

Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura
Departamento de Estudios de Postgrado
Maestría en Ciencias Marinas y Costeras



Relación de la alcalinidad y pH con la Comunidad de Fitoplancton
en el Humedal Las Lisas – La Barrona, Guatemala

Rebeca Magali Martínez Dubón

Guatemala, junio de 2020



Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura
Departamento de Estudios de Postgrado
Maestría en Ciencias Marinas y Costeras

Relación de la alcalinidad y pH con la Comunidad de Fitoplancton en el
Humedal Las Lisas – La Barrona, Guatemala

Rebeca Magali Martínez Dubón

Guatemala, junio de 2020

Consejo Directivo

Presidente	Dra. Juana Lorena Boix Morán
Secretario	Dr. Pedro Julio García Chacón
Representante Docente	M. Sc. Erick Roderico Villagrán Colón
Representante del Colegio de Médicos	
Veterinarios y Zootecnistas	Licda. Liliana Maricruz Maldonado Noriega
Representante Estudiantil	Karol Rubí Rivas Díaz
Representante Estudiantil	Alejandra Raquel Contreras Perdomo

Consejo Académico de Postgrado

Presidente	Dra. Juana Lorena Boix Morán Directora CEMA
Secretaria	M.Sc. Irene Franco Arenales Directora de Departamento de Postgrado
Coordinador Maestría Ciencias Marinas y Costeras	M.Sc. Erick Roderico Villagrán Colón Coordinador de Programa
Instituto de Investigaciones Hidrobiológicas -IIH-	Dr. Pedro Julio García Chacón Coordinador -IIH-

Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura
Departamento de Estudios de Postgrado
Maestría en Ciencias Marinas y Costeras

Relación de la alcalinidad y pH con la Comunidad de Fitoplancton en el
Humedal Las Lisas – La Barrona, Guatemala

Presentada al Consejo Académico de CEMA, Departamento de Estudios de
Postgrado en cumplimiento con los requisitos establecidos por el Sistema de
Estudios de Postgrado -SEP- y el Centro de Estudios del Mar, Universidad de
San Carlos de Guatemala

Por:

Rebeca Magali Martínez Dubón

Como requisito para optar al grado académico de Maestra en Ciencias

Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura
Departamento de Estudios de Postgrado

Trabajo presentado por:



Rebeca Magali Martínez Dubón



Dr. Pedro Julio García Chacón
Asesor



M.Sc. Irene Franco Arenales
Directora del Departamento de Estudios de Postgrado



IMPRIMASE



Dra. Juana Lorena Boix Morán
DIRECTORA



Agradecimientos

A la tricentenaria Universidad de San Carlos de Guatemala y al Centro de Estudios del Mar y Acuicultura por ser mi casa de estudios y darme la oportunidad de acceder a la educación superior, aquí he aprendido a ser un agente de cambio en el ámbito de las ciencias marinas y costeras y donde me he sentido alentada a buscar la excelencia siempre.

Al Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y al proyecto “Conservación y Uso Sostenible de la Biodiversidad en Áreas Protegidas Marino Costeras” por el apoyo económico brindado mediante el financiamiento de mi maestría.

A mi asesor Doctor Pedro Julio García, por su apoyo, consejos y acompañamiento a lo largo del desarrollo del trabajo de investigación.

A mi querida comunidad de Las Lisas, un lugar hermoso con gente linda y muy cálida.

A mis amigos los pescadores, en especial a Fidel y su familia por su hospitalidad y apoyo incondicional.

Dedicatoria

A Dios, es solamente por ti que he logrado todo en esta vida, eres tú quien me da inspiración y fortaleza para seguir. Eres tú quien me alienta a subir un peldaño más en la vida académica.

A mi Familia Martínez Dubón, por su apoyo incondicional y constante ejemplo de perseverancia. Sin sus consejos y porras no lo habría alcanzado. Los amo con todo mi corazón.

