

TASAS DE BIOEROSIÓN POR *LITHOPHAGA SPP.* EN LOS ARRECIFES CORALINOS DE LA ISLA GORGONA, COLOMBIA.

Kevin Stiven Mendoza Arcos

Universidad del Valle, Apartado Aereo 25360, Cali, Colombia.
correo electrónico: kevin.mendoza@correounivalle.edu.com

Edgardo Londoño Cruz

Universidad del Valle, Apartado Aereo 25360, Cali, Colombia.
correo electrónico: edgardo.londono@correounivalle.edu.com

RESUMEN

Los arrecifes de coral albergan una de las comunidades biológicas más diversas e importantes. Perturbaciones naturales, como la bioerosión, afectan el desarrollo y crecimiento de los arrecifes de coral. Los bivalvos perforadores del género *Lithophaga*, son uno de los macroinvertebrados que remueven gran cantidad de material calcáreo; sin embargo, los estudios de manera exclusiva de estos organismos son relativamente pocos. Este trabajo determinó la abundancia, longitud de los organismos y tasas de remoción de carbonato de calcio causadas por *Lithophaga* spp en el PNN Gorgona en el Pacífico Oriental Tropical (POT) por medio de un experimento donde se insertaron Unidades experimentales (construidas de ramas de *Pocillopora* spp.) en 4 zonas (tras-arrecife, planicie, frente y talud), 2 arrecifes (Playa Blanca y La Azufrada) y 2 periodos de tiempo (6 y 9 meses). Se encontró que la más abundante fue *L. hancocki*, las zonas más erosionadas corresponden al FA y PA presentando una tasa de bioerosión de 0.0068 y 0.0067 Kg CaCO₃/Año respectivamente, *L. aristata* presentó los valores de longitud más altos (0.585cm) mientras que los más bajos fueron para *L. hancocki* (0.224cm). Se propone la hidrodinámica, la presencia de nutrientes y sedimentos como los principales factores que afectan la bioerosión.

Palabras clave: Arrecifes de coral, Bioerosión, *Lithophaga* spp, *pocillopora* spp.

ABSTRACT

Coral reefs are one of the most important and diverse biological communities. The bioerosion, for example, affects the coral reefs development and growth. The Bivalve borers of the *Lithophaga*, genus, are one of the macroinvertebrate that remove a big amount of calcareous material; however, studies of these organisms are relatively few. This work determined the abundance, the organism's length and the rates of calcium carbonate removal caused by *Lithophaga* spp in the Gorgona PNN in the Tropical Eastern Pacific (TEP) by means of an experiment where experimental units were deposited (constructed from *Pocillopora* spp.) in 4 zones (reef, plateau, front and slope), 2 reefs (Playa Blanca and La Azufrada) and 2 time periods (6 and 9 months). It was found that the most abundant was *L. hancocki*, the most eroded areas correspond to FA and PA presenting a bioerosion rate of 0.0068 and 0.0067 Kg CaCO₃ / Year respectively, *L. aristata* presented the highest length values (0.585cm) while that the lowest were for *L. hancocki* (0.224cm). Hydrodynamics, the presence of nutrients and sediments are proposed as the main factors affecting bioerosion.

Key words: Coral reefs, Bioerosion, Lithophaga spp, cylinders.

INTRODUCCIÓN

Los arrecifes de coral albergan una de las comunidades biológicas más diversas e importantes, pues funcionan como áreas de reproducción, propagación y crecimiento para muchos tipos de organismos, incluyendo muchos de importancia comercial, además de ayudar a mantener la biblioteca genética para generaciones futuras (Sorokin, 2013; Moberg, 1999). El desarrollo y crecimiento de los arrecifes coralinos puede ser afectado por perturbaciones de diverso origen (físico, químico, biológico) y escala (temporal y espacial), e.g., tormentas, fuerte oleaje, bioerosión, influencias oceanográficas tales como temperatura y pH alterados, sedimentos, nutrientes y en el caso de los arrecifes coralinos presentes en el Pacífico Oriental Tropical (POT), el fenómeno de El Niño Oscilación Sur (Spalding & Brown, 2015). La mayoría de la estructura y morfología de los arrecifes de coral actuales se encuentran determinados por el balance entre el acrecimiento coralino y su destrucción (Cantera *et al.* 2001). La remoción y destrucción de material lítico o mineral, por la acción directa de un organismo, se conoce como bioerosión (Neumann. 1966). Esta representa el mayor componente de toda la erosión de los arrecifes de coral y actúa simultáneamente con la erosión física y química para determinar la morfología de los arrecifes (Hutchings, 1986). Una alteración del balance que existe entre el acrecimiento y la destrucción, la cual puede ser ocasionada por diversos fenómenos, hacia mayor destrucción (bioerosión), puede llevar a grandes cambios en la estructura arrecifal y consecuentemente a efectos importantes sobre la diversidad biológica que sostienen los arrecifes de coral (Glynn, 1988; Wellington, 2001). El proceso bioerosivo no es constante, varía tanto temporal como espacialmente de acuerdo a condiciones bióticas (zonación del arrecife, densidad de los diferentes taxa de bioerosionadores, temporalidad en la colonización), abióticas (temperatura, profundidad,

