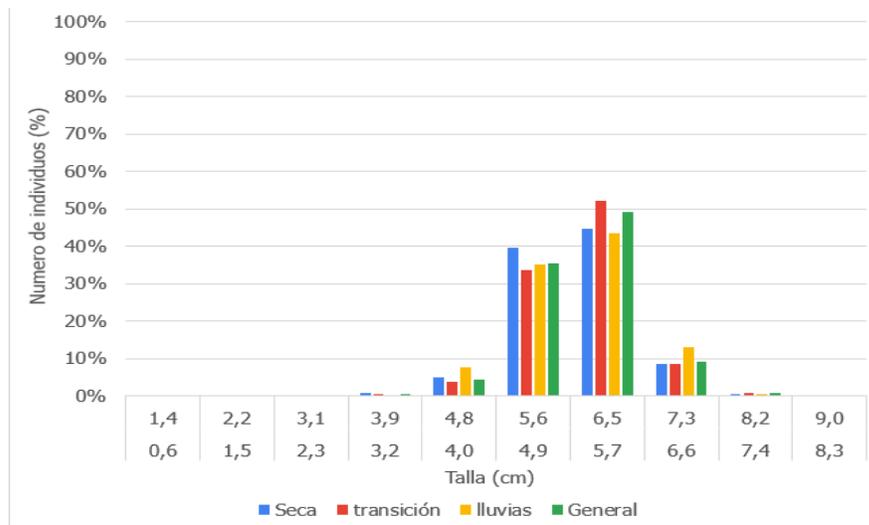


Figura 13. Número de individuos en porcentaje (%) de tallas (cm) para *Mellita quinquiesperforata* en La Boquilla - Cartagena de Indias, Caribe colombiano dentro del periodo en 2023, discriminado por épocas climáticas.

Entre las franjas (Figura 14) definidas según la distancia con la LMB, aunque se mantienen muy similares entre sí, se pudo evidenciar que la franja donde hubo individuos con un promedio de talla mayor fue en la A ($5,88 \pm 0,61$ cm) en la cual también se observaron valores de hasta 9 cm de LT. La comparación de la talla entre los meses muestreados evidenció una tendencia similar con valores muy cercanos al promedio estimado para el conjunto de los datos. Sin embargo, se destacó una talla promedio menor para marzo con $5,56 \pm 0,66$ cm, y junio con el promedio de talla mayor de $5,89 \pm 0,60$ cm; mientras el valor de talla máximo (9 cm) se localizó en mayo (Figura 15).

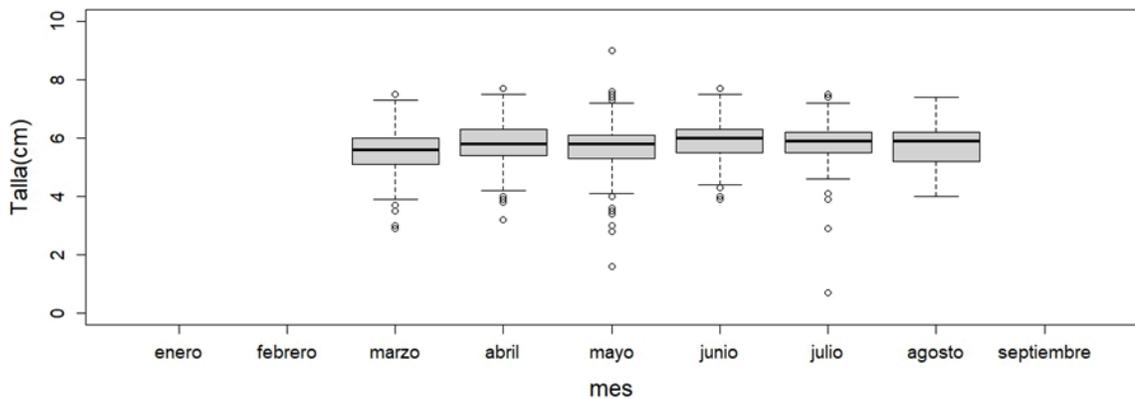


Figura 14. Gráfica mensual de la variación en la talla de los individuos en los meses muestreados para *Mellita quinquiesperforata* en La Boquilla - Cartagena de Indias, Caribe colombiano dentro del periodo en 2023. Se refleja la medida promedio de cada mes donde hubo presencia de organismos (marzo-agosto). cm: centímetros.

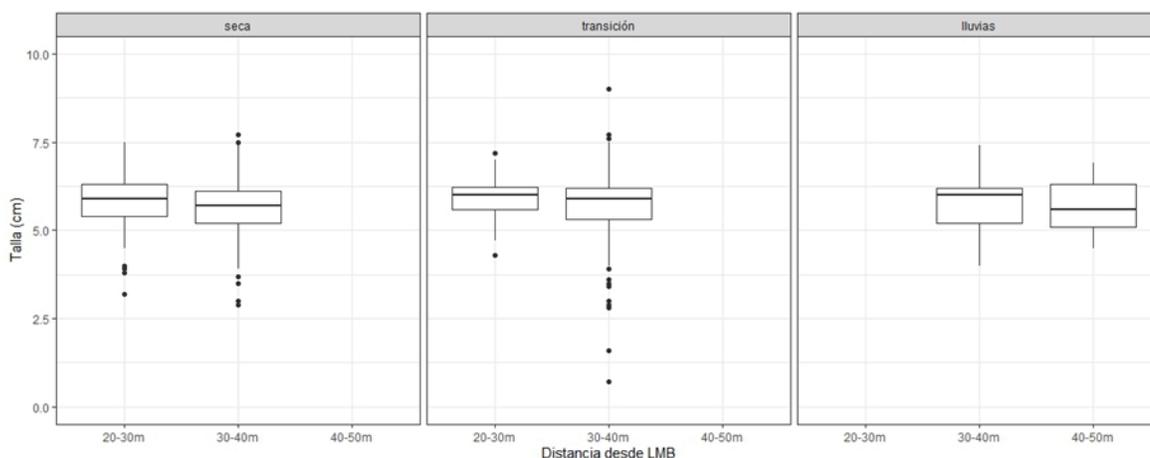


Figura 15. Gráfica de la talla de los individuos según la época y franjas para *Mellita quinquiesperforata* en La Boquilla - Cartagena de Indias, Caribe colombiano dentro del periodo en 2023. Se refleja la medida promedio por época y franja donde hubo presencia de organismos (Marzo-agosto). Franja A: 20-30 m, Franja B: 30-40 m, Franja C: 40-50 m. cm: centímetros

5.4 PESO de *M. quinquiesperforata*

A partir de la medición de 2176 individuos recolectados entre abril y agosto de 2023, se estimó un peso de promedio $17,28 \pm 5,59$ g, con valores mínimo de 2,0 g y un máximo de 40,0 g. El análisis de distribución Shapiro-Wilks indicó que estos datos no cumplen con los supuestos de normalidad. Por su parte, el análisis de Fligner-Killeen test ($P= 0,4939$) mostró homogeneidad de varianzas entre las estimaciones realizadas para épocas, aunque no para meses ($P =0,0006559$) o franjas ($P =0,0006559$). Por su parte, el análisis de variabilidad no paramétrico (Kruskal-Wallis) sugirió que no hay diferencias significativas en las estimaciones de peso promedio de *M. quinquiesperforata* entre épocas ($P= 0,2391$), meses ($P=0,5598$) o franjas de distancia con LMB ($P=0,9523$).