A mi esposo, desde los trece has sido mi amigo, luego mi novio y finalmente mi esposo. Amor sin tu comprensión, apoyo, amor y el “tu puedes linda” me hubiera rendido pronto.

A mi preciosa Sofia, gracias por tu comprensión cuando Mami tenía que estudiar en vez de jugar.

A José, los muestreos hubieran sido largos y muy pesados si vos no me hubieras acompañado en el viaje. Que vivan las pupusas que nos mantuvieron vivos. Te quiero amigo.

Resumen

El humedal Las Lisas – La Barrona se encuentra en la jurisdicción costera del municipio de Chiquimulilla, departamento de Santa Rosa. Se constituye como un tramo de la región sur de Guatemala, enclavado entre bosques de manglar y formaciones estuarinas. Está delineado naturalmente por los espacios fluviales que conforman parte de las desembocaduras de los ríos en una porción del estuario denominado Canal de Chiquimulilla donde se encuentran la bocabarra El Jiote y bocabarra Barrona, que drenan al Océano Pacífico.

En él se encuentra diversidad de organismos, entre los cuales está el fitoplancton. Estos organismos forman comunidades, las cuales fueron los grupos focales de la investigación. Esta comunidad tiene gran presencia en el Canal con una composición específica, abundancia y distribución amplia, formando un ensamble de variedad de especies. A su vez tienen relación con los parámetros fisicoquímicos del agua, principalmente con la alcalinidad y el pH, dos especies del ciclo del carbono que interesan, para establecer su relación con la comunidad anteriormente mencionada.

Se muestreó en un período de 8 meses, de enero a agosto 2017, en 5 puntos de muestreo a lo largo de toda el área del humedal. Los puntos de muestreo fueron agrupados por sus características físicas y químicas en 5 áreas, Barra El Jiote, Barra Barrona, el Jiote, Río Viejo y Ahumado Garón. En cada punto de muestreo se tomaron muestras de agua para analizar alcalinidad y el pH *in situ* a través de una sonda multiparamétrica, muestras de organismos (fitoplancton) para establecer la diversidad, abundancia y composición.

Para el análisis de las muestras se utilizó correspondencia canónica (ACC), componentes principales (ACP), clúster de Bray – Curtis, escalamiento no métrico multidimensional (NMDS), índices de diversidad, y correlación. Con el propósito de establecer similitudes entre la comunidad y la relación con la alcalinidad y el pH. Los análisis mostraron que sí existe relación directa entre la presencia, abundancia y composición de las comunidades de fitoplancton; a su vez, estas comunidades se encuentran en los lugares en donde la alcalinidad tiene valores mayores a los 100 mg/L y el pH promedio es de 8.2. Por lo que la relación entre los parámetros y las comunidades es directa.

Palabras clave: manglar, parámetros fisicoquímicos, composición, presencia, ensamble.

Abstract

Las Lisas – La Barrona wetland is in Chiquimulilla, Santa Rosa department, in the Pacific Coast. It is a section of the south region of Guatemala, in between mangroves and the estuary known as Chiquimulilla Canal and is then divided in two outlets El Jiote and Barrona, that drain the waters into the Pacific Ocean.

The place is rich in organism's diversity, among which we can find the mollusks and phytoplankton, organisms that tend to form communities, the two were the focus of the research.

These communities have similar feeding habits and presence in the estuary. At the same time their behavior is related to certain parameters in the water, mainly alkalinity and pH, two carbonate species of the carbon cycle, parameters of most importance, to establish the relationship between the communities and these parameters.

The sampling took place in a period of eight months, having one sampling per month, 15 sampling points were established along the wetland area. All those points were grouped by physical and chemical characteristics into 5 areas, El Jiote outlet, Barrona outlet, el Jiote, Rio Viejo and Ahumado Garon. Water samples were taken to analyze alkalinity, using a multiparametric electrode pH levels were measured and samples of organisms to establish diversity, abundance and composition.