salinidad) y perturbaciones naturales y antropogénicas, que pueden ocasionar, por un lado, una ventaja en el crecimiento poblacional de los bioerosionadores sobre el coral y por el otro, la muerte del tejido coralino, bajo estas condiciones la bioerosión puede llegar a aumentar (Reaka-Kudla *et al*, 1996; Glynn, 1997). La mayoría de las especies que actúan en el proceso bioerosivo se pueden clasificar en dos grupos, aquellos que erosionan la superficie externa (bioabrasionadores) y los que se encuentran viviendo en el interior del esqueleto calcáreo (bioperforadores) (Glynn, 1997). Los macro-organismos que perforan el sustrato incluyen representantes de diversos grupos, e.g. esponjas, moluscos (bivalvos), sipuncúlidos, poliquetos y crustáceos (MacGeachy & Stearn, 1976; Bromley, 1978). Los bivalvos perforadores de sustratos calcáreos en el POT están representados principalmente por dos familias: Mytilidae (género *Lithophaga*) y Gastrochaenidae (género *Gastrochaena*) (Cantera & Contreras, 1987). Se ha documentado que las especies del género *Lithophaga* son unos de los macroinvertebrados que remueven gran cantidad de sustrato calcáreo en el PNN Gorgona por su gran tamaño y abundancia en comparación a otros macroinvertebrados (Londoño-Cruz *et al*. 2003). El proceso de bioerosión interna se ha estudiado relativamente poco en corales ramificados (Glynn, 1988, 1977; Eakin, 1996). Algunos estudios se han enfocado únicamente en determinar las especies de bioperforadores (Cantera & Contreras, 1987), mientras que otros han evaluado el efecto que estas producen (Londoño *et al*, 2003; Londoño, 2001; MacGeachy & Stearn, 1976). A pesar de lo anterior, se sabe relativamente poco del proceso bioerosivo causado únicamente por las especies del género *Lithophaga*, por esto se plantea evaluar el efecto sobre la remoción de carbonato de calcio de las especies de este género en los arrecifes coralinos del PNN Gorgona.

MÉTODOS

Área de estudio

La Isla Gorgona (2 °58' N - 78 °11' W), ubicada a 35 Km del continente, constituye, junto con el islote de Gorgonilla, el territorio insular más extenso en el Pacífico colombiano. En conjunto, conforman la parte emergida del Parque Nacional Natural Gorgona, el cual abarca 623.3 Km² (2.1 % área emergida y 97.7 % área marina) (Giraldo. 2012). Los arrecifes coralinos más desarrollados de la isla se encuentran en el costado oriental, en este sitio se localizan los arrecifes La Azufrada (AZ) (0.094Km²) y Playa Blanca (PB) (0.098 Km²). Aunque difuso, estos arrecifes coralinos presentan un esquema de zonación que puede ser bien identificado, en general el arrecife coralino se encuentra separado por un canal cubierto en el fondo por sedimentos finos; el tras-arrecife (TR) presenta una baja cobertura de coral vivo siendo dominante *psammocora stellata* y *pocillopora spp* con la presencia de algunos parches coralinos que aumentan hasta cubrir un 50 % de la zona; La planicie (PA) puede alcanzar una cobertura coralina viva de hasta un 70 % dominada por corales pocillopóridos (*Pocillopora damicornis*, *P. capitata* y *P. elegans*) y algunas especies masivas (*Porites spp*, *Pavona varians* y *Psammocora stellata*). Como en la mayoría de arrecifes franjeantes, estos dos arrecifes no presentan una verdadera cresta, en su lugar se encuentra una elevación de la parte exterior de la PA. La cobertura total del coral vivo puede alcanzar un 90 % principalmente de *P. damicornis* y colonias grandes de *P. eudouxi* y *p. capitata*. El frente arrecifal (FA) es más inclinado, su cobertura y composición de especies es considerable, en la parte superior de esta vertiente se observa un descenso de pocillopóridos y un aumento de corales masivos de mayor tamaño. Finalmente, el Talud (TA) se torna en un sustrato arenoso con la presencia de escombros coralinos y sedimentos finos. A pesar de estar dominados por la especie de coral *Pocillopora damicornis* se pueden encontrar en estos arrecifes también especies de corales como *Porites porites*, *Pavona varians* y *Gardineroseris*

planulata, entre otras (Díaz et al. 2000).

Método de campo

Con el fin de sujetar firmemente sobre el arrecife las unidades experimentales (UEs) (Fig.1A) se construyeron de la siguiente forma cortando y puliendo en forma cilíndrica trozos de ramas de *Pocillopora spp.*, colectados a partir de colonias recientemente fragmentadas por procesos naturales. Se buscó que las UEs fueran lo más homogéneas posible en términos de tamaño. En uno de los extremos de cada UE se hizo un agujero en el que se introdujo y cementó (con resina epóxica) una varilla de acero inoxidable (1.59 mm de diámetro) la cual se usó para anclar la UE por encima del fondo coralino. Una vez en el arrecife coralino las UEs se sujetaron, con amarras de plástico, a varillas de 6.35mm de diámetro y 2m de longitud colocadas previamente en el andamio arrecifal dejándolas sobresalir aproximadamente 50cm del fondo (Fig.1B). Las varillas se insertaron en cuatro zonas arrecifales (TR, PA, FA, TA) de los arrecifes (PB y AZ). Una vez puestas las UEs se expusieron durante dos periodos de tiempo: 6 y 9 meses. De esta forma tomando en cuenta las 5 réplicas de las UEs por zona arrecifal, en las 4 zonas del arrecife, puestas en los 2 periodos de tiempo diferentes y en 2 arrecifes, se tuvo un total de 80 UEs en total.

Fase de laboratorio

A cada UE se le removió todo el material superficial, procurando que la superficie quedara lo más parecida posible a la superficie externa al inicio del experimento. Posteriormente, cada UE se fragmentó delicadamente con ayuda de un alicate a presión para extraer cada uno de los organismos perforadores encontrados. Los moluscos bivalvos pertenecientes al género *Lithophaga* (Mytilidae) se contaron e identificaron hasta nivel de especie cuando fue posible. Los fragmentos de coral se guardaron, secaron y pesaron con una balanza analítica (± 0.001 g precisión) para calcular la pérdida

del material calcáreo determinada por la diferencia entre el peso inicial y el final. Las tasas de bioerosión en peso fueron estimadas de la siguiente forma: el peso removido en cada cilindro (peso inicial menos peso final) se dividió entre el tiempo de exposición (6 y 9 meses) para obtener la tasa de remoción por mes; luego este valor se extrapolo a un año, el resultado se expresó como Kg CaCO₃/año. Finalmente, se multiplicó este valor con la proporción peso a peso para cada una de las 4 especies del género *Lithophaga* encontradas, la cual se halló tomando el peso húmedo de cada especie dentro de cada cilindro y dividiéndolo por el peso total de macroinvertebrados bioperforadores hallados en el mismo cilindro, para así obtener la tasa de remoción de carbonato de calcio realizado por cada una de las especies, de esta forma se evitó incluir la tasa de remoción que no realizaron las *litofagas* (eg. la tasa de remoción que realizaron otros bivalvos, poliquetos, cirripedios, sipunculidos entre otros). En adición, se determinó la longitud, con el software “ImageJ”, de cada uno de los individuos de cada especie del género *Lithophaga*, utilizando fotografías tomadas a conjuntos de individuos de la misma especie presentes en cada UE.