En general, la mayoría (60%) de individuos recolectados en este estudio (749 individuos) pesaron entre 11 g y 23 g. Mientras que, los individuos con peso entre

30 y 40 g solo fueron 32 (4%). Finalmente, solo 23 individuos tuvieron un peso entre 0 g y 5 g (2%). Esta distribución en función del peso se mantuvo entre las épocas muestreadas. Así entonces en los meses muestreados hubo mayor presencia de adultos que de juveniles (Figura 16).

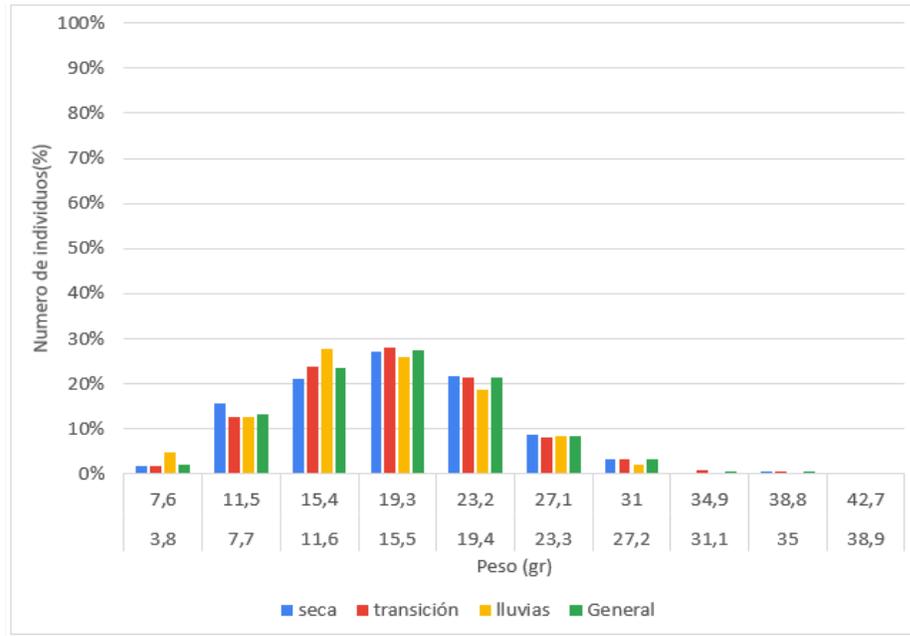


Figura 16. Frecuencia (%) de clases de peso (g) para *Mellita quinquiesperforata*, colectados en La Boquilla (Cartagena de Indias) en el período enero - septiembre de 2023.

Como se ilustra en la figura 17, se observó poca variabilidad en el peso de los individuos, al considerar las franjas A, B, C. Sin embargo, se identificó que la franja B tuvo mayor variabilidad de peso con un máximo de 35 g y un mínimo de 3 g aproximadamente. Por otro lado, en la franja C se mostró un máximo de 30 g y un mínimo de 10 g, lo cual sugiere que en esta franja hubo una menor cantidad de individuos juveniles.

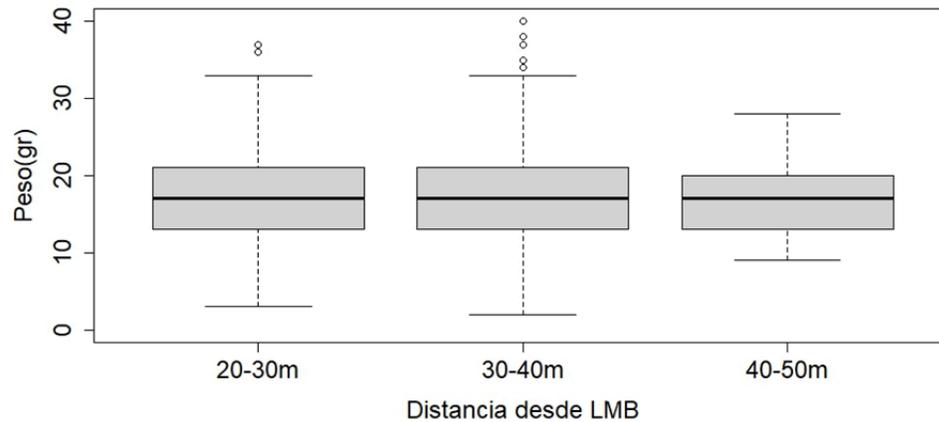


Figura 17. Peso promedio (g) estimado para *Mellita quinquiesperforata* en las diferentes franjas muestreadas A (20-30 m), B (30-40 m), y C (40-50 m) de distancia con la Línea de Marea Baja (LMB) dentro del periodo muestreado en 2023.

La comparación del peso promedio entre los meses (Figura 18) permitió evidenciar que no hubo un cambio significativo entre el peso promedio de los individuos en los meses muestreados. Igualmente, se demostró que el mes donde se encontraron los individuos con mayor promedio de peso fue mayo ($17,4 \pm 5,9$ g) con un máximo de 37 g y un mínimo de 2 g. Por otro lado, el mes con el promedio de peso menor fue agosto ($16,5 \pm 5,2$ g) con un máximo de 30 g y un mínimo de 3 g. Adicionalmente, en los meses de abril y mayo se encontró mayor cantidad de individuos juveniles ya que en estos meses se registraron individuos con peso menor a 5 g. De la misma forma en la figura 19, se observó que no hubo una diferencia significativa entre el peso de los individuos en las diferentes épocas, ya que la variabilidad entre ellas es mínima o poco notable.

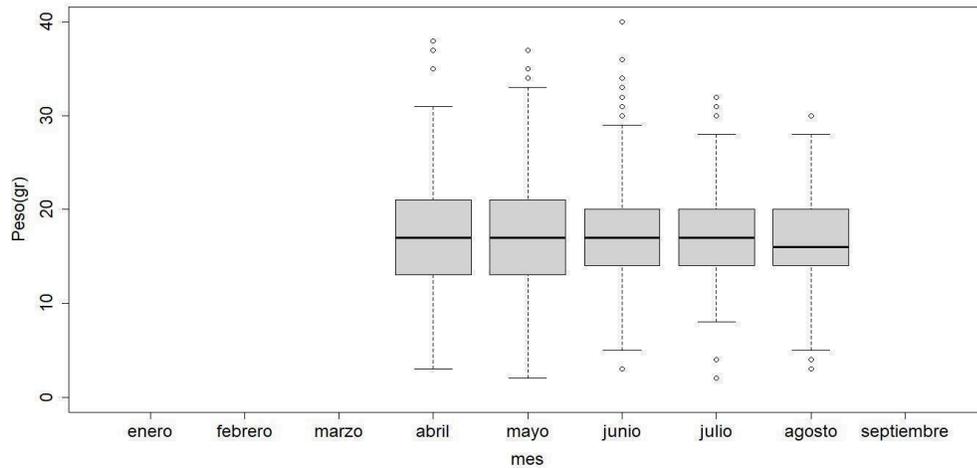


Figura 18. Peso (g) promedio mensual de *Mellita quinquiesperforata* en La Boquilla - Cartagena de Indias, 2023.

