

Abundancia y distribución de *Pontodrilus litoralis* en las
costas cercanas al Faro de Cabo Rojo, Puerto Rico

Por

Eduardo Boothby Carlo

Una tesis sometida en cumplimiento parcial de los requisitos para el grado de

MAESTRÍA EN CIENCIAS
en
BIOLOGÍA

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO DE MAYAGÜEZ
2010

Aprobado por:

Mónica Alfaro, PhD
Miembro, Comité Graduado

Fecha

Jaime Acosta, PhD
Miembro, Comité Graduado

Fecha

Sonia Borges, PhD
Presidente, Comité Graduado

Fecha

Nanette Difffoot, PhD
Directora del Departamento de Biología

Fecha

Astrid Cruz Pol, PhD
Representante de Estudios Graduados

Fecha

Abstract

The purpose of this investigation was to determine the structure and dynamics of the populations of the oligochate *Pontodrilus litoralis* on the coasts near the Cabo Rojo Lighthouse in Puerto Rico. During the months of May of 2008 and February 2009, sampling was made at low tide on the sandy littoral shores of two beaches on each side of the lighthouse. Distances from the tide mark in sand was taken into account. Environmental factors such as temperature, pH, soil moisture, organic matter, and surface accumulation of plant debris were registered. Spatial distribution of *Pontodrilus litoralis* was determined to be aggregate in clusters. These clusters were predominant right at the high tide marking where sand was always humid but never completely submerged under seawater. Organic matter and temperature were determined to be the primary factors in the distribution of the oligochate. Sites with the lowest temperatures recorded seemed to have the most number of individuals. Sites with the most accumulation of surface plant debris recorded the lowest temperatures as well as the highest organic matter contents. Sites with clusters of individuals recorded the most acidic pH due to heightened cell respiration rates where individuals are numerous. Only a small percentage of the individuals sampled had reached adulthood, this indicates a high reproductive output once the juveniles enter the reproductive stage of adulthood but a relatively slow growth to reach it.

Resumen

El propósito de esta investigación fue determinar la estructura y la dinámica de las poblaciones del oligoqueto *Pontodrilus litoralis* en las costas cercanas al Faro de Cabo Rojo, Puerto Rico. Durante los meses de mayo del 2008 y febrero del 2009, se muestreó la zona litoral de dos costas arenosas a ambos lados del faro en marea baja. Distancias de la marca de la marea baja fueron consideradas. Factores ambientales como temperatura, pH, humedad del suelo, materia orgánica y acumulación de material vegetativo acumulado en la superficie de la arena fueron registrados. La distribución espacial de *Pontodrilus litoralis* resultó ser agregada en parchos. Estos parchos predominaron justamente antes de la marca de la marea alta, donde la arena estaba siempre húmeda pero nunca completamente sumergida dentro del agua de mar. Se determinó que la materia orgánica y la temperatura fueron los factores primarios en la distribución de este oligoqueto. Lugares con las temperaturas más bajas fueron aquellos con mayor densidad de lombrices de tierra. Lugares con mayor acumulación de material vegetativo acumulado en la superficie de la arena registraron las temperaturas más bajas y los contenidos de materia orgánica más altos. Lugares con altas densidades de lombrices registraron un pH ácido debido a la alta tasa de respiración celular. Sólo un porcentaje pequeño de la población había llegado a madurez sexual, esto indica una tasa alta de reproducción pero un crecimiento lento de los juveniles en llegar a adultez.

Agradecimientos

Quisiera agradecer primeramente a Dios por todas sus bendiciones. Gracias a mi familia, en especial a mis padres, por apoyarme siempre. Gracias a la Dra. Sonia Borges por toda su ayuda incondicional en el cumplimiento de esta investigación. También quisiera agradecer al Dr. Raúl Macchiavelli, la Dra. Mónica Alfaro, al Dr. Jaime Acosta, al Dr. David Sotomayor y al señor Donato Seguí por la ayuda que me brindaron en el transcurso de mis estudios graduados. Gracias a las personas que me ayudaron en los diferentes muestreos que se llevaron a cabo, entre ellos a mi madre, Aixa C. Boothby, a José Juan Soto, y a Carlos Frontera.

Tabla de contenido

Abstract.....	ii
Resumen.....	iii
Agradecimientos.....	iv
Tabla de contenido.....	v
Lista de tablas.....	vi
Lista de figuras.....	vi
1 Introducción.....	1
1.1 Justificación.....	1
1.2 Marco histórico.....	2
1.3 Objetivos.....	10
2 Materiales y métodos.....	12
3 Resultados.....	14
4 Discusión.....	30
5 Conclusiones.....	39
6 Literatura citada.....	40
Apéndice 1.....	43

Lista de tablas

Tabla 1. Valores de R^2 de los análisis de regresión lineal p.27

Lista de figuras

Fig. 1. Temperatura promedio del sustrato por transecto y por playa en mayo (T1) p.15

Fig. 2. Temperatura promedio del sustrato por transecto y por playa en febrero (T2)

p.15

Fig. 3. Humedad promedio del sustrato por transecto y por playa en mayo (T1) p.16

Fig. 4. Humedad promedio del sustrato por transecto y por playa en febrero (T2) p.17

Fig. 5. Contenido promedio de materia orgánica del sustrato por transecto y por playa en mayo (T1) p.18

Fig. 6. Contenido promedio de materia orgánica del sustrato por transecto y por playa en febrero (T2) p.19

Fig. 7. pH promedio del sustrato por transecto y por playa en mayo (T1) p.20

Fig. 8. pH promedio del sustrato por transecto y por playa en febrero (T2) p.20

Fig. 9. Porcentaje de parchos cubiertos de *Thalassia* por transecto y por playa en mayo (T1) p.21

Fig. 10. Porcentaje de parchos cubiertos de *Thalassia* por transecto y por playa en febrero (T2) p.22

Fig. 11. Porcentaje de parchos con arena anóxica por transecto y por playa en mayo (T1) p.22

- Fig 12. Porcentaje de parchos con arena anóxica por transecto y por playa en febrero (T2)
p.23
- Fig. 13. Densidad de *P. littoralis* por transecto y por playa en mayo (T1) p.24
- Fig. 14. Densidad de *P. littoralis* por transecto y por playa en febrero (T2) p.24
- Fig. 15. Biomasa de *P. littoralis* por transecto y por playa en mayo (T1) p.25
- Fig. 16. Biomasa de *P. littoralis* por transecto y por playa en febrero (T2) p.25
- Fig. 17. Total de juveniles y adultos por transecto y por playa en ambos tiempos p.26
- Fig. 18. Regresión lineal: número de individuos vs. materia orgánica p.27
- Fig. 19. Regresión lineal: número de individuos vs. temperatura °C de la arena p.28
- Fig. 20. Regresión lineal: número de individuos vs. pH p.28
- Fig. 21. Regresión lineal: número de individuos vs. humedad del substrato p.29

1 Introducción

1.1 Justificación

En este estudio de abundancia y distribución de *Pontodrilus litoralis* (Grube, 1855) se adquiere conocimiento de la estructura y dinámica de las poblaciones de un organismo muy poco estudiado en las costas de Puerto Rico y en el resto del mundo. En la isla, esta especie cosmopolita no es muy común ya que solamente se ha reportado en las costas del faro de Cabo Rojo (Borges y Moreno, 1994) y en el sur de Vieques (Borges et al., 2005). Sin embargo, en ninguna de las localidades se ha llevado a cabo un estudio ecológico poblacional, o sea, que todos los hallazgos acerca de las poblaciones de esta especie son reportados por primera vez para este organismo.

Conociendo la dinámica y la estructura de las poblaciones de *P. litoralis* se establece un fundamento para estudios futuros de esta especie de lombriz de tierra. Los hallazgos podrían ayudar a la comunidad científica a tener una mejor perspectiva y conocimiento general de las especies que viven en la zona litoral, no solamente en las costas de Puerto Rico sino también en las del resto del Caribe. Dado el caso que *P. litoralis* es cosmopolita, este estudio podría servir de base para estudios comparativos en todas las costas tropicales del mundo donde se encuentra este anélido.

1.2 Marco histórico

El oligoqueto terrestre *Pontodrilus litoralis* fue descrito inicialmente en las costas del Mediterráneo en el sur de Francia como *Lumbricus litoralis*. También fue descrito por Perrier (1874) como *Pontodrilus marionis*, por Beddard (1891) como *Pontodrilus bermudensis* y como *Pontodrilus matsushimensis* por Iizuka (1898).

Esta lombriz de tierra de la Familia Megascolecidae habita en la zona litoral de las costas de las playas cálidas alrededor del mundo (Blakemore, 2002). Se ha encontrado en playas arenosas, lodo salobre y en pantanos de mangle que se encuentran en la zona de cambio de las mareas (Gates, 1972). Gates (1972) consideró que el agente para la distribución circuntropical de *P. litoralis* probablemente no haya sido la especie humana. Lee (1969; 1985) especuló que esta especie se dispersa naturalmente por las corrientes marinas en balsas flotantes de materia orgánica. A estas especies que son distribuidas por balsas se les conoce como especies peregrinas según Michaelsen (Edwards y Bohlen, 1996). Blakemore (2007) menciona que los estudios más recientes de ecología y taxonomía presentan dos mecanismos por los cuales *Pontodrilus litoralis* se dispersa, uno es la transportación humana histórica en barcos de cargamentos de arena y la otra es por balsas naturales en donde los capullos eurihalinos de las lombrices se adhieren fácilmente. También menciona que las costas del sur de India, Australia y posiblemente ambas, son las costas donde emergió la especie hace más de 100 millones de años.

Pontodrilus litoralis se reportó en Taiwán en 2005 por Shen y colaboradores. Los autores la describieron como una especie pequeña y eurihalina que habita la zona litoral en las costas de la isla de Penghu y la costa suroeste de Taiwán.

En el 2002, Andrade llevó a cabo un estudio de distribución de *Pontodrilus litoralis* y *Tylos wegeneri* en ecosistemas litorales del norte de Venezuela y de cómo estas especies servían de alimento para camarones de acuicultura. El estudio determinó la distribución del oligoqueto *Pontodrilus litoralis* y del isópodo *Tylos wegeneri* en términos de densidad, biomasa y tamaño por un periodo de 13 meses. Se buscaron correlaciones entre la distribución de los invertebrados y la materia orgánica, los pigmentos del suelo, la temperatura, la salinidad y el pH. Sus resultados muestran que *P. litoralis* abunda mayormente en las costas protegidas del viento y fuertes corrientes marinas, mientras que *T. wegeneri* abunda en las costas abiertas y expuestas al viento y corrientes marinas. Como parte del estudio se muestreó mensualmente los componentes energéticos más importantes: lípidos, proteínas y carbohidratos para *P. litoralis*. Bajo condiciones experimentales controladas se evaluó la alimentación, asimilación y el crecimiento del camarón *Penaeus vannamei* en su etapa post-larval utilizando dietas experimentales de combinaciones de *P. litoralis*, *T. wegeneri* y una dieta comercial como control. Los camarones alimentados con los oligoquetos crecieron más pesados en un periodo de tiempo corto, mientras que los camarones alimentados con la dieta comercial crecieron más en longitud en el mismo periodo de tiempo.

La primera mención de *P. litoralis* en Puerto Rico fue hecha por Borges y Moreno (1994). La especie *Pontodrilus litoralis* se reportó únicamente en la región suroeste de Puerto Rico, en la zona del faro de Cabo Rojo. Recientemente fue informada por primera vez en las costas del sur de Vieques (Borges et al., 2005). En ambos sitios se ha encontrado que habita debajo de la hierba marina muerta (*Thalassia sp.*) que se acumula

en la zona litoral por las corrientes y los cambios de marea. Borges (1996; 2004) la incluye en el listado de oligoquetos terrestres exóticos de Puerto Rico.