Análisis de datos

Las comparaciones de la abundancia para cada especie perforadora (*L. hancocki* y *L. aristata*) entre las zonas arrecifales, periodos (6 y 9 meses) y arrecifes (AZ y PB) se realizaron con un Modelo Lineal Generalizado (GLM) bajo una distribución Binomial Negativa, los análisis se realizaron con el paquete “MASS” (Venables & Ripley, 2002). Para evaluar las diferencias en las tasas de remoción de carbonato de calcio y las diferencias en la longitud de los individuos se usó un GLM con una distribución Beta usando el paquete “betareg” (Cribari & Zeileis, 2010) y un GLM con una distribución BEZI (zero-inflated beta distribution) con el paquete “gamlss” (Rigby & Stasinopoulos, 2005) debido a la sobredispersión de los datos. Para los datos normales se usó un modelo de análisis de varianza (aov) con el paquete “stats”. Para realizar las comparaciones múltiples de los modelos

se usó General Linear Hypotheses (glht) con el paquete “multcomp” (Hothorn, Bretz and Westfall, 2008). Para determinar la distribución de los datos se usó el gráfico de Cullen and Frey además se ajustó la distribución por máxima verosimilitud y se seleccionó por medio del menor valor del Criterio de Información de Akaike (AIC) usando el paquete “fitdistrplus” (Marie Laure Delignette-Muller, Christophe Dutang, 2015) todos los análisis estadísticos se realizaron con el software de distribución libre R.

RESULTADOS

Se encontraron 5 especies de bivalvos perforadores: 4 pertenecientes al género *Lithophaga* y 1 al género *Gastrochaena*, la especie más abundante fue *L. hancocki* seguida por *L. aristata*.

Abundancia

La abundancia de cada una de las especies de los bivalvos perforadores se comparó entre dos arrecifes (PB y AZ), entre cuatro zonas arrecifales (FA, PA, TA y TR) y entre los dos periodos de exposición (6 y 9 meses). En términos generales se observó que *L. hancocki* fue más abundante en el FA, mientras que las zonas con menos individuos fueron la PA ($p=0.001$) y el TR ($P=0.032$) (Fig.2). Por otro lado, no se observaron diferencias en la abundancia entre los arrecifes PB y AZ; tampoco se presentaron diferencias entre los periodos de exposición. En el caso de *L. aristata* se encontró que la zona que presentó mayor abundancia fue la PA ($P=0.01$), el valor más bajo se presentó en el TR y TA mientras el FA presentó un valor promedio ligeramente menor que la PA (Fig.2). Se encontró diferencia entre los periodos, donde la abundancia a los 9 meses fue mayor que a los 6 meses ($P=0.03$). Entre arrecifes se encontró que la abundancia en el arrecife AZ fue mayor que en PB ($P=0.02$). Las otras especies de bivalvos perforadores (*L. calyculata*, *L. plumula* y *G. ovata*) se

presentaron en muy pocas UEs y en muy bajas abundancias (valores inferiores a dos individuos – Fig.2), por lo cual no se tuvieron en cuenta para los análisis estadísticos.

Remoción carbonato de calcio (CaCO_3)

Remoción por *Litophaga* spp.

Las tasas de bioerosión producidas por las especies pertenecientes al género *Litophaga* encontradas en las UEs (*Litophaga* spp), sin distinguir entre especies y sin tener en cuenta los otros macroinvertebrados perforadores (*Gastrochaena ovata*, poliquetos, sipunculidos y cirripedios acrotorácicos) mostraron diferencias temporales y espaciales. La tasa de bioerosión de *Litophaga* spp. varió temporalmente mostrando un aumento del 0,7 % en tres meses, es decir la tasa creció con respecto al primer periodo (6 meses) de 0.0044Kg CaCO_3 /Año hasta una tasa de 0.0066 Kg CaCO_3 /Año ($P=0.041$). Con respecto a las diferencias espaciales en la bioerosión se encontró que las zonas más erosionadas corresponden al FA y PA, presentando una tasa de bioerosión de 0.0068 y 0.0067 Kg CaCO_3 /Año respectivamente, la tasa de bioerosión más baja se presentó en el TA, con 0.0029 Kg CaCO_3 /Año ($P=0.001$) (Fig.3). No se encontraron diferencias significativas en las tasas de bioerosión entre los dos arrecifes ($p=0.31$). El aporte a la bioerosión causado por las especies más abundantes (*L. aristata* y *L. hancocki*) se describen a continuación. Debido a que la tasa de bioerosión realizada por *L. calyculata* fue menor a 1.9×10^{-7} Kg CaCO_3 /año y que los aportes por *L. plumula* y *G. ovata* fueron aun menores, no se tuvo en cuenta su aporte para describir las diferencias en las tasas de bioerosión. *L. hancocki* aumentó su tasa de bioerosión desde el primer periodo de exposición 0.0030 Kg CaCO_3 /Año hasta el segundo periodo de exposición 0.0045 Kg CaCO_3 /Año (6 a 9 meses) ($P=0.03$). La zona que tuvo una mayor tasa de bioerosión correspondido al FA (Fig.3) mientras que la zona con menor tasa de bioerosión fue el TR ($P=0.001$), la PA fue significativamente menor al FA en su tasa de bioerosión ($P=0.01$). Para *L. aristata* no se encontraron diferencias significativas entre

los periodos de exposición en la tasa de bioerosión, pero sí entre las zonas, la que presentó mayor tasa de bioerosión fue la PA, con un valor promedio de 0.0032 Kg CaCO₃/Año (fig.3), mientras que la zona con menor tasa de bioerosión fue el TR (P=0.02).

