

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y PREFERENCIA DE HÁBITAT DEL PEZ LEÓN *PTEROIS VOLITANS* EN EL ESTUARIO URBANO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN

Ivangs Manuel Rivera-Aponte, MS, MPA¹, Edwin Hernández-Delgado, Ph.D.²,
Jorge Bauzá-Ortega, Ph.D.³ & Warner Ithier-Guzmán, Ph.D.⁴

Recibido 15 de junio de 2019; aceptado 26 de septiembre de 2019

Resumen - El pez león *Pterois volitans* (Linnaeus, 1758) pertenece a una de las familias más venenosas del ecosistema marino, la cual ha invadido exitosamente el océano Atlántico. La proliferación de esta especie en los últimos 30 años representa una amenaza real y creciente para la ecología de los hábitats marinos tropicales y subtropicales del Caribe. En esta investigación documentamos los patrones de distribución espacial y de preferencia de hábitat de *P. volitans* a través de una estratificación de cinco tipos de hábitats asociados al estuario urbano de la Bahía de San Juan. Además, determinar si la variación en la estructura de la comunidad de peces se relaciona con la variación en la población de *P. volitans* o con otros factores. Para estudiar la densidad poblacional del pez león por hábitats, utilizamos transectos de fajas de 25 x 10 m. Documentamos el número y tamaño (largo total) de todos los peces leones y peces nativos por cada tipo de hábitat. La densidad de peces leones en el periodo de abril a noviembre de 2014 fue mayor en unidades de arrecifes artificiales ($n=27$) que en los manglares ($n=2$), los herbazales marinos ($n=2$) y los arrecifes de coral ($n=4$). La abundancia de estos peces resultó más alta en lugares con objetos artificiales ($n=27$) que en los otros sistemas naturales adyacentes ($n=8$). El hecho de que los peces leones muestran una aparente preferencia de hábitats sugiere que los peces nativos en estadios juveniles en esos hábitats preferenciales están en mayor riesgo de depredación.

Palabras clave: pez león, hábitat, invasión, ecología, Bahía de San Juan, estuario, distribución espacial

Abstract - The Lionfish *Pterois volitans* (Linnaeus, 1758) belongs to one of the most poisonous families of the marine ecosystem, which has successfully invaded the Atlantic Ocean. Its proliferation in the last 30 years represents a real threat to the

¹ Coordinador Académico de Ciencias, Sistema Educativo Municipal Integrado de San Juan. Correo electrónico: ivangs.rivera@sjmathsciencetechnology.org

² Catedrático Auxiliar, Departamento de Ciencias Ambientales, Universidad de Puerto Rico; Investigador Afiliado, Centro para la Ecología Tropical Aplicada y Conservación, UPRRP; Científico Principal, Sociedad Ambiente Marino. Correo electrónico: edwin.hernandezdelgado@gmail.com

³ Director Científico, Programa del Estuario de la Bahía de San Juan. Correo electrónico: jbauza@estuario.org

⁴ Coordinador de Movilidad Estudiantil, Decanato de Relaciones Internacionales, Universidad de Puerto Rico. Correo electrónico: warner.ithier1@upr.edu

ecology of Caribbean tropical and subtropical marine habitats. This study had the objective of documenting the spatial distribution patterns and habitat preferences of the *P. volitans* through a stratification of the five types of habitats associated to the San Juan Urban Bay Estuary. In addition, we documented the spatial variation patterns of the fish community structure through those habitats and finally determined the variation in the fish community structure and how it was related to the population variation of lionfish or to other factors. The population density of the lionfish by habitats was determined by using 25 x 10 m belt transects. The number and size (total length) of all lionfish and native fish species by habitats was documented. The density of lionfish between April and November 2014 was higher in the artificial units ($n=27$) compared to mangroves ($n=2$), seagrass ($n=2$) and coral reefs ($n=4$). The abundance of these fishes was higher in places with artificial objects than in the other adjacent natural systems. The fact that the lionfish showed apparent habitat preference suggests that young native fish in those habitats are in high risk of predation.

Keywords: lionfish, habitat, invasion, ecology, San Juan Bay, estuary, spatial distribution

Introducción

Las especies invasoras son consideradas la mayor amenaza para los ecosistemas nativos desde una perspectiva ecológica, evolutiva y económica (Kulbicki et al., 2012). Las invasiones biológicas tienen un efecto dramático dentro de la biodiversidad que alteran el balance natural de los hábitats (Betancur et al., 2011), y consiste en la llegada, sobrevivencia, éxito reproductivo y dispersión de una especie en un ecosistema donde previamente no existía. Las invasiones pueden ser el resultado de extensiones de rangos naturales o de la introducción inducida por humanos (Whitfield et al., 2002).

Los estuarios y las costas son susceptibles a la introducción de especies no nativas parcialmente como consecuencia de ser centros de actividades de envío y navegación, comercio de acuarios y venta de mariscos vivos (Williams & Grosholz, 2008). Los estuarios proveen un hábitat para numerosas especies ecológica y económicamente importantes. La presencia de una especie exótica y un predador altamente generalista en su dieta en este sistema podría resultar problemático (Jud & Nichols, 2015). En el Caribe, la mangosta *Herpestes auro-punctatus* se introdujo en el 1872 en la isla de Jamaica para controlar otras especies de ratas que vivían en los campos de caña de azúcar. Esta mangosta ha sido implicada en la extinción de cinco especies endémicas (Lewis et al., 2011). En Puerto Rico y en el Estuario de la Bahía de San Juan, se han establecido de manera exitosa la iguana verde o gallina de palo (*Iguana iguana*), el caimán (*Caiman cocrodilus*) y el pez león (*Pterois volitans*).

El pez león es nativo de la región del océano Índico-Pacífico y se ha establecido en la costa sureste de Estados Unidos, el Caribe y América del Sur. Este pez pertenece a la familia Scorpaenidae, una de las más venenosas del ambiente marino. La invasión de este pez en el Atlántico y el Caribe ha sido alarmante. El establecimiento rápido y la dispersión

amplia de *P. volitans* ha sido el resultado del poco conocimiento de depredadores en su rango nativo y de la ausencia de depredadores en el Atlántico, lo que permite el éxito en su rango de invasión. Es decir, las especies de peces nativos no lo reconocen como una especie depredadora, lo cual facilitó su vulnerabilidad a la depredación del pez león.

