



UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPÍRITU SANTO

FACULTAD DE ARTES LIBERALES Y CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN

**ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS
BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL
ESTERO SALADO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN QUE SE PRESENTA COMO REQUISITO
PREVIO A OPTAR EL GRADO DE**

INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL

AUTOR

JULIÁN ALFREDO PÉREZ CORREA

SAMBORONDÓN, JUNIO, 2014

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

Análisis de la colonización de macroinvertebrados bentónicos en sustratos artificiales aplicados en el Estero Salado

Julián A. Pérez-Correa

Universidad de Especialidades Espíritu Santo – Ecuador

Facultad de Artes Liberales y Ciencias de la Educación, Escuela de Ciencias Ambientales

Resumen

El Estero Salado es un estuario de tipo tectónico con elevada carga contaminante debido a la influencia de los efluentes provenientes ciudad de Guayaquil. Esta carga contaminante provoca cambios en la diversidad de ese ecosistema, afectando a todos los organismos incluyendo los macroinvertebrados bentónicos que se habitan los sedimentos del estuario. El presente estudio busca utilizar sustratos artificiales para analizar la colonización de macroinvertebrados bentónicos en dos sitios del Estero Salado. Se utilizaron tres tipos de sustratos artificiales (esponja, ladrillo y biomasa) y fueron implantados durante tres meses (octubre, noviembre y diciembre del 2012). Se compararon los tres sustratos durante los tres meses de investigación en los dos sitios utilizando los índices de diversidad de Shannon-Wiener, Berger-Parker y Pielou para luego medir la similaridad utilizando la técnica ANOSIM entre los factores: mes, sitio y sustrato. Se encontró que no hubo diferencias significativas entre meses y sitios, sin embargo, sí hubo diferencias entre sustratos obteniendo como conclusión que la colonización más eficiente la tuvo el sustrato esponja.

Palabras Claves: Macroinvertebrados bentónicos, sustratos artificiales, Estero Salado, estuario, colonización

Abstract

The Estero Salado is a tectonic estuary with a high pollution load due to the influence of the effluents from the city of Guayaquil. The pollution load provokes diversity changes in the ecosystem, affecting all the organisms including benthic macroinvertebrates that inhabits estuarine sediments. This research aims to use artificial substrates to analyze the colonization of benthic macroinvertebrates at two sites of the Estero Salado. Three types of artificial substrates were used (sponge, brick and biomass), and they were implanted during three months (October, November, December of 2012). After collecting the substrates, they were compared among type, month and site using the diversity indexes Shannon-Wiener, Berger-Parker and Pielou. Afterwards, similarity was calculated using ANOSIM technique among the factors: month, site and substrates. It was found no significant differences between month and sites. However, there were significant differences between substrates, concluding that sponge has the most efficient colonization.

Key Words: Benthic macroinvertebrates, artificial substrates, Estero Salado, estuary, colonization

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

Introducción

En el estuario interior del Golfo de Guayaquil se encuentra el Estero Salado, al oeste de la ciudad de Guayaquil. Este estuario es un medio receptor de efluentes con cargas contaminantes domésticas e industriales tanto de fuentes difusas, debido a procesos de escorrentía, como de fuentes puntuales provenientes del drenaje de aguas residuales y pluviales (Monserrate, Medina & Calle, 2011), tiene una superficie de 13,701 km² y una extensión de 60 km; recibe influencia de corrientes oceánicas, flujo y reflujo de mareas e intromisión directa de aguas continentales (Cárdenas, 2010). En la Figura 1 se encuentra la imagen satelital del Estero Salado respecto a la ciudad de Guayaquil.

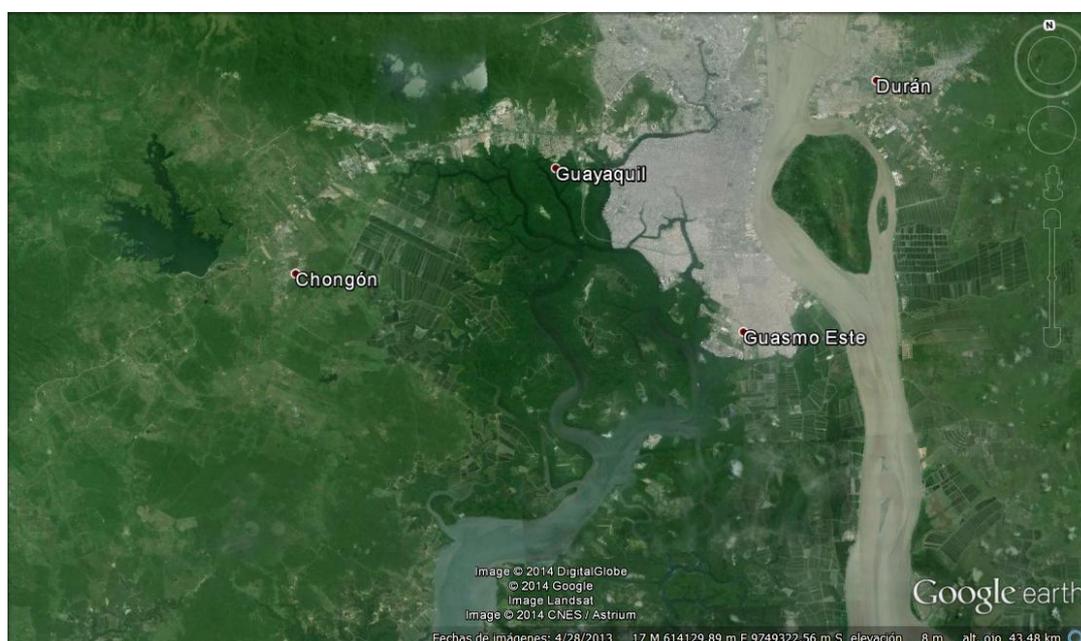


Figura 1. Imagen satelital de la ubicación del Estero Salado respecto a la ciudad de Guayaquil. Por Google Earth, 2013. Copyright 2013 de Google y Digital Globe.

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

Las cargas contaminantes han provocado el deterioro de la productividad ecosistémica del Estero Salado, debido a que se ha convertido en un medio con agua y sedimento pobres en oxígeno y con presencia de aceites, grasas, hidrocarburos, metales pesados, nitritos y nitratos (Hidroestudios, 2003; Universidad de Guayaquil, 2008).

Cárdenas (2010) realizó estudios de parámetros físico-químicos y contaminantes de los sedimentos en el Estero Salado, los resultados mostraron una elevada concentración hidrocarburos (valor promedio de 316.05 mg/kg), aceites y grasas (valor máximo de 1,236.76 mg/kg), también se encontró la presencia de metales pesados como plomo con una concentración media de 20.56 mg/kg, cadmio con una concentración media de 1.03 mg/kg y mercurio con una concentración media de 0,2 mg/kg. En la legislación del Ecuador, existe la estipulación de límites máximos permisibles (LMP) para agua y suelo pero no para sedimentos, por lo que no se puede inferir si estos valores superan o no el LMP.

La presencia de contaminación reduce la calidad ecológica repercutiendo en las especies habitantes del estuario con problemas como: pérdida de la diversidad, disminución o pérdida de especies sensibles, alteración de los procesos productivos, malformaciones celulares y fisiológicas, comportamiento atípico (Comisión Asesora Ambiental [CAAM], 1996), alteraciones genéticas, cambios en la estructura de la comunidad y en la cadena trófica en el área mencionada (De

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

Pauw, 2007), por lo expuesto se puede inferir que el Estero Salado es un medio reductor.

Parte importante del ecosistema del Estero Salado son los macroinvertebrados bentónicos, los cuales representan un eslabón importante en la red trófica de los ecosistemas acuáticos (Edward & Ugwumba, 2011) y son bastante abundantes en estos ecosistemas, difiriendo en su morfología, fisiología, comportamiento y características ecológicas (Diepens et al., 2014) y entre sus funciones ecológicas se puede nombrar: la oxidación de materia orgánica y alimento para organismos superiores (Estrella, 2000). Estos organismos habitan en sedimento del estuario, utilizándolo como sustrato natural. Sin embargo, debido a la contaminación, la estructura comunitaria de los organismos se ve afectada, provocando la disminución de la diversidad.

Se han realizado estudios previos acerca de los macroinvertebrados bentónicos que residen en el estuario interior del Estero Salado, determinando la presencia o ausencia y abundancia de la comunidad y afectación por metales pesados e hidrocarburos (Monserrate et al., 2011; Cárdenas, 2010), pero no se ha estudiado la aplicación y el comportamiento de la estructura comunitaria en diferentes sustratos artificiales, los cuales pueden servir como medios de colonización para restaurar los sustratos naturales alterados por la contaminación.

Tres tipos de sustratos artificiales fueron usados durante tres meses de investigación (octubre, noviembre y diciembre del 2012). La finalidad de este

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

estudio es comparar la colonización de macroinvertebrados bentónicos entre sustratos artificiales, identificando los organismos encontrados hasta el menor nivel taxonómico posible, analizando la estructura comunitaria presente en cada sustrato mediante índices de diversidad (Shannon-Wiener, Berger-Parker y Pielou) (Ramírez, 2005) durante tres meses de recolección en dos sitios del Estero Salado y finalmente midiendo la similaridad entre los sustratos utilizando la técnica ANOSIM (Análisis de Similaridad) midiendo los factores mes, sitio y sustrato. Este estudio servirá como base para utilizar métodos similares con sustratos artificiales para la restauración del Estero Salado mediante recolonización de macroinvertebrados bentónicos.

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

Fundamentación Teórica

Los sustratos artificiales son utilizados comúnmente para la repoblación de arrecifes en áreas marinas con resultados bastante exitosos como lo mencionan Edwards y Gómez (2007), Goreau et al. (2000) y Stolk, Markwell y Jenkins (2007) no sólo de forma experimental, sino también de forma accidental como sucede usualmente con instalaciones construidas en altamar (Jorgensen, 2009).

Otros autores como Beck et al., (2011) y Quan, Zheng, Li y An (2012) recomiendan el uso de sustratos artificiales para la restauración de arrecifes, no sólo coralinos sino también formado por ostras tanto en ecosistemas fluviales como en ecosistemas marinos. Por otro lado, similares estudios se han realizado con macroinvertebrados bentónicos en aguas fluviales y estuarinas, en donde los resultados indican un restablecimiento de la diversidad durante los primeros 15 días a 4 semanas (Agencia Vasca del Agua [URA], 2008); estos estudios se basaron en la metodología realizada por Dickson y Cairns, (1972) quienes utilizaron sustratos artificiales flotantes de plástico para medir los cambios de las comunidades de macroinvertebrados; similares estudios realizaron Khalaf y Tachet, (1977).