Longitud litofagas

En promedio, *L. aristata* presentó los valores de longitud más altos (0.585cm) (Fig.4). Por el contrario, los valores promedio más bajos fueron para *L. hancocki* (0.224cm) mientras que *L. plumula* y *L. calyculata* tuvieron valores intermedios (0.500 y 0.425 cm) respectivamente. Particularmente la longitud de *L. hancocki* aumento desde el primer hasta el segundo periodo de exposición (0.184 a 0.266cm) respectivamente. La zona que presentó los individuos con mayor tamaño correspondió al FA (0.266 cm), mientras que la zona con menor longitud fue el TR (0.177 cm) (P=0.8x10⁻⁷), las zonas PA y TA presentaron valores promedio ligeramente más pequeños que el FA (0.232 y 0.223 cm) respectivamente. *L. aristata* presentó los valores promedio de longitud más altos en la zona de la PA 0.639 cm, mientras que los valores más bajos se registraron en el FA 0.512cm, en las otras zonas TR y TA se hallaron valores intermedios en la longitud de los individuos 0.625 y 0.602 cm.

DISCUSIÓN

Abundancia

Los bivalvos *Lithophaga* y *Gastrochaena* usan el sustrato que erosionan principalmente como refugio, pueden usar tanto el coral vivo (aunque esto no se observó en los arrecifes de la Isla Gorgona) como la parte muerta del coral o también en los escombros de coral. Una vez se asientan y crecen, se alimentan principalmente de material orgánico en deposición y suspensión, por ello se espera que en áreas con mayor productividad se presente una mayor abundancia de perforadores y

un mayor crecimiento (Glynn, 1997), la erosión del material calcáreo es un efecto secundario de su crecimiento dentro de los esqueletos de coral. Los patrones de distribución de los bivalvos juveniles se ven influenciados por el asentamiento larval, Armonies (1996) encontró evidencia de que las larvas se asientan sobre el sedimento como partículas pasivas, en una escala espacial grande el patrón de asentamiento es determinado principalmente por el hidrodinamismo, cuyo suministro decrece a medida que se adentra hacia el continente, es decir, el TA y FA por ser las zonas más externas presentan mayor hidrodinamismo que la PA y TR, en este caso el FA presentó la mayor abundancia de bivalvos esto relacionado con el aporte de nutrientes ligado íntimamente a las corrientes, el TA no presento mayor abundancia que el FA debido a la presencia de sedimentos que actúan de forma adversa sobre estos organismos. Por otra parte, a una escala espacial pequeña la selección del sedimento toma un papel significativo, así en una escala espacial pequeña los patrones de distribución post larval pueden verse afectados por la migración activa, re suspensión y mortalidad diferencial. Los factores que regulan la migración activa pueden ser el alimento, hidrografía y composición de los sedimentos entre otros, tomando en cuenta las zonas con mayor cantidad de sedimentos arenosos como por ejemplo TR y TA deberían presentar abundancias más bajas especialmente la zona de TR que presenta en conjunto estas dos condiciones negativas poco hidrodinamismo y abundancia de sedimentos. Otro factor que determina la distribución de las larvas es la selección del estado del sustrato en el cual se van a asentar, Mokady *et al.* (1992) observaron una especie de *Lithophaga* en los arrecifes del Mar Rojo que tenía una clara preferencia en el asentamiento sobre esqueleto de coral muerto más que sobre el tejido vivo del mismo, en parte porque el tejido del coral vivo puede actuar repeliendo el asentamiento de las larvas, ya sea por desplazamiento físico de ellas o por acción química, esto puede tener un impacto negativo mayor en el asentamiento de larvas en zonas con una mayor densidad de coral vivo y que presenta menor cantidad de escombros de coral como la PA, ya que puede disminuir la disponibilidad de sustratos para el asentamiento y en consecuencia

su abundancia.

Remoción carbonato de calcio (CaCO_3)

En el presente estudio los resultados obtenidos muestran diferencias espaciales en la tasa de bioerosión siendo mayores tanto en el FA como en la PA relacionado estrechamente con la abundancia y las tallas de cada especie, de esa forma se encontró que la especie que aportó más a la bioerosión debido a su gran número, es decir por su gran abundancia, fue *L. hancocki*, mientras que *L. aristata* a pesar de ser no tan abundante aportó en la bioerosión una cantidad equiparable a *L. hancocki* debido principalmente a sus mayores tallas. La presencia de sedimentos según algunos autores favorece la presencia de bioperforadores y aumenta sus tasas de bioerosión (Fonseca *et al.* 2006), debido a la presencia de nutrientes relacionados a los sedimentos; sin embargo, el exceso de sedimentos puede saturar los mecanismos para capturar y excluir los sedimentos, de esta forma el aparato alimentador puede estresarse o el hábitat puede llegar a tornarse poco favorable para el asentamiento (Sammarco *et al.* 1987), situación que puede estar presentándose en el TR en el que se presentaron siempre los registros más bajos en las tasas de bioerosión. Un trabajo realizado por Londoño *et al.* (2003) sobre bioerosión por macro invertebrados en la Isla Gorgona, mostró resultados similares en las tasas de bioerosión en el que las zonas más erosionadas fueron El Parche Gorgonilla y el FA y la zona más marginal fue el TR; sin embargo, según este trabajo la PA no tuvo valores altos en bioerosión. Londoño en el 2001 reportó esta misma tendencia en un trabajo similar realizado anteriormente en la Isla Gorgona, en todos los casos se reportó el TR con los valores más bajos en bioerosión debido a sus condiciones un poco más adversas para estos organismos filtradores. Estas dos especies *L. hancocki* y *L. aristata* participaron en la remoción de todas las zonas arrecifales no obstante, *L. aristata* al contrario de lo que se espera disminuyó su tasa de bioerosión entre el periodo 1 y 2 en la zona de FA que se puede considerar tiene buenas condiciones de hidrodinamismo y baja