P. volitans posee ciertas características que propician un mejor establecimiento en el área invadida como lo son las espinas venenosas para su defensa, la forma críptica, color, comportamiento, generalidad de hábitats, alta capacidad competitiva, baja carga parasitaria, depredación eficiente, crecimiento rápido y una alta tasa reproductiva (Albin & Hixon, 2013). Estudios han demostrado una reducción en el reclutamiento de peces en parchos de arrecifes que sugieren la posibilidad de que el pez león esté compitiendo con piscívoros nativos (Albin, 2015; Albin & Hixon, 2008). La disminución en la abundancia de especies ecológicamente importantes como los peces cotorros (Scaridae) y otros herbívoros de arrecifes de coral puede provocar un crecimiento excesivo de algas y efectos adversos en los corales (Albin & Hixon, 2008). Múltiples especies de peces han sido documentadas en el estómago del pez león, muchas de ellas son especies pequeñas de arrecifes, especialmente de las familias Gobiidae, Labridae y Grammatidae; además otros peces de importancia comercial que han sido afectados son los meros, pargo y anguilas (Albin & Hixon, 2013). Si las poblaciones de estos peces disminuyen a través del tiempo, es posible que el pez león pueda acentuarse en los peces juveniles de especies económicamente importantes (Morris & Akins, 2009).

El primer avistamiento confirmado en Puerto Rico fue en noviembre del 2008 y el primer reporte por un pescador fue en abril de 2009 (Schofield, 2010). Sin embargo, según Hernández-Delgado (UPR-CATEC, com. pers.), existen informes extraoficiales de avistamientos en Culebra desde 1996 (Jorge Soto, pescador, com. Pers.), desde 2000 en Punta La Bandera, Luquillo (Dr. Omar Pérez, UPR, Depto. Biología, com. pers.), y desde 2001 en la Bahía de Boquerón, Cabo Rojo (Milton Carlo, UPR, Depto. Ciencias Marinas, com. pers.). Se ha observado en hábitats artificiales como rompeolas, embarcaciones hundidas, muelles, arrecifes artificiales, pero también habitan en arrecifes de coral, especialmente los de alto relieve y con cuevas (Lilyestrom et al., 2011). Otras veces se pueden observar en zonas de praderas de hierbas marinas y sustrato arenoso. Un estudio genético y poblacional del pez león en Puerto Rico reveló que la abundancia es menor en el este de la Isla posiblemente debido al efecto de sobrepesca. Al utilizar dos marcadores mitocondriales (COI y d-loop), se evidenció que de la familia Scorpaenidae, *P. volitans* es el único presente en Puerto Rico y la región del Caribe (Toledo et al., 2014).

En el peor escenario, la expansión del rango geográfico de cualquier especie invasiva en el mar puede estar asociado a la temperatura del agua con una expansión gradual debido al calentamiento del mar. Se han documentado predicciones de extensión de invasión del pez león en el hemisferio norte hasta Carolina del Norte y hasta en el hemisferio sur en Brasil (Albin & Hixon, 2013). Recientemente, se documentó el primer avistamiento de *P. volitans* en la costa de Brasil y el individuo recolectado está ligado genéticamente a las poblaciones de peces leones del Caribe (Ferreira et al., 2015). Es por estas razones, la

necesidad de llevar a cabo estudios para crear conciencia sobre la problemática ecológica y de salud que representa el pez león en la isla. Si no se estudia las preferencias de hábitat y el comportamiento de *P. volitans*, es posible que pueda continuar teniendo un efecto significativo desplazando las especies nativas sin que aún se comprendan sus consecuencias.

Este estudio generó un modelo conceptual para entender cómo se desplaza el pez león a través de la costa y cuál es su preferencia de hábitats en zonas estuarinas y costeras a través de entornos urbanos impactados crónicamente por otros factores de origen humano. También permitió documentar qué especies de peces se afectan y cómo se reflejan dichos efectos a través de la estructura de la comunidad. En ese sentido, el entorno del Estuario de la Bahía de San Juan presenta un excelente caso de estudio.

Método

Utilizamos hábitats naturales y artificiales para evaluar los patrones de distribución espacial y la preferencia de hábitats de *P. volitans*. Las áreas de estudio incluyeron la Laguna de Condado y el arrecife de la playa La Ocho en el Escambrón, en San Juan, Puerto Rico. Las áreas consideradas naturales fueron las zonas de praderas de hierbas marinas, áreas de manglares, playas arenosas y arrecifes naturales ubicados en la entrada (“boca”) de San Gerónimo y el arrecife ubicado en la playa de La Ocho, en el Escambrón. Los hábitats considerados artificiales fueron las áreas rocosas, el Puente Dos Hermanos y la vereda artificial submarina creada por el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan de la Playita de Condado (Figura 1).

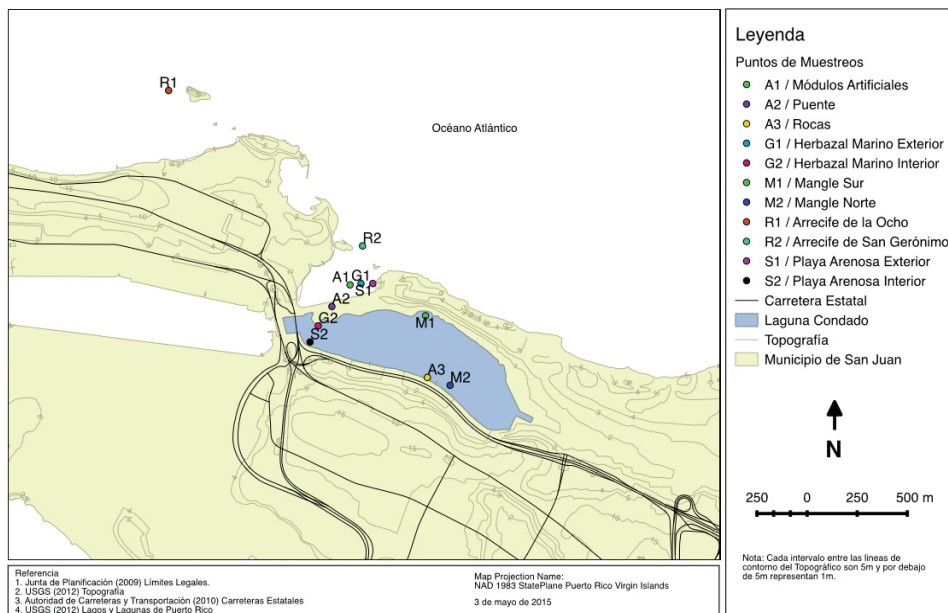


Figura 1. Localidades para el censo visual de *P. volitans*

Utilizamos el medidor de campo Hydrolab-Quanta (OTT HydroMet) para cuantificar parámetros como indicadores de calidad de agua. Los cinco parámetros considerados fueron temperatura ($^{\circ}\text{C}$), oxígeno disuelto (mg/l), salinidad (ppt), turbidez (NTU) y pH. Antes de comenzar a tomar muestras de calidad de agua, calibramos la sonda multiparamétrica. Cada lugar de estudio se estudió bajo las mismas condiciones ambientales.