La implementación de sustratos artificiales sirve además como método para la investigación de especies y comunidades macrobentónicas en cuerpos de agua fluvial, como lo mencionan Borcherding y Stum (2002) para el estudio del

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

bivalvo *Dreissena polymorpha*, o aguas estuarinas para analizar patrones espaciales de crustáceos (Paula, Silva, Francisco & Flores, 2006). Otras investigaciones realizadas por Lu y Wu, (2006 & 2007) fueron basadas en trasladar sedimentos contaminados, los resultados demostraron un cambio de la comunidad de macroinvertebrados, similares resultados obtuvieron Chariton, Maher y Roach (2011), concluyendo que es posible la colonización y recolonización de macroinvertebrados bentónicos, a pesar de existir contaminación por hidrocarburos o metales pesados. Estos estudios corroboran lo que encontraron previamente Hansen, Steanalt, Kjerulf y Ellegaard (2002), quienes realizaron un estudio para la recolonización de zooplancton determinando el potencial de utilizar sustratos artificiales como medios colonizadores de macroinvertebrados bentónicos, hallando principalmente poliquetos, bivalvos y gasterópodos en ecosistemas hipóxicos; mientras que Allanson, Smith y Smith (2014), encontraron que una barrera formada por rocas, considerándolas como un sustrato artificial, no afecta negativamente la diversidad existente, sino que al contrario, sirvió para recolonización de individuos principalmente de la familia Balanidae.

Complementariamente Gabaev, Taupek y Kolotukhina (2004) encontraron que en sitios muy contaminados y eutrofizados, los sustratos artificiales derivados de actividades antropogénicas, sirven como refugio para organismo y protección contra depredadores.

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

Metodología

Área de Estudio

El estudio fue realizado en el Estuario Interior del Golfo de Guayaquil, el cual está clasificado como un estuario tectónico (Twilley et al., 2011). A orillas del estuario se asienta la ciudad de Guayaquil, la cuál es la más poblada del Ecuador con 2'350.915 habitantes (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2010) y su desarrollo se debe principalmente a la presencia del estuario del Estero Salado, en el cual se asientan poblaciones formales e informales, industrias, áreas de cultivo, termoeléctricas e incluso el puerto marítimo más importante del país. Sin embargo, el mismo crecimiento poblacional y desarrollo de la ciudad, produjo la reducción de la calidad ambiental del cuerpo de agua reflejado en niveles altos de contaminación.

El estuario del Estero Salado está conformado por tres zonas de acuerdo a la Muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil (2007) y en cada zona existen empresas que descargan sus aguas residuales al Estero Salado (Ministerio del Ambiente [MAE], 2012). Las zonas están divididas en:

•**Zona I**, en donde se realizará el presente estudio, comprende: Tramo A (Urdesa), Tramo B (Kennedy), Tramo C (unión de tramos A y B hasta el puente 5

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

de Junio) y Tramo D (desde el puente 5 de Junio hasta el Puente de la 17) y existen 146 empresas que descargan sus aguas residuales al Estero Salado.

•**Zona II** comprende los tramos: E, G, H e I desde el Puente de la 17 hasta el puerto de Guayaquil y existen 18 empresas que descargan sus aguas residuales al Estero Salado.

•**Zona III** comprende los tramos: Plano Seco, Mongón, Madre Costal, Puerto Hondo así como otros tramos pequeños encontrados en la zona oeste de la ciudad y existen 26 empresas que descargan sus aguas residuales al Estero Salado.

Recolección de Datos

El presente estudio es de tipo cuantitativo y cuasi-experimental, de carácter exploratorio, descriptivo y longitudinal en una serie temporal de tres meses con un enfoque no probabilístico por conveniencia. Fueron utilizados tres tipos de sustratos artificiales: ladrillo, esponja y biomasa, a su vez la biomasa fue compuesta por hojarasca de las especies *Terminalita catappa*, *Manguifera indica*, *Samanea saman* y *Rizophora mangle*, especies arbóreas que se encontraban alrededor del Estero Salado en los sitios de estudio. Estos sustratos artificiales fueron colocados en dos sitios del estuario interior del Golfo de Guayaquil, correspondiente al estuario del Estero Salado en los tramos B (junto al centro comercial Aventura Plaza) y C (junto a la Universidad de Guayaquil). Las

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

coordenadas geográficas se muestran en la Tabla 1 mientras que la ubicación en el mapa se encuentra en la Figura 2.

TABLA 1

Coordenadas de los sitios de muestreo de la investigación

Sitio	X	Y
Aventura Plaza (AP)	620853	9759971
Universidad de Guayaquil (UG)	622237	9758810

Nota. Coordenadas UTM tomadas por el autor mediante el uso de un GPS con Datum WGS 84.

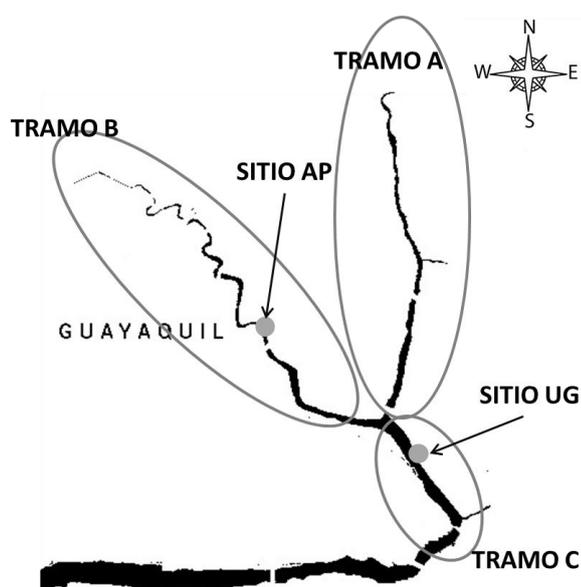


Figura 2. Diagrama de los tramos del Estero Salado que se utilizaron en la investigación con ubicación de los sitios de muestreo. Nota. Tramos: Tramo A = Urdesa, Tramo B = Kennedy, Tramo C = unión de tramos A y B hasta el puente 5 de junio. Sitios: AP = Aventura Plaza, UG = Universidad de Guayaquil.

Se colocaron tres sustratos de cada tipo en cada sitio aleatoriamente y fueron asegurados a una varilla de acero colocada como ancla para evitar que fueran arrastrados con los hidroperiodos consecutivos de la marea. La fecha de la instalación de los sustratos fue el 15 de septiembre del 2012, teniendo 18 en total

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

(9 por cada sitio, 3 de cada tipo). Los sustratos utilizados y su instalación se muestran en la Figura 3 y 4.



Figura 3. Fotografía de los sustratos artificiales previo a la instalación. Los tres sustratos superiores son de esponja, los tres de la mitad son de ladrillo y los tres inferiores son de biomasa.



Figura 4. Instalación de los sustratos artificiales en el sitio Universidad de Guayaquil (UG) el 15 de septiembre del 2012.

Una vez instalados los sustratos artificiales, se colectó uno de cada tipo en cada sitio, las fechas de recolección fueron 15 de octubre, 15 de noviembre y 15 de diciembre del 2012. El diseño de la investigación se resume en la Figura 5.

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

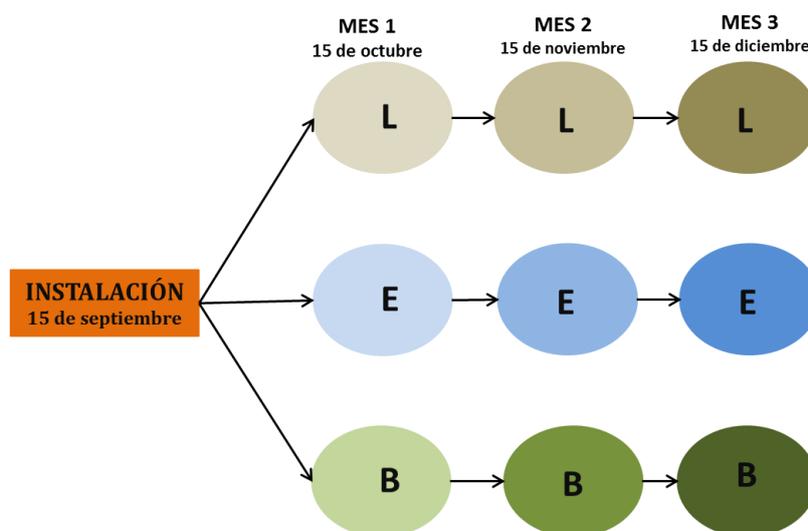


Figura 5. Diseño de la Investigación para los Sitios de Muestreo. L= Ladrillo, E = Esponja, B = Biomasa.

Después de la recolección de los sustratos, cada uno fue tratado independientemente de acuerdo al tipo para su fijación, conservación y posterior análisis. Para el sustrato ladrillo, previo a su fijación, se separó todo el material que se encontraba en la superficie y las cavidades previamente erosionadas utilizando un pincel; el sustrato esponja, después de ser recolectado, fue cortado en 9 trozos más pequeños; por otro lado, para el sustrato biomasa, se limpió la bolsa el material que se encontraba dentro. Todos el material resultante fue etiquetado y colocado en envases de 1.000 cm³ y conservados con formol al 30% (Darrigan, Vilches, Legarralde & Damborenea, 2007).

Posteriormente, los contenidos de cada sustrato fueron analizados en el laboratorio, de tal forma que se separaron los macroinvertebrados bentónicos del material encontrado utilizando un estereoscopio, una caja Petri para colocar el material colectado y una aguja enmangada y una pinza de relojero para separar

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

cada organismo. Estos a su vez fueron clasificados taxonómicamente hasta el menor nivel taxonómico posible utilizando guías de identificación de Keen, (1971), Brusca (1973), Mora (1990), Cruz y Jiménez (1994) y Mair, Mora y Cruz (2002).

Determinación de la Muestra

La población está determinada por el número de individuos que se encuentran en cada sustrato al momento de la recolección y fijación, mientras que la muestra fue determinada utilizando la fórmula para calcular muestras en poblaciones infinitas o desconocidas (Rodríguez, 2005), teniendo:

$$n = \frac{(Z^2 \alpha p q)}{i^2}$$

Dónde: **n** = muestra a determinar

Z_α = intervalos de confianza, para el caso 1.96

p = prevalencia esperada al parámetro a determinar, para este caso al ser desconocida es de 0.5

q = 1 – p, que corresponde para este caso a 0.5

i = error que se prevé cometer, para este caso es 0.05

Reemplazando se obtiene:

$$n = \frac{(1.96)^2(0.5)(0.5)}{(0.05)^2}$$

Resultando en que la muestra debe ser de al menos 384 individuos.