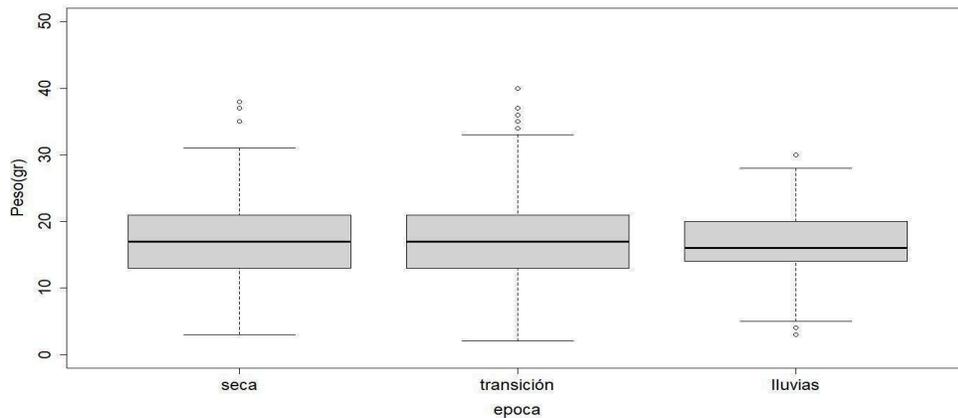


Figura 19. Peso (g) promedio de *Mellita quinquiesperforata* en la Boquilla - Cartagena de Indias, 2023, según épocas climáticas.

5.5 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

De acuerdo con las muestras recolectadas, en cuanto a la normalidad, los datos de % en peso para todos los tamaños de grano tuvieron una distribución no normal, excepto PG 0,125mm y PG 0,075mm que corresponden a arenas finas y

arenas muy finas respectivamente (Tabla 2), adicionalmente los promedios de la abundancia general y la abundancia dentro de los parches tuvieron distribución no normal. Por otra parte, los valores de % en peso para todos los tamaños de grano tuvieron homogeneidad de varianzas entre épocas (Tabla 3).

Tabla 2. Análisis de normalidad entre los tamaños de grano utilizando pruebas no paramétricas (Shapiro-Wilk y Lilliefors). densgral: Densidad general y dendentro: densidad dentro del parche. PG: Tamaños de grano (3,35mm; 1,7mm; 0,600mm; 0,25mm;0,125mm;0,075mm). En amarillo se señalan aquellos tamaño de grano que muestran normalidad. n: Total de muestras tomadas. W: Desviación de la distribución de la muestra de datos. p: P valor. D: Estadística de prueba de hipótesis

		PG3,35m	PG1,7m	PG0,600m	PG0,25m	PG0,125m	PG0,075m	Recepto	Densdentro	DensGral
		m	m	m	m	m	m	r	o	
Normalidad	n	27	27	27	27	27	27	27	27	27
Shapiro-Wilk	W	0,5302	0,705	0,691	0,845	0,928	0,945	0,385	0,709	0,613
	p	3,46e-08	4,568e-06	2,904e-06	0,001	0,06274	0,1574	1,38E-09	0,005	0,000
Lilliefors	D	0,407	0,274	0,268	0,177	0,158	0,115	0,378		
	p	8,85E-13	1,61E-05	2,81E-05	0,030	0,082	0,478	6,24E-11		

Tabla 3. Análisis de Homogeneidad de Varianzas entre épocas utilizando la prueba no paramétrica (Fligner-Killeen). densgral: Densidad general y dendentro: densidad dentro del parche. PG: Tamaños de grano (3,35mm; 1,7mm; 0,600mm; 0,25mm;0,125mm;0,075mm). amarillo se señalan aquellos tamaños de grano que muestran homogeneidad de varianzas. p: P valor. X²: Chi². Df: Grados de libertad asociados con la estadística de prueba.

		PG3,35m	PG1,7m	PG0,600m	PG0,25m	PG0,125m	PG0,075m	Receptor
Fligner-Killeen	X ²	2,546	3,447	0,402	4,492	1,511	3,374	6,249
	Df	2	2	2	2	2,00	2	2
	p	0,280	0,1784	0,8181	0,1058	0,470	0,1851	0,04396

El sedimento se compone al menos en un 50% de arenas muy finas, el porcentaje de estas arenas varió entre 51% hasta el 81% sin mostrar mayor variabilidad entre las muestras. Se analizó la abundancia promedio de individuos con cada tamaño de grano en general y dentro de cada parche y se encontró que no hay una correlación entre cada tamaño de grano y la abundancia de organismos (Tablas 4 y 5).

Tabla 4. Análisis de correlación (%) de Spearman entre abundancia de tamaños de grano y abundancia promedio de *Mellita quinquiesperforata* en general (%). PG: Tamaños de grano (3,35mm; 1,7mm; 0,600mm; 0,25mm;0,125mm;0,075mm). En verde y amarillo se señalan los tamaños de grano que muestran relación con la abundancia de *Mellita quinquiesperforata*. rho: Coeficiente de correlación de Spearman. s: Estadístico de prueba de correlación. p: P valor. cor: Coeficiente de correlación de fuerza y dirección entre las variables.

		PG3,35 mm	PG1,7 mm	PG0,600 mm	PG0,25 mm	PG0,125 mm	PG0,075 mm	Receptor
Spearman	rho	-0,060	-0,112	0,024	-0,354	-0,508	0,369	0,618
	s	3473,2	3644,3	3197,5	4437,1	4940,3	2066,4	1251,6
	p	0,766	0,577	0,906	0,070	0,007	0,058	0,001

Tabla 5. Análisis de correlación de Spearman entre abundancia de tamaños de grano y abundancia promedio de *Mellita quinquiesperforata* dentro de los parches. PG: Tamaños de grano (3,35mm; 1,7mm; 0,600mm; 0,25mm;0,125mm;0,075mm). En verde se señalan los tamaños de grano que muestran relación con la abundancia de *Mellita quinquiesperforata*. rho: Coeficiente de correlación de Spearman. s: Estadístico de prueba de correlación.p: P valor. cor: Coeficiente de correlación de fuerza y dirección entre las variables.