All the samples from the parameters and the communities were analyzed by a canonic correspondence analysis, Bray Curtis similarity clusters, diversity indexes and correlation. With the purpose of finding a relationship between alkalinity and pH with the communities.

The analysis showed that there is affinity with the presence, abundance and composition between the phytoplankton and mollusks communities, and both are located in the places with high values of alkalinity (higher than 100 mg/L) and pH (8.2), reinforcing the direct relationship that exists.

Keywords: mangroves, physicochemical parameters, composition, presence, ensemble.

Índice de contenido

1. Introducción	1
2. Marco teórico y estado del arte	3
2.1 Marco teórico	3
2.1.1 Anhídrido carbónico (dióxido de carbono) y alcalinidad	3
2.1.2 Acidificación	4
2.1.3 Estuarios	7
2.1.4 Productividad de los estuarios	7
2.1.5 Biota estuarina	7
2.1.6 Plancton	8
2.1.7 Fitoplancton	9
2.1.8 Humedal Las Lisas – La Barrona	12
2.1.9 Beneficios de los humedales	12
2.1.10 Riesgos y amenazas de los humedales de Guatemala	12
2.2 Estado del arte	13
3. Objetivos	14
4. Materiales y métodos	15
4.1 Área de estudio	15
4.2 Tipo de investigación	15
4.3 Sitios de muestreo	15
4.4 Variables físicas y químicas	17
4.5 Muestras	18
4.6 Análisis de la información	18
5. Resultados y discusión de resultados	20
5.1 Ciclo del carbono y parámetros fisicoquímicos	20
5.2 Comunidad de fitoplancton	22
5.2.1 Composición, distribución y abundancia de fitoplancton	22
6. Conclusiones	31
7. Recomendaciones	32
8. Referencias bibliográficas	33

Índice de figuras

Figura 1.	Reacción química del ácido carbónico	3
Figura 2.	Constantes de equilibrio para la producción de carbonato de calcio	4
Figura 3.	Sitios de muestreo en el humedal Las Lisas – La Barrona	16
Figura 4.	Especies con mayor abundancia en el humedal Las Lisas – La Barrona	23
Figura 5.	Similaridad de Bray-Curtis de los parámetros fisicoquímicos del agua por sitio	25
Figura 6.	Abundancia de fitoplancton en el humedal Las Lisas-La Barrona	26
Figura 7.	Análisis de Componentes Principales (ACP) en el humedal Las Lisas – La Barrona	28
Figura 8.	Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) en el humedal Las Lisas-La Barrona	29
Figura 9.	Análisis de Escalamiento No Métrico Multidimensional (NMDS por sus siglas en inglés) en el humedal Las Lisas-La Barrona	30

Índice de tablas

Tabla 1.	Siglas y Coordenadas de 5 puntos de muestreo en el humedal Las Lisas-La Barrona	16
Tabla 2.	Siglas por mes de 5 puntos de muestreo en el humedal Las Lisas- La Barrona	17
Tabla 3.	VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS EVALUADAS	17
Tabla 4.	Valor de omega aragonita en base a pH, alcalinidad, temperatura y salinidad	21
Tabla 5.	Especies presentes en el humedal Las Lisas-La Barrona	23
Tabla 6	Promedio (desvest) de los índices de diversidad para fitoplancton de los sitios de muestreo en el humedal Las Lisas - La Barrona	24

1. Introducción

El dióxido de carbono es un compuesto que se comporta de forma cíclica y tiene una influencia bidireccional en la fotosíntesis y respiración de organismos. Es el regulador del sistema ácido – base en áreas estuarinas y marítimas. Por medio del sistema geoquímico, éste regula las interacciones suelo – columna de agua – atmósfera. Como regulador, al aumentar o disminuir la carga de CO₂ también aumenta o disminuye la acidez (producción de carbono inorgánico) o alcalinidad (producción de carbonato de calcio o aragonita) en el medio, lo que se conoce como horizonte de omega aragonita (Barton, Waldbusser, Feely, Weisberg, Newton, Hales, Cudd, Eudeline, Langdon, Jefferds, King, Suhrbier, & McLaughlin, 2015; Lozano, 1978).