Según la descripción de Borges (1988), *P. litoralis* es una lombriz de tierra de color rojizo, con una forma general del cuerpo redondeada. No tiene surcos longitudinales ni poros dorsales. Los nefridioporos no se observan externamente. Su clitelo, que se extiende del segmento 14 al 17, es en forma de silla de montar y carece de tubérculos pubertarios. Tiene quetas lumbricianas pareadas y dos marcas genitales circulares en el segmento 18.

De las Antillas, Puerto Rico tiene la oligoquetofauna mejor conocida (Fragoso *et al.* 1995). Borges (2004) recapitula el estado de la investigación sobre los oligoquetos terrestres de Puerto Rico. Michaelsen estableció la primera mención de un oligoqueto terrestre para Puerto Rico en 1902 con la presencia de dos especies peregrinas, *Pheretima rodericensis* (Grube, 1879) (ahora *Amyntas*) y *Pheretima biserialis* (Perrier, 1875) (ahora *Polypheretima elongata* Perrier, 1872). La próxima adición a la lista de oligoquetos de Puerto Rico se hizo cincuenta años más tarde por Gates (1954) con *Pontoscolex corethrurus* (Muller, 1856), *Eudrilus eugeniae* (Kinberg, 1867), *Drawida bahamensis* (Beddard, 1893) (ahora *D. barwelli* (Beddard, 1886)), *Eukerria peguana* (Gates, 1942) (ahora *E. kukenthalii* (Michaelsen, 1908)) y *Gordiodrilus peguanus* (Gates, 1942) (ahora *G. paski* (Stephenson, 1928)). Además, Gates (1954) reportó *Dichogaster* sp. y *Ocnerodrilus* sp. y describió la primera especie nueva de Puerto Rico que nombró *Trigaster rufa* en 1962 (ahora *Neotrigaster rufa*). *Estherella*, el primer género nuevo de glososcolécidos para Puerto Rico y las Antillas fue descrito por Gates en 1970.

Sólo tres especies nativas y siete exóticas se conocían para Puerto Rico hasta el 1988. Desde 1989 una serie de publicaciones extendieron la lista a 29 especies reportadas para la isla (Borges, 2004).

La mayoría de los oligoquetos terrestres de Puerto Rico son megascolécidos y glososcolécidos. Los megascolécidos se representan con 10 especies (35%) y los glososcolécidos con 12 (41%). Once (38%) de las 29 especies son exóticas. Las lombrices nativas comprenden un 61% y la mayor parte de ellas son glososcolécidos de los cuales el género *Estherella* es el mejor representado con 7 especies (64%). Los megascolécidos constituyen un 28% de la oligoquetofauna nativa. El 11% restante pertenece a la familia Exxidae (Borges, 2004).

Según Borges (2004) todavía en Puerto Rico existen regiones, en especial las zonas montañosas, que se han estudiado muy poco o no se han estudiado, por lo tanto, no se debe presumir que el inventario de lombrices de tierra de la isla está completo. Con la excepción de Vieques, las demás islas que comprenden el archipiélago de Puerto Rico tampoco se han examinado.

Los trabajos ecológicos de los oligoquetos terrestres en Puerto Rico proveen información acerca de las relaciones entre las especies nativas y las exóticas. Borges (2004) establece que en términos generales, los resultados de éstos coinciden con los descritos para México por Fragoso *et al.* (1995):

1. En los ecosistemas naturales el número de las especies nativas es significativamente mayor al de las exóticas. Las especies exóticas prevalecen en los ecosistemas perturbados.

Debido a la extensa deforestación de Puerto Rico a principios de los 1900 que redujo la cobertura del bosque a 7% (Birdsey y Weaver, 1987) los ecosistemas primarios o naturales son extremadamente raros en la isla. Una de las escasas áreas de ecosistema primario se encuentra, por ejemplo, en Baño de Oro, parte del Bosque Estatal de Luquillo. En esta región tanto la biomasa como el número de las especies nativas (5) es mayor que el de las exóticas (3). En el Bosque de Palma, caracterizado por suelos inestables, la densidad de las especies exóticas es mayor que la de las nativas (Borges y Alfaro, 1997).

En la Reserva Laguna Cartagena y en el Bosque del Pueblo, que son regiones que se han sometido a disturbios por más de setenta y cinco años, las especies exóticas sobrepasan las nativas. Existe una relación de 3 a 1 en Cartagena (Alfaro y Borges, 1996), mientras que en el Bosque del Pueblo (Borges *et al.*, 2006) la especie nativa *O. borincana* estaba presente pero con una densidad mucho menor a la de *P. corethrurus* que es una especie exótica.

2. Las comunidades de lombrices en los ecosistemas naturales tienen menos abundancia y biomasa que aquellas en ecosistemas perturbados. Entre éstos, los pastizales representan los valores más altos.

Zou y González (1997) estudiaron los cambios en la densidad de las lombrices en la sucesión secundaria de pastizales y barbechos en Puerto Rico. La densidad y la biomasa fueron más altas en los pastizales activos, sin embargo, la densidad y la biomasa disminuyeron continuamente con los años de abandono del pastizal. Los valores más bajos se encontraron en los bosques.

3. La supervivencia de las especies nativas en los ecosistemas perturbados depende del tiempo que el área haya permanecido alterado y de la intensidad del disturbio.

González *et al.* (1996) estudiaron las especies de oligoquetos terrestres y su patrón de densidad en plantaciones de caoba y de pino comparando estos resultados con los obtenidos en bosques secundarios naturalmente regenerados en el BEL. En el estudio detectaron que la densidad y el peso fresco de las lombrices fueron dos veces más altos en los bosques secundarios donde sólo abundaban las especies nativas (*Pontoscolex spiralis* Borges y Moreno, 1990, *Estherella gatesi* Borges y Moreno, 1989 y *E. montana* Gates, 1970). Los autores sugieren que los bosques regenerados de forma natural son preferibles a las plantaciones de caoba y de pino para un mayor nivel de peso fresco, densidad y de especies nativas.

Las poblaciones de lombrices de tierra pueden variar grandemente en tamaño, lo que dificulta su estudio estructural y de distribución. Existen diferentes métodos para estimar el tamaño de las poblaciones de los oligoquetos terrestres. Estos métodos se pueden dividir en métodos pasivos, donde las lombrices de tierra son separadas físicamente del suelo, o métodos de comportamiento donde las lombrices de tierra son estimuladas a que salgan a la superficie por estímulos físicos o químicos.

El método más antiguo y comúnmente utilizado es el de conteo a mano (Edwards y Bohlen, 1996). En este método se recogen muestras de suelo y se cuentan los individuos a mano, uno por uno, removiéndolos y separándolos del suelo. Para que este método rinda buenos resultados se tienen que hacer unidades muestrales en cuadrantes o extracciones que sean siempre fijas en tamaño para poder hacer un buen estimado de la

población. Edwards y Bohlen (1996) mencionan a varios científicos que han empleado exitosamente el conteo a mano para estimar poblaciones de oligoquetos terrestres, entre éstos se encuentran Bretschien (1896), Bornebusch (1930), Ford (1935), Hopp (1947), Low (1955), Reynoldson (1955), Svendsen (1955), Wilcke (1955), Barley (1959a, b) y Rundgren (1975).

Las estructuras de distribución espacial en las poblaciones de lombrices de tierra son raramente al azar. Curry (1998) definió y clasificó diferentes factores que influyen en la variabilidad de las distribuciones espaciales de las lombrices de tierra. Él divide los factores en dos grupos: los externos que determinan el hábitat (clima, suelo, vegetación, manejo y disponibilidad de desperdicios) y las interacciones bióticas que existen en las comunidades a que pertenecen las lombrices de tierra (competencia, depredación, parasitismo, enfermedad, relaciones de alimento). Edwards y Bohlen (1996) mencionan a Guiad (1952) y Murchie (1958) quienes definen los factores que afectan la distribución espacial horizontal de las lombrices de tierra. Estos factores son el físico-químico (temperatura, humedad, pH, sales inorgánicas, aeración, textura), la disponibilidad de alimento (hierbas, hojarasca, estiércol, materia orgánica), el potencial de reproducción, el poder de dispersión de la especie y los factores históricos como disturbios y colonizaciones de otros organismos. Según Murchie (1958) ninguno de estos factores es responsable por sí solo de la distribución de la población pero sí la interacción de algunos o todos los factores involucrados. Algunos científicos han correlacionado agregaciones de individuos con la disponibilidad de alimento (Hendrix *et al.*, 1992).

La distribución vertical o de profundidad de las lombrices de tierra también varía grandemente con la temporada del año y las condiciones ambientales predominantes en

dicha temporada al igual que varía entre diferentes especies. Edwards y Bohlen (1996) citan a Gerard (1967) quien estudió los cambios en la distribución vertical de lombrices de tierra comunes de Inglaterra y determinó que los factores que influyen el movimiento vertical de estos vermes son las temperaturas extremas y la resequedad de la superficie.

Jan Lagerlof *et al.* (2002) realizaron un estudio poblacional de lombrices de tierra utilizando el conteo a mano en el cual se determinó la diferencia en densidades de lombrices entre los bordes de los campos agrícolas y el centro de los mismos campos en Suecia. En este estudio se determinó que las densidades de lombrices ocurren mayormente hacia el centro de los campos y no tanto así en los bordes de éstos. Explican que esto se debe a la preferencia de las lombrices a habitar en zonas donde el uso de estiércol, fertilizantes, cultivación moderada del suelo y variedad de cosechas crean condiciones favorables para las lombrices de tierra.

Deibert y Utter (2003) publicaron un artículo de presencia o ausencia de lombrices en campos de North Dakota protegidos por el *United States Conservation Reserve Program*. El estudio se compuso de 23 campos en donde se hicieron conteos a mano en transectos de 90 metros. Los sitios con presencia de lombrices fueron asociados con niveles de materia orgánica de 2.5% o más y niveles altos de nitrógeno. En los sitios con ausencia de lombrices se determinó una cantidad de arena de 67% (± 13). En este caso el fósforo, el potasio y el pH no se relacionaron con la presencia o ausencia de oligoquetos de tierra en los campos.

Decaens y Rossi (2001) llevaron a cabo un estudio poblacional en el cual se examina la estructura espacio-temporal de la comunidad de lombrices y la heterogeneidad del suelo en un pastizal tropical colombiano. Se utilizaron análisis

multivariados y geoestadísticos para describir estructuras espaciales de los datos recolectados. Se utilizaron pruebas de Mantel para asesar las relaciones entre los patrones espacio-temporales de distribución de las lombrices y la heterogeneidad del suelo. Los resultados mostraron patrones de estructura espacial que corresponden mayormente a las alternaciones de los parchos en donde especies particulares se agrupaban y dominaban. Las propiedades del suelo también mostraron organización espacial pero una parte mínima de la distribución estructural espacio-temporal de las lombrices se correlaciona a ellas. Sugieren también que la organización de la comunidad de lombrices corresponde a un sistema en desequilibrio donde las poblaciones móviles de lombrices tienen influencia sobre las propiedades del suelo.

1.3 Objetivos

En este estudio se analizará la especie *Pontodrilus litoralis* desde un punto de vista ecológico poblacional. Se estudiará la abundancia de la especie en la zona litoral de dos costas cercanas al faro de Cabo Rojo en el suroeste de Puerto Rico. Se analizará la dispersión de los individuos a través de la zona litoral arenosa y se determinará si su dispersión es al azar, uniforme o agregada. Se analizarán estos factores a lo largo del litoral (horizontal) al igual que de manera estratificada (vertical). Luego de tomar los datos, éstos se analizarán mediante las pruebas estadísticas correspondientes para determinar si existen interacciones entre los diferentes factores.