		PG3,3 5mm	PG1,7 mm	PG0,600 mm	PG0,25 mm	PG0,125 mm	PG0,075 mm	Receptor
Spearman	rho	0,002	-0,023	0,117	-0,235	-0,528	0,277	0,580
	s	3270,3	3351,8	2892,8	4047,0	5007,3	2368,8	1376,2
	p	0,993	0,909	0,561	0,237	0,005	0,162	0,002

6. DISCUSIÓN

Dentro de las especies de Mellitidos presentes en el Caribe Colombiano, solo se encuentran registros de *M. quinquesperforata* en Santa Marta, Cartagena de Indias y otras localidades cercanas a esta (Arévalo, 1978; Borrero-Pérez *et al.*, 2012), y *Encope michelini* (Agassiz, 1841) en el área de Cispatá con 405 individuos en más o menos 114 m², lo que equivale a una densidad relativa de $0,58 \pm 0,14$ individuos/ m², como también en algunas regiones del Magdalena (Borrero-Pérez *et al.*, 2012; Galindo-Anaya *et al.*, 2020). Aunque la densidad relativa aquí estimada para *M. quinquesperforata* ($1,36 \pm 6,99$ ind/ m²) es mayor a la reportada *E. michelini*, es importante tener en cuenta el tamaño de los ecosistemas que habitan, como lo son las playas de arena, y la probabilidad de encuentro con estos individuos.

Este trabajo surge a partir de la observación de la modificación del borde costero y el interrogante de ¿qué ha sucedido con una especie como el dólar de mar?, luego que Arévalo (1978) en su tesis sobre "Observaciones bioecológicas y biométricas del dólar de arena *Mellita quinquesperforata* (Leske 1778)", hubiera registrado 2365 individuos en las playas de Cartagena, desde Bocagrande hasta Manzanillo.

En el presente trabajo se identificaron 2524 individuos, específicamente en el sector La Boquilla. Para este estudio se realizó previamente un análisis de área desde junio hasta julio del 2022 de todas las playas muestreadas por Arévalo (1978) en el cual se confirmó la ausencia de la especie en las playas de Bocagrande, Manzanillo, Marbella y Crespo durante los meses muestreados hasta 50 m desde LMB. Sin embargo, el área de distribución observada en el presente estudio fue mucho menor, una vez que solo se localizaron individuos en menos de la mitad de la longitud de línea de costa (15 km) donde los antecedentes habían registrado su presencia para Cartagena de Indias.

Este aparente cambio en la abundancia de *M. quinquiesperforata* en Cartagena de Indias podría relacionarse con los cambios morfológicos que han tenido las playas de Cartagena desde 1978. Hasta el año 2000, la ciudad contaba con 68 espolones en total, localizados en el borde costero del norte de la ciudad, que abarca desde las playas de Crespo hasta el Club Naval, en Castillogrande (Castellar & Ramírez, 2020). La ciudad creció principalmente a expensas de geoformas costeras de disposición lineal, como espigas y barras, y de rellenos artificiales de las zonas de manglar. La ocupación de terrenos de pantanos de manglar y lagunas costeras se hizo más intensa en las últimas décadas, al punto de afectar los ecosistemas a través de desequilibrios fuertes en los procesos de transporte y acumulación del sedimento. Hoy en día la ciudad continúa ampliando las estructuras de protección para defender la erosión, a pesar de haber demostrado ser ineficientes en diferentes instancias. A la vez, el desarrollo urbanístico de las áreas contiguas a las playas y las obras de protección costera que actualmente se ejecutan, pueden haber provocado cambios en la composición del sustrato de las áreas más cercanas al borde litoral. En este sentido es fundamental continuar con el monitoreo de la composición y dinámicas del sedimento, como de la biota asociada a las áreas de playa (Posada & Henao, 2008).

Así entonces, la abundancia estimada aquí para *M. quinquiesperforata* puede considerarse mayor a la registrada en los 1970s ya que, aunque el número de individuos recolectados en ambos estudios es similar, es preciso considerar la superficie muestreada, el tiempo y la metodología empleada para la captura de los individuos. Arévalo (1978) muestreó un área aproximada de 15 km que comprende la línea de playa de Bocagrande hasta Manzanillo. En contraste, aquí solo se muestreó un área aproximada de 4 km que corresponden a la playa La Boquilla. Así también, el trabajo de Arévalo (1978) refiere la recolecta de individuos como un muestreo oportunista, probablemente asociado a los individuos recolectados durante recorridos realizados en la zona, con otros fines. En este estudio, se realizó un muestreo sistemático, orientado a revisar la misma

cantidad de superficie (4 km) posible durante jornadas de trabajo planeadas exclusivamente para este fin.

M. quinquiesperforata muestra una relación importante con las características del sustrato que habita. A partir de las observaciones realizadas en 2022, aquí referidas como pre-muestreo, se registró la ausencia de individuos en la porción de sustrato que va desde la línea de marea baja hasta los 20 m hacia mar adentro. Por otra parte, se evidenció que la composición y estructura granulométrica del sustrato varió muy poco a través de las épocas climáticas en todas las franjas, predominando las partículas de arena finas y muy finas en aquellos espacios donde *M. quinquiesperforata* estaba presente. Allí, la composición del sustrato, en términos de tamaño de las partículas fue dominado por granos entre los 0,125 mm a 0,75 mm. En un estudio previo Pomory *et al.*, (1995) reportó que *M. tenuis* (Clark, 1940) tuvo preferencia por un rango de tamaño de partículas de 0,25 mm a 0,499 mm. Esto se puede atribuir a que a medida que el tamaño del grano disminuye, la cantidad de alimento disponible que recubre la superficie del grano aumenta exponencialmente. Esta situación puede explicarse debido a que, a medida que el tamaño del grano disminuye, la cantidad de alimento disponible que recubre la superficie del grano experimenta un aumento exponencial (Challener *et al.*, 2009).

En el pasado, por ejemplo, en los estudios de Salsman y Tolbert (1965), no se observó ninguna preferencia por un tamaño de sedimento específico para *M. tenuis* (Clark, 1940). Sin embargo, sí tenían una distribución por parche, y estas agregaciones eran más comunes en canales de arena y en depresiones donde se acumulan los sedimentos más finos.

En relación con el sustrato y la alimentación, Challener *et al.* (2009) constatan que las diferencias en la capacidad de los dólares de arena para seleccionar diferentes tamaños de grano pueden estar relacionadas con su mecánica de alimentación. Ellos consideran que los alimentadores de depósitos seleccionan mayores

proporciones de sustrato de menor tamaño de grano de arena para optimizar el consumo de materia orgánica que cubre a los granos de arena. Esto se basa en el análisis de las vísceras de *M. tenuis* (Clark, 1940), donde encuentran mayoritariamente granos de arena mayores a 0,2 mm, y solo un 2,5% de granos de arena menores a 0,1 mm (Challener *et al.* 2009). Resultados similares han sido reportados para especies como *Echinarachnius parma* (Lamarck, 1816) y *E. michelini* (Agassiz, 1841), por Ellers y Telford (1984) y Telford y Mooi (1986), respectivamente. En esos estudios, ambas especies tuvieron preferencia por granos de arena más grandes, contrariamente a lo evidenciado en *M. quinquiesperforata*, la cual prefirió granos de arena de menor tamaño.