Para estudiar la densidad poblacional del pez león en ambos tipos de hábitats (naturales y artificiales), utilizamos transectos de faja de $25 \times 10 \text{ m}$, o 250 m^2 . Para hacer el transecto de línea se utilizó una cinta de medir de 25 m colocada sobre el sustrato. Evaluamos los transectos siguiendo una línea en forma de zigzag, cinco metros a cada lado de la línea del transecto buscando en todas las estructuras del fondo. Un observador anotó el número y tamaño (largo total) de todos los peces leones, mientras el otro observador anotaba el número y tamaño de los otros peces utilizando un tubo PVC calibrado en centímetros para hacer los estimados de largo total. El tiempo mínimo de búsqueda fue de 25 minutos por cada transecto. El periodo de muestreo se realizó de abril a noviembre de 2014 para un total de 25 semanas. Una vez a la semana, recolectamos los datos de temperatura, oxígeno disuelto, pH, turbidez y salinidad. Cada día, evaluábamos tres localidades diferentes dependiendo de las condiciones climatológicas y turbidez en el agua. Para cada localidad, evaluábamos cinco transectos comenzando a las 6:00 a.m. y cinco transectos a las 6:00 p.m., hasta completar 10 muestreos. Durante el periodo de septiembre a noviembre, recolectamos los datos de los arrecifes con la misma frecuencia y periodo de tiempo. Los peces no identificados in situ, se clasificaron según Human y Deloach (2002).

Los patrones espaciales en las poblaciones de *P. volitans* se analizaron mediante un análisis permutacional de varianzas (PERMANOVA) de dos vías con hábitat y localidad como factores principales (Anderson, 2008), seguido de un análisis de escalas multi-dimensionales (MDS) para ilustrar dichos patrones. Llevamos a cabo un análisis de regresión lineal entre la abundancia de *P. volitans* y los diversos parámetros ambientales para determinar si existía alguna relación. Llevamos a cabo una correlación *Pearson* entre la abundancia de *P. volitans* y la de 23 especies de peces demersales (de fondo) para determinar si existía alguna relación entre sus respectivos patrones de abundancia. Además, llevamos a cabo una correlación multivariada RELATE (Clarke & Warwick, 2001) entre la abundancia de *P. volitans* y la matriz de la estructura del resto de la comunidad de peces, así como entre *P. volitans* y la matriz completa de los parámetros ambientales para determinar si existía algún grado de relación entre sí. Finalmente, utilizamos la prueba multivariada BEST (Clarke & Warwick, 2001) para determinar si existía alguna posible combinación de parámetros ambientales que pudieran ayudar a explicar las variaciones observadas en la estructura de la comunidad de peces.

Resultados

Evaluamos un área total de $2,460 \text{ m}^2$ para cuantificar la presencia del pez león en lugares de sustrato arenoso (180 m^2), las hierbas marinas (170 m^2), manglares (530 m^2), las estructuras artificiales (550 m^2) y los arrecifes ($1,030 \text{ m}^2$). En total, cuantificamos 35

individuos en el área de estudio. Se observaron diferencias significativas en la abundancia de *P. volitans* entre los diferentes hábitats (Pseudo-F=8.76; $p<0.0001$), pero solo diferencias marginales ($p=0.0588$) entre las localidades (Tabla 1). Este dato sugiere que existen diferencias en el patrón de arreglos espaciales de las poblaciones de *P. volitans* entre las diversas localidades.

Tabla 1

Resumen de análisis PERMANOVA de dos vías de los patrones espaciales de la población de P. volitans basado en la abundancia

Variable	g.l.	Pseudo-F	<i>p</i>
Hábitat	4,75	8.76	< 0.0001
Localidad	2,77	2.97	0.0588
Hábitat x localidad	10,69	6.95	< 0.0001

Nota. g. l. = grados de libertad. Pseudo-F = mide la separación entre todos los grupos. *p* = valor *p* para calcular la cantidad de permutaciones que resultan de valores extremos.

El modelo de prueba por pareja (*Pair-Wise Test*) reveló que las combinaciones de hábitats que son diferentes entre sí con respecto a la población del pez león fue en las playas de arenas con las áreas artificiales ($t=5.4$, $p<0.0001$) (debido a que en arena no hubo presencia del pez y en las áreas artificiales fue donde hubo mayor número de individuos), los manglares con las estructuras artificiales ($t=4.08$, $p<0.0001$), las yerbas marinas con las zonas artificiales ($t=3.22$, $p<0.0001$) y hábitats artificiales con los arrecifes ($t=2.86$).

El análisis de abundancia relativa para *P. volitans* estratificada por los hábitats y localidades mostró que la población con más número de ejemplares se encontró en los lugares de estructuras artificiales (A1, A2, A3) comparado con el resto de los hábitats naturales. La Figura 1 muestra el mapa con las localidades estudiadas. El número de individuos en estas estructuras sugiere alguna preferencia posible por la tridimensionalidad de las estructuras, en especial las unidades artificiales de la vereda-A1 ($n=24$). En el área del puente-A2, identificamos un solo individuo y en las rocas-A3 dos. Observamos dos individuos en la localidad de hierbazales-G1 fuera de la laguna posiblemente debido a la conectividad del hábitat con las estructuras de la vereda. Sin embargo, en el interior-G2 no observamos ningún ejemplar. En el arrecife de San Gerónimo-R2 observamos tres individuos, mientras en La Ocho-R1 encontramos un solo individuo. En el manglar del sur-M1 no hubo presencia, mientras en el norte-M2 identificamos dos individuos. En ninguna de las localidades de fondos de arena hubo presencia del pez (Figura 2).