El análisis conllevará estudios de peso seco de la cantidad de material orgánico en descomposición sobre los lugares de muestreo y se buscará una interacción o relación entre este material y los factores de dispersión y abundancia. En cada lugar de muestreo se analizará la temperatura, el pH y la humedad del substrato. Luego se buscarán

correlaciones de estos factores con la distribución espacial de las poblaciones de estas lombrices de tierra.

2 Materiales y métodos

Este estudio se llevó a cabo en los meses de mayo 2008 (tiempo 1) y febrero 2009 (tiempo 2) en dos costas cercanas al faro de Cabo Rojo, en el suroeste de Puerto Rico. Una de las costas denominada “playa protegida” se encuentra en el lado oeste del faro de Cabo Rojo y es una orilla arenosa que no está expuesta al viento y a las corrientes marinas mayormente provenientes del este. El agua de mar en esta orilla se encuentra calmada. La otra “playa expuesta” se encuentra en el lado este del faro y ésta sí está expuesta a los vientos y a las corrientes marinas, el agua de mar en esta orilla tiene más oleaje. Estas costas están a los dos lados de lo que se conoce como Punta Jaguey. El procedimiento descrito a continuación se siguió para ambas costas en dos muestreos idénticos.

Para la toma de los datos se establecieron líneas de muestreo de 50 metros de largas, paralelas a la orilla del mar. La primera línea se estableció utilizando el nivel de la marea baja como referencia. Las líneas siguientes se establecieron en la misma orientación, a 0.6 metros de distancia entre ellas y en dirección opuesta a la orilla del mar. La última línea de muestreo se estableció cuando no se encontraron lombrices en la misma. Se utilizaron 50 banderillas colocadas a 1 metro de distancia para marcar puntos fijos a lo largo de cada línea. Se seleccionaron 4 puntos aleatorios de los 50 marcados en la línea utilizando un programa de números al azar. En cada punto escogido se midió el pH, la temperatura y la humedad volumétrica (Brower y Zar, 1984). El pH y la humedad volumétrica se midieron utilizando un Kelway Soil Tester y la temperatura se midió digitalmente utilizando un equipo CBL2 con sensor de temperatura y calculadora gráfica TI-83. El material orgánico acumulado encima de la arena, principalmente *Thalassia*, se

registró de forma binomial, presente o ausente, y se determinó un porcentaje de muestras con cobertura de *Thalassia* para cada transecto. El contenido de materia orgánica en la arena se midió utilizando el método de pérdida por ignición (adaptado de Storer, 1984). Se identificaron los puntos que contenían arena anóxica, la cual presenta un color grisáceo y con olor de descomposición. Se determinó el porcentaje de puntos de cada transecto que contenían arena anóxica.

Los oligoquetos se recolectaron en cada unidad muestral vertiendo la arena perteneciente en una malla de tela impermeable y se contaron a mano, uno por uno. Se preservaron en formol comercial al 10%, que se cambió periódicamente hasta que su color mostraba ser claro e incoloro. Se determinó la biomasa de lombrices por unidad muestral pesándolas con una balanza digital por lo menos un mes después de haber sido preservadas. Las lombrices colectadas se dividieron en juveniles y adultos de acuerdo a la presencia o ausencia del clitelo.

Los datos de la investigación se analizaron utilizando estadísticas aplicables a la biología. Luego de los datos ser transformados a LN (X+1), se analizaron con una prueba de Tukey de análisis de varianza que busca diferencias significativas ($\alpha = .05$). También se analizaron regresiones lineales que buscan las interacciones significantes de los diferentes factores presentes en la investigación, salvo cobertura de *Thalassia* y presencia de arena anóxica, por ser contabilizados de forma binomial. Para los análisis de distribución de la población se utilizó un estimador de población agrupada. Los análisis estadísticos se llevaron a cabo con Infostat Software Estadístico.

3 Resultados

Todos los datos de esta investigación aparecen en el Apéndice 1. Las figuras 1 y 2 muestran los valores promedio de la temperatura de la arena. En el tiempo 1 (mayo, T1), en la playa protegida la temperatura promedio de la arena mayor fue 29.3°C en el cuarto transecto y el menor fue 24.5°C en el segundo transecto. En el tiempo 2 (febrero, T2), nuevamente el transecto 4 tuvo el mayor promedio de temperatura con 27°C y el segundo transecto el menor con 23.5°C.

Este patrón se repitió en el primer tiempo de la playa expuesta (31.4°C y 25.8°C, respectivamente). En el segundo tiempo, el valor promedio mayor de la temperatura de la arena fue el transecto tres (27.9°C) y el menor nuevamente fue el segundo transecto (23.1°C). El valor más alto registrado fue de 31.6 °C en el segundo parcho del cuarto transecto de la playa expuesta en el primer tiempo de muestreo y el menor de 22.7 °C se registró en el tercer parcho del segundo transecto de la playa expuesta en el segundo tiempo de muestreo (Apéndice 1). La temperatura promedio de la arena fue de 26.6 °C, (Figs. 1 y 2). Ésta mostró una variación significativa $p < 0.05$ en el tiempo de muestreo, así como en el tipo de playa. También se encontró una diferencia significativa entre los transectos de cada playa. Las interacciones de tiempo por tipo de playa, al igual que tiempo por transecto mostraron diferencias significativas ($p < .05$). La interacción de tipo de playa por transecto no mostró variación significativa ($p > .2273$). El análisis de Tukey Test mostró diferencias ($\alpha .05$) entre tiempos, playas y transectos y señaló que los cuatro transectos son diferentes en temperatura.

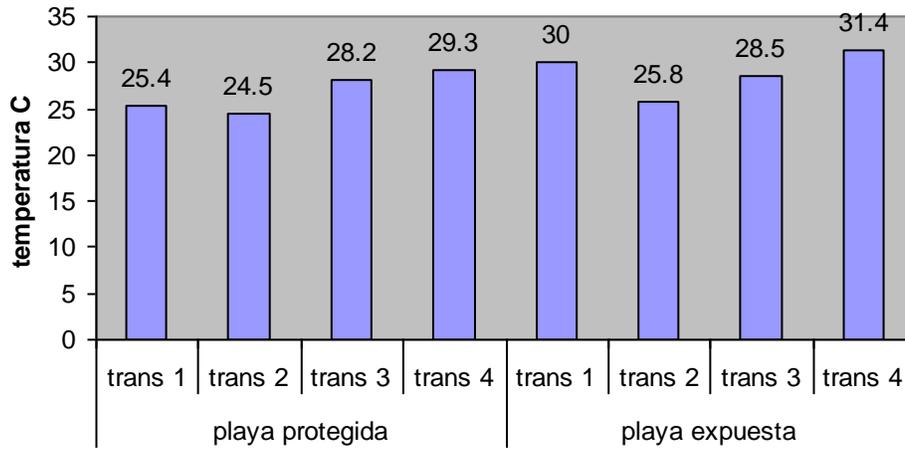


Fig 1. Temperatura promedio del sustrato por transecto y por playa en mayo (T1)

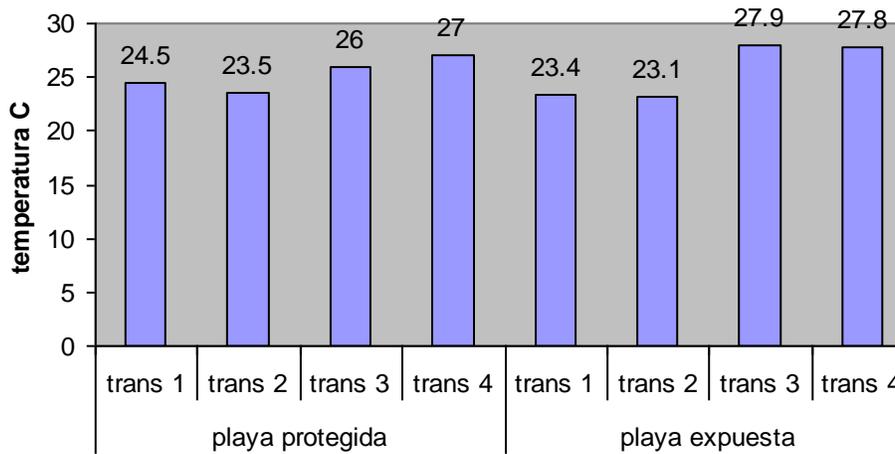


Fig 2. Temperatura promedio del sustrato por transecto y por playa en febrero (T2)

Los valores promedios de la humedad de la arena están representados en las figuras 3 y 4. El mayor valor de humedad fue de 100% en todas las muestras de los transectos 1, 2, y 3 de ambos tiempos y ambas playas. En ambas playas y en ambos tiempos, el transecto 4 mostró menos humedad que los demás siendo el promedio menor

(40%) el del transecto 4 del tiempo dos de la playa expuesta. Los resultados del análisis de varianza para el contenido de humedad de las muestras indican que hubo diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tiempos de muestreo, tipos de playa, y transectos también. Así también mostró diferencias ($p < 0.05$) en las interacciones entre tiempo de muestreo y tipo de playa, entre tiempo de muestreo y transecto, y entre tipo de playa y transecto. Según el análisis de Tukey Test ($\alpha 0.05$) para humedad se encontró diferencias entre tiempos, tipos de playa, y entre los primeros tres transectos siendo todos estos en conjunto diferentes al transecto 4.

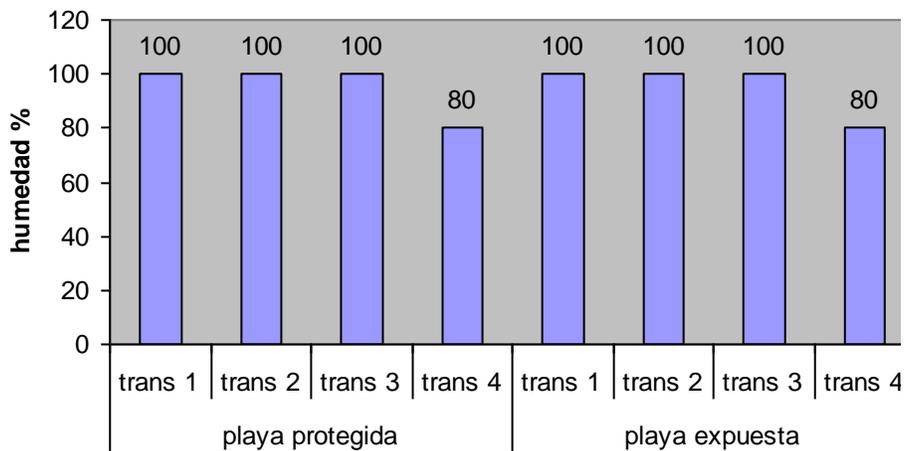


Fig 3. Humedad promedio del substrato por transecto y por playa en mayo (T1)

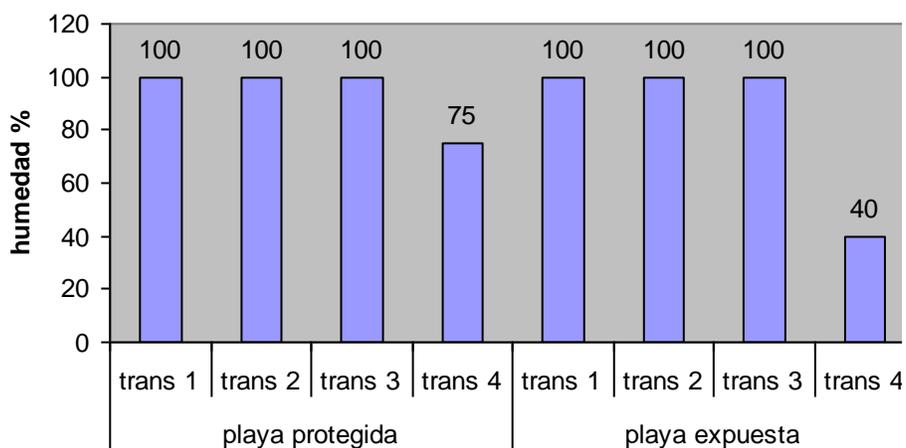


Fig. 4. Humedad promedio del sustrato por transecto y por playa en febrero (T2)