sedimentación. Además, en esta misma zona las tallas registradas también fueron las menores para esta especie. Por otra parte, según los datos obtenidos en esa misma zona *L. hancocki* tuvo una mayor abundancia que *L. aristata*. Por otro lado, entre las cuatro zonas, el FA fue la zona en la que *L. hancocki* presentó mayor abundancia y mayores tallas. Esto puede llevarnos a suponer que *L. hancocki* puede competir de forma más eficiente en el FA que *L. aristata*. Este mismo patrón se puede observar en la PA en el que los papeles se invierten entre *L. hancocki* y *L. aristata* aunque no exista una disminución en la tasa de bioerosión entre el primer y segundo periodo si se evidencia una disminución en la abundancia en la PA para *L. hancocki*, mientras que en esta zona *L. aristata* es mucho más abundante, tiene una tasa de bioerosión mayor y sus tallas promedio son superiores para ella misma entre las cuatro zonas, así podemos pensar que *L. aristata* puede competir de forma más eficiente en la PA. Estos resultados dan a suponer que *L. hancocki* y *L. aristata* se pueden estar excluyendo mutuamente de entre estas dos zonas FA y PA. En conclusión el proceso bioerosivo causado por *Lithophaga spp* se ve influenciado por diversos factores que afectan su distribución y abundancia de esta forma también afectan sus tasas de erosión en cada zona en particular. La hidrodinámica del lugar, la presencia de sedimentos y nutrientes son los factores que determinan los patrones de distribución y abundancia de los bivalvos perforadores. Las altas tasas de bioerosión en el FA y PA encontradas para *Lithophaga spp*. Se deben principalmente a dos especies, por un lado *L. hancocki* por su gran abundancia y por el otro lado *L. aristata* debido a gran tamaño de sus individuos.

AGRADECIMIENTOS

Al personal del PNN Gorgona por el apoyo logístico para la realización de este estudio en la Isla Gorgona y a Colciencias por el apoyo financiero. A la Universidad del Valle por el préstamo de

equipos. También un agradecimiento especial a los integrantes del grupo de investigación en Ecosistemas Rocosos Intermareales y Submareales Someros (LITHOS) de la Universidad del Valle por su apoyo en trabajo de campo y asesoría en la redacción del documento.

LITERATURA CITADA

- Armonies, W., (1996), "Changes in distribution patterns of 0-group bivalves in the Wadden Sea: byssus-drifting releases juveniles from the constraints of hydrography". *Journal of Sea Research*, Vol. 35(4), pp. 323-334.
- Bromley, R.G. (1978), "Bioerosion of Bermuda reefs", *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 23, No. 1, pp. 169-197.
- Cantera, J.R., Zapata, F., Forero, P., Francisco, V., Jiménez, J., Londoño, E., Narváez, K., Neira, R., Orozco, C., Toro-Farmer, G. (2001), "Organismos Bioerosionadores en la isla Gorgona. En Gorgona marina: contribución al conocimiento de una isla única", *INVEMAR, Ser. Pub. Esp*, Vol. 7, pp. 27-40.
- Cantera, J.R., Contreras, R., (1987), "Bivalvos perforadores de esqueletos de corales escleractinarios en la Isla de Gorgona, Pacífico Colombiano", *Rev. Biol. Trop*, Vol. 36, No. 1, pp. 151-158.
- Díaz, J.M., Barrios, L.M., Cendales, J., Garzón-Ferreira, J., Geister, J., López-Victoria, M., Ospina, G.H., Parra, F., Pinzón, J., Vargas, B., Zapata, F.A., Zea, S., (2000), "Áreas Coralinas de Colombia", *Serie de Publicaciones especiales*, vol. 5, INVEMAR, Santa Marta.
- Eakin, C.M., (1996), "Where have all the carbonates gone? A model comparison of calcium carbonate budgets before and after the 1982–1983 El Niño at Uva Island in the Eastern Pacific", *Coral Reef*, Vol. 15, No. 1, pp. 109-119.
- Fonseca, A.C., Dean, H.K., Cortez, J., (2006), "Non-colonial coral macro-borers as indicators of coral reef status in the south Pacific of Costa Rica", *Rev. bio. Trop*, Vol. 54, No. 1, pp. 101-115.
- Giraldo, A., (2012), "Geomorfología e hidroclimatología de Isla Gorgona". In A. Giraldo & B. Valencia (Ed.), *Isla Gorgona Paraíso de biodiversidad y ciencia*. Colombia: Editorial Program Universidad del Valle, pp. 17-23.
- Glynn, P.W., (1977), "Coral growth in upwelling and nonupwelling areas off the pacific coast of panama", *J. Mar. Res*, Vol. 35, No. 1, pp. 567-585.
- Glynn, P.W., (1988), "El niño-southern oscillation 1982-1983: nearshore population, community, and ecosystem responses", *Ecology and Systematics*, Vol. 19, pp. 309-345.
- Glynn, P.W., (1997), "Bioerosion and coral reef growth: A dynamic balance. In a. Birkeland, C. (Ed.), *Life and death of coral reefs*, Chapman & Hall, New York, pp. 68-95.
- Hutchings, P. A., (1986), "Biological destruction of coral reefs", *Coral reefs*, Vol. 4, No. 4, pp. 239-252.