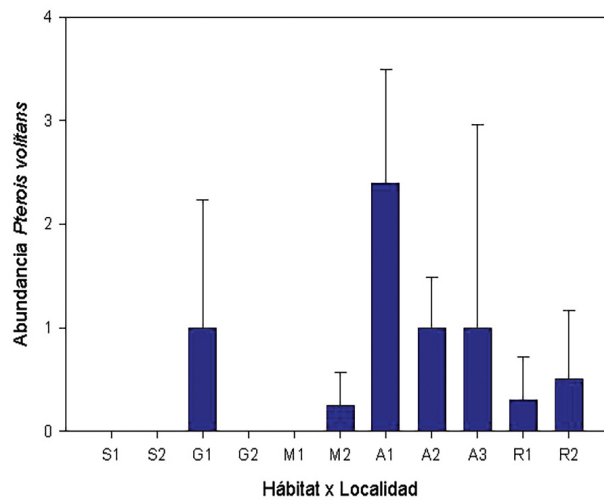


Figura 2. Abundancia relativa de *P. volitans* estratificada por hábitat y localidad. Promedio \pm intervalo de confianza de 95%.

A través del análisis de MDS, observamos un gradiente espacial en densidad de *P. volitans* en lugares con una similitud en la tridimensionalidad de su estructura comparado con hábitats con una topografía más irregular (Figura 3). El número total de peces leones en las áreas artificiales fueron 27, principalmente en las unidades artificiales de la vereda. En los arrecifes la densidad de peces leones fue menor; sin embargo, hubo una afinidad en el relieve del hábitat artificial con los arrecifes. La densidad baja de estos peces es notable en los hábitats de arena, los hierbazales marinos y los manglares. La topografía de estos hábitats es llana sin lugares que propicien a que el pez león pueda reposar en las horas del día.

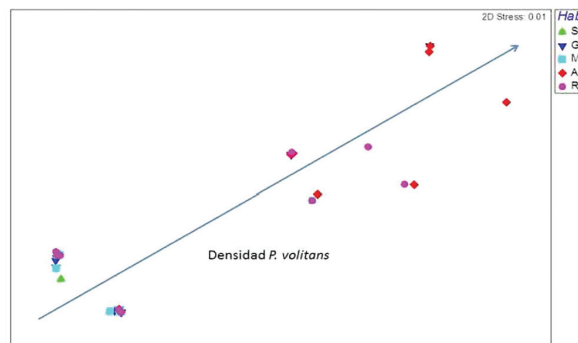


Figura 3. Análisis de escalas multi-dimensionales (MDS) de los patrones espaciales de la población de *P. volitans* entre los diversos hábitats por localidad.

Utilizamos el modelo de regresión para estudiar si hubo una relación entre las poblaciones del pez león con algún parámetro ambiental. Observamos una correlación no lineal negativa significativa ($r^2=0.7874$, $p=0.003$) entre la abundancia de *P. volitans* y la turbidez del agua (Figura 4). Casi el 80% de la variación del pez león se asoció a variaciones en la turbidez del agua. Estos peces prefieren estar en lugares con promedios bajos en turbidez de agua (<4 NTU). En áreas con menos de 4 NTU en turbidez hay una tendencia de observar un aumento en la cantidad de ejemplares.

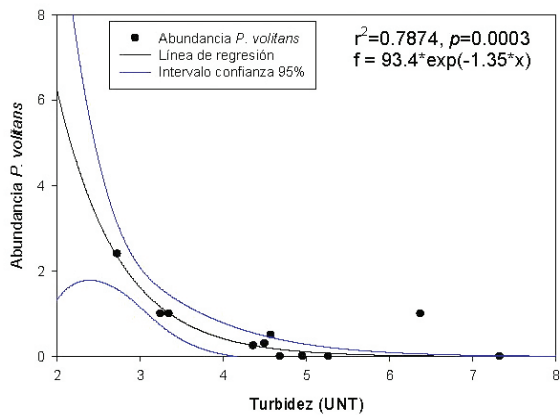


Figura 4. Regresión no lineal entre la abundancia de *P. volitans* y la turbidez del agua.

Las tallas (tamaño del cuerpo) de los peces es un indicador de la madurez sexual de un animal. Al determinar las tallas, podemos conocer cuándo las especies comienzan a reproducirse y a aportar nuevos ejemplares a la población. Considerando el tamaño del pez león, podemos comprender el efecto de la depredación de estos peces adultos en las comunidades de peces nativos. Observamos diferencias en las tallas de *P. volitans* entre los hábitats (Pseudo-F=5.52; $p<0.0004$), pero no entre las localidades. La interacción entre los hábitats y las localidades fue significativa. Estos resultados sugieren que las tallas de *P. volitans* también muestran un patrón espacial con alta variación entre los hábitats (Tabla 2).

Tabla 2

Resumen de análisis PERMANOVA de dos vías de los patrones espaciales de la población de *Pterois volitans* basado en las tallas

Variable	g.l.	Pseudo-F	p
Hábitat	4,75	5.52	0.0004
Localidad	2,77	1.74	0.1527
Hábitat x localidad	10,69	3.87	<0.0001

Nota. g. l. = grados de libertad. Pseudo-F = mide la separación entre todos los grupos. p = valor p para calcular la cantidad de permutaciones que resultan de valores extremos.

Las unidades artificiales de la vereda representaron el lugar donde observamos una variación mayor en las tallas de *P. volitans* con respecto a los otros hábitats (Figura 5). Cuatro individuos mostraron tallas entre 7.5 y 10 cm, tres entre 10 y 12.5 cm, ocho entre 12.5 y 15 cm, seis entre 15 y 17.5 cm y tres mostraron tallas entre 17.5 y 20 cm de largo total. El único individuo observado en el puente (A2) midió entre 12.5 y 15 cm de largo. En el área de rocas un individuo midió entre 10 y 12.5 cm y otro entre 12.5 y 15 cm de largo. En el arrecife de La Ocho (R1), observamos un solo individuo y midió entre 10 y 12.5 cm de largo. En el arrecife de San Gerónimo (R2), dos ejemplares con tallas entre 12.5 y 15 cm y uno entre 15 y 17.5 cm de largo. En la localidad del manglar del norte de la laguna, los dos individuos midieron entre 12.5 y 15 cm de largo total.