Las figuras 5 y 6 muestran los valores promedio para el contenido de materia orgánica de las muestras. En el tiempo 1 en ambas playas hubo mayor contenido de materia orgánica en el segundo transecto (2.42 % en la protegida y 2.58 % en la expuesta) y menor en el transecto 4 (0.9 % en la protegida y 0.85 en la expuesta). En el segundo tiempo el promedio mayor de materia orgánica en la playa protegida se obtuvo en los transectos 1 y 2 (1.98 %) y el menor en el transecto 4 (1.13 %). En la playa expuesta el transecto 4 tuvo el mayor promedio (1.41%) de materia orgánica en el segundo tiempo y el transecto 4 tuvo el menor (1.19 %). El mayor contenido de materia orgánica promedio se encontró en el segundo transecto de la playa expuesta en el primer tiempo de muestreo con un valor de 2.58%. El menor contenido de materia orgánica promedio fue de 0.91% en el cuarto transecto de la playa protegida en el primer tiempo de muestreo. Según el Tukey Test para el contenido de materia orgánica hubo diferencias ($\alpha 0.05$) entre playas y entre el transecto 2 de los transectos 1, 3, y 4. El contenido de materia orgánica fue una variable físicoquímica que, según los análisis de varianza, fue significativamente

diferente en los tipos de playa y en los transectos ($p < 0.05$), pero no en los tiempos de muestreo ($p > 0.90$). Solamente en la interacción entre tiempo de muestreo y transecto se encontró una diferencia significativa ($p < 0.05$).

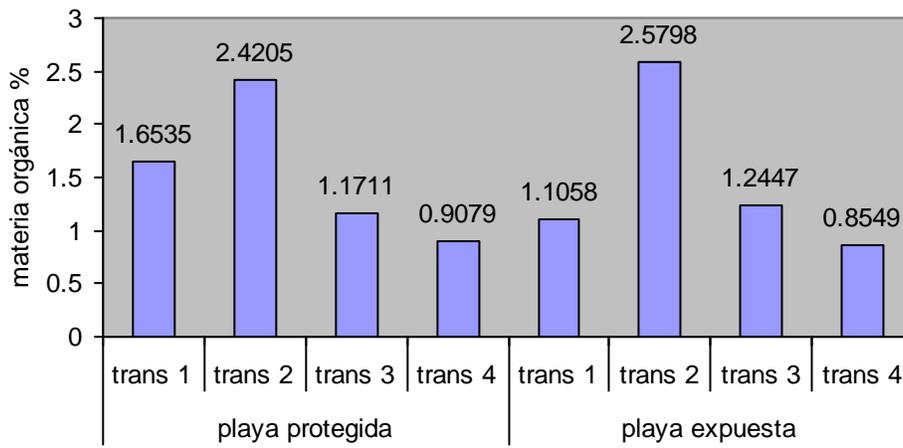


Fig 5. Contenido promedio de materia orgánica del substrato por transecto y por playa en mayo (T1)

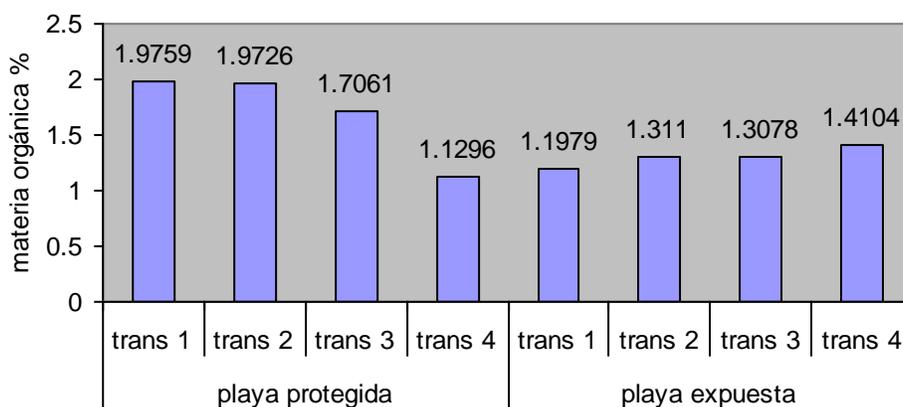


Fig 6. Contenido promedio de materia orgánica del sustrato por transecto y por playa en febrero (T2)

Los valores promedio de pH están representados en las figuras 7 y 8. En la playa protegida, el promedio mayor de pH se obtuvo en el transecto 1 tanto en el tiempo 1 (6) como en el 2 (6.8). El promedio de pH menor en esta playa fue el tercer transecto: 4.9 en el tiempo 1 y 4.8 en el tiempo 2. En la playa expuesta el mayor promedio de pH se obtuvo en el transecto 4 en ambos tiempos y el menor en el 2. El promedio de pH en la investigación fue de 5.3, el valor mayor de pH se obtuvo en el tercer parcho del primer transecto de la playa protegida del segundo tiempo de muestreo con un valor neutral de 7.0 (Apéndice 1). El valor más ácido de pH fue de 3.7 y lo mostró el cuarto parcho del segundo transecto de la playa expuesta en el primer tiempo de muestreo (Apéndice 1). Tukey Test encontró diferencias ($\alpha .05$) en el pH en los tiempos de muestreo, tipos de playa, y diferencias entre los transectos 2 y 3 de los transectos 1 y 4. En cuanto a la acidez del suelo (pH), el tiempo de muestreo, el tipo de playa y los transectos mostraron

diferencias significativas. Al igual que la interacción de tipo de playa por transecto ($p < 0.05$).

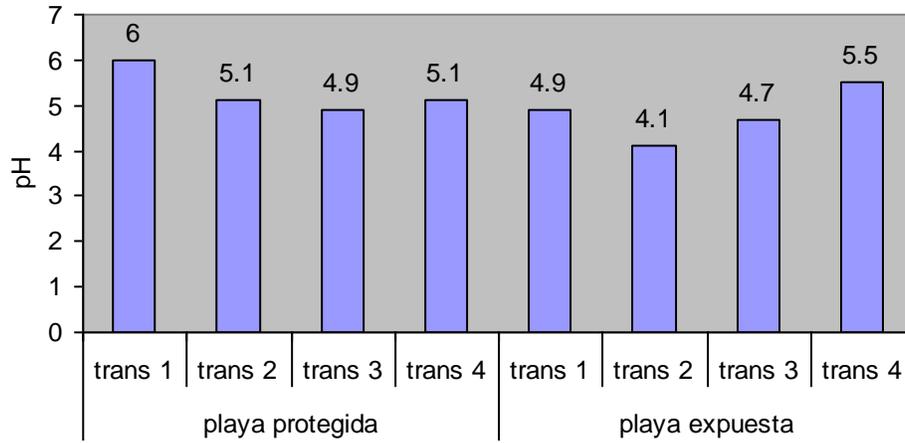


Fig 7. pH promedio del substrato por transecto y por playa en mayo (T1)

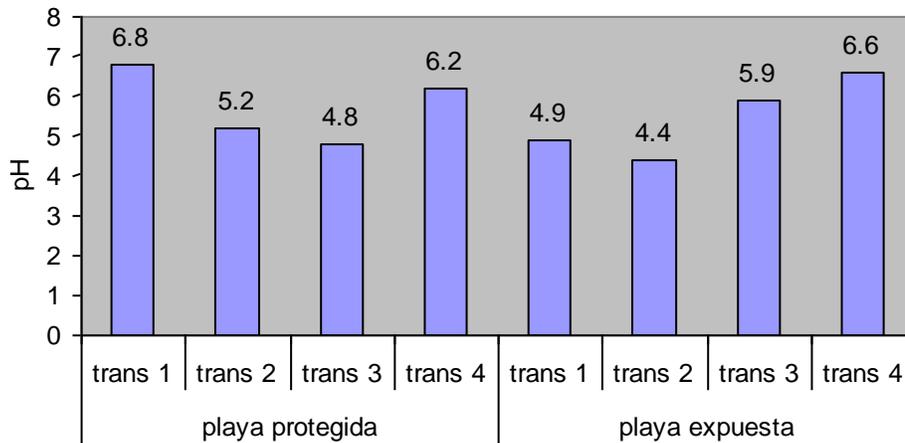


Fig 8. pH promedio del substrato por transecto y por playa en febrero (T2)

La presencia de *Thalassia* acumulada en los lugares de muestreo se ven en las figuras 9 y 10. El transecto 2 fue el único que mostró 100 % de cobertura en ambos tiempos además de ser el único transecto con *Thalassia* en la playa protegida en el tiempo 1. En el segundo tiempo el transecto 3 tuvo 25 % de cobertura de *Thalassia* en la playa protegida. En el tiempo 1, en la playa expuesta hubo cobertura de *Thalassia* en los transectos 2 y 3 (75 % y 25 %) respectivamente, pero en el segundo tiempo los transectos 1 y 2 tuvieron 75 % de cobertura. Esta característica mostró diferencias ($p < 0.05$) en los transectos y en la interacción de tipo de playa por transecto solamente. Las diferencias entre tiempo de muestreo y entre tipo de playa no fueron significativas ($p > 0.05$) y tampoco las interacciones entre tiempo de muestreo por tipo de playa y tiempo de muestreo por transecto.

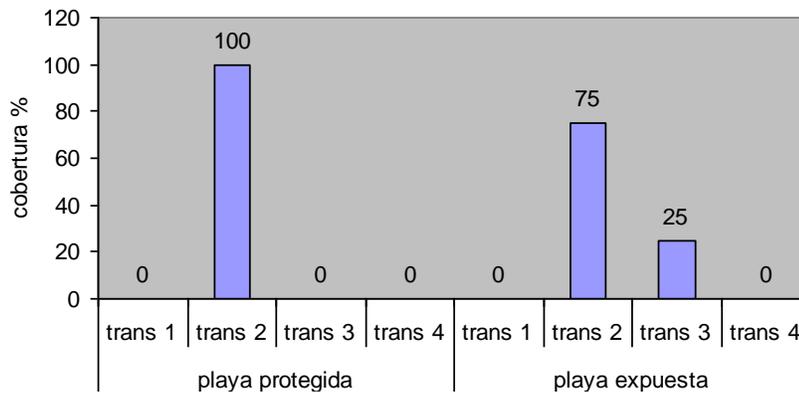


Fig 9. Porcentaje de parchos cubiertos de *Thalassia* por transecto y por playa en mayo (T1)

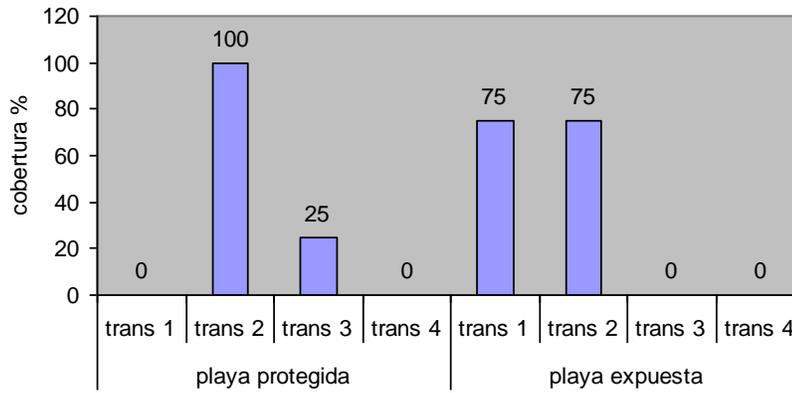


Fig 10. Por ciento de parchos cubiertos de *Thalassia* por transecto y por playa en febrero (T2)

Sólo hubo arena anóxica en la playa protegida: en el tiempo 1 con 50% y 25 % en los transectos 1 y 2, respectivamente, y con 100 % en el transecto 1 del tiempo 2 (Figs. 11 y 12). El análisis de varianza de la presencia de arena anóxica de color gris encontró diferencias entre tipos de playa y entre transectos al igual que en la interacción de tipo de playa por transecto ($p < .05$).