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

Una vez obtenido el número mínimo de individuos que debe tener cada muestra, se realizó un submuestreo teniendo en cuenta los criterios de: volumen obtenido de material en cada sustrato, limitaciones del tiempo de análisis en laboratorio y conveniencia del autor. Para cada tipo de sustrato se analizó lo siguiente:

Ladrillo: se analizó el total del material recolectado

Esponja: se utilizó 1/3 del total recolectado (600 cm³).

Biomasa: se utilizó 1/6 del total de la muestra (300 cm³)

Análisis de Datos

Análisis de Abundancia: Una vez obtenidos los datos, estos fueron colocados en una matriz de doble entrada, clasificándolos taxonómicamente hasta el menor nivel posible y se obtuvo el número de individuos totales tanto por mes como por taxón para determinar cuáles fueron las más abundantes.

Análisis de Diversidad: Los datos obtenidos corresponden a unidades de individuos por sitio de muestreo, para hacer una comparación y evaluación entre cada muestra se calcularon índices de diversidad mediante el programa Diversity and Richness IV, los índices utilizados fueron: Índice de Shannon (H') para determinar la diversidad, Índice de Berger-Parker (D) para determinar la dominancia e Índice de Pielou (J') para determinar la heterogeneidad. En cada muestra y para cada índice se calcularon los intervalos de confianza al 95%.

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

Análisis Multivariado.- Se utilizó el software estadístico Primer 6 para realizar el análisis de las comunidades comparándolas como un todo y la afectación de los factores identificados (mes, sitio y sustrato) usando la matriz original transformada a porcentaje para disminuir el sesgo de muestreo. Se calculó el índice de similitud de Bray-Curtis con 9.999 permutaciones y los resultados obtenidos fueron representados en un gráfico de escalamiento multidimensional de dos dimensiones (MDS 2-D) determinando las similitudes de más del 50% mediante un Dendrograma de enlace por promedios grupales.

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

Resultados

Fueron separados y clasificados 36,676 individuos, divididos en 4 Phylum: Arthropoda, Annelida, Mollusca y Nematoda. Para el Phylum Arthropoda se encontraron 5 Clases (Insecta, Arachnida, Malacostrata, Ostracoda y Maxillopoda) para el Phylum Annelida se encontraron 2 clases (Polychaeta y Oligochaeta) al igual que el Phylum Mollusca (Gastropoda y Bivalvia) mientras que el Phylum Nematoda no fue clasificado y se lo considera como un taxón único (Keen, 1971; Brusca, 1973; Mora, 1990; Cruz & Jiménez, 1994; Mair, et al., 2002).

En la clase Insecta se identificaron tres órdenes: Diptera, Collembola, Hemiptera y un grupo de pupas no fue identificado ya que no se encontraron claves para determinar su taxonomía y fueron agrupados en un solo taxón sin identificar. Para el orden Diptera se encontró las familias Psychodidae (especies *Psychoda sp.* y *Pericoma sp.*), Ceratopogonidae (especie *Stilobezzia sp.*) y familia Dolichopodidae (especie sin identificar), por otro lado para el orden Collembola se encontró la familia Poduridae (especies *Podura aquatica* e *Isotoma sp.*) y para el orden Hemiptera se encontró la familia Naucoridae (especie sin identificar) y otro taxón sin identificar. Para la clase Arachnida se encontró el orden Actinedida clasificado a su vez en la familia Hydracnidae. Respecto para la clase Malacostrata se identificaron dos órdenes, el orden Amphipoda del cual no

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

se identificaron más taxones y el orden Decapoda, del cual se identificó un taxón de la familia Peneidae (especie *Peneaus sp.*) y un taxón denominado como Zoea de Brahyura. De la clase Ostracoda no se identificaron más taxones mientras que de la clase Maxillopoda se identificó el orden Sessilia, familia Balanidae (especie *Balanus sp.*).

Para las clases Polychaeta y Oligochaeta del Phylum Annelida no se realizó su identificación taxonómica y se los dejó para el análisis como taxones.

Para la clase Gastropoda se identificó el orden Littorinimorpha, compuesto por dos familias, Amnicolidae (especie *Amnicola sp.*) y Cochliopidae (especie *Heleobia sp.*) (Bouchet, 2013a) (Rosenberg, 2013) mientras que las familias Ellobiidae (especies *Melampus cf. carolianus* y *Detracia sp.*) y Thiariade (especie *Melanoides cf. tuberculata*) no tienen un orden asignado en la clasificación taxonómica asignada (Bouchet, 2013b, 2014). Para la clase Bivalvia se identificó un taxón perteneciente al orden Veneroidea, del que se encontraron las familias Dreissenidae (especie *Mytilopsis sp.*) y Veneridae (especie *Dosinia sp.*) mientras que un taxón no fue identificado.

Abundancia en el sitio Aventura Plaza

La abundancia de los individuos recolectados en la estación AP se encuentra descrita en la Tabla 2. Los individuos más abundantes en el estudio fueron los de la clase Oligochaeta teniendo una abundancia relativa de 26.057% y

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

una abundancia absoluta de 6,386 individuos, seguido de los individuos de la especie *Podura aquatica* con 20.078% y una abundancia de 4,920 individuos, luego les sigue la familia Hydracnidae con 14.467% y 3,545 individuos, después en el orden le sigue la especie *Heleobia sp.* con 13.394% y 3,282 individuos y *Pericoma sp.* con 12.940% 3,172 individuos.

TABLA 2

Clasificación taxonómica y abundancia absoluta de los individuos encontrados en la estación AP.

Taxa	Ladrillo			Esponja			Biomasa			N	%
	oct	nov	dic	oct	nov	dic	oct	nov	dic		
<i>Pericoma sp.</i>	121	1,553	35	163	739	182	25	337	17	3,172	12.94%
<i>Psychoda sp.</i>			1			4			1	6	0.024%
<i>Stilobezzia sp.</i>	3	79	6	11	319	46		8	1	473	1.930%
Dolichopodidae	2	37		2	5	4	1	11		62	0.253%
<i>Podura aquatica</i>	192	471	20	714	1,366	1,130	162	807	58	4,920	20.078%
<i>Isotoma sp.</i>	15	30	14	18	177	34	89	158	318	853	3.481%
Pupa (NI)			3		1	2			1	7	0.029%
Hydrachnidae	40	1,250	66	332	338	1,091	11	243	174	3,545	14.467%
Amphipoda			1		2				3	6	0.024%
Zoea de Brachyura			1							1	0.004%
Ostracoda		1				2				3	0.012%
<i>Balanus sp.</i>			1							1	0.004%
Oligochaeta	51	541	725	440	446	1,946	189	1,235	812	6,385	26.057%
Polychaeta		3	7	32	214	264	10	29	21	580	2.367%
<i>Heleobia sp.</i>	829	446	444	193	440	253	168	375	134	3,282	13.394%
<i>Melampus</i> <i>cf. carolianus</i>		2	2							4	0.016%
<i>Detracia sp.</i>					1	2				3	0.012%
<i>Melanoides cf.</i> <i>tuberculata</i>	3	2	4	1				1		11	0.045%
<i>Mytilopsis sp.</i>			21	21	274	185			6	507	2.069%
<i>Dosinia sp.</i>		1				2				3	0.012%
Bivalvo ND								2		2	0.008%
Nematodo					14	27	1	20	616	678	2.767%
Total	1,256	4,416	1,351	1,927	4,336	5,174	656	3,226	2,162	24,504	100.000%

Nota. oct = octubre; nov = noviembre; dic = diciembre.

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

En la Figura 6 se observan las abundancias absolutas de cada sustrato durante los meses de recolección en la estación AP. Se puede determinar que para el sustrato ladrillo, en octubre se encontraron 1,256 individuos, en noviembre se registró un aumento a 4,416 individuos y en diciembre el número decreció a 1,351 individuos. Para el sustrato esponja, en octubre se registraron 1,927 individuos, en noviembre se registraron 4,336 individuos y finalmente en diciembre 5,174 individuos. Por otro lado con el sustrato biomasa se registraron en octubre 656 individuos, en de noviembre 3,226 individuos y en diciembre 2,162 individuos. En total para el sitio AP fueron clasificados 24,504 individuos.

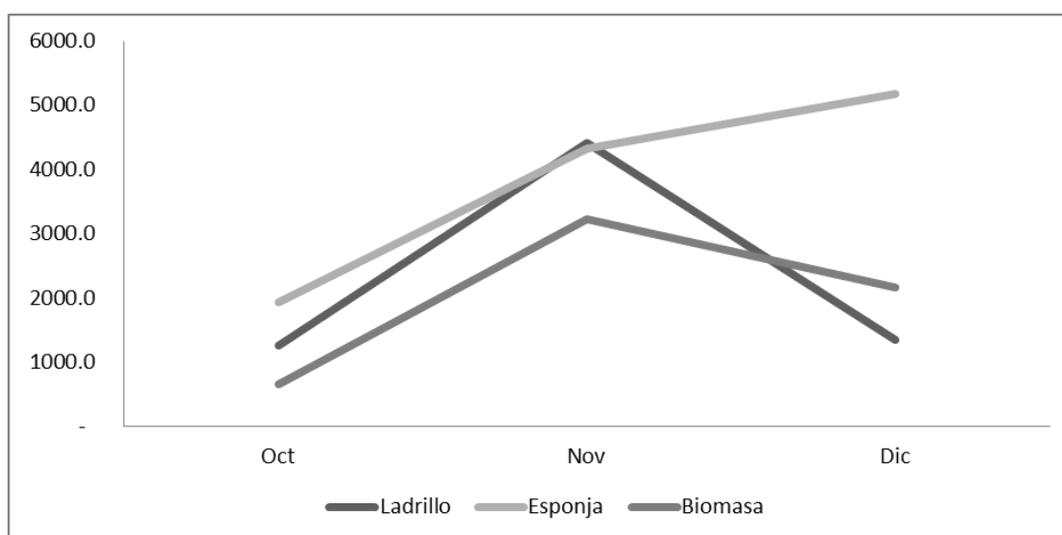


Figura 6. Gráfico comparativo de las abundancias de los sustratos artificiales durante los meses de recolección en la estación AP.

Abundancia en el sitio Universidad de Guayaquil

La abundancia de los individuos recolectados en la estación UG se encuentra descrita en la Tabla 3. Los individuos más abundantes en el estudio fueron los de la clase Oligochaeta teniendo una abundancia relativa de 54.001% y una abundancia absoluta de 6,573 individuos, seguido de los individuos de la

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

especie *Melanoides cf. tuberculata* con 12.512% y una abundancia de 1,523 individuos, luego les sigue la clase Nematoda con 7.599% y 925 individuos, después en el orden le sigue la especie *Mytilopsis sp.* con 7.501% y 913 individuos y la familia Hydracnidae con 5.028% y 612 individuos.