- Londoño-Cruz, E., (2001), “Proceso de bioerosión por organismos perforadores en un ecosistema arrecifal del Pacífico Oriental Tropical (Isla Gorgona, Colombia)”, Tesis de maestría, Universidad del Valle, Cali.
- Londoño-Cruz, E., Cantera, J.R., Toro-Farmer, G., Orozco, C., (2003), “Internal bioerosion by macroborers in Pocillopora spp. in the tropical eastern Pacific”, *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 265, No. 1, pp. 289-295.
- Neumann, A. (1966), “Observation on coastal erosion in bermuda and measurements of the boring rate of the sponge, cliona lampa”, *Limnology and oceanography*, Vol. 11, pp. 92-108.
- MacGeachy, J.K., Stearn, C.W., (1976), “Boring by Macro-organisms in the Coral Montastrea annularis on Barbados Reefs”, *Int.Revue ges.Hydrobiol*, Vol. 61, No. 6, pp. 715-745.
- Moberg, F., Folke, C., (1999), “Ecological goods and services of coral reef ecosystems”, *Ecological Economics*, Vol. 29, pp. 215-233.
- Mokady, O., Arazi, G., Bonar, D.B., and Loya, Y. (1992), “Settlement and metamorphosis specificity of Lithophaga simplex Iredale (Bivalvia:Mytilidae) on Red Sea corals”. *J. Exp. ,liar. Biol. Ecol*, Vol. 162, pp. 243-251.
- Reaka-Kudla, M. L., Feingold, J. S., Glynn, P.W., (1996), “Experimental studies of rapid bioerosion of coral reefs in the Galápagos Islands”, *Coral Reef*, Vol. 15, pp. 101-107.
- Rigby, R. A., and Stasinopoulos, D. M., (2005), “Generalized additive models for location, scale and shape,(with discussion)”, *Appl. Statist.*, 54, part 3, pp. 507-554.
- Sammarco, P. W., Michael, J. R., Christopher, R., (1987). “Effects of grazing and damelfish territoriality on internal bioerosion of dead corals: direct effects”, *J.Exp. Mar. Biol. Ecol*, Vol. 112, pp. 185-199.
- Sorokin, Y. I., (2013), “Coral reef ecology”, Vol. 102. Springer Science & Business Media.
- Spalding, M.D., Brown, B.E., (2015), “Warm-water coral reefs and climate change”, *Science*, Vol. 350, No. 1, pp. 769-771.
- Wellington, G. M., Glynn, P. W., Strong, A. E., Navarrete, S. A., Wieters, E., & Hubbard, D. (2001), “Crisis on coral reefs linked to climate change”, *Eos, Transactions American Geophysical Union*, Vol. 82, No. 1, pp. 1-5.
- Delignette-Muller, M. L., Christophe, D., (2015), “fitdistrplus: An R Package for Fitting Distributions”, *Journal of Statistical Software*, Vol. 64 No. 4, pp. 1-34.
- Venables, W. N., & Ripley, B. D., (2002), “Modern Applied Statistics with S”, Fourth Edition, Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0.
- Cribari-Neto, F., Achim. Z., (2010), “Beta Regression in R”, *Journal of Statistical Software*, Vol. 34, No. 2, pp. 1-24.
- Hothorn, T., Bretz, F. and Westfall, P., (2008), “Simultaneous Inference in General Parametric Models”, *Biometrical Journal*, Vol. 50, No. 3, pp. 346-363.

Figura 1. Unidad experimental: A. pulida, perforada y fijada con resina epóxica a varilla de alambre, B. montadas y amarradas sobre varilla de 2m clavada en el arrecife.

Figura 2. Abundancia D.E., de los bivalvos perforadores (*L. hancocki*, *L. aristata*, *L. calyculata* y *L. plumula*) en las Zonas Arrecifales (TA, FA, PA y TR) sometidos a dos periodos de tiempo en Blanco 6 meses y en Negro 9 meses.

Figura 3. Tasas promedio de bioerosion en Kg CaCO₃/año D.E., todas las litofagas (*Lithophaga spp*), *L. aristata* y *L. hancocki*, en las Zonas Arrecifales (TA, FA, PA y TR) sometidos a dos periodos de tiempo en Blanco 6 meses y en Negro 9 meses.

Figura 4. Longitud promedio en cm D.E., de los bivalvos perforadores (*L. hancocki*, *L. aristata*, *L.*) en las Zonas Arrecifales (TA, FA, PA y TR) sometidos a dos periodos de tiempo en Blanco 6 meses y en Negro 9 meses.

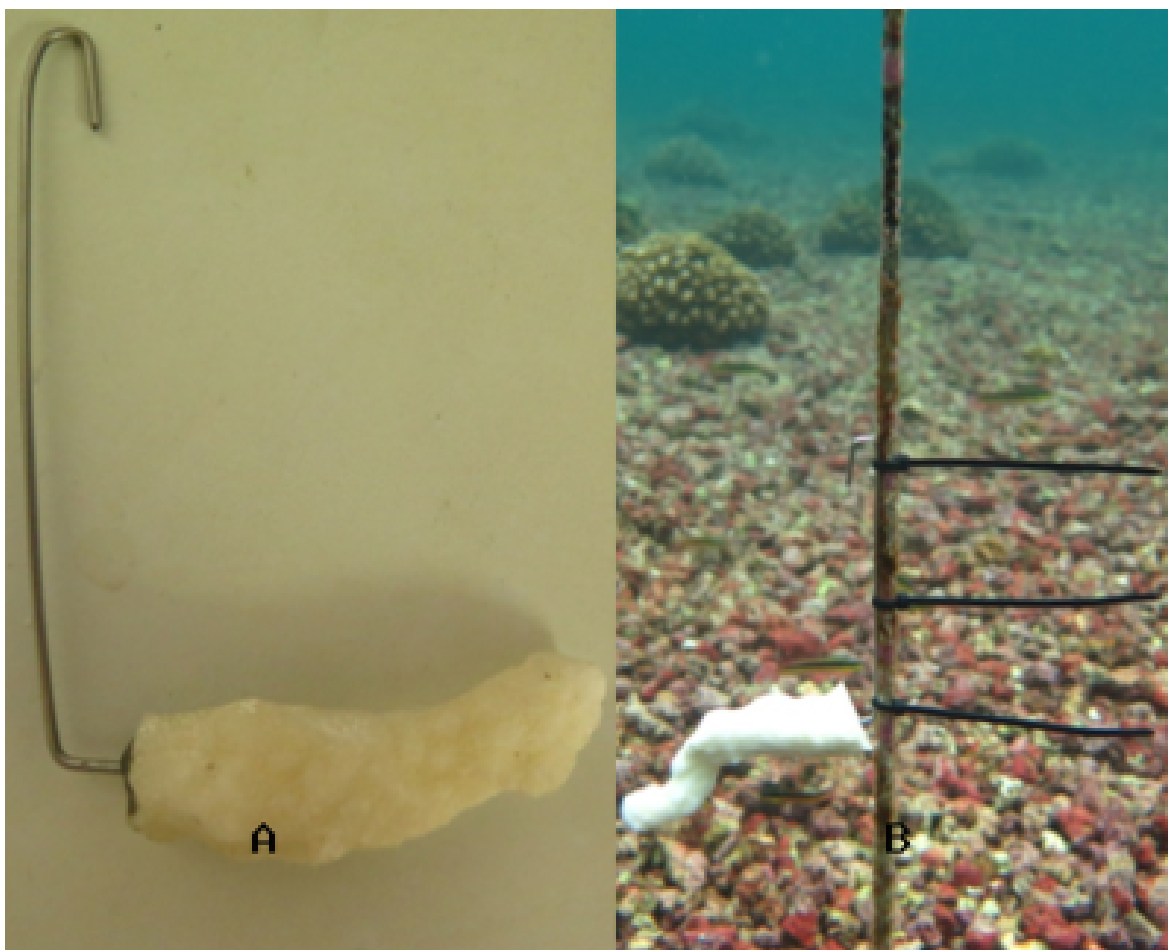


Figura 1.