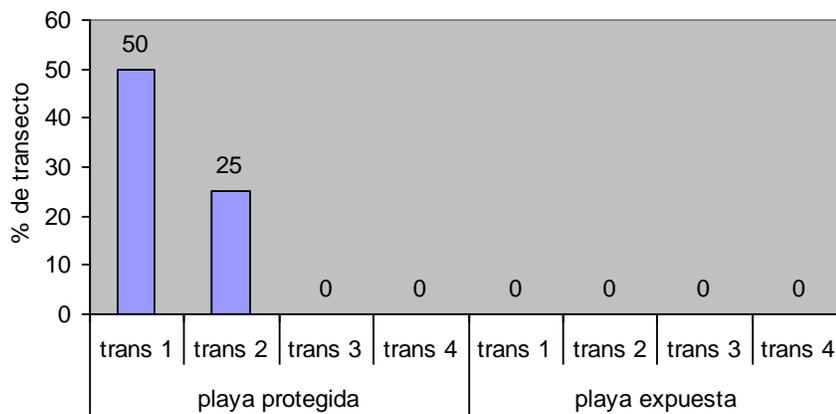


Fig. 11. Por ciento de parchos con arena anóxica por transecto y por playa en mayo (T1)

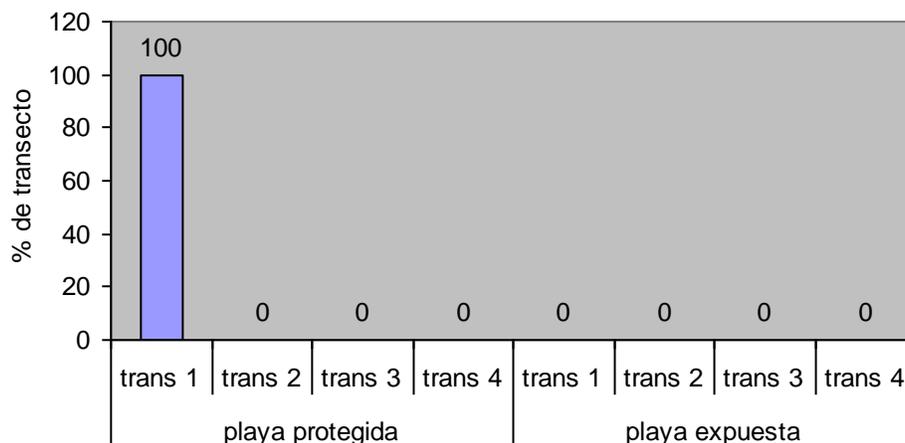


Fig 12. Porcentaje de parchos con arena anóxica por transecto y por playa en febrero (T2)

La densidad de *P. littoralis* se observa en las figuras 13 y 14. El segundo transecto de la playa protegida fue el de mayor densidad de *P. littoralis* tanto en el tiempo 1 como en el 2 (2200 y 3678 ind/m², respectivamente). Lo mismo ocurrió en la playa expuesta (2111 ind/m² en el tiempo 1 y 2022 ind/m² en el tiempo 2). Nunca se encontraron lombrices en los transectos 4 de las playas ni en el transecto 1 de la playa protegida en el segundo tiempo. Las playas protegidas siempre tuvieron mayor densidad de *P. littoralis* que las playas expuestas. Se encontraron más lombrices en el segundo tiempo que en el primero.

Los transectos con mayor densidad de *P. littoralis* también fueron los de mayor promedio de biomasa (ver las Figs. 15 y 16). En cuanto a biomasa por transecto, el mayor valor de biomasa se encontró en el transecto 2 de la playa protegida del segundo tiempo de muestreo. Tanto la densidad poblacional de lombrices de tierra como la biomasa difirieron significativamente en los transectos y en la interacción de tipo de playa por transecto ($p < 0.05$). La densidad poblacional y la biomasa en los tiempos de muestreo y

en los tipos de playa, así como en las interacciones de tiempo de muestreo por tipo de playa y tiempo de muestreo por transecto no mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$). El análisis de Tukey Test ($\alpha .05$) mostró que el transecto 1 y 3 son similares pero diferentes al 2 y al 4 que son diferentes entre sí.

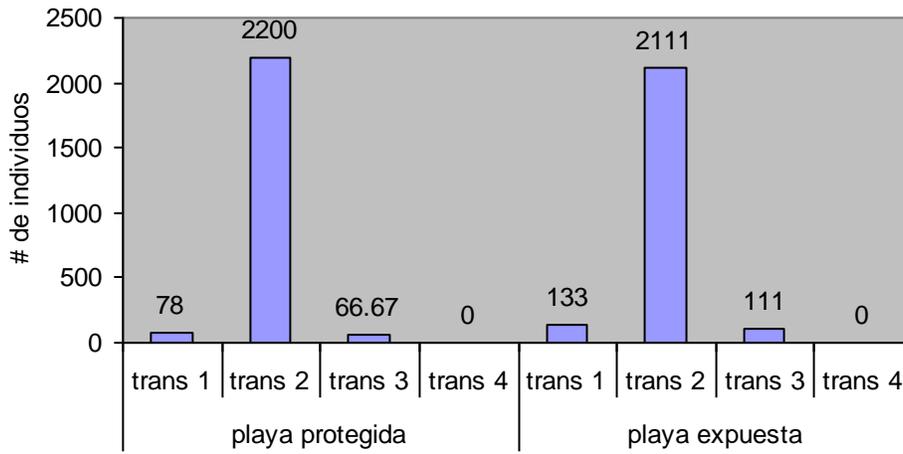


Fig. 13. Densidad de *P. littoralis* por transecto y por playa en mayo (T1)

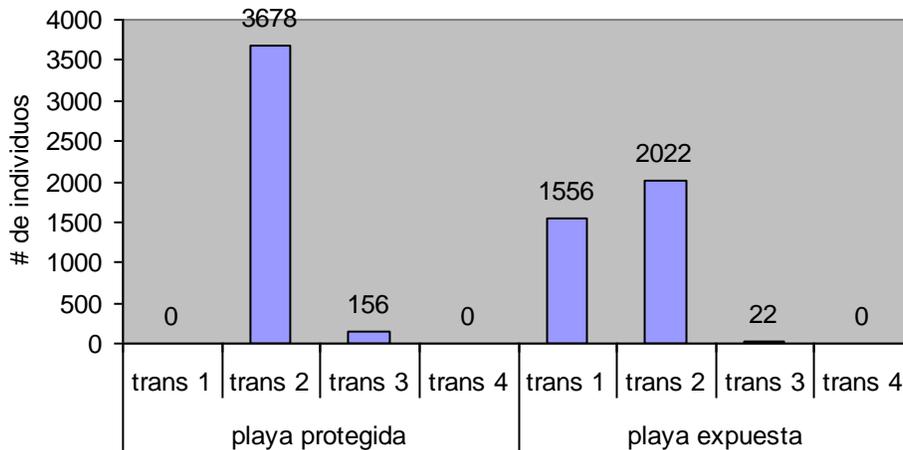


Fig 14. Densidad de *P. littoralis* por transecto y por playa en febrero (T2)

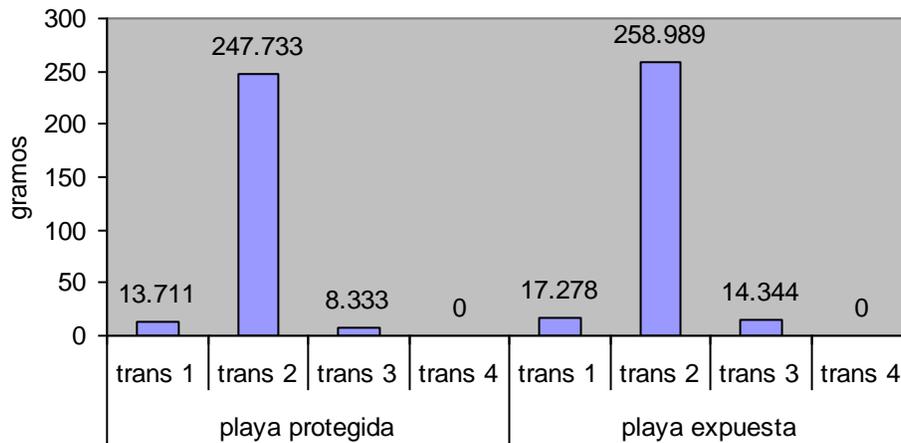


Fig 15. Biomasa de *P. littoralis* por transecto y por playa en mayo (T1)

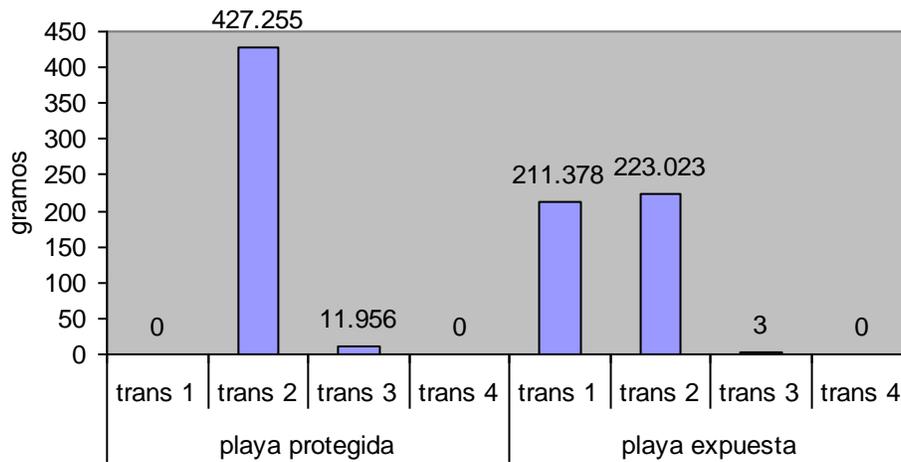


Fig 16. Biomasa de *P. littoralis* por transecto y por playa en febrero (T2)

La proporción de juveniles a adultos se desvía hacia los juveniles (Fig. 17). La mayoría de los individuos colectados fueron juveniles. Donde más se encontraron adultos fue en el primer parcho del transecto 2 de la playa expuesta en el segundo tiempo. Se encontraron 12 adultos con 95 juveniles. En el parcho con mayor cantidad de

juveniles (127) sólo se encontraron 4 adultos, éste fue el parcho número 4 del segundo transecto de la playa expuesta, en el primer tiempo de muestreo.