Los dos ejemplares presentes en los hierbazales afuera de la laguna midieron entre 12.5 y 15 cm de largo. El 11.4% del total de peces documentados en este estudio, midieron entre 7.5 y 10 cm, un 14.3% entre 10 y 12.5 cm, un 45.7% entre 12.5 y 15 cm, un 20% entre 15 y 17.5 cm, y 8.6% entre 17.5 y 20 cm. Este resultado reveló que el 80% de los peces encontrados se encuentra en su etapa de madurez sexual y un 20% en su etapa juvenil.

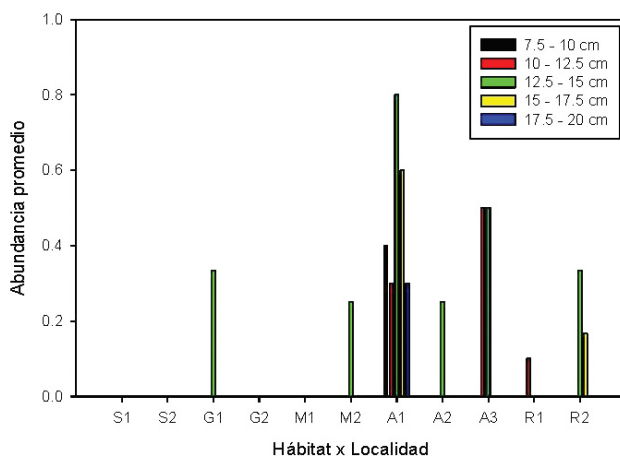


Figura 5. Tallas promedio de *P. volitans* por hábitat y por localidad.

Basado en el análisis de correlación multivariada RELATE (Tabla 3), no existe una relación significativa entre la matriz (riqueza de especies, abundancia total, diversidad $H'n$, Evenness $J'n$, biomasa total, abundancia y biomasa por familia, abundancia y biomasa por especies objeto de pesca) de la estructura de la comunidad de peces y la matriz de abundancia de *P. volitans*, ni entre la matriz de peces y la matriz ambiental (temperatura, oxígeno disuelto, pH, turbidez, salinidad y profundidad), ni entre la matriz de *P. volitans* (abundancia y biomasa) y la matriz ambiental. Estos datos sugieren que *P. volitans* no parece ser un factor mayor aún en regular la estructuración de la comunidad de peces en la Laguna del Condado. Sin embargo, la profundidad resultó ser un factor significativo, y está asociada al tipo de hábitat. Aunque en los análisis no se mostró correlaciones entre el pez león y la comunidad de peces, el hecho de que los peces leones muestran una aparente

preferencia de hábitats sugiere que los peces nativos en estadios juveniles en esos hábitats preferenciales están en mayor riesgo de depredación.

El análisis BEST predijo que la combinación de profundidad, temperatura, pH y turbidez tuvieron una correlación de 0.37 con la matriz de la comunidad de peces. El asunto de la profundidad es una variable importante de explicar si hay un cofactor asociado a arrecifes de coral con hábitats más estructurados. Sin embargo, cabe resaltar que las variaciones en temperatura, pH y turbidez pudieron estar relacionadas íntimamente a la variación en la distancia de la costa y profundidad de cada hábitat (Giardino et al., 2001; Trotter et al., 2011; Kumar, 2014) .

Tabla 3

Resumen de la correlación multivariada RELATE entre la matriz de la abundancia de peces y diversos parámetros biológicos y ambientales

Variable	Rho	<i>p</i>
Abundancia <i>P. volitans</i>	-0.134	>0.9999
Matriz parámetros ambientales	0.015	0.3570
Profundidad	0.186	0.0002
Temperatura	-0.085	0.9878
Oxígeno disuelto	-0.043	0.8404
Salinidad	0.035	0.1741
pH	-0.049	0.9719
Turbidez	0.032	0.1765

Nota. Rho = coeficiente de correlación de Spearman para medir la correlación entre dos variables aleatorias. *p*= valor *p* para calcular la cantidad de permutaciones que resultan de valores extremos.

Discusión

El establecimiento del pez león (*Pterois volitans*) en el entorno urbano del Estuario de la Bahía de San Juan puede representar un ejemplo del éxito en la distribución de especies invasoras facilitada en parte por la presencia de estructuras no naturales (Zachary et al., 2011). En este estudio, documentamos la presencia del pez león en una pluralidad de hábitats naturales y artificiales, lo que puede tener implicaciones a largo plazo en los patrones de distribución de juveniles de múltiples especies de peces, con efectos a largo plazo aún desconocidos sobre la estructura de la comunidad de peces. Los grupos funcionales de peces de arrecifes son más vulnerables en el Caribe al efecto de cualquier estresor, cada vez más susceptible a cambios de fases en la estructura de la comunidad y funciones en el ecosistema (Hernández et al., 2006).

La complejidad del hábitat es importante para la organización de la comunidad, la cual provee estructuras físicas para especies juveniles y adultos, y juegan un rol importante en regular los patrones de forrajeo y depredación para especies, selección de hábitat y en algunos

casos la competencia (Dominici & Wolff, 2005). La densidad del pez león en los arrecifes de coral ($n=4$), los herbazales marinos ($n=2$) y los manglares ($n=2$) fue menos abundante comparado con la abundancia en las estructuras artificiales ($n=27$). Esta observación fue similar al estudio de Smith y Shurin 2010, donde encontró que la abundancia del pez león fue semejante entre los hábitats dominados por la arena y praderas de pastos marinos ($n=4$), fondos duros ($n=7$) y los arrecifes de coral ($n=5$). Smith y Shurin (2010) concluyeron que casi el 75% de los peces leones se asociaron con las estructuras artificiales en la arena, algas marinas y el 25% en fondos duros, y cero en los arrecifes de parche. El estudio de Glasby et al. (2007) también evidenció que el número de las especies no nativas fue entre 1.5 y 2.5 veces mayor en estructuras artificiales que en los arrecifes rocosos. La dimensión física de los módulos artificiales y las rocas pudo ser un determinante de la abundancia del pez león. Schroeder (1987) demostró que la tasa de reclutamiento de ciertos peces aumentó con el tamaño y el relieve de la estructura. Los módulos de la vereda artificial poseen una tridimensionalidad en su estructura y tiene entradas y salidas que facilitan el movimiento de las especies. El área de las rocas al interior de la laguna proveía hendiduras y espacios para refugio que resultó de beneficio, tanto para el pez león, como para especies de peces de las familias Pomacentridae, Hamulidae, Labridae, Scianidae, Sphyrnidae, Lutjanidae, Clupeidae y Chaetodontidae, entre otras. Esto puede ser un cofactor que también apoye a la preferencia del pez león para los hábitats con tridimensional en su estructura.