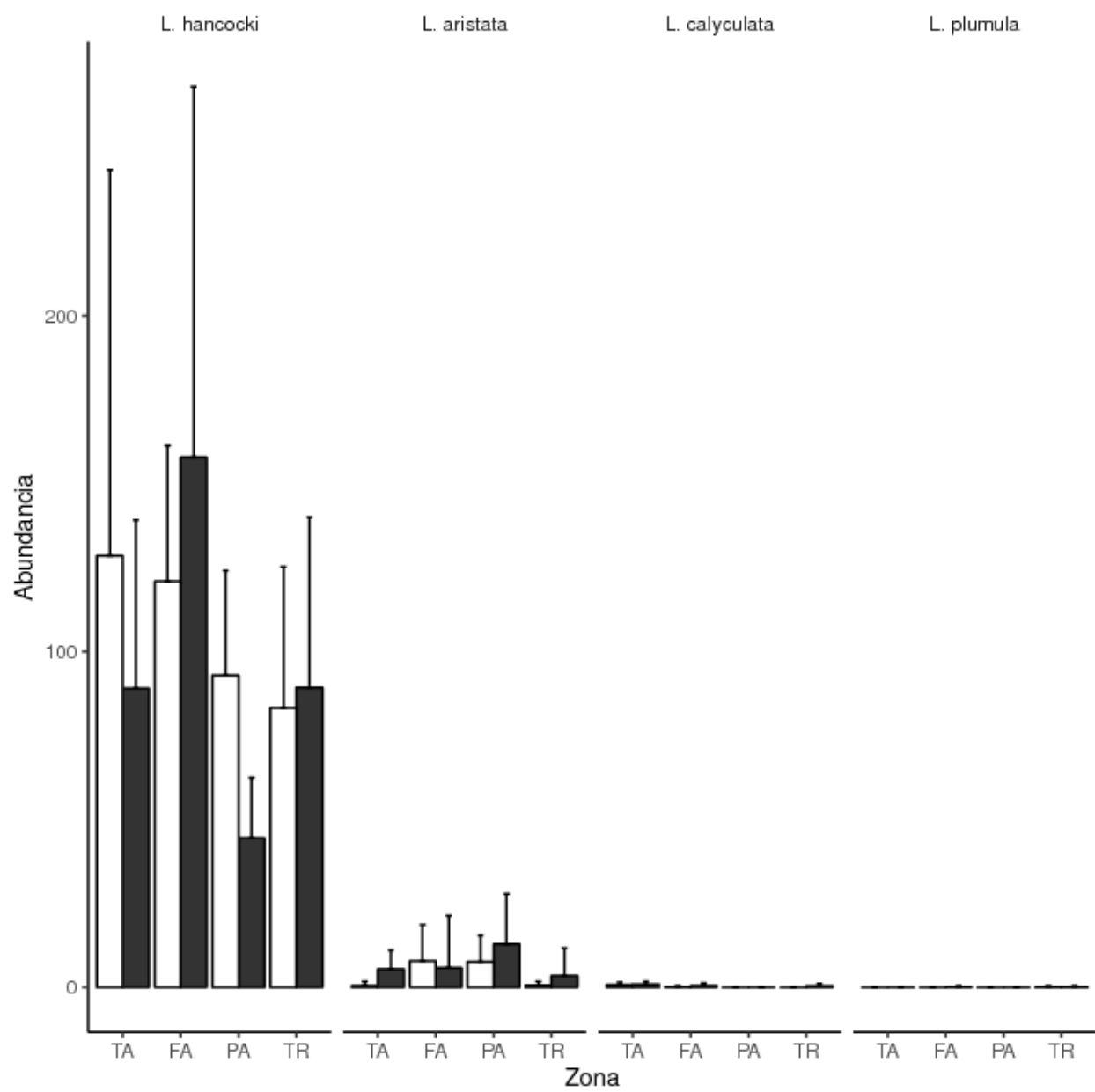


Figura 2.