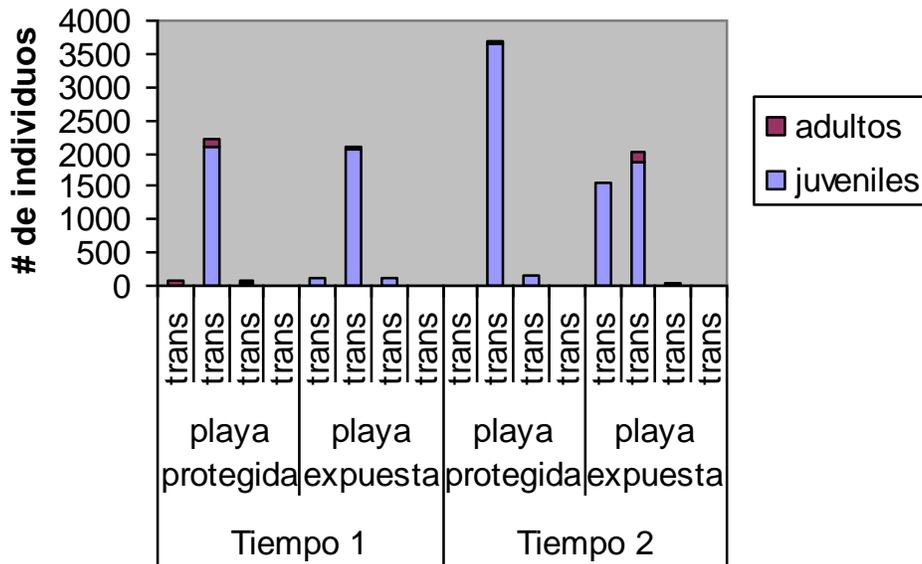


Fig 17. Total de juveniles y adultos por transecto y por playa en ambos tiempos

Los valores R^2 de los análisis de regresión lineal se enumeran en la Tabla 1. Los valores R^2 más altos fueron los de densidad y el contenido de materia orgánica con un valor de $R^2 = 0.4$ (Fig. 18) y el de la densidad de lombrices de tierra con la temperatura de la arena ($R^2 = -0.30$) (Fig. 19). Los valores R^2 de las regresiones de densidad y pH (Fig. 20) y densidad y humedad del sustrato (Fig. 21) no fueron altos.

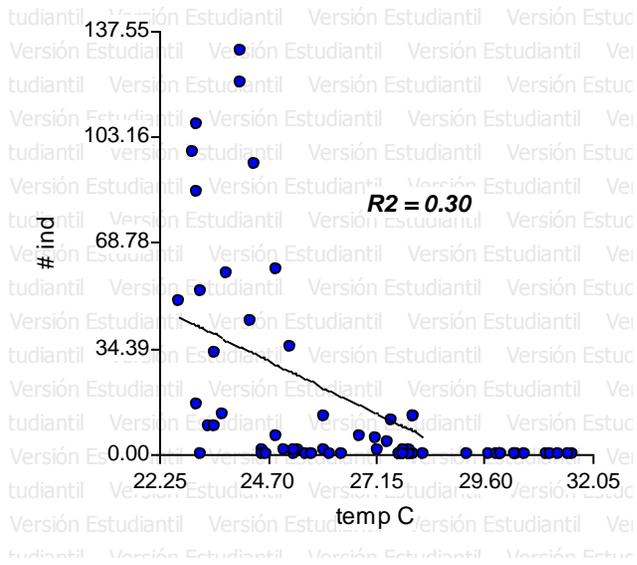


Fig. 19. Regresión lineal: número de individuos vs. temperatura °C de la arena

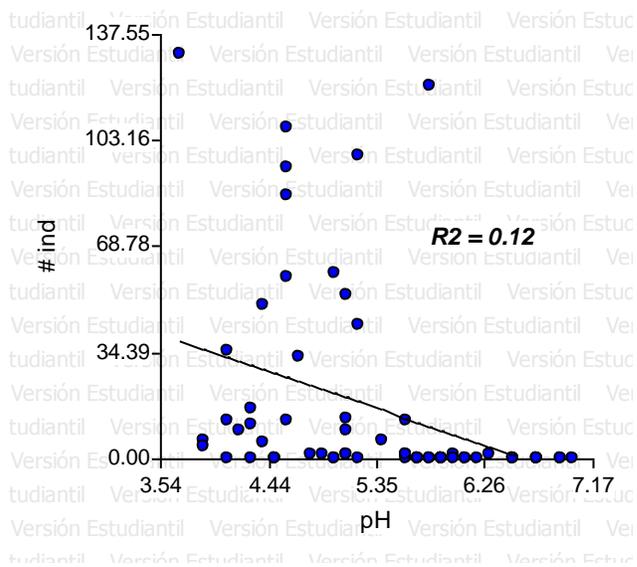


Fig. 20. Regresión lineal: número de individuos vs. pH

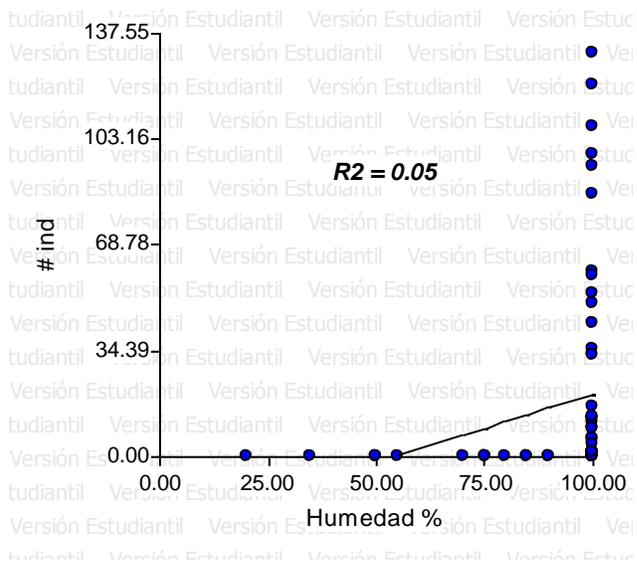


Fig 21. Regresión lineal: número de individuos vs. humedad del substrato

4 Discusión

Según Lavelle y Barois (1987, citado por Alfaro, 1992) la diversidad de la fauna de lombrices terrestres tropicales es extrema. Existen 30 familias descritas con miles de especies incluidas, algunas de las cuales no han sido descritas. De acuerdo a ellos, la diversidad de lombrices terrestres tropicales es mucho mayor que en las zonas templadas de Norte América y Europa en donde sólo se han descrito cientos de especies, la mayoría perteneciendo a la familia Lumbricidae. También afirman que existe una continuidad de especies con numerosas subespecies intermedias, siendo éstas íntimamente adaptadas a sus medios tropicales.

En cuanto a la distribución y dispersión de las especies de lombrices terrestres, se reconocen varios procesos los cuales afectan la biogeografía de diferentes especies alrededor del mundo. La introducción de especies por los humanos en nuevas localidades es común, también se considera la posibilidad de dispersión por aves y por balsas de material flotante a través de cuerpos de agua. Especies que se consideran nativas para diferentes partes geográficas del mundo pudieron haberse establecido antes de los procesos de deriva continental y la separación de continentes. Blakemore (2007) estudió el origen y la dispersión del oligoqueto cosmopólita *Pontodrilus litoralis* de la familia Megascolecidae y su presencia en costas tropicales alrededor del mundo. Presenta un argumento que explica una dualidad de mecanismos en la dispersión de *P. litoralis*, éstos son transportación histórica humana en la utilización de arena costera como contrapesos efectivos en la práctica de barcos de navegación marítima, el otro mecanismo propuesto por Blakemore es la dispersión por medio de balsas naturales de material flotante en donde se pueden encontrar capullos eurihalinos de esta especie de lombriz terrestre. El

origen de la especie se propone para el sur de India o Australia o, posiblemente, ambos. Esto indicaría la emergencia de la especie hace más de 100 millones de años atrás.

Gates (1972) escribe que *Pontodrilus littoralis* se ha encontrado alrededor del mundo en playas arenosas, lodo salobre y en pantanos de mangle que se encuentran en la zona de cambio de mareas. Sin embargo, considera que el agente para la distribución circuntropical de *P. littoralis* probablemente no haya sido la especie humana, como considera Blakemore (2007). Lee (1969; 1985) coincide en sus argumentos con uno de los dos mecanismos de distribución que propone Blakemore (2007), especula que la especie sí se dispersa naturalmente por las corrientes marinas en balsas flotantes de materia orgánica. Michaelsen llama a estas especies, especies peregrinas (Edwards y Bohlen, 1996). Esta peregrinación ha llevado a esta especie de lombriz de tierra por las costas tropicales de alrededor del mundo. Shen *et al.* reportaron a *P. littoralis* en las costas de Taiwan en 2005. Andrade (2002) llevó a cabo estudios de distribución de esta especie peregrina en ecosistemas litorales del norte de Venezuela en los cuales muestreó la materia orgánica, los pigmentos del suelo, la temperatura, la salinidad y el pH. Sus resultados muestran que *P. littoralis* abunda mayormente en las costas protegidas del viento y fuertes corrientes marinas. Borges y Moreno (1994) hacen la primera mención de *P. littoralis* en Puerto Rico cuando la reportan en la zona del Faro de Cabo Rojo, en la región suroeste de la isla y en 1996 Borges la añade al listado de oligoquetos exóticos de Puerto Rico. La isla municipio de Vieques, Puerto Rico se añade a la lista de lugares reportados con la presencia del oligoqueto litoral en 2005 (Borges *et al.*, 2005). Según Borges (2004) en Puerto Rico existen regiones todavía, en especial las zonas montañosas,

que se han estudiado muy poco o nada, por lo tanto, no se debe presumir que el inventario de lombrices de tierra de la isla está completo.

En términos ecológicos, en Puerto Rico se han llevado a cabo un sin número de investigaciones de oligoquetos terrestres en diferentes ecosistemas, por ejemplo, el Bosque de Palma en Luquillo (Borges y Alfaro, 1997), la Laguna Cartagena (Alfaro, 1992; Alfaro y Borges, 1996), y el Bosque del Pueblo (Borges *et al.* 2006). Gonzalez *et al.* (1996) estudió las especies de oligoquetos terrestres y su patrón de densidad en plantaciones de caoba y de pino, comparando estos resultados con los obtenidos en bosques secundarios naturalmente regenerados en el Bosque Estatal de Luquillo. Zou y Gonzalez (1997) investigaron los cambios en la densidad de las lombrices en la sucesión secundaria de pastizales y barbechos. En la zona del Faro de Cabo Rojo la investigación poblacional del oligoqueto terrestre *P. litoralis* se llevó a cabo en la zona marítimo-terrestre llamada el litoral. En este estudio se utilizó el método de conteo a mano, el cual se recogen muestras de suelo en cuadrantes y se cuentan los individuos, uno por uno, separándolos del suelo. Según Edwards y Bohlen (1996) éste es el método más antiguo y comúnmente utilizado.