Cabe destacar la cercanía de los módulos artificiales a los hábitats de las praderas de hierbas marinas y los manglares que han sido considerados como criaderos de especies de peces juveniles (Robertson & Duke, 1987; Nagelkerken et al., 2000; Dorenbach et al., 2004). La presencia de los peces leones en los manglares y las hierbas marinas es apoyado por otros estudios (Barbour et al., 2010; Biggs & Olden, 2011; Brightman et al., 2012; Lee et al., 2012). Sugerimos que en nuestro estudio el pez león puede utilizar las estructuras artificiales como un lugar de reposo y los hábitats naturales cercanos a las estructuras para alimentación y reproducción.

En nuestro estudio, documentamos el movimiento de los peces leones (en las horas de la tarde y temprano en la mañana) de hábitats artificiales hacia las zonas de hierbas marinas y manglares adyacentes. Observamos individuos de peces leones durante un muestreo en horas de la noche salir de los módulos artificiales hacia los herbazales marinos adyacentes en busca de alimento. En otras ocasiones, temprano en la mañana (6:00 a.m.) y al caer la tarde (6:00 p.m.), observamos individuos en los herbazales marinos y en los manglares alimentándose de peces en estadios juveniles. El resto de los peces leones censados, los observamos durante periodos de tiempo de reposo dentro de las hendiduras de rocas y en el interior de los módulos artificiales. Este dato apoya el estudio de Morris y Akins (2009), el cual sugirió que las presas analizadas en el contenido estomacal de los peces leones habían sido consumidas entre las 7:00 a.m. y las 11:00 a.m. Efectivamente, en nuestro estudio los peces leones observados durante la noche y temprano en la mañana salieron de los hábitats (artificiales) y rocas para alimentarse. Aunque en nuestro estudio no se analizó la capacidad depredadora de esta especie, resulta necesario estudiar su comportamiento y su contenido estomacal en una futura investigación para conocer si el establecimiento del pez

león en estas áreas está impactando la abundancia y biomasa de los peces nativos y especies de peces en estadio juvenil. También resulta importante documentar si existen diferencias estacionales en los patrones de depredación, diferencias entre las diversas categorías de tallas de los peces leones, y diferencias entre las diversas estratificaciones de hábitats.

En nuestro estudio, observamos que en promedio las tallas de los peces leones en las estructuras artificiales (16.5 cm) son bastante similar a las tallas en los arrecifes de coral (15 cm). Inclusive, observamos algunos individuos de peces leones con tallas más grandes en los módulos artificiales que en las localidades de arrecifes de coral. Estas tallas, no obstante, resultaron significativamente menores a las tallas documentadas en hábitats similares en otros estudios (Barbour et al., 2010; Lee et al., 2012; Dahl & Patterson, 2013). Esta diferencia quizás pudiera deberse al estado de declive de las comunidades de peces en la Laguna del Condado y en los ecosistemas circundantes; tal vez, como consecuencia del deterioro ambiental crónico de los ecosistemas y como consecuencia de los efectos históricos de la pesca. Sin embargo, la complejidad estructural del hábitat de las unidades artificiales y de los arrecifes de coral permite un aparente mayor reclutamiento y alta tasa de sobrevivencia.

Aunque no obtuvimos una correlación entre *P. volitans* y los parámetros de calidad de agua, sí observamos un aumento en la densidad de peces leones en lugares con poca turbidez. Este estudio demostró que la densidad de peces leones aumentaba en áreas con menos de 4 NTU. Sin embargo, Cure et al. (2014) encontró a través de un análisis de regresión lineal que las densidades del pez león se encontraban significativamente relacionadas a la región donde se encontraban, a la estructura del hábitat y a la disminución en la transparencia del agua. *P. volitans* en su rango nativo se encuentra principalmente en bahías turbias debido a que la baja visibilidad le ofrece ventajas para depredar a otros peces (Jud et al., 2011). Los estuarios son hábitats generalmente turbios y pueden convertirse en un lugar importante de invasión. Se sugiere que la aparente relación positiva entre la densidad de *P. volitans* y la disminución en la turbidez del agua se debió más bien a un artefacto producido por la presencia mayor de hábitats naturales y artificiales con mayor tridimensionalidad estructural en aguas menos turbias.

Las implicaciones de nuestro estudio sugieren que los hábitats costeros urbanos, a pesar de generalmente mostrar un grado de deterioro ambiental crónico significativo, resultan ser localidades con un rol importante para el reclutamiento y propagación de los peces leones. Además de los posibles impactos que representan el deterioro ambiental y la sobrepesca en la comunidad de peces nativos a través de múltiples hábitats, la presencia del pez león podría representar, a largo plazo, una amenaza adicional. Por consiguiente, esta amenaza podría a largo plazo tener consecuencias negativas sobre el funcionamiento, beneficios y la resiliencia de los ecosistemas costeros.

Limitaciones

Las influencias climatológicas y sociales (considerando la pesca y la recreación) pueden ser un factor determinante en la colonización de *P. volitans* en los hábitats. Este

estudio lo llevamos a cabo entre la primavera y el otoño del 2014 considerando los factores climáticos del momento. Las corrientes de vientos en esta fecha provienen del sur haciendo más cálida la temperatura del agua y mínima la intensidad de las corrientes en el norte. En la parte norte de Puerto Rico es difícil llevar a cabo estudios durante octubre y febrero por el cambio en las corrientes y vientos, ya que provienen del Atlántico. En los muestreos luego de octubre, las aguas comenzaron a ser más turbias, haciendo difícil el acceso y la identificación de las especies en las hendiduras de los arrecifes y unidades artificiales. Sin embargo, es importante para comprender las variaciones estacionales.

Conclusiones y aplicaciones futuras

El Estuario de la Bahía de San Juan posee una diversidad de ecosistemas que han sido vulnerables a impactos ambientales por varios siglos desde la llegada de la colonización. Los cambios en la estructura del paisaje, la contaminación, los efectos provocados por fenómenos atmosféricos y el cambio climático, y los impactos a largo plazo de la pesca han generado problemas ambientales y sociales crónicos que por años han afectado la distribución y estructura de las comunidades de especies nativas de la región. La introducción de especies ha sido otro fenómeno que pone en riesgo la diversidad de las especies nativas.