TABLA 3
Clasificación taxonómica y abundancia absoluta de los individuos encontrados en la estación UG

Taxa	Ladrillo			Esponja			Biomasa			N	%
	oct	nov	dic	oct	nov	dic	oct	nov	dic		
<i>Pericoma sp.</i>	5	40	229	16	69	7	7	17	144	534	4.387%
<i>Psychoda sp.</i>		2				1			2	5	0.041%
<i>Stilobezzia sp.</i>		8	21	3	3	1			36	72	0.592%
Dolichopodidae	1		24						38	63	0.518%
<i>Podura aquatica</i>	8	22	67	83	141	132	1	1	76	531	4.362%
<i>Isotoma sp.</i>		3	5		130	21			21	180	1.479%
NI		1				1				2	0.016%
Naucoridae				1						1	0.008%
Pupa (NI)			4	2		2			1	9	0.074%
Hydrachnidae		37	136	1	85	292		3	58	612	5.028%
Amphipoda		2			3					5	0.041%
Penaeidae		1								1	0.008%
Zoea de Brachyura		3			3					6	0.049%
Ostracoda						3				3	0.025%
Oligochaeta	446	922	1,043	107	321	614	437	1,161	1,522	6,573	54.001%
Polychaeta	5	71	3	4	16	14	36	11	18	178	1.462%
<i>Ammicola sp.</i>		3								3	0.025%
<i>Melampus cf. carolianus</i>		1		2						3	0.025%
<i>Detracia sp.</i>		1	9							10	0.082%
<i>Melanoides cf. tuberculata</i>	15	450	207	19	489	145	57	36	105	1,523	12.512%
<i>Mytilopsis sp.</i>	20	12		166	337	375		3		913	7.501%
<i>Dosinia sp.</i>			4						3	7	0.058%
Bivalvo ND	1	12								13	0.107%
Nematodo			20		419	182		81	223	925	7.599%
Total	501	1,591	1,772	404	2,016	1,790	538	1,313	2,247	12,172	100.000%

Nota. oct = octubre; nov = noviembre; dic = diciembre.

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

En la Figura 7 se observa las abundancias absolutas de cada sustrato durante los meses de recolección en la estación UG. Se observa que para el sustrato ladrillo, en octubre se encontraron 501 individuos, en noviembre se registró un aumento a 1,591 individuos y en diciembre 1,772 individuos. Para el sustrato esponja, en octubre se registraron 404 individuos, en noviembre se registraron 2,016 individuos y finalmente en diciembre 1,790 individuos. Por otro lado con el sustrato biomasa se registraron en octubre 538 individuos, en noviembre 1,313 individuos y en diciembre 2,247 individuos. En total para el sitio UG fueron clasificados 12,172 individuos.

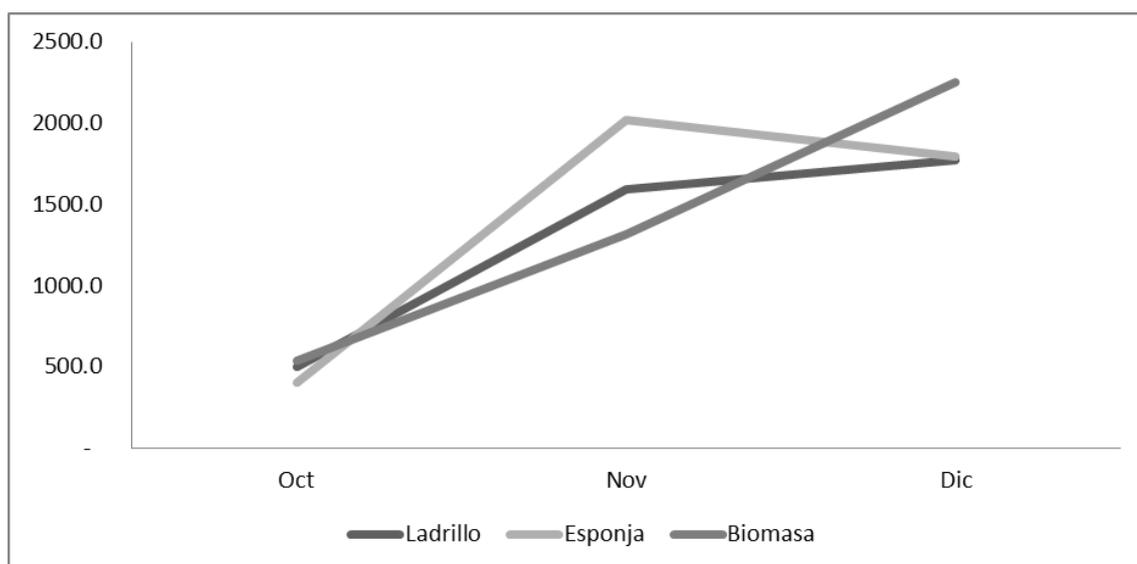


Figura 7. Gráfico comparativo de las abundancias de los sustratos artificiales durante los meses de recolección en la estación UG.

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

Diversidad

Se realizó el cálculo de la diversidad encontrada en los sitios de muestreo durante el tiempo de recolección de los datos. Primero se realizó un análisis de los taxones registrados, en la Figura 8 se encuentran los datos obtenidos en los sustratos artificiales en el sitio AP.

Se encontró que para el sustrato ladrillo, en octubre se registraron 9 taxones (*Pericoma sp.*, *Stilobezzia sp.*, Dolichopodidae, *Podura aquatica*, *Isotoma sp.*, Hydrachnidae, Oligochaeta, *Heleobia sp.* y *Melanoides cf. tuberculata*), en noviembre se registraron 13 taxones (además de los registrados en octubre, se encontraron las taxones Ostracoda, Polychaeta, *Melampus cf. carolianus* y *Dosinia sp.*) mientras que en diciembre se registraron 16 taxones (se tuvieron registros de *Psychoda sp.*, Pupas (NI), Amphipoda, Zoea de Brachyura, *Balanus sp.*, *Mytilopsis sp.* al mismo tiempo que no se registraron las taxones Dolichopodidae, Ostracoda, y *Dosinia sp.*).

Para el sustrato esponja, en octubre se registraron 11 taxones (clasificados en *Pericoma sp.*, *Stilobezzia sp.*, Dolichopodidae, *Podura aquatica*, *Isotoma sp.*, Hydrachnidae, Oligochaeta, Polychaeta, *Heleobia sp.*, *Melanoides cf. tuberculata* y *Mytilopsis sp.*), en noviembre se registraron 14 taxones (los mismos del mes de octubre además de Pupas (NI), Amphipoda, *Detracia sp.*, y Nematoda), mientras que en diciembre se registraron 16 taxones (como nuevo registro se encontró las

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

taxones *Psychoda sp.*, Ostracoda y *Dosinia sp.*, y que se dejó de registrar Amphipoda).

Para el sustrato biomasa, en octubre se registraron 9 taxones (*Pericoma sp.*, Dolichopodidae, *Podura aquatica*, *Isotoma sp.*, Hydrachidae, Oligochaeta, Polychaeta, *Heleobia sp.* y Nematoda), en noviembre se registraron 12 taxones (como nuevo registro se encontró las taxones *Stilobezzia sp.*, *Melanoides cf. tuberculata* y un Bivalvo NI) y en diciembre se encontraron 13 taxones (como nuevo registro se encontró *Psychoda sp* Amphipoda, Pupa (NI), y *Mytilopsis sp.*, mientras que se dejó de registrar los Bivalvos ND, *Melanoides cf. tuberculata* y Dolichopodidae.)

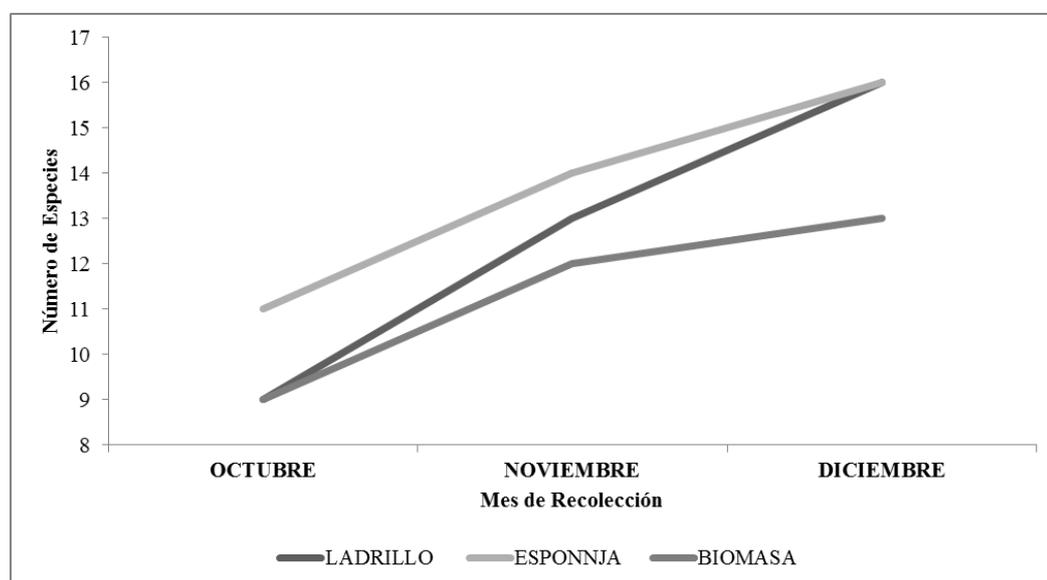


Figura 8. Gráfico comparativo de la diversidad de los sustratos artificiales durante los meses de recolección en la estación AP en función del número de taxones encontrados.

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

Así mismo, se realizó el análisis de diversidad del sitio UG como se muestra en la Figura 9. Se encontró que para el sustrato ladrillo, en octubre se registraron 9 taxones (*Pericoma sp.*, Dolichopodidae, *Podura aquatica*, Oligochaeta, Polychaeta, *Melanoides cf. tuberculata*, *Mytilopsis sp.* y un Bivalvo NI), en noviembre se registraron 18 taxones (no se registró Dolichopodidae, pero como nuevo registro se hallaron las taxones *Psychoda sp.*, *Stilobezzia sp.*, *Isotoma sp.*, Hemiptero NI, Hydrachidae, Amphipoda, Peneidae, Zoea de Brachyura, *Amnicola sp.*, *Melampus cf. carolianus* y *Detracia sp.*) mientras que para en diciembre se registraron 13 taxones (se tuvieron registros de Pupa, *Dosinia sp.* y Nematodo, aparecieron nuevamente registros de Dolichopodidae mientras que se dejó de registrar Hemiptero NI, Amphipoda, Peneidae, Zoea de Brachyura, *Amnicola sp.*, y *Melampous cf. carolianus*).