Por otra parte, las estimaciones de abundancia aquí descritas podrían estar afectadas por el ciclo reproductivo, su posible relación con la época climática. No obstante, las investigaciones sobre las especies de *Mellita* revelan una diversidad notable en sus patrones reproductivos en diferentes regiones geográficas. *M. tenuis* (Clark, 1940), en la costa de Florida tiene variaciones estacionales en el crecimiento, la densidad y la distribución de los individuos (Lane y Lawrence, 1980; Salsman y Tolbert, 1965).

George y Boone (2003), centrados en Georgia (USA) y *M. isometra* (Harold & Telford, 1990), identificaron un inicio de desove en primavera (marzo a mayo), con un pico destacado en verano (junio, julio y agosto), seguido de un declive en otoño (septiembre, octubre y noviembre).

En la playa de Pontal do Sul, Tavares y Borzone (2014) exploraron el caso de *M. quinquiesperforata*. Sus hallazgos indican que más del 60% de las hembras de esta especie se encontraban en etapa prematura y madura durante los meses de verano, otoño e invierno (diciembre de 1993 a julio de 1994). En contraste, la etapa de reposo se manifestó en un pequeño porcentaje de individuos (10-20%) durante los meses de otoño e invierno (Mayo a julio de 1994).

Finalmente, Mello *et al.* (2020) aportó datos desde Brasil, destacando la presencia constante de adultos fértiles a lo largo de todo el año para *M. quinquiesperforata*. Este estudio resaltó la facilidad de manipulación de los animales y las altas tasas de desarrollo embrionario observadas en diferentes periodos del año. En conjunto, estas investigaciones subrayaron la complejidad y variabilidad de los ciclos reproductivos de esta especie en diversos entornos geográficos. Es por ello que se considera de gran importancia llevar a cabo un estudio específico del ciclo reproductivo para determinar si estas observaciones son aplicables al contexto particular de la playa La Boquilla.

Por otro lado, los dólares son equinoideos discoidales con una superficie abdominal ligeramente curva y una superficie oral casi plana o ligeramente cóncava. Cuando están inmersos en corrientes de agua, estas formas aprovechan la aceleración del fluido sobre la superficie abovedada para generar sustentación. La presencia de lúnulas reduce efectivamente la elevación producida en un 33%, ya que estas estructuras proporcionan canales para disipar el exceso de presión de la superficie bucal. Se postula que los dólares de arena con lúnulas deberían poder tolerar mayores niveles de energía en entornos que aquellos que carecen de estas características. Las lúnulas y las muescas permiten que los dólares de arena sobrevivan en patrones de flujo potencialmente generadores de elevación con un menor riesgo del esperado. Por otro lado, los dólares de arena sin estas características deben adaptarse mediante modificaciones de comportamiento, como la acumulación de cinturones de peso, excavación más profunda y orientación hacia las olas en la medida de lo posible (Telford, 1981).

En relación con el estudio actual se puede observar que la abundancia de *Mellita quinquiesperforata* parece depender de la época climática, las condiciones oceanográficas y la disponibilidad de materia orgánica en el sedimento. Durante la época de lluvias, las corrientes, la temperatura y la salinidad del agua cambian por el aumento de agua dulce proveniente de la escorrentía, lo cual crea condiciones

favorables en las zonas costeras para que los individuos se asienten. En la época seca (enero y febrero), sin embargo, el ambiente cercano a la costa se vuelve menos favorable, lo que puede llevar a los individuos a enterrarse a mayor profundidad o migrar más lejos de la costa. La disponibilidad de materia orgánica, vital para la alimentación de estos erizos, también varía con la época; en el periodo de alta productividad (como la época lluviosa), hay un aumento en la materia orgánica dispuesta en sedimento, lo que favorece la densidad de población y el crecimiento de *Mellita quinquiesperforata*. Durante el muestreo, se observó una escasez de juveniles en la época seca, lo que podría reflejar una baja reproducción o menor supervivencia en esos meses; entre mayo y julio, no obstante, se observó un aumento de juveniles, lo que podría estar vinculado al desarrollo de individuos jóvenes del ciclo reproductivo más reciente. La falta de juveniles al inicio del año limita las inferencias sobre su ciclo reproductivo, lo que subraya la necesidad de un monitoreo constante para comprender mejor su temporalidad reproductiva en esta región.

Además, es posible que las estimaciones de abundancia aquí descritas hayan sido afectadas por el movimiento horizontal y vertical de los individuos. Al respecto, en una escala de tiempo más larga, la actividad del dólar de arena cambia estacionalmente con una mayor actividad durante el verano independientemente de los ritmos diarios. Sin embargo, es incierto si el aumento de la actividad se ve estimulado por el aumento de la temperatura, el aumento de la productividad marina, reproducción estacional o una combinación de factores (Cleveland & Pomory, 2022).

7. CONCLUSIONES

- Los resultados revelaron la ausencia total de la especie durante los meses correspondientes a la época seca, específicamente en enero y febrero, así como en septiembre, que se caracteriza como época lluviosa. Este hallazgo sugiere una posible correlación entre la actividad o comportamiento de la especie y las condiciones climáticas asociadas.
- Los muestreos se llevaron a cabo exclusivamente en la estación centro de La Boquilla debido a la falta de evidencias que demostraran la presencia del organismo en las estaciones sur y norte dentro de la playa. Esta elección se basó en la intención de aumentar la eficiencia de la investigación al concentrar los esfuerzos en la ubicación más probable para la detección de la especie en cuestión.
- Este estudio destaca una marcada diferencia en la abundancia de la especie en comparación con investigaciones anteriores. En La Boquilla, se reportaron 2524 individuos en un área de muestreo de apenas 4 km², contrastando significativamente con los antecedentes de la ciudad de Cartagena, donde se encontraron 2365 individuos en una extensión de alrededor de 15 km².
- Se encontró durante la época y el periodo evaluado una mayor cantidad de individuos adultos (98.98%) y en menor cantidad individuos en estadios juveniles (1.11% aproximadamente). Además, se evidenció que la talla de los individuos es directamente proporcional con su peso, lo que significa que a medida que aumenta la longitud o tamaño de los organismos, también se incrementa su masa corporal. Esta relación proporcional es un indicador de que el crecimiento de los individuos sigue un patrón consistente y predecible, permitiendo estimar su peso basado en su talla.
- Esta especie exhibe una clara preferencia por sustratos caracterizados por una mayor concentración de grano de arena entre los tamaños 0.125 mm y 0.075 mm, correspondientes a arenas finas y muy finas, respectivamente. Este hallazgo señala la importancia de las características granulométricas en la selección del hábitat por parte de la especie. La tendencia hacia arenas finas y muy finas sugiere una posible afinidad con ambientes con texturas más suaves, lo cual podría tener implicaciones significativas para comprender su ecología y preferencias ambientales. Este conocimiento detallado sobre las preferencias de sustrato contribuye a una comprensión

más profunda de la ecología de la especie y puede ser valioso para la gestión y conservación de su hábitat.