Estructuralmente, la distribución espacial en las poblaciones de lombrices de tierra son raramente al azar. Según Curry (1998) hay diferentes factores que influyen en la variabilidad de las distribuciones espaciales de las lombrices de tierra. Hay factores externos como el clima, el suelo, la vegetación, el manejo y la disponibilidad de desperdicios que determinan el hábitat. También están los factores de interacción biótica que existen en las comunidades como competencia, depredación, parasitismo, enfermedad y relaciones de alimento. En esta investigación se estudiaron los factores

externos en relación con la densidad poblacional de *P. littoralis* y se encontró que la distribución espacial de esta especie se asemeja a una distribución en parchos o agregada. Decaens (2001) estudia la estructura espacio-temporal de comunidades de lombrices terrestres en pastizales de Colombia tropical y en su investigación demuestra que la estructura de patrones espaciales en comunidades de lombrices terrestres corresponde a la alternación de parchos en donde especies particulares se agregan y dominan. En su investigación, Decaens menciona que las propiedades del suelo también muestran organización espacial. Sin embargo, sólo una pequeña parte de la estructura espacio-temporal de las lombrices se correlaciona con la estructura de las propiedades del suelo. También sugiere que la organización de comunidades de lombrices de tierra corresponde a un sistema en desequilibrio en donde poblaciones móviles influyen las propiedades del suelo y no lo contrario. Edwards y Bohlen (1996) mencionan a Guiad (1952) y Murchie (1958) quienes definen los factores que afectan la distribución espacial de las lombrices de tierra como lo físico-químicos (temperatura, humedad, pH, sales inorgánicas, aeración, textura), la disponibilidad de alimento (hierbas, hojarasca, estiércol, materia orgánica), el potencial de reproducción, el poder de dispersión de la especie y los factores históricos como disturbios y colonizaciones de otros organismos. Según Murchie (1958) ninguno de estos factores es responsable por sí solo de la distribución de la población pero sí la interacción de algunos o todos los factores involucrados. Algunos científicos han correlacionado agregaciones de individuos con la disponibilidad de alimento (Hendrix *et al.*, 1992). En esta investigación se demostró que factores externos como la temperatura, el porcentaje de materia orgánica y humedad influyen en la distribución de estas lombrices terrestres litorales. Los individuos de *P.*

litoralis se encontraron en la escala de temperatura de entre 23.1°C y 28.0°C, las temperaturas más bajas siendo en los sitios con material macrodestrítico depositado y acumulado en la arena que provee un tipo de sombra y protege a las lombrices de los rayos calientes y desecantes del sol. Lugares con presencia de lombrices obtuvieron un porcentaje de materia orgánica en el suelo arenoso mayor de 1%. El mayor porcentaje de materia orgánica registrado con presencia de lombrices fue de 4.61%, este sitio muestreado coincide con el mayor número de individuos presentes. Lugares muestreados con alto contenido de materia orgánica coincidían con lugares con material macrodestrítico depositado y acumulado en la superficie del suelo arenoso. Según Edwards y Lofty (1977, citado por Alfaro, 1992) el contenido de materia orgánica en el suelo afecta grandemente la distribución de los oligoquetos. Suelos pobres en materia orgánica, usualmente no contienen grandes números de lombrices. Dell' Agnolla y Nardi (1987, citado por Alfaro, 1992) sostienen que la biomasa y la actividad de las lombrices de tierra están relacionadas a la naturaleza de los desperdicios orgánicos vegetales en el suelo, y que muchas de estas especies requieren alimentos ricos en calcio, los cuales se derivan de plantas que han crecido en suelos calcáreos. En el Faro de Cabo Rojo la acumulación de material vegetativo acumulado en la superficie del suelo es mayormente *Thalassia*, una yerba marina que crece en los suelos bénticos mayormente calcáreos. Sin embargo, la mayor densidad de organismos se encontró en lugares con un pH bastante ácido y no alcalino como se esperaría de un suelo mayormente compuesto por carbonato cálcico. La mayor densidad de organismos se encontró en un lugar con pH de 3.7 y se encontraron individuos hasta en un pH de 6.6. Falta por estudiar si las lombrices de *P.*

litoralis buscan los suelos ácidos o si la acidez viene a consecuencia de la alta respiración celular en lugares con numerosos individuos.

Lugares muestreados con un porcentaje de humedad en el suelo menor de un 100% no contenían individuos presentes. El porcentaje de humedad menor registrado en la investigación fue de 20%. Lee (1985) indicó que como las lombrices de tierra tienen un sistema respiratorio cutáneo, el cual requiere una superficie corporal húmeda, y por su excreción de amoníaco y urea que son desperdicios nitrogenados, están obligadas a perder agua del cuerpo en grandes cantidades. Las lombrices adquieren el agua a través del alimento o por una directa imbibición del agua del substrato. También añadió que la variación de humedad del suelo es un factor crítico en la determinación de las poblaciones de oligoquetos y en el control de la actividad de los individuos. Afirmó que el contenido de humedad óptimo en el suelo para la presencia y actividad de los individuos varía según la especie. En las costas del Faro de Cabo Rojo *P. litoralis* sólo se encontró en parchos de arena empapada por el agua salada perteneciente al oleaje y los cambios de marea. Es importante aclarar que lugares del litoral que se encuentran todo el tiempo sumergidos en el agua salada tienden a ser anóxicos y no se encontraron individuos en estos sitios, que se caracterizan por tener apariencia grisácea y con olor a descomposición. Las lombrices de tierra se encontraron solamente en los transectos 2 y 3 que eran empapados temporalmente por el oleaje y las mareas pero no como en el transecto 1 que estaba completamente sumergido por mucho tiempo, o el transecto 4 que quedaba fuera del alcance de la marea alta.

La densidad y la biomasa de las lombrices de tierra en las costas del Faro de Cabo Rojo son directamente proporcionales: a mayor densidad, mayor biomasa. La mayor

densidad de *P. littoralis* fue de 2200 ind/m² en el primer tiempo y 3678 ind/m² en el segundo tiempo con valores de biomasa de 247.733g y 427.255g, respectivamente. Entre los individuos colectados sólo un por ciento muy bajo de ellos habían llegado a adultez o madurez sexual que se reconoce por presencia de un clitelo. Casi todos los individuos recolectados fueron juveniles, esto implica que la especie tiene un desempeño reproductivo muy alto una vez llegan a madurez sexual pero se tardan en crecer y madurar en adultos o hay un nivel de mortalidad alto a nivel de juveniles.

Coupland y McDonald (2008) llevaron a cabo un estudio similar a éste con *P. littoralis* en la costa oeste de Australia de donde se especula proviene la especie peregrina. Ellos encontraron densidades extraordinariamente altas de *P. littoralis* en material vegetativo macrodestrítico o “wrack” como le llaman ellos en inglés, en playas áridas. Estimaron densidades tan altas como 4875 ind/m² en uno de los sitios de muestreo. Utilizando estimados de consumo de lombrices terrestres de estudios previos, calcularon que a estas densidades altas las lombrices podrían consumir entre 19 kg m²/año y 31 kg m²/año. Estas densidades y capacidades de consumo reportadas en los ecosistemas costeros con material vegetativo en descomposición acumulado en la orilla exceden otros reportes de consumo y densidad de poblaciones de lombrices de tierra para otros sistemas naturales. Los únicos sistemas con estimados similares, ellos citaron de Monroy *et al.* (2006), son aquellos creados artificialmente como los estanques de estiércol con 4950 ind/m² de *Eisenia fetida* y con capacidad de consumir 48.8 kg m²/año. Estudios de isótopos estables sugirieron que la lombriz de tierra *P. littoralis* (promedio $\delta^{13}\text{C}$ - 15.9 y $\delta^{15}\text{N}$ 6.9) consumían el componente de alga más efímero (promedio $\delta^{13}\text{C}$ - 21.5 y $\delta^{15}\text{N}$ 3.7) del “wrack” en preferencia al componente más persistente de yerba marina

(promedio $\delta^{13}\text{C}$ - 12.4 y $\delta^{15}\text{N}$ 2.1). Afirman que estas densidades extremadamente altas tienen implicaciones en la tasa de “wrack turnover” a lo largo de los ecosistemas costeros y en la incorporación de nutrientes de derivados marinos en lo que se considera un sistema terrestre costero pobre en nutrientes.

En resumen, en esta investigación se encontró estadísticamente que las lombrices de tierra de *Pontodrilus litoralis* prefieren suelos arenosos con temperaturas entre 23°C y 28°C; las mayores densidades encontradas en las temperaturas más bajas. Prefieren agruparse en lugares con materia orgánica abundante y disponible para su alimentación y a la vez, estos lugares con alto contenido de materia orgánica son aquellos que tienen material macrodestrítico acumulado en la superficie de la arena que proveen la sombra necesaria para las temperaturas bajas. Las lombrices de tierra de esta especie en estudio sólo se encuentran en lugares húmedos que están en contacto con el agua de mar ciertas horas al día gracias a los cambios de marea pero que no estén completamente sumergidas en el agua de mar la mayor parte del día. La distancia de la orilla que prefieren estas lombrices es el intermedio, ni muy cerca de la orilla, en donde se encuentran muchas horas sumergidas, especialmente en marea alta, ni muy retiradas donde el agua de mar no alcanza, aún en la marea alta.

Entre la playa protegida y la playa expuesta hubo diferencias significativas en temperatura, humedad, pH, y presencia de arena anóxica. La temperatura fue menor en la playa protegida; la humedad y el pH fueron menor en la playa expuesta. En la playa expuesta el viento es mucho más fuerte y esto es un factor desecante el cual reduce la humedad del substrato. A consecuencia del fuerte viento y las fuertes corrientes marinas que se generan, la acumulación en la orilla de materia vegetativa en descomposición es

mayor en la playa expuesta y posiblemente provee un sustrato más ácido. La presencia de arena anóxica sólo se encontró en la playa protegida donde el agua es mucho más tranquila y por lo tanto menos oxigenada. La densidad poblacional no fue significativamente diferente entre playas o entre tiempos de muestreo. Entre tiempos de muestreo se encontraron diferencias significativas en temperatura, humedad y pH. La temperatura y la humedad fueron menor en el segundo tiempo de muestreo (febrero, T2), esto se debe a las condiciones ambientales que caracterizan el mes de febrero que son de más sequía y temperaturas más bajas que las de mayo (T1). Andrade (2002) encontró en su estudio de *P. littoralis* mayor densidad en playas protegidas del viento y las corrientes marinas. En este estudio las diferencias en densidad poblacional se encontraron entre transectos. También entre transectos se encontraron diferencias significativas en todos los factores estudiados en la investigación: temperatura, humedad, pH, materia orgánica, cobertura de *Thalassia*, y presencia de arena anóxica. Esto es indicativo que la distancia de la orilla del mar es un factor que contribuye y afecta todos los demás factores estudiados, incluyendo la densidad poblacional de *P. littoralis*.

5 Conclusiones

Al finalizar esta investigación se llegaron a las siguientes conclusiones acerca de la abundancia y distribución de *Pontodrilus litoralis* en las costas cercanas al Faro de Cabo Rojo, Puerto Rico:

- Las densidades de *P. litoralis* son más altas que otras especies de lombrices de tierra en la isla que se han reportado hasta el momento.
- Las densidades son más altas en los lugares con temperaturas más bajas.
- Las densidades son más altas en lugares con acumulación de *Thalassia* en la superficie de la arena.
- Las densidades son más altas en lugares con mayor contenido de materia orgánica en el substrato.
- No se encontraron individuos en lugares con humedad del substrato menor de 100%.
- Lugares con densidades altas de lombrices mostraron pH ácido.

6 Literatura citada

- Alfaro, M. (1992). Oligoquetos terrestres de la Laguna Cartagena y algunos aspectos sobre su ecología. Tesis de Maestría. Universidad de Puerto Rico, RUM. pp. 103
- Alfaro, M. y Borges, S. (1996). Ecological Aspects of Earthworms from Laguna Cartagena, Puerto Rico. *Caribb. J. Sci.*, 32(4): 406-412.
- Andrade, J.E. (2002). Time and space distribution of *Pontodrilus litoralis* and *Tylos wegeneri* in Inter-tidal ecosystems of northern Venezuela, and their use as food for penaeid shrimp aquaculture. ProQuest Dissertations and Theses. 0329(0992):179.
- Birdsey, R.A. y Weaver, P.L. (1987). Forest Area Trend in Puerto Rico. Research note SO-331U. S. Forest Service, Washington D.C.
- Blakemore, R.J. (2002). Cosmopolitan Earthworms- an Eco-taxonomic Guide to the Peregrine Species of the World. 506pp. CD-ROM monograph. VermEcology, Canberra.
- Blakemore, R.J. (2007). Origin and Means of Dispersal of Cosmopolitan *Pontodrilus litoralis* (Oligochaeta: Megascolecidae). COE Soil Ecology Group, Yokohama National University, Yokohama, Japan. S3-S8.
- Borges, S. (1988). Los oligoquetos terrestres de Puerto Rico. Tesis Ph.D., Universidad Complutense de Madrid, España, 376 pp.
- Borges, S. (1996). The Terrestrial Oligochaetes of Puerto Rico. The Scientific Survey of Puerto Rico and the Virgin Islands. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 776: 239-298.
- Borges, S. (2004). The Current Status of Research on the Terrestrial Oligochaetes of Puerto Rico. En: Moreno, A.G., S. Borges (Eds), *Advances in Earthworm Taxonomy (Annelida: Oligochaeta)*. Editorial Complutense, Spain, pp. 275-298+CD.
- Borges, S. y Alfaro, M. (1997). The Earthworms of Baño de Oro, Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. *Soil Biol. Biochem.*, 29(3-4): 231-234.
- Borges, S. y Moreno, A.G. (1994). Dos citas nuevas de oligoquetos terrestres para Puerto Rico, y nuevas localidades para otras tres especies. *Caribb. J. Sci.*, 30(1-2): 150-151.
- Borges, S., Maldonado, S., Alfaro, M. y Santiago, A. (2006). A first survey of the earthworms of Bosque del Pueblo, Puerto Rico. *Caribb. J. Sci.* 42(3): 366-370.
- Borges, S., Seguí, D. y Boothby, E. (2005). The Earthworms of Vieques, Puerto Rico. En: Pop, V. y A. Pop (Eds.), *Advances in Earthworm Taxonomy II (Annelida: Oligochaeta)* Cluj University Press, 2005. Cluj-Napoca, Rumanía, pp. 167-172.