Para el sustrato esponja, en octubre, se registraron 11 taxones (*Pericoma sp.*, *Stilobezzia sp.*, *Podura aquatica*, Naucoridae, Pupa NI, Hydrachnidae, Oligochaeta, Polychaeta, *Melampus cf. carolianus*, *Melanoides cf. tuberculata* y *Mytilopsis sp.*), en noviembre se registraron 12 taxones (se registraron los mismos que en octubre además de *Isotoma sp.*, Amphipoda, Zoea de Brachyura, y Nematoda) y en diciembre se registraron 14 taxones (como nuevo registro se encontró las taxones *Psychoda sp.*, Hemiptera NI, Pupa NI y Ostracoda, mientras que se dejó de registrar Amphipoda y Zoea de Brachyura).

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

Para el sustrato biomasa, en octubre se registraron 5 taxones (*Pericoma sp.*, *Podura aquatica*, *Oligochaeta*, *Polychaeta* y *Melanoides cf. tuberculata*), en noviembre se registraron 8 taxones (como nuevo registro se encontraron los taxones *Hydracnidae*, *Mitilopsis sp* y *Nematodo*) y en diciembre se encontraron 13 taxones (como nuevo registro se encontró *Psychoda sp* *Stilobezzia sp.*, *Dolichopodidae*, *Isotoma sp.* y *Dosinia sp.*, mientras que se dejó de registrar *Mytilopsis sp.*)

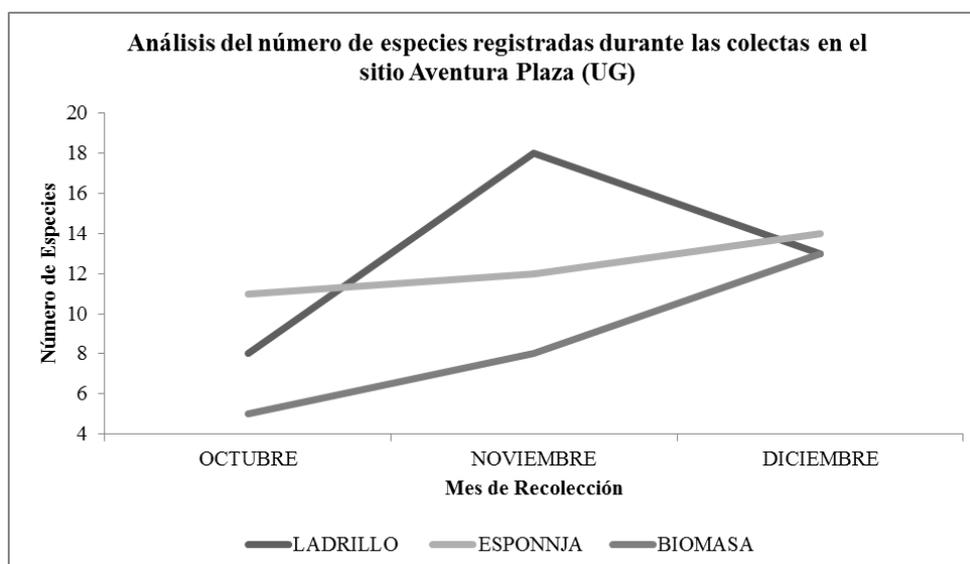


Figura 9. Gráfico comparativo de la diversidad de los sustratos artificiales durante los meses de recolección en la estación AP en función del número de taxones encontrados.

Los valores del índice de Shannon-Wiener para el sitio AP variaron significativamente en cada sustrato para cada mes de recolección, teniendo los valores más altos en noviembre. Sin embargo, no se presentaron variaciones de la diversidad entre los sustratos esponja y biomasa en octubre, ni variación del sustrato biomasa entre noviembre y diciembre.

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

En los tres meses de estudio la diversidad más alta la tuvo el sustrato esponja (octubre = 1.649,+0.038 -0.032, noviembre = 2.010, +0.024 -0.019 y diciembre = 1.690, 0.027 -0.024). Esto se muestra en la Figura 10.

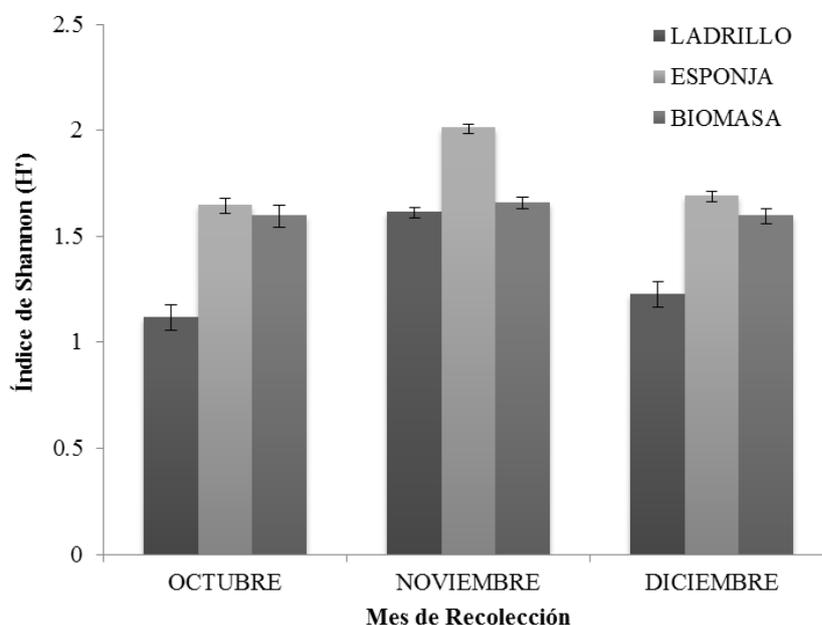


Figura 10. Gráfico comparativo del índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') con los intervalos de confianza calculados para cada sustrato en el sitio AP durante los meses de recolección de muestras.

Respecto al índice de dominancia de Berger-Parker en el sitio AP, como se muestra en la Figura 11, se observa que también hubo variaciones significativas, excepto en noviembre (0.383, +0.017 -0.017) y diciembre (0.376, +0.019 -0.020) para el sustrato biomasa, ni tampoco se presentaron diferencias significativas en el diciembre entre los sustratos esponja (0.376, +0.013 -0.0013) y biomasa (0.376, +0.019 -0.020) en donde la dominancia fue similar.

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

Se observa que el sustrato ladrillo obtuvo los valores más elevados de dominancia en octubre (0.660, +0.025 -0.027) y en diciembre (0.537, +0.027 -0.027).

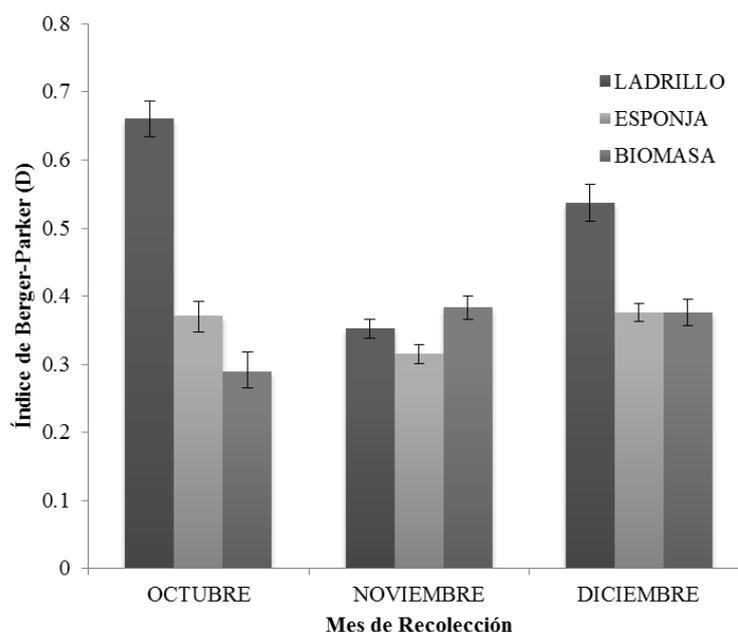


Figura 11. Gráfico comparativo del índice dominancia de Berger-Parker (D') con los intervalos de confianza calculados para cada sustrato en el sitio AP durante los meses de recolección de muestras.

En la Figura 12 se muestra el índice de Pielou, la heterogeneidad entre las especies encontradas en los sustratos ladrillo y esponja varían significativamente entre ellos y entre cada mes, teniendo los valores más altos en noviembre (ladrillo = 0.629, +0.005 -0.070, esponja = 0.762, +0.005 -0,053), por otro lado el sustrato biomasa muestra la heterogeneidad más alta en octubre (0.728, +0.018 -0.095), pero fue disminuyendo en noviembre (0.667, +0.009 -0.051) y diciembre (0.623, +0.008 -0.070).

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

Los valores del índice de heterogeneidad de Pielou no fueron significativamente diferente entre los sustratos esponja y biomasa comparando los meses octubre y diciembre.

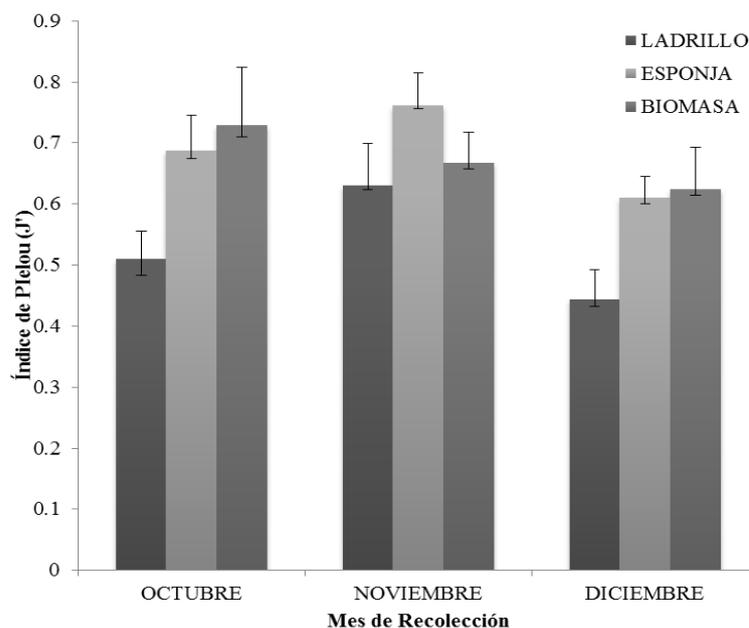


Figura 12. Gráfico comparativo del índice de equidad de Pielou (J') con los intervalos de confianza calculados para cada sustrato en el sitio AP durante los meses de recolección de muestras.