8. RECOMENDACIONES

- Llevar a cabo investigaciones adicionales sobre las poblaciones de *M. quinquiesperforata* en todas las épocas del año para obtener un mayor conocimiento acerca de la incidencia de las perturbaciones naturales, como tormentas, y fenómenos climáticos como El Niño y La Niña, afectan la dinámica de estas poblaciones.
- Analizar el impacto de las corrientes marinas, el suministro de nutrientes y las anomalías térmicas en relación con la supervivencia y la distribución de esta especie. La profundización en estos estudios proporcionará información valiosa para comprender mejor el comportamiento de *M. quinquiesperforata* en su entorno.
- Se propone llevar a cabo un estudio migratorio en relación con el ciclo reproductivo de la especie. Esta estrategia tiene como objetivo desentrañar el complejo patrón de movilidad de la especie a lo largo de su ciclo reproductivo, proporcionando así una visión más completa de sus hábitos y comportamientos específicos en diferentes fases del proceso reproductivo. Este análisis migratorio revelaría aspectos cruciales para la conservación, como las áreas de reproducción y las rutas migratorias

9. REFERENCIAS

- Acevedo, R. (2017). *Diagnóstico preliminar ambiental de playas de Cartagena de Indias, Caribe colombiano*. Teknos Revista Científica. 17(1):38-46. <http://dx.doi.org/10.25044/25392190.891>
- Alandete, L. C., & Romero, D. (2016). *Factores de emisión por efecto de la movilidad vehicular en ciudades con similares condiciones a Cartagena De Indias, Colombia*. Universidad de Cartagena. Tesis de postgrado. 44 pp
- Alcalá-Cerra, G., Gutiérrez-Paternina, J. J., Preciado-Mesa, E., Sabogal-Barrios, R., & Niño-Hernández, L. M. (2012). *Variaciones climáticas y hemorragias intracraneales*. Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social, 50(4): 413-417.

- Arévalo, F. (1978). *Observaciones bioecológicas y biométricas del dólar de arena Mellita quinquesperforata Leske 1778 Echinodermata: Echinoidea para las playas de Bocagrande a la Boquilla en la ciudad de Cartagena*. Invemar. 86p
- Bell, B & Frey, R. (1969). *Observations on Ecology and the Feeding and Burrowing Mechanisms of Mellita quinquesperforata (Leske)*. Journal of Paleontology. 43(2): 553-560
- Betancur-Turizo, S & Rivero, J. (2020). *Variabilidad de la pendiente espectral de la materia orgánica disuelta cromofórica (cdom) en la estación de monitoreo multianual antares ,cartagena*. Boletín Científico CIOH. 39(2): 3-15.
- Borrero-Pérez G.H., M. Benavides-Serrato y C.M. Diaz-Sanchez. (2012). *Equinodermos del Caribe colombiano II: Echinoidea y Holothuroidea*. Serie de Publicaciones Especiales de Invemar No. 30. Santa Marta, 250 p.
- Borrero-Pérez, G., Solano, O & Benavides-Serrato, M. (2002). *Lista revisada de los erizos (Echinodermata: Echinoidea) del Mar Caribe Colombiano*. Biota Colombiana. 3(1):141-148
- Buitrago, N., Williams, A & Anfuso, G. (2018). *Hard protection structures as a principal coastal erosion management strategy along the Caribbean coast of Colombia. A chronicle of pitfalls*. Ocean & Coastal Management. 156: 59-75.
<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.04.006>
- Castellar, A & Ramirez, N. (2020). *Evaluación conceptual de alternativas de obras de protección duras y grises o verde con aplicación a la ciudad de Cartagena*. Universidad Tecnológica de Bolívar. Tesis de pregrado
- Cleveland, A & Pomory, C. (2022) *Movement and behavior of the sand dollar Mellita tenuis (Echinodermata: Echinoidea)*. Marine and Freshwater Behaviour and Physiology. 55:1-2, 1-20, DOI: 10.1080/10236244.2022.2035223
- Costa, I. (2008). *Biologia populacional de Mellita quinquesperforata Leske (1778) (Echinodermata: clypeasteroidea: mellitidae) na praia da Taiba, Ceará, Brasil*. Universidade Federal do ceará instituto de ciências do mar mestrado ciências marinhas tropicais.
- Challener, R. Miller, M. Furbish, D & McClintock, J. (2009). *Evaluation of sand grain crushing in the sand dollar Mellita tenuis (Echinoidea:*

Echinodermata). Aquatic Biology. 7(3): 261-268.
DOI:10.3354/ab00199.

Díaz, G. (2004). *Influencia del oleaje y deriva litoral en la región costera de Cartagena de indias (Sector La Boquilla El Laguito)*. CIOH. Recuperado el 25 de mayo de 2022 de <https://www.cioh.org.co/meteorologia/pdfTesis/Tesis4.pdf>

Dos santos, E. (2022). *Caracterización del mejillinar de *Brachidontes Rodriguezii* (D'orbigny, 1842) en la zona intermareal del sur bonaerense*. Universidad Nacional del Sur. Tesis doctoral. DOI:10.3354/ab00199.

Ellers, O & Telford, M. (1984). *Collection of food by oral surface podia in the sand dollar, *Echinarachnius parma* (Lamarck)*. Biol Bull. 166:574–582. <https://doi.org/10.2307/1541163>.

Erazo, k., Cantera, j & Londoño, E. (2013). *Dinámica espaciotemporal de *Mellitella stores* (Echinodermata: echinoidea) en Piangeita, Pacífico Colombiano*. Universidad Nacional de Colombia. Tesis de pregrado

Francisco, V & Pauls, M. (2008). *Especies del Orden Clypeasteroidea (Echinodermata: Echinoidea) de las costas de Venezuela*. Revista de Biología Tropical. 56(3): 215-228. <https://doi.org/10.15517/rbt.v56i3.27085>.

Galindo-Anaya, A., Nisperuza-Pérez, C & Quirós-Rodríguez, J. (2020). *Aspectos poblacionales de *Encope michelini* (Clypeasteroidea: Mellitidae) y asociación con el pinotérido *Dissodactylus crinitichelis* en el sector La Ahumadera, bahía de Cispatá, Caribe colombiano*. Rev. Mex. Biodiv. 91. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2020.91.3456>.