- Brower, J.E. y Zar, H.J. (1984). *Field and Laboratory Methods for General Ecology*. Wn. C. Brown Publishers, Dubuque, Ia., 226 pp. + xi.
- Coupland, G. y McDonald, J. (2008). Extraordinarily high earthworm abundance in deposits of marine macrodetritus along two semi-arid beaches. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 361: 181-189.
- Curry, J.P. (1998). Factors Affecting Earthworm Abundance in Soils. En: Edwards, C.A. (Ed). *Earthworm Ecology*. CRC Press LLC, Florida, pp. 37-64.
- Decaens, T. y Rossi, J.P. (2001). Spatio-temporal structure of earthworm community and soil heterogeneity in a tropical pasture. *Ecography*, 24(6): 671-682.
- Deibert, E.J. y Utter, R.A. (2003). Earthworm (Lumbricidae) survey of North Dakota fields placed in the U.S. Conservation Reserve Program. *Soil. Water. Cons.*, 58(1): 6-11.
- Edwards, C.A. y Bohlen, P.J. (1996). *Biology and Ecology of Earthworms*. Chapman and Hall, New York, 426 pp.
- Fragoso, C., James, S. y Borges, S. (1995). Native earthworms of the North Neotropical Region: Current Status and Controversias. En: "Earthworm Ecology and Biogeography in North America", Hendrix, P. (Ed.), Lewis Pub. pp. 67-116.
- Gates, G.E. (1972). Burmese Earthworms. An Introduction to the Systematics and Biology of Megadrile Oligochaetes with Special Reference to Southeast Asia. *Trans. Am. Philosoph. Soc. N.S.*, 62(7): 1-326.
- González, G., Zou, X. y Borges, S. (1996). Earthworm Abundance and Species Composition in Abandoned Tropical Croplands: Comparison of Tree Plantations and Secondary Forests. *Pedobiologia*, 40: 385-391.
- Hendrix, P.J., Mueller, B.R., Bruce, R.R., Langdale G.W. y Parmelee R.W. (1992). Abundance and Distribution of Earthworms in Relation to Landscape Factors on the Georgia Piedmont, U.S.A., *Soil Biol. Biochem.*, 24(12): 1357-1361.
- Infostat Software Estadístico. CD-ROM. Versión Estudiantil. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Lagerlof, J., Goffre, B. y Vincent, C. (2002). The Importance of Field Boundaries for Earthworms (Lumbricidae) in the Swedish Agricultural Landscape. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 89(1-2): 91-103.

- Lee, K.E. (1969). Earthworms of the British Solomon Islands Protectorate. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.*, 255.
- Lee, K.E. (1985). *Earthworms: Their Ecology and Relationships with Soils and Land Use*. Academic Press, Australia, 411 pp.
- Shen, H.P., Tsai, S.C. y Tsai, C.F. (2005). Occurrence of the Earthworms *Pontodrilus litoralis* (Grube, 1855), *Metaphire houlleti* (Perrier, 1872), and *Eiseniella tetraedra* (Savigny, 1826) from Taiwan. *Taiwania*, 50(1): 11-21.
- Storer, D.A. 1984. A Simple High Sample Volume Ashing Procedure for Determining Soil Organic Matter. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 15:759-772.
- Zou, X. y González, G. (1997). Changes in Earthworm Density and Community Structure during Secondary Succession in Abandoned Tropical Pastures. *Soil Biol. Biochem.* 29: 627-629

Tiempo	Playa	Transecto	Parcho	No. juv	Biomasa juv (g)	No. adu	Biomasa adu (g)	No.ind	Biomasa total (g)	pH	Temp °C	mat org. %	Humedad %	Thalassia	Anóxica
1	1	1	1	1	0.312	0	0	1	0.312	6.3	25.4	1.48	100	0	0
1	1	1	2	0	0	6	0.922	6	0.922	5.4	24.9	1.6316	100	0	0
1	1	1	3	0	0	0	0	0	0	6.5	25.6	1.6812	100	0	1
1	1	1	4	0	0	0	0	0	0	5.8	25.7	1.8212	100	0	1
1	1	2	1	43	2.56	0	0	43	2.56	5.2	24.3	2.6282	100	1	0
1	1	2	2	54	7.161	6	1.23	60	8.391	5	24.9	2.2355	100	1	0
1	1	2	3	93	10.972	1	0.143	94	11.115	4.6	24.4	2.9648	100	1	0
1	1	2	4	0	0	1	0.23	1	0.23	5.6	24.6	1.8536	100	1	1
1	1	3	1	0	0	0	0	0	0	5.6	30.4	1.0632	100	0	0
1	1	3	2	0	0	0	0	0	0	4.5	27.9	1.0564	100	0	0
1	1	3	3	1	0.08	0	0	1	0.08	4.9	27.2	0.9997	100	0	0
1	1	3	4	4	0.531	1	0.14	5	0.67	4.4	27.1	1.5653	100	0	0
1	1	4	1	0	0	0	0	0	0	4.3	29.2	1.1598	100	0	0
1	1	4	2	0	0	0	0	0	0	4.5	28.3	1.0253	100	0	0
1	1	4	3	0	0	0	0	0	0	5.7	29.7	0.7024	85	0	0
1	1	4	4	0	0	0	0	0	0	5.9	29.9	0.7441	50	0	0
1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	5.7	30.3	1.1618	100	0	0
1	2	1	2	12	1.555	0	0	12	1.555	5.6	28	1.1711	100	0	0
1	2	1	3	0	0	0	0	0	0	4.1	31	1.034	100	0	0
1	2	1	4	0	0	0	0	0	0	4.5	30.5	1.0563	100	0	0
1	2	2	1	12	0.993	0	0	12	0.993	4.6	28	1.4546	100	0	0
1	2	2	2	35	3.074	0	0	35	3.074	4.1	25.2	2.2485	100	1	0
1	2	2	3	12	2.22	0	0	12	2.22	4.1	26	1.9972	100	1	0
1	2	2	4	127	16.357	4	0.665	131	17.022	3.7	24.1	4.619	100	1	0
1	2	3	1	0	0	0	0	0	0	5	30	1.1587	100	0	0
1	2	3	2	6	0.604	0	0	6	0.604	3.9	26.8	1.5497	100	1	0
1	2	3	3	4	0.687	0	0	4	0.687	3.9	27.4	1.1469	100	0	0
1	2	3	4	0	0	0	0	0	0	5.9	30	1.1233	100	0	0
1	2	4	1	0	0	0	0	0	0	5	31.1	0.966	80	0	0
1	2	4	2	0	0	0	0	0	0	5.9	31.6	1.0257	90	0	0
1	2	4	3	0	0	0	0	0	0	5.8	31.5	0.5634	75	0	0
1	2	4	4	0	0	0	0	0	0	5.2	31.3	0.8645	85	0	0

tiempo 1: mayo 2008 tiempo 2: febrero 2009
playa 1: playa protegida playa2: playa expuesta

Tiempo	Playa	Transecto	Parcho	No. juv	Biomasa juv (g)	No. adu	Biomasa adu (g)	No.ind	Biomasa total (g)	pH	Temp °C	mat org. %	Humedad %	Thalassia	Anóxica
2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	6.9	23.2	2.0658	100	0	1
2	1	1	2	0	0	0	0	0	0	6.7	24.6	1.957	100	0	1
2	1	1	3	0	0	0	0	0	0	7	24.7	1.9425	100	0	1
2	1	1	4	0	0	0	0	0	0	6.5	25.3	1.9381	100	0	1
2	1	2	1	98	7.087	0	0	98	7.087	5.2	23	1.7326	100	1	0
2	1	2	2	53	5.297	0	0	53	5.297	5.1	23.2	1.6215	100	1	0
2	1	2	3	59	7.752	0	0	59	7.752	4.6	23.8	1.9386	100	1	0
2	1	2	4	117	17.439	4	0.878	121	18.317	5.8	24.1	2.5976	100	1	0
2	1	3	1	1	0.103	0	0	1	0.103	5.1	26	1.1942	100	0	0
2	1	3	2	11	0.734	0	0	11	0.734	4.3	27.5	1.7434	100	0	0
2	1	3	3	1	0.114	0	0	1	0.114	5.1	25.1	1.6099	100	0	0
2	1	3	4	1	0.125	0	0	1	0.125	4.8	25.3	2.2769	100	1	0
2	1	4	1	0	0	0	0	0	0	6.2	27.7	1.0939	90	0	0
2	1	4	2	0	0	0	0	0	0	6.1	28	0.8748	75	0	0
2	1	4	3	0	0	0	0	0	0	6.5	26.4	1.2205	75	0	0
2	1	4	4	0	0	0	0	0	0	5.9	26.1	1.3292	70	0	0
2	2	1	1	9	1.143	0	0	9	1.143	5.1	23.4	1.1161	100	0	0
2	2	1	2	33	5.302	0	0	33	5.302	4.7	23.5	1.394	100	1	0
2	2	1	3	13	1.616	0	0	13	1.616	5.1	23.7	1.1059	100	1	0
2	2	1	4	85	10.963	0	0	85	10.963	4.6	23.1	1.1756	100	1	0
2	2	2	1	95	10.595	12	1.678	107	12.273	4.6	23.1	1.6281	100	1	0
2	2	2	2	9	0.961	0	0	9	0.961	4.2	23.5	1.1242	100	1	0
2	2	2	3	50	5.148	0	0	50	5.148	4.4	22.7	1.4291	100	1	0
2	2	2	4	14	1.481	2	0.209	16	1.69	4.3	23.1	1.0985	100	0	0
2	2	3	1	1	0.145	0	0	1	0.145	5.6	27.9	1.0879	100	0	0
2	2	3	2	0	0	0	0	0	0	6.1	27.9	1.6666	100	0	0
2	2	3	3	0	0	0	0	0	0	5.7	27.9	1.3577	100	0	0
2	2	3	4	1	0.125	0	0	1	0.125	6	27.8	1.1191	100	0	0
2	2	4	1	0	0	0	0	0	0	6.7	27.7	1.5337	35	0	0
2	2	4	2	0	0	0	0	0	0	6	27.7	1.1081	55	0	0
2	2	4	3	0	0	0	0	0	0	6.9	27.8	1.4463	20	0	0
2	2	4	4	0	0	0	0	0	0	6.7	27.8	1.5535	50	0	0

tiempo 1: mayo 2008 tiempo 2: febrero 2009
 playa 1: playa protegida playa2: playa expuesta