Sin embargo, una serie de factores influyen en el mecanismo regulador, como la presión, el pH, la salinidad y la temperatura, lo que favorece la etapa de resiliencia del dióxido de carbono, en forma de ácido carbónico (H₂CO₃). Este compuesto es altamente ácido cuando aumenta su concentración, por lo que se manifiesta alterando el pH y alcalinidad. Esto provoca perturbaciones en la producción de biomoléculas, como la aragonita o calcita, y fluctuaciones en la solubilidad y estabilidad de los nutrientes (Duppont, & Pottner, 2013; Zeebe, Zachos, Caldeira, & Tyrrell, 2008).

Existen organismos que viven en zonas marino-costeras que dependen del nivel alcalino del mar y de la interacción del ciclo del carbono, como el fitoplancton. El fitoplancton toma el carbono y lo incorpora a su estructura para desarrollo y crecimiento. Cuando se da un incremento de CO₂ en la atmósfera, agua o suelo, decrece la producción de carbonato de calcio provocando crecimiento del fitoplancton (Zeebe, Zachos, Caldeira & Tyrrell, 2008).

A partir del año 1996, el monitoreo de la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en el ambiente, sobre todo en el mar y zonas marino-costeras, ha ganado relevancia, debido al impacto en las comunidades. A nivel mundial se monitorea la magnitud y efectos del CO₂, según la “Declaración sobre la acidificación oceánica del Panel Inter-Académico de asuntos internacionales”, como de interés a escala mundial por el impacto en los ecosistemas marinos

(Declaración sobre la Acidificación Oceánica del Panel Inter-Académico de Asuntos Internacionales, 2009).

Una de las zonas marino costeras importantes del país es el humedal Las Lisas-La Barrona, ubicado en el Departamento de Santa Rosa, en el litoral Pacífico del país. Dentro de este humedal se encuentra un sistema estuarino que presenta actividad biogeoquímica dinámica, mezclas fuertes en los procesos marinos y alteraciones antrópicas diversas, que aportan una carga de dióxido de carbono (Boix, Rinze, García, Montiel, & Ortíz, 2011).

Ya que la influencia del mar es bastante fuerte en el humedal Las Lisas-La Barrona es primordial monitorear los niveles de pH y alcalinidad. Pero ¿Por qué estos dos parámetros? ¿En que yace la importancia de monitorearlos? Ambos son la expresión del dióxido de carbono, que utilizan los organismos como carbonato de calcio, para la sobrevivencia, de estos dos parámetros depende que calcita y aragonita estén presentes en el medio (Feely, 2008).

Se pretende con esta investigación conocer el estado de las comunidades de fitoplancton, monitorear la dinámica del CO₂ anual por medio de la alcalinidad y pH como indicadores, fortalecer investigaciones futuras con la construcción de una base de datos del sistema.

2. Marco teórico y estado del arte

2.1 Marco teórico

2.1.1 Anhídrido carbónico (dióxido de carbono) y alcalinidad

Dentro de los gases altamente solubles en el agua se encuentran el anhídrido carbónico en forma de ácido carbónico (Figura 1) y el oxígeno. Para entender el comportamiento del anhídrido carbónico es primordial entender la física de los gases y la solubilidad de estos en el agua. Este comportamiento depende de las características inherentes del gas, el que se modifica por la presión, temperatura y salinidad.