En el sitio de muestreo UG, se muestra que el índice de diversidad de Shannon-Wiener varió significativamente en cada mes para cada sustrato. Los valores más altos los obtuvo el sustrato esponja, teniendo el valor de diversidad más alto en noviembre (1.941, +0.035 -0.027) mientras que el valor de diversidad más bajo lo tuvo el sustrato biomasa en el mismo mes (0.509, +0.063 -0.059).

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

No hubo diferencias significativas en octubre para los sustratos ladrillo (0.520, +0.107 -0.099) y biomasa (0.656, +0.087 -0.079). Estos resultados se muestran en la Figura 13.

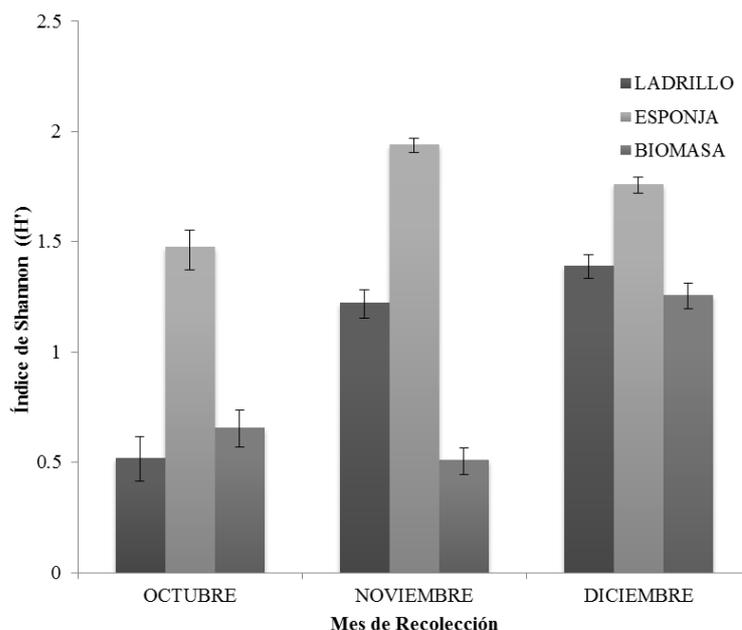


Figura 13. Gráfico comparativo del índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') con los intervalos de confianza calculados para cada sustrato en el sitio UG durante los meses de recolección de muestras.

La dominancia, determinada por el índice de Berger-Parker, en el sitio UG muestra que el valor más alto registrado lo obtuvo el sustrato ladrillo en octubre (0.890, +0.028 -0.028) y biomasa en noviembre (0.884, +0.018 -0.017). No se encontraron diferencias significativas entre los meses de noviembre (0.580, +0.025 -0.025) y diciembre (0.589, +0.022 -0.023) en el sustrato ladrillo. Por otro lado el valor más bajo registrado lo tuvo el sustrato esponja en noviembre (0.243, +0.018 -0.018). Esto se muestra en la Figura 14.

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

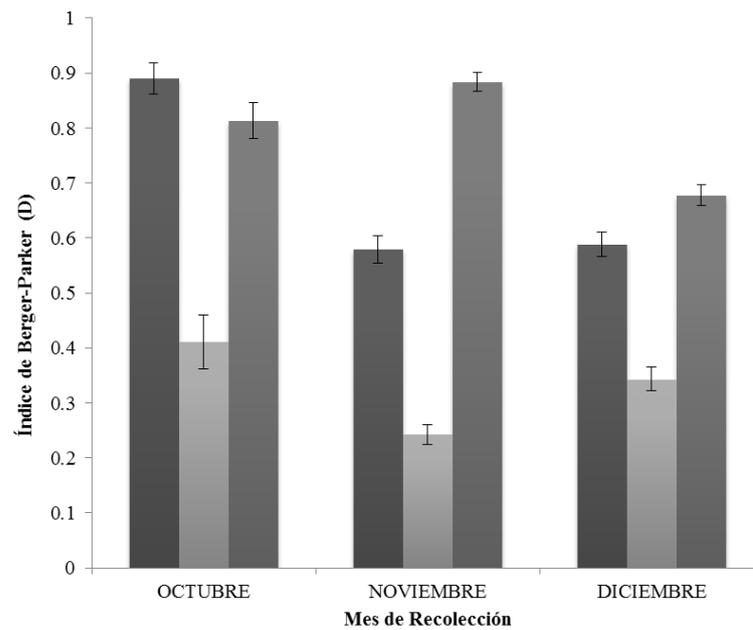


Figura 14. Gráfico comparativo del índice de dominancia de Berger-Parker (D') con los intervalos de confianza calculados para cada sustrato en el sitio UG durante los meses de recolección de muestras.

El índice de heterogeneidad de Pielou, en la Figura 15, muestra que el sustrato con mayor valor en todos los meses fue esponja teniendo el valor más alto registrado en noviembre (0.781, +0.012 -0.030), mientras que el valor más bajo lo obtuvo el sustrato biomasa en el mismo mes (0.245, +0.027 -0.042).

La heterogeneidad del sustrato ladrillo muestra una conducta creciente durante los meses de estudio (octubre = 0.250, 0.040 -0.061, noviembre = 0.423, +0.012 -0.042, diciembre = 0.542, +0.022 -0.024).

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

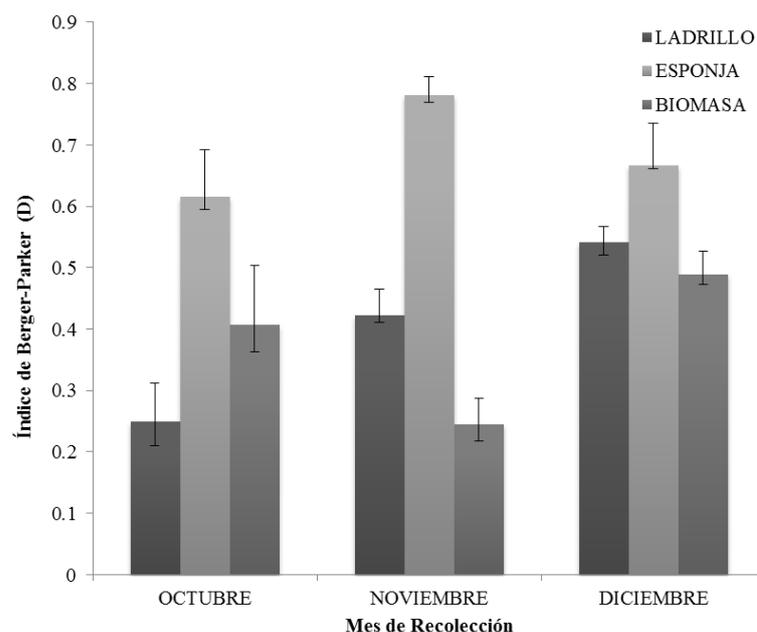


Figura 15. Gráfico comparativo del índice de equidad de Pielou (J') con los intervalos de confianza calculados para cada sustrato en el sitio UG durante los meses de recolección de muestras.

Análisis Multivariado

El gráfico de escalamiento multidimensional, como se muestra en la Figura 16, obtuvo un estrés de 0.142 e indica que la muestra menos similar entre todas las obtenidas en el estudio fue del sustrato ladrillo en el mes de octubre para el sitio AP, las muestras de los sustratos Ladrillo y Esponja en noviembre en el sitio AP muestran entre ellas similaridad de hasta el 50% pero diferentes del resto del grupo de muestras. Existen tres grupos claramente formados con 80% de similaridad entre ellos, un grupo está formado por el sustrato ladrillo en el mes de diciembre en el sitio AP y el mes de noviembre en el sitio UG, otro grupo está formado por los sustratos ladrillo y biomasa en el sitio UG en el mes de diciembre y el tercer grupo está formado por los sustratos ladrillo del mes de octubre en AP, biomasa del mes de octubre en el sitio AP y biomasa en el mes de noviembre en el sitio UG.

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

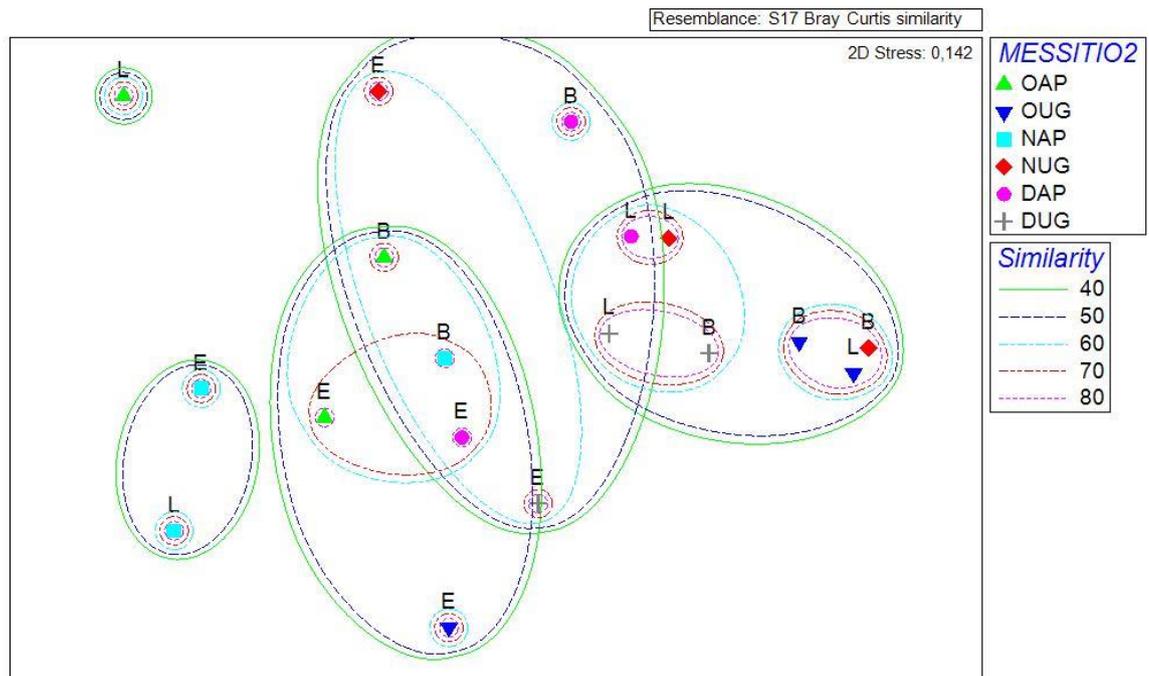


Figura 16. Gráfico de Escalamiento Multidimensional comparando la similitud entre cada una de las muestras recolectadas. L = ladrillo, E = esponja, B = Biomasa. Las elipses representan el valor de similitud entre las muestras.