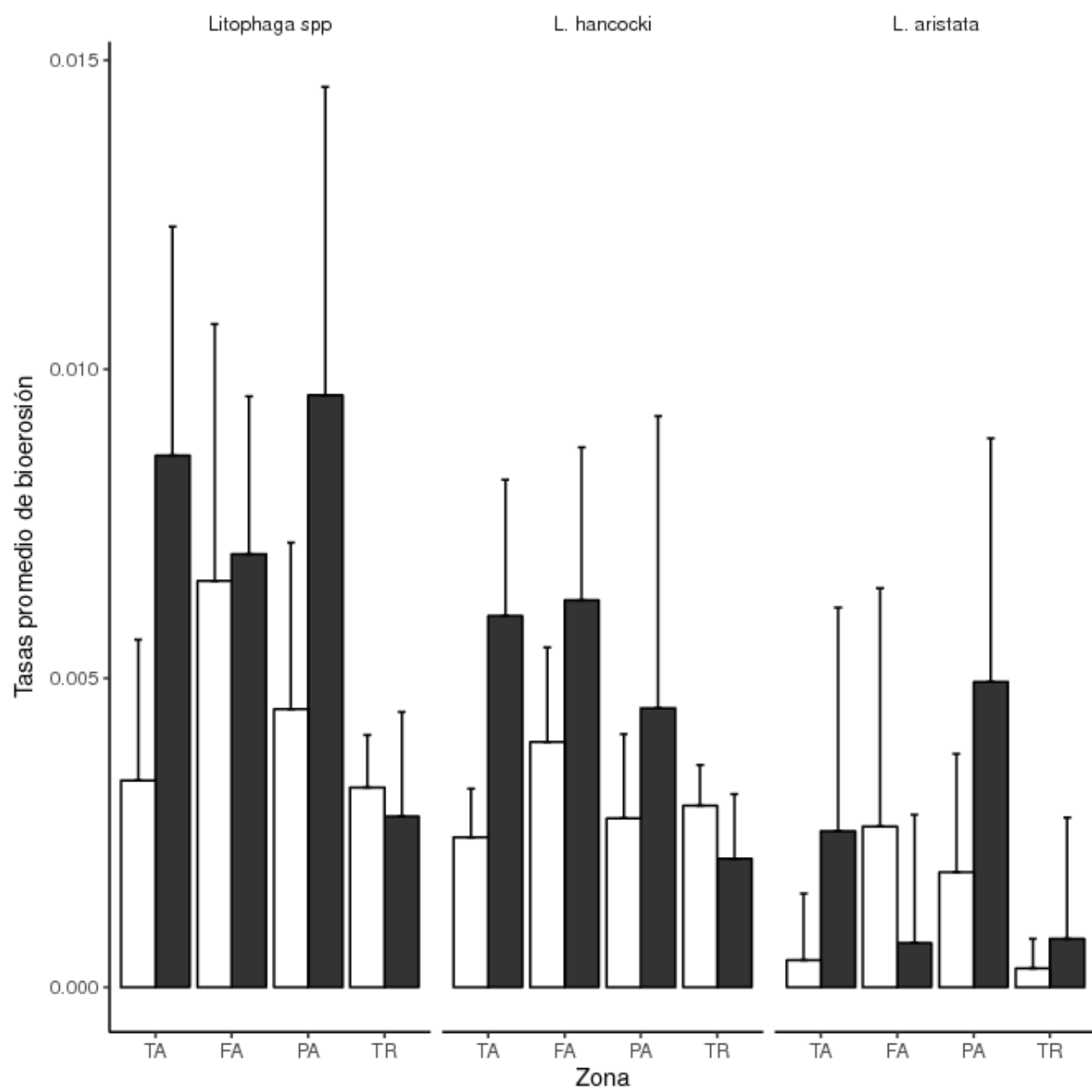


Figura 3.

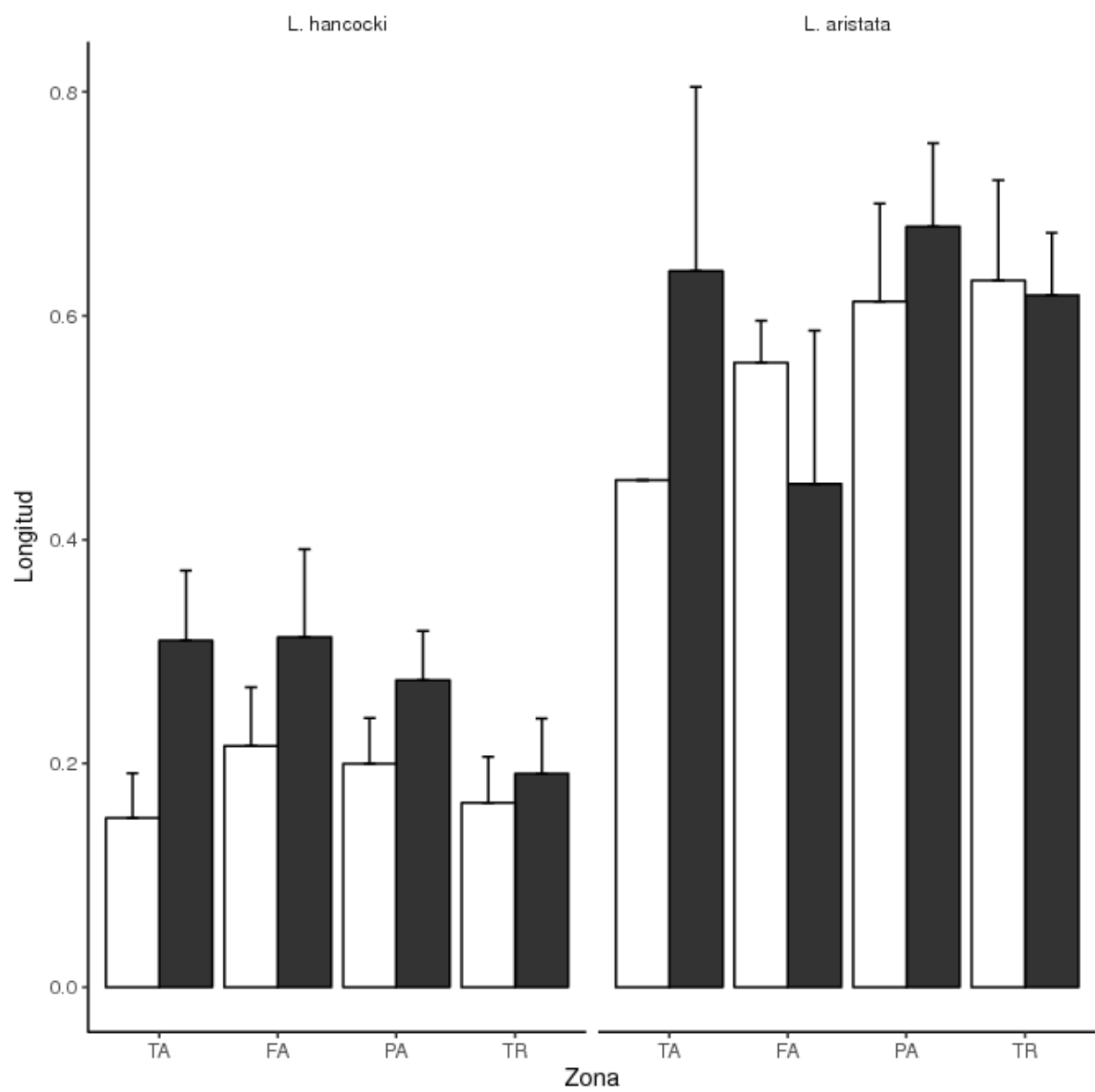


Figura 4.