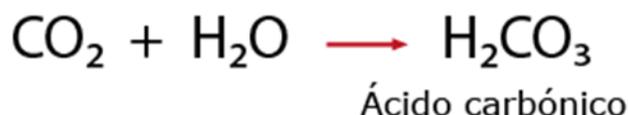


Figura 1. Reacción química del ácido carbónico (Adaptado de: Duppont, & Pottner, 2015)

Esta solubilidad se analiza por medio de constantes de equilibrio. A temperatura constante, la cantidad de gas absorbido por un volumen dado del líquido es proporcional a la presión parcial que el gas ejerce sobre el líquido, lo cual se expresa en la siguiente fórmula: $C=k \times P$

(Donde: C es la concentración del gas; k es la constante de solubilidad (ley de Henry) y P es la presión parcial que ejerce el gas).

En el caso del anhídrido carbónico, éste se presenta en pequeñas cantidades en la atmósfera terrestre, en intervalos que varían de 0.027 a 0.044%. Pero en la mayoría de los cálculos se utiliza el valor medio 0.033%. A pesar de que este gas representa una proporción pequeña en la atmósfera, en las aguas es abundante ya que tiene un elevado coeficiente de solubilidad, a diferencia del nitrógeno y el oxígeno, que son los gases más abundantes en la atmósfera (Cifuentes, Torres – García, & Frías, 1997) (Figura 2).

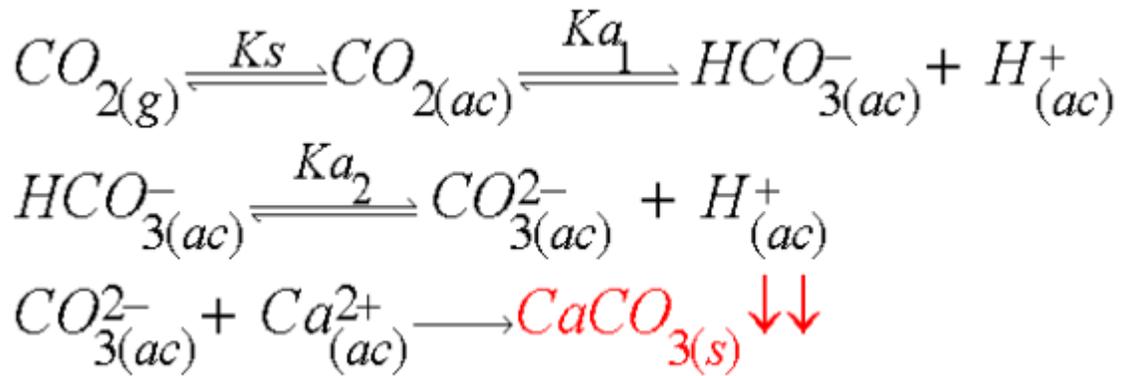


Figura 2. Constantes de equilibrio para la producción de carbonato de calcio
(Adaptado de: Duppont, & Pottner, 2015)

Menos del 1% del CO₂ disuelto en el agua forma ácido carbónico y éste se disocia intensamente. El resultado de esta disociación es el bicarbonato, éste a su vez se disocia para dar como resultado el carbonato. Por la relación de constantes de equilibrio, aguas que contienen altas cantidades de CO₂ tienen una cantidad casi nula de carbonatos, fenómeno que se hace notorio en el escenario de acidificación que se conoce como el incremento en emisiones de CO₂ en la atmósfera (Cifuentes, Torres – García, & Frías, 1997).

2.1.2 Acidificación

La acidez promedio global del océano se ha incrementado en un 30% (equivalente a un descenso en pH de 8.2 a 8.1) desde el inicio de la revolución industrial. Se espera tenga un incremento de 300% (equivalente a un descenso en pH de 7.8) para el final de este siglo, si las emisiones de CO₂ atmosférico continúan en las tasas actuales. La absorción de CO₂ por medio de los océanos contribuye a la mitigación del calentamiento global reduciendo el incremento de CO₂ atmosférico, con el siguiente costo: cuando el CO₂ se disuelve en el agua de mar, una serie de perturbaciones bien entendidas ocurren en el ciclo de carbonos del océano, resultando en un incremento de la acidez del océano