El ANOSIM calculado muestra que no existen evidencias estadísticamente significativas para indicar que hay diferencias entre los meses de estudio (R global = -0.005, $p = 0.461$), sin embargo si hay evidencia estadística para poder determinar que existe diferencia de las muestras entre los sitios AP y UG (R global = 0.293, $p < 0.05$) y entre los sustratos (R global = 0.235, $p < 0.05$); los sustratos ladrillo y biomasa son significativamente diferentes ($R = 0.38$ $p < 0.05$) al igual que los sustratos esponja y biomasa ($R = 0.352$, $p < 0.05$) mientras que no existe evidencia para determinar que los sustratos esponja y biomasa son diferentes ($R = -0.002$, $p = 0.426$). Esto se muestra en la Tabla 4.

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

TABLA 4

ANOSIM calculado mediante el Índice de Bray-Curtis para los factores Mes, Sitio y Sustrato.

Factor	R	p
Mes	-0.005	0.461
Test de Pares		
O, N	-0.1	0.81
O, D	0.087	0.184
N, D	0.026	0.37
Sitio	0.293	0.008*
Sustrato	0.235	0.016*
Test de Pares		
L, E	0.38	0.013*
L, B	-0.002	0.426
E, B	0.352	0.017*

Nota. O = Octubre; N = Noviembre; D = Diciembre; L = Ladrillo; E = Esponja; B = Biomasa. El asterisco (*) señala los valores con $p < 0.05$.

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

Análisis de Resultados

Las especies que tuvieron mayor abundancia durante el estudio en ambos sitios fueron de la clase Oligochaeta y la especie *Pericoma sp.* los cuales son indicadores de contaminación según lo mencionan Cárdenas (2010) y Monserrat et al. (2011) y en general la estructura comunitaria confirma la alteración del Estero Salado por desechos industriales, hidrocarburos y metales pesados (Cárdenas, 2010; Fernández-Cadena, Andrade, Silva-Coello & De la Iglesia, 2014).

En el sitio AP, se muestra que tal como se esperaba, los taxones encontrados fueron aumentando gradualmente en cada sustrato teniendo 14 taxones registrados, mientras que la abundancia tuvo un comportamiento similar en el sustrato esponja de crecimiento progresivo (octubre = 1,927 individuos, noviembre = 4,336 individuos, diciembre = 5,174 individuos); sin embargo, en los sustratos ladrillo y esponja, se presentó el máximo de abundancia en el mes de noviembre y decreciendo en el mes de diciembre a un número cercano a la abundancia obtenida en el mes de octubre.

En el sitio UG, al igual que en el sitio AP, los sustratos esponja y biomasa tuvieron un crecimiento progresivo en el número de taxones, no así el sustrato ladrillo que obtuvo mayor número taxones en el mes de noviembre (18 taxones, siendo el número más alto encontrado en todo el estudio), y tuvo un decrecimiento

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

en el mes de diciembre, aun así registrando la misma cantidad de taxones que el sustrato biomasa. Respecto a la abundancia, en los sustratos ladrillo y biomasa aumentaron progresivamente, por el contrario, el sustrato esponja manifestó una disminución de la abundancia comparada entre noviembre y diciembre.

Se calcularon índices que demuestren tres características de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos: la diversidad como un número (Índice de Shannon-Wiener), la dominancia (Índice de Berger-Parker) y la heterogeneidad de la comunidad (Índice de Pielou).

Después de calcular los índices de diversidad, se pudo encontrar que los comportamientos fueron diferentes, habiendo variación tanto entre sitios como entre sustratos y entre meses de estudio. El índice de diversidad de Shannon-Wiener nos muestra que en ambos sitios (AP y UG) la diversidad fue más alta en el sustrato de tipo esponja, estas diferencias se ven más marcadas en sitio UG, mientras que en el sitio AP, el índice sólo muestra diferencias significativas en el mes de noviembre, no así en el mes de octubre y diciembre.

El índice de Berger-Parker, por el contrario, presentó los valores más bajos con el sustrato esponja. Estos valores se ven más representativos en el sitio UG. Por otro lado, el valor del índice de Berger-Parker es más elevado para el sustrato ladrillo en el sitio AP y para el sustrato biomasa para el sitio UG.

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

Finalmente, el índice de Pielou, nos muestra que la heterogeneidad de la comunidad fue más alta en el sustrato esponja para el sitio UG, mientras que para el mismo sitio no se encuentran diferencias significativas entre los sustratos biomasa y ladrillo. Por otro lado en el sitio AP, no hubo diferencias significativamente relevantes, aunque el sustrato esponja y biomasa tuvieron los valores más altos de heterogeneidad.

Las diferencias entre los índices de Shannon-Wiener, Berger-Parker y Pielou nos muestran que la estructura comunitaria se ve afectada por la naturaleza del sustrato, el cual puede incidir en la colonización inicial y la composición de organismos que se encuentren en los sustratos, evidencias similares obtuvieron Anderson y Underwood (1994).

El ANOSIM mostró que no existió diferencia significativa de los sustratos desde el comienzo del estudio, al contrario de lo descrito por Anderson y Underwood (1994) quienes hallaron que las diferencias se hacían significativas después del mes de estudio. Por otro lado se mostró que tanto el sustrato ladrillo como sustrato biomasa no tienen diferencias estadísticamente significativas, de hecho son bastante similares entre sí, mientras que el sustrato esponja es diferente a ambos.

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

Conclusiones

Teniendo en cuenta los análisis de diversidad y los análisis multivariados analizados muestran que, a pesar de que el sustrato ladrillo tuvo mayor cantidad de taxones encontrados (19 taxones en el sitio AP y 22 taxones en el sitio UG), el sustrato más eficiente con mayor índice de diversidad, menor dominancia y mayor heterogeneidad fue el sustrato esponja, por lo que se puede concluir que este sustrato es el más eficiente para la colonización de macroinvertebrados bentónicos.

Se recomienda para futuras investigaciones, estandarizar el muestreo y sub-muestreo de los sustratos, ya que así se puede reducir los sesgos al momento de realizar los análisis estadísticos. Las medidas utilizadas de los sustratos en esta investigación fueron muy grandes por lo que se tuvo, por falta de tiempo, que sub-muestrear, y esto contribuyó a la existencia de sesgos, se recomienda disminuir la cantidad de muestra pero realizar réplicas para el análisis.

El uso de los sustratos escogidos se dio por criterio de los autores, sin embargo, se recomienda probar con otros tipos de sustratos y comparar entre ellos y con la investigación del presente documento para así poder incrementar la información de Estero Salado.

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

Referencias Bibliográficas

- Agencia Vasca del Agua. (2008). *Establecimiento de Objetivos de Calidad Relativos a Macroinvertebrados Bentónicos en los Ríos de la Comunidad Autónoma del País Vasco*. País Vasco, España. Recuperado de http://www.uragentzia.euskadi.net/u81-0003/es/contenidos/informe_estudio/macroinver_bentonicos_rios_cav/Es_doc/indice.html
- Beck, M., Brumbaugh, R., Airoidi, L., Carranza, A., Coen, L., Crawfords, C., ... Guo, X. (2011). Oyster reefs at risk and recommendations for conservation, restoration, and management [Arrecifes de ostras en riesgo y recomendaciones para su conservación, restauración y manejo]. *BioScience*, 61, 107-116. doi: 10.1525/bio.2011.61.2.5
- Borcherding, J., & Sturm, W. (2002). The seasonal succession of macroinvertebrates, in particular the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*), in the River Rhine and Two Neighbouring Gravel-Pit Lakes Monitored Using Artificial Substrates [La sucesión estacionaria de macroinvertebrados, particularmente del mejillón zebra (*Dreissena polymorpha*) en el río Rin y dos lagos arenosos colindantes monitoreados usando sustratos artificiales]. *International Review of Hydrobiology*, 87, 165–181. doi: 10.1002/1522-2632(200205)87:2/3<165::AIDIROH165>3.0.CO;2-R.

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

Bouchet, P. (2013a). Amnicolidae. World Register of Marine Species [Registro Mundial de Especies Marinas]. tomado de <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=570702>

Bouchet, P. (2013b). Ellobiidae. World Register of Marine Species [Registro Mundial de Especies Marinas]. tomado de <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=198> on 2014-03-0

Bouchet, P. (2014). Thiaridae. World Register of Marine Species [Registro Mundial de Especies Marinas]. tomado de <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=196287>

Brusca, R. (1973). *A Handbook to the common intertidal invertebrates of the Gulf of California* [Un manual de los invertebrados intermareales comunes en el Golfo de California]. Arizona, Estados Unidos: Universidad de Arizona.

Cárdenas, M. (2010). *Efecto de la contaminación hidrocarburífera sobre la estructura comunitaria de macroinvertebrados bentónicos presentes en el sedimento del Estero Salado*. (Tesis de Maestría). Universidad de Guayaquil, Ecuador. Recuperado de: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/755/1/Efecto%20de%20la%20contaminaci%C3%B3n%20hidrocarbur%C3%ADferasobre%20la%20estructura%20comunitaria%20Estero%20salado.pdf>

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

Chariton, A., Mahe, W. & Roach, A. (2011). Recolonisation of translocated metal-contaminated sediments by estuarine macrobenthic assemblages [Recolonización]. *Ecotoxicology*, 20, 706–718. doi: 10.1007/s10646-011-0612-6

Anderson, M., & Underwood, A. (1994). Effects of substratum on the recruitment and development of an intertidal estuarine fouling assemblage [Efectos del sustrato en el reclutamiento y desarrollo del montaje materiales de desechos estuarinos intermareales]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 184(2), 217-236. doi: 10.1016/0022-0981(94)90006-X

Comisión Asesora Ambiental. (1996). *Desarrollo y Problemática Ambiental del Área del Golfo de Guayaquil*. Guayaquil, Ecuador. Recuperado de http://books.google.com.ec/books/about/Desarrollo_y_problem%C3%A1tica_ambiental_del.html?id=fQJjAAAAMAAJ&redir_esc=y

Cruz, R., & Jiménez, A. (1994). *Moluscos asociados a las áreas de manglar de la costa Pacífico de América Central*. Panamá, Panamá: Editorial Fundación UNA.