Pocos estudios han evaluado los impactos ecológicos de las invasiones de especies en los ecosistemas estuarinos. La presencia de *P. volitans* puede afectar las especies nativas de los estuarios y de otras áreas cercanas al sistema. Tomando en cuenta el potencial que tiene el pez león en colonizar múltiples hábitats, su capacidad de aclimatarsen a toda una variedad de condiciones ambientales, y su potencial para alterar significativamente la estructura de las comunidades de especies marinas demersales, nuestro estudio probó que dicho potencial de riesgos es real, al menos a la escala espacial de los hábitats estudiados en la Laguna del Condado. En estudios futuros se debe documentar dichos impactos a través de escalas espaciales y temporales mayores para comprender mejor la magnitud de este fenómeno. Otro factor para considerar es la dinámica de reclutamiento de peces en general en relación con la abundancia de los peces leones. Es decir, es necesario conocer si los peces leones están impactando la colonización de peces nativos en estas áreas. La única forma de corroborar esta relación es a través de un análisis estomacal estratificado por hábitat y tamaño. Igualmente, es necesaria la implementación inmediata de medidas para manejar la especie, particularmente en aquellas zonas urbanas donde existen riesgos de impactos a los humanos.

En esta investigación, concluimos que las estructuras artificiales presentes en el interior y fuera de la Laguna del Condado resultaron ser las áreas de mayor preferencia y reclutamiento de peces leones. La abundancia de estos peces resultó más alta en aquellos lugares con objetos artificiales que en los otros sistemas naturales adyacentes. Aunque no documentamos una relación directa entre la densidad de *P. volitans* con otras especies de peces, la presencia del pez león a través de la mayoría de los hábitats estudiados sugiere el potencial de riesgos de impactos de depredación a largo plazo de los peces leones sobre las comunidades de peces nativos, particularmente, de estadios juveniles. Inclusive, *P. volitans* fue la especie más abundante o una de las más abundantes o de mayor biomasa en algunos

hábitats artificiales y algunos hábitats artificiales adyacentes. Este resultado sugiere una amenaza potencial en la reducción de especies nativas de menor tamaño. Igualmente, puede representar una amenaza para los estadíos juveniles de grupos funcionales importantes como los herbívoros, así como una pérdida en la biodiversidad de especies nativas, una disminución potencial de piscívoros y de especies con valor alimentario para el humano. Estas acciones pueden propiciar a un desequilibrio en la cadena trófica de los arrecifes de coral y sus hábitats asociados.

Agradecimientos

Este proyecto fue realizado gracias a la colaboración de un extraordinario grupo que ofrecieron de su tiempo y conocimiento para lograr resultados exitosos. Mi agradecimiento a Olivia L. Pares-Torres, Ricardo Meléndez-Rodríguez, Pedro Emilio Vegas de Páramo y Franklin Alier-Salvey. Agradezco, además, al Programa del Estuario de la Bahía de San Juan por proveer los equipos e instrumentos para llevar a cabo el estudio. También, agradezco a Alberto Mercado-Vargas, a Zenaida Vázquez, a Josué Rodríguez-Rivera, a Carmen González-Figueroa y Carlos J. Martínez-Rivera por contribuir de su conocimiento en partes técnicas del proyecto.

Literatura citada

- Albin, M. (2015). Invasive pacific lionfish *Pterois volitans* reduce abundance and species richness of native Bahamian coral – reef fishes. *Marine Ecology Progress Series*, 522, 231-243. doi: 10.3354/meps11159
- Albins, M., & Hixon, M. (2008). Invasive-Pacific lionfish *Pterois volitans* reduce recruitment of Atlantic coral reef-fishes. *Marine Ecology Progress Series*, 367, 233-238. doi: 10.3354/meps07620
- Albins, M., & Hixon, M. (2013). Worst case scenario: potential long-term effects of invasive predatory lionfish (*Pterois volitans*) on Atlantic and Caribbean coral-reef communities. *Environmental Biology Fisheries*, 96, 1151-1157. doi: 10.1007/s10641-011-9795-1
- Barbour, A., Montgomery, M., Adamson, A., Díaz, E., & Silliman, B. (2010). Mangrove use by the invasion lionfish *Pterois volitans*. *Marine Ecology Progress Series*, 401, 291-294. doi: 10.3354/meps08373
- Betancur, R., Hines, A., Acero, A., Ortiz, G., Wilbur, A. & Freshwater, D. (2011). Reconstructing the lionfish invasion: insight into Caribbean biogeography. *Journal of Biogeography*, 38, 1281-1293. doi: 10.1111/j.1365-2699.2011.02496.x
- Clarke, K. R., & Warwick, R. M. (2001). *Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation*. 2nd Ed. Plymouth Marine Laboratory, UK: PRIMER-E, Ltd.

- Cure, K., McIlwain, J., & Hixon, M. (2014). Habitat plasticity in native Pacific red lionfish *Pterois volitans* facilitates successful invasion of the Atlantic. *Marine Ecology Progress Series*, 506, 243-253. doi: 10.3354/meps10789
- Dahl, K., & Patterson, W. (2013). Diet of the invasive Pacific Lionfish, *Pterois volitans*, on natural and artificial reef in the Northern Gulf of Mexico. *66th Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, 201-203. doi: 10.13140/2.1.1910.5605
- Dominici, A., & Wolff, M. (2005). Reef Fish Community Structure in Bocas del Toro (Caribbean, Panama): Gradients in Habitat Complexity and Exposure. *Caribbean Journal of Science*, 41(3), 613-637. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/228625577>
- Dorenbosch, M., Van Riel, M., Nagelkerken, I., & van der Velde, G. (2004). The relationship of reef fish densities to the proximity of mangrove and seagrass nurseries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 60, 37-48. doi: 10.1016/j.ecss.2003.11.018
- Lee, S., Buddo, D., & Aiken, K. (2012). Habitat preference in the Invasive Lionfish (*Pterois volitans*/miles) in Discovery Bay, Jamaica: Use of GIS in management strategies. *64th Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, 39-48. Recuperado de: <https://pdfs.semanticscholar.org/9347/475164e83e52e87af625fbf59104a9d39430.pdf>
- Ferreira, C., Osmar, L., Sergio, F., Marcos, L., Moysés, B., Claudia, R. & Luiz, R. (2015). First Record of Invasive Lionfish (*Pterois volitans*) for the Brazilian Coas. *Plos One*, 10, 1-5. doi: 10.1371/journal.pone.0123002
- Giardino, C., Pepe, M., Alessandro P., Ghezzi, P. & Zilioli, E. (2001). Detecting chlorophyll, Secchi disk depth and surface temperature in a sub-alpine lake using Landsat imagery. *The Science of the Total Environment*, 268, 19-29. doi: 10.1016/S0048-9697(00)00692-6
- Glasby, T., Connel, S., Holloway, M., & Hewitt, C. (2007). Nonindigenous biota on artificial structures: could habitat creation facilitate biological invasions? *Marine Biology*, 151, 887-895. doi: 10.1007/s00227-006-0552-5
- Hernández, E., Rosado, B., & Sabat, A. (2006). Management failures and coral decline threatens fish functional groups recovery patterns in the Luis Peña Channel No-take Natural Reserve, Culebra Island, Puerto Rico. *57th Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, 577-606. doi: <https://www.researchgate.net/publication/265966127>
- Human, P., & Deloach, N. (2002). *Reef fish identification. Florida, Caribbean and Bahamas*. Jacksonville, Florida: New World Publications, Inc.