Galván-Villa C. M., E. Rubio-Barbosa A.& Martínez-Melo. (2018). *Riqueza y distribución de equinoideos irregulares (Echinoidea: Cassiduloidea, Clypeasteroidea, Holasteroidea y Spatangoida) del Pacífico central mexicano*. Hidrobiológica 28(1): 83-91. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2018v28n1/Galvan>.

George, S & Boone, S. (2003). *The ectosymbiont crab *Dissodactylus mellitae*–sand dollar *Mellita isometra* relationship*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 294(2): 235–255. DOI:10.1016/S0022-0981(03)00271-5.

- Gómez, C. (2021). *Determinación del ancho de la franja de transporte de sedimentos utilizando el parámetro de shields: playas de Cartagena de Indias*. Universidad de Cartagena. Tesis de pregrado
- Gómez-Cubillos, C., L. Licero, L. Perdomo, A. Rodríguez, D. Romero, D. BallesterosContreras, D. Gómez-López, A. Melo, L. Chasqui, M. A. Ocampo, D. Alonso, J. García, C. Peña, M. Bastidas & C. Ricaurte. (2015). *Portafolio “Áreas de arrecifes de coral, pastos marinos, playas de arena y manglares con potencial de restauración en Colombia”*. Serie de Publicaciones Generales del Inveimar No. 79, Santa Marta. 69 p.
- González, Y. Saavedra, H. Ruiz, J & Melo, J. (2022). *Informes de predicción climática a corto, mediano y largo sobre el territorio nacional*. IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. <https://acortar.link/IO1NTN>
- Herrera, J., Prüssmann, J., Abud, M., & Zapata, A. (2024). Vulnerability and climate risk analysis of the mangrove socio-ecosystem in Colombia. *Bol. Invest. Mar. Cost.* 53 (2): 103-132
- Ibarra-Arana, M & Rocha, L. (2019). *Efectos de la calidad del agua y del sustrato blando sobre la macrofauna bentónica de la zona intermareal en la Playa Pochomil, San Rafael del Sur*. *Revista Torreón Universitario*. 7(20): 43–61. DOI:10.5377/torreon.v7i20.8567.
- IDEAM. (2023). *Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos*. Recuperado 12 de diciembre de 2022, de: <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>
- Lane, J & Lawrence, J. (1980). *Seasonal variations in body growth, density and distribution of a population of sand dollars, Mellita quinquesperforata (Leske)*. *Bull. Mar. Sci.* 30: 871–882.
- Lane, J. M., & Lawrence, J. M. (1982). *Food, feeding and absorption efficiencies of the sand dollar, Mellita quinquesperforata (Leske)*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 14(4): 421-431. [https://doi.org/10.1016/S0272-7714\(82\)80012-7](https://doi.org/10.1016/S0272-7714(82)80012-7)
- Lawrence, J. M., Pomory, C. M., Sonnenholzner, J., & Chao, C. M. (1998). *Bilateral symmetry of the petals in Mellita tenuis, Encope micropora, and Arachnoides placenta (Echinodermata: Clypeasteroidea)*. *Invertebrate biology*. 94-100. <https://doi.org/10.2307/3226855>

- Llamas, J. (2020). *Participación comunitaria en el proceso de protección del patrimonio territorial en el corregimiento de La Boquilla (Cartagena de Indias-Colombia)*. Tesis doctoral. Universidad de Huelva. 388 p
- Marino, R., Kuller, M., Zurita, B., Carrasco, L., Gosciniaka, P., Kustosikd, K., & Riveros, A. Assessment of public space potential for climate change adaptation in three Colombian cities: nature-based solutions and urban design guidelines. *Water Practice & Technology* 19 (5) : 1697 - 1709
- Maza, J & Rangel T. (2015). *Estudio de perfiles para la determinación de estados modales de playa en el sector La Boquilla en la ciudad de Cartagena de Indias*. Universidad de Cartagena. Trabajo de pregrado. 187pp
- Mello, L., da Fonseca, T & de Souza, A. (2020). *Ecotoxicological assessment of chemotherapeutic agents using toxicity tests with embryos of *Mellita quinquesperforata**. *Marine Pollution Bulletin*. 159. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111493>
- Morales, J. A., Borrego, J., Gracia, F. J. & Peralta, G. (2009). *1140 Llanuras mareales*. En: VV.AA., *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 68 p.
- OCHA. (2024). Efectos y consecuencias humanitarias del fenómeno de El Niño en América Latina y el Caribe 2023/2024. Oficina para la Coordinación de Asuntos Humanitarios - OCHA
- Osorio, J. S. (2010). *Dinámica espacio-temporal del fitoplancton en la bahía de Cartagena y su relación con parámetros fisicoquímicos en un ciclo climático anual*. Trabajo de Grado para optar por el título de Biólogo Marino. Santa Marta, Magdalena, Colombia: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Pomory, C., Robbins, B & Lares, M. (1995). *Sediment grain size preference by the sand dollar *Mellita tenuis clark*, 1940 (echinodermata: echinoidea): a laboratory study*). *Bulletin of marine science*. 56(3): 778-783
- Posada, B & Henao P, W. (2008). *Diagnóstico de la erosión en la zona costera del Caribe colombiano*. INVEMAR, Serie Publicaciones Especiales. 13: 200 pp

- Quinn, G. P., & Keough, M. J. (2002). *Experimental design and data analysis for biologists (2nd ed)*. Cambridge university press. <https://doi.org/10.1017/9781139568173>
- Rangel-Buitrago, N., Williams, A & Anfuso, G. (2018). *Hard protection structures as a principal coastal erosion management strategy along the Caribbean coast of Colombia. A chronicle of pitfalls*. *Ocean & Coastal Management*. 156: 59-75. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.04.006>
- Rojas, G. Ulloque, R & Lacoste, M. (2014). *Integración de la adaptación al cambio climático en la planificación territorial y gestión sectorial de Cartagena de Indias*. Serie de Publicaciones Generales del Invemar. Santa Marta. 62: 222 pp.
- Rosenzweig, C & Neofotis, P. (2013). *Detection and attribution of anthropogenic climate change impacts*. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*. 4(2): 121–150. <https://doi.org/10.1002/wcc.209>
- Salsman, G. & Tolbert, W. (1965). *Observations on the sand dollar *Mellita quinquiesperforata**. *Limnol. Oceanogr.* 10, 152–155. <https://doi.org/10.4319/lo.1965.10.1.0152>
- Suarez, A & Rozo, Y. (2015). *Modelo de simulación para el proceso de calentamiento global. Aplicación ciudad de Cartagena de Indias, Colombia*. Universidad Católica de Colombia. Trabajo de grado. 58 pp.
- Tavares, Y & Borzone, C. (2014). *Reproductive cycle of *Mellita quinquiesperforata* (Leske) (Echinodermata, Echinoidea) in two contrasting beach environments*. *Rev. Bras. Zool.* 23 (2). <https://doi.org/10.1590/S0101-81752006000200033>
- Telford, M & Mooi, R. (1986). *Resource partitioning by sand dollars in carbonate and siliceous sediments: evidence from podial and particle dimensions*. *Biol Bull* 171:197–207. <https://doi.org/10.2307/1541917>
- Tosic, M., Restrepo, J., Lonin, S., Izquierdo, A & Martins, F. (2019). *Water and sediment quality in Cartagena Bay, Colombia: Seasonal variability and potential impacts of pollution*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 216: 187-203. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.08.013>