Darrigan, G., Vilches, A., Legarralde, T. & Damborenea, C. (2007). *Guía para el estudio de macroinvertebrados I.- Métodos de colecta y técnicas de*

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

fijación. La Plata, Argentina. Recuperado de:

http://www.museo.fcnym.unlp.edu.ar/uploads/docs/divulgacion_4.pdf

De Pauw, N. (2007). *Biological monitoring and assessment of surface water quality* [Monitoreo biológico y valoración de la calidad del agua superficial]. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Dickson, K., & Cairns, J. (1972). The relationship of freshwater macroinvertebrate communities collected by floating artificial substrates to the Mac Arthur-Wilson equilibrium model [La relación de comunidades de macroinvertebrados de agua dulce recolectados aplicando sustratos al modelo de Equilibrio de Mac Arthu-Wilson]. *American Midland Naturalist*, 88(1), 68-75. Recuperado de <http://www.jstor.org/discover/10.2307/2424488?uid=3737912&uid=2134&uid=380545303&uid=380545293&uid=2&uid=70&uid=3&uid=60&sid=21102057333993>

Diepens, N., Arts, G., Brock, T., Smith, H., Van Den, P., Heuvel-Greve, M & Koelmans, A. (2014). Sediment Toxicity Testing of Organic Chemicals in the Context of Prospective Risk Assessment: A Review [Pruebas de toxicidad de químicos orgánicos en sedimentos en el contexto de una prospectiva de valoración de riesgo]. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 44 (3): 255-302, DOI: 10.1080/01496395.2012.718945

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

Edwards, A., & Gomez, E. (2007). *Reef Restoration Concepts and Guidelines: making sensible management choices in the face of uncertainty*. [Guía y Conceptos para la restauración de arrecifes: haciendo elecciones de manejo sensible en vista de la incertidumbre]. Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management Programme. Recuperado de <http://www.gefcoral.org/LinkClick.aspx?fileticket=QVfj5ndPov0%3D&tabid=3260>

Edward, J., & Ugwumba, A. (2011). Macroinvertebrate fauna of a tropical southern reservoir, Ekiti State, Nigeria. [Fauna macroinvertebrada en un reservorio sureño tropical, Esado Ekiti, Nigeria]. *Continental J. Biological Sciences*, 4 (1): 30 – 40. Recuperado de: http://www.wiloludjournal.com%2Fojs%2Findex.php%2FcjBiosci%2Farticle%2Fdownload%2F387%2F206&ei=b74nU9G3J5K60AH_-YGYBA&usg=AFQjCNEholtL12iJs8C4qQFjxyVk7dG32g&bvm=bv.62922401,d.dmQ&cad=rja

Estrella, T. (2000). *Uso del recurso agua y manglares en el Estero de Puerto Hondo, provincia del Guayas, Ecuador*. (Tesis de Maestría). Universidad de Guayaquil, Ecuador.

Fernández-Cadena, J., Andrade, S., Silva-Coello, C. & De la Iglesia, R. (2014). Heavy metal concentration in mangrove surface sediments from the north-west coast of South America [Concentración de metales pasados en los

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

sedimentos de la superficie de manglares ubicados en la costa noroeste de Sudamérica]. *Marine Pollution Bulletin*, 82 (1-2), 221-226. doi: 10.1016/j.marpolbul.2014.03.016

Gabaev, D., Taupek, N. & Kolotukhina, N. (2004). Specificity of life conditions for commercial invertebrates on artificial substrates in the eutrophicated Amur bay, the sea of Japan [Especificidad de las condiciones de vida de invertebrados comerciales en sustratos artificiales encontrados en la bahía eutrofizada de Amur, en el mar de Japón]. *Russian Journal of Ecology*, 36 (5), 336-342. doi: 10.1007/s11184-005-0081-3

Goreau, T., García, G., García, M., Ibarra, R., Gómez, S., & Basurto, D. (2001). Artificial reef project of the western Isla Mujeres, Cancun Point, and Nizuc Point National Marine Park: Preliminary Results [Resultados preeliminares del proyecto arrecife artificial en la oriental Isla Mujeres, Punta Cancún y Parque Nacional Marino Punta Nizuc]. *Global Coral Reef Alliance*. Recuperado de <http://www.globalcoral.org/Artificial%20Reef%20Project%20of%20The%20Western%20Isla%20Mujeres.htm>

Hansen, W., Stenalt, E., Petersen, J. & Ellegaard, E. (2002). Invertebrate recolonisation in Mariager Fjord (Denmark) after severe hypoxia. [Recolonización de invertebrados en Mariager Fjor (Dinamarca) después de una hipoxia severa]. *Zooplankton and settlement, Ophelia*, 56 (3): 197-213, DOI: 10.1080/00785236.2002.10409499

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

Hidroestudios. (2003). *Plan integral de recuperación para el Estero Salado. Fase*

I Guayaquil. Estudios de Impacto Ambiental de los desvíos temporales de los tramos A y B del Estero Salado. Guayaquil, Ecuador: Autor.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2010). Censo de Población y

Vivienda 2010. Recuperado de http://www.inec.gob.ec/cpv/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=49&lang=es

Jorgensen, D. (2009). An oasis in a watery desert? Discourses on an industrial

ecosystem in the Gulf of Mexico. Rigs to Reefs program [Un oasis en un desierto aguado? Discursos sobre un ecosistema industrial en el Golfo de México]. *History and Technology: An International Journal*, 25(4): 343-364, doi: 10.1080/07341510903313030

Keen, M. (1971). *Sea shells of tropical west America: Marina mollusks from Baja*

Californnia to Perú [Conchas marinas de América tropical del oeste: moluscos marinos desde Baja California hasta Perú]. (2da ed.). Standford, Estados Unidos: Standford University Press.

Khalaf, G., & Tachet, H. (1977). La dynamique de colonisation des sustrats

artificiels par les macroinvertébrés d'un cour d'eau [La dinámica de la colonización de sustratos artificiales por macroinvertébrados en un canal de agua]. *Annl. Limnol.*, 13(2), 169-190. Recuperado de <http://journals.cambridge.org/download>

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

.php?file=%2FANL%2FANL13_02%2FS000340887700003Xa.pdf&code
=39d1274236a54c6d3395fd739ff44a29

Lu, L., & Wu, R. (2006). A field experimental study on recolonization and succession of macrobenthic infauna in defaunated sediment contaminated with petroleum hydrocarbons [Estudio experimental de campo de la recolonización y sucesión de la fauna macrobentónica en sedimentos defaunados contaminados por hidrocarburos de petróleo]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 68, 627-637. doi: 10.1016/j.ecss.2006.03.011

Lu, L., & Wu, R. (2007). A field experimental study on recolonization and succession of subtidal macrobenthic community in sediment contaminated with industrial wastes [Estudio experimental de campo de la recolonización y sucesión de la comunidad macrobentónica submareal en sedimentos contaminados con desechos industriales]. *Marine Pollution Bulletin*, 54, 195-205. doi: 10.1016/j.marpolbul.2006.10.004

Mair, J., Mora, E., & Cruz, M. (2002). *Manual de campo de los invertebrados bentónicos: Moluscos, crustáceos y equinodermos de la zona litoral ecuatoriana*. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil – Universidad Heriot Watt.

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

Ministerio del Ambiente. (2012). Listado de industrias con descargas en el Estero Salado. Recuperado de <http://www.ambiente.gob.ec/listado-de-industrias-con-descargas-al-estero-salado/>

Monserate, L., Medina, J., & Calle, P. (2011). Estudio de condiciones físicas, químicas y biológicas en la zona intermareal de dos sectores del Estero Salado con diferente desarrollo urbano. (Tesis de Grado). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil.

Muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil. (2007). Plan de monitoreo ambiental del plan de manejo de la Reserva de Producción Faunística Manglares el Salado Tomo II-Fase II. Guayaquil, Ecuador: Autor.

Paula, J., Silva, I., Francisco, S. & Flores, A. (2006). The use of artificial benthic collectors for assessment of spatial patterns of settlement of megalopae of *Carcinus maenas* (L.) (Brachyura: Portunidae) in the lower Mira Estuary, Portugal [El uso de colectores bentónicos artificiales para la valoración de patrones espaciales de asentamientos de Megalopae *Carcinus maenas* (L.) (Brachyura: Portunidae) en el estuario bajo del Mira, Portugal]. *Developments in Hydrobiology*, 184, 69-77. doi: 10.1007/1-4020-4756-8_9

Quan, W., Zheng, L., Li, B. & An, C. (2012). Habitat values for artificial oyster (*Crassostrea ariakensis*) reefs compared with natural shallow-water

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

habitats in Changjiang River estuary [Valores de hábitat para el arrecife de ostras artificial (*Crassostrea ariakensis*) comparado con hábitats de aguas naturales poco profundas en el estuario del río Changjiang]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 31 (5), 957-969. doi: 10.1007/s00343-013-2319-4

Ramirez, A. (2005). *Ecología Aplicada. Diseño y Análisis Estadístico*. Bogotá, Colombia: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

Rodríguez, E. (2005). *Metodología de la Investigación*. Tabasco, México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Recuperado de <http://books.google.com.ec/books?id=r4yrEW9Jhe0C&pg=PA83&dq=metodolog%C3%ADa+de+la+investigaci%C3%B3n+determinacion+de+muestra&hl=en&sa=X&ei=q5p1U6CZFZaLqAagxoGwAQ&ved=0CCoQ6wEwAA#v=onepage&q=metodolog%C3%ADa%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%20determinacion%20de%20muestra&f=false>

Stolk, P., Markwell, K. & Jenkins, J. (2007) Artificial reefs as recreational scuba diving resources: A critical review of research [Arrecifes artificiales como recursos para buceo recreativo: Una revisión crítica de la investigación]. *Journal of Sustainable Tourism*, 15 (4), 331-350. doi: 10.2167/jost651.0

Twilley, R., Cárdenas, W., Riverra-Monro, V., Espinoza, J., Suescum, R., Armijos, M. & Solórzano, L. (2001). The Gulf of Guayaquil and the

ANÁLISIS DE LA COLONIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN SUSTRATOS ARTIFICIALES APLICADOS EN EL ESTERO SALADO

Guayas River Estuary, Ecuador [El Golfo de Guayaquil y el estuario del río Guayas]. *Ecological Studies*, 144, 245-263. doi: 10.1007/978-3-662-04482-7_18

Universidad de Guayaquil. (2008). *Evaluación del nivel de contaminación del manglar y aguas del Estero Salado circundante a la Estación de Transferencia Tres Bocas de Petrocomercial Sur con miras a establecer un plan de manejo ambiental y de mitigación*. Guayaquil, Ecuador: Facultad de Ingeniería Química, Departamento de Petróleo y Petroquímica.