- Jud, Z., & Nichols, P. (2015). Broad salinity tolerance in the invasive lionfish *Pterois* spp. may facilitate estuarine colonization. *Environmental Biology Fisheries*, 98, 135-143. doi: 10.1007/s10641-014-0242-y
- Jud, Z., Layman, C., Lee, J., & Arrington, D. (2011). Recent invasion of a Florida (USA) estuarine system by lionfish *Pterois volitans* / *P. miles*. *Aquatic Biology*, 13, 21-26. doi: 10.3354/ab00351
- Kulbicki, M., Beets, J., Chabanet, P., Cure, K., Darling, E., Floeter, S., Galzin, R., ... & Wantiez, L. (2012). Distributions of Indo-Pacific lionfishes *Pterois* spp. in their native ranges: Implications for the Atlantic invasions. *Marine Ecology Progress Series*, 446, 189-205. doi: 10.3354/meps09442
- Kumar, H. (2014). Influence of wastewater pH on turbidity. *International Journal of Environmental and Development*, 4, 105-114. Recuperado de: https://www.rippublication.com/ijerd_spl/ijerv4n2spl_02.pdf
- Lewis, D., Van Veen, R., & Wilson, B. (2011). Conservation implications of small Indian mongoose (*Herpestes auropunctatus*) predation in a hotspot within a hotspot: the Hellshire Hills, Jamaica. *Biological Invasions*, 13, 25-33. doi: 10.1007/s10530-010-9781-0
- Lilyestrom, C., Serrano, K., Jiménez, N., & Peña, N. (2011). *El pez león y Puerto Rico*. Recuperado de <http://www.drna.gobierno.pr/oficinas/arn/recursosvivos/costasreservasrefugios/pmzc/espacios-marinos/Lilyestrom2011.pdf>.
- Morris, J., & Akins, J. (2009). Feeding ecology of invasive lionfish (*Pterois volitans*) in the Bahamian archipelago. *Environmental Biology Fisheries*, 86, 389-398. doi: 10.1007/s10641-009-9538-8
- Nagelkerken, I., Van der Velde, G., Gorissen, M., Meijer, G., Van't Hof, G., & den Hartog, C. (2000). Importance of mangroves, seagrass beds and the shallow coral reef as a nursery for important coral reef fishes, using a visual census technique. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 51, 31-44. doi: 10.1006/ecss.2000.0617
- Robertson, A., & Duke, N. (1987). Mangroves as nursery site: comparison of the abundance and species composition of fish and crustaceans in mangroves and other nearshore habitats in Tropical Australia. *Marine Biology*, 96, 193-205. doi: 10.1007/bf00427019
- Schofield, P. (2010). Update on geographic spread of invasive lionfishes (*Pterois volitans* [Linnaeus, 1758] and *P. miles* [Bennet, 1828]) in the Western Atlantic Ocean, Caribbean Sea and Gulf of Mexico. *Aquatic invasions*, 5, S117-S122. doi: 10.3391/ai.2010.5.S1.024

- Schroeder, R. (1987). Effects of patch reef size and isolation on coral reef recruitment. *Bulletin of Marine Science*, 41, 441-451. Recuperado de: <https://www.ingentaconnect.com/content/umrsmas/bullmar/1987/00000041/00000002/art00029?crawler=true>
- Smith, N., & Shurin, J. (2010). *Artificial structures facilitate lionfish invasion in marginal Atlantic habitat*. 63rd Gulf and Caribbean Fisheries Institute. pp.342-344.
- Toledo, C., Velez, X., Ruiz, C., Rita, A., Mege, P., Navarro, M., Sabat, A., ... & Papa, R. (2014). Population ecology and genetics of the invasive lionfish in Puerto Rico. *Aquatic Invasion*, 9, 227-237. Recuperado de: http://www.aquaticinvasions.net/2014/AI_2014_ToledoHernandez_etal.pdf
- Trotter, J., Montagna, P., McCulloch, M., Silenzi, S., Reynaud, S., Mortimer, G., Martin, S., ...& Rodolfo R. (2011). Quantifying the pH 'vital effect' in the temperature zooxanthellate coral *Cladocora caespitosa*: Validation of the boron seawater pH proxy. *Earth and Planetary Science Letters*, 303, 163-173. doi: 10.1016/j.epsl.2011.01.030
- Whitfield, P., Gardner, T., Vives, S., Gilligan, M., Courtenay, W., Carleton, G. & Hare, J. (2002). Biological invasion of the Indo-Pacific lionfish *Pterois volitans* along the Atlantic coast of North America. *Marine Ecology Progress Series*, 235, 289-297. doi: 10.3354/meps235289
- William, S., & Grosholz, E. (2008). The invasive species challenge in estuarine and coastal environments: Marrying management and science. *Estuaries and Coast Journal*, 31, 3-20. doi: 10.1007/s12237-007-9031-6
- Zachary, J., Layman, C., Lee, J., & Albrey, D. (2011). Recent invasion of a Florida (USA) estuarine system by lionfish *Pterois volitans* / P. Miles. *Aquatic Biology*, 13, 21-26. doi: 10.3354/ab00351