- Tosic, M & Restrepo, J. (2017). *Basic: Interacciones entre Cuencas, Mar y Comunidades. Fundación Bahía y ecosistemas de Colombia.* Recuperado el 25 de mayo de 2022 de <https://fundacionbahia.org/basic-cartagena-interacciones-entre-cuencas-mar-y-comunidades/>
- Zambrano, J., Mejía, F., Pachón, J., Rey, D & Alzate, M. (2023). Boletín climatológico anual 2023 - CDIAC. Instituto de Estudios Ambientales – IDEA - de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales para el Sistema Integrado de Monitoreo Ambiental de Caldas, SIMAC.
- Zamorano, P., & Leyte-Morales, G., (2009). *Equinodermos asociados a formaciones arrecifales en Zihuatanejo Y Acapulco, Guerrero, México.* Bol. Invest. Mar. Cost. 38 (2):7-28. <http://dx.doi.org/10.25268/bimc.invemar.2009.38.2.169>

8. ANEXOS

Anexo 1. Análisis para estimaciones de densidad por distancia desde la línea de marea baja (LMB) en la playa la Boquilla, Cartagena de Indias, Caribe colombiano. para las mediciones generales de *Mellita quinquesperforata* en el período enero - septiembre de 2023

mes	Distancia LMB	Promedio de densidad	de	Desvest de densidad	de	Cuenta de densidad	de
enero	20-30		0,00		0,00		69
enero	30-40		0,00		0,00		69
enero	40-50		0,00		0,00		69
febrero	20-30		0,00		0,00		69
febrero	30-40		0,00		0,00		69
febrero	40-50		0,00		0,00		69
marzo	20-30		0,00		0,00		69
marzo	30-40		0,00		0,00		57
marzo	40-50		0,00		0,00		69
abril	20-30		3,14		10,24		69
abril	30-40		3,20		11,46		69
abril	40-50		0,00		0,00		69
mayo	20-30		0,00		0,00		69
mayo	30-40		12,96		20,99		69
mayo	40-50		0,00		0,00		69
junio	20-30		2,20		6,72		69
junio	30-40		3,23		8,95		69
junio	40-50		0,00		0,00		69
julio	20-30		0,00		0,00		69
julio	30-40		3,90		9,88		69
julio	40-50		0,00		0,00		69
agosto	20-30		0,00		0,00		69
agosto	30-40		2,23		5,70		69
agosto	40-50		0,55		2,65		69
septiembre	20-30		0,00		0,00		69
septiembre	30-40		0,00		0,00		69
septiembre	40-50		0,00		0,00		69

Anexo 2. Análisis descriptivo e inferencial para las estimaciones de densidad en la playa la Boquilla, Cartagena de Indias, Caribe colombiano. para las mediciones realizadas dentro de las agregaciones de *Mellita quinquesperforata* en el período enero - septiembre de 2023

	Densidad General (Individuos/m ²)	Densidad dentro del Parche (Individuos/m ²)
n	1863	108
Mínimo	0	5.00
1st Qu.	0	10.75
Mediana	0	17.50
3rd Qu.	0	30.75
Máximo.	87	87.00
Rango	87	82
Promedio	1.36	23.37
Desviación Estándar	6.99	17.92
Distribución Shapiro-Wilk Lillie.test (Kolmogorov-Smirnov)	W = 0.19897 p < 2.2e-16 D = 0.51931 p < 2.2e-16	W = 0.84909 p = 4.134e-09 D = 0.19819 p = 2.838e-11
Homogeneidad de Varianzas (Fligner-Killeen test)	Densidad~época chi-squared = 40.069, df = 2, p = 1.991e-09 Densidad~mes chi-squared = 73.069 df = 8 p = 1.201e-12 Densidad~franja chi-squared = 120.23 df = 2 p < 2.2e-16	Densidad~época chi-squared = 10.495, df = 2, p = 0.0052 Densidad by mes chi-squared = 19.335 df = 5 p = 0.001665 Densidad by franja chi-squared = 5.7644 df = 2 p = 0.05601

<p>Análisis de variabilidad Kruskal-Wallis rank sum test</p>	<p>Densidad~época chi-squared = 42.041, df = 2, p = 7.427e-10 Densidad~mes chi-squared = 71.67 df = 8 p = 2.284e-12 Densidad~franja chi-squared = 122.46 df = 2 p < 2.2e-16</p>	<p>Densidad by época chi-squared = 7.5045 df = 2, p = 0.02347 Densidad~mes, chi-squared = 23.669, df = 5 p = 0.0002513 Densidad~franja chi-squared = 0.90283 df = 2, p = 0.6367</p>
--	--	---

Anexo 3. Análisis descriptivo e inferencial para estimaciones de peso y talla de Mellita quinquiesperforata, colectados en el sector de la Boquilla (Cartagena de Indias, Caribe colombiano) en el período enero - septiembre de 2023.

	Peso	Talla
N	2176	2526
Min.	2.0	0.7
1st Qu.	13.0	5.3
Median	17.0	5.8
Promedio	17.28	5.76
3rd Qu.	21.00	6.2
Máximo	40.0	9
Rango	38	8.3
Mediana	17	5.8
Desviación Estándar	5.59	0.68
Distribución (Shapiro-Wilk test)	W = 0.99104 p = 2.402e-10	W = 0.97481 p < 2.2e-16
Lilliefors (Kolmogorov -Smirnov) test	D = 0.049705 p = 1.38e-13	D = 0.078913 p < 2.2e-16
Homogeneidad de Varianzas Fligner-Killeen test	Época chi-squared = 1.4108 df = 2 p = 0.4939 mes chi-squared = 19.399 df = 4 p = 0.0006559 franja chi-squared = 0.020922 df = 2 p = 0.9896	Época chi-squared = 9.7534 df = 2 p = 0.007622 mes chi-squared = 13.667 df = 5 p = 0.01787 franja chi-squared = 7.8685 df = 2 p = 0.01956
Prueba de Hipótesis (No paramétrica) Kruskal-Wallis rank sum test	Época chi-squared = 2.8621 df = 2, p = 0.2391 mes chi-squared = 2.9881 df = 4, p = 0.5598 franja chi-squared = 0.097768 df = 2, p = 0.9523	Época chi-squared = 9.4294 df = 2 p = 0.008962 Mes chi-squared = 58.891 df = 5, p = 2.06e-11 Franja chi-squared = 13.899, df = 2, p = 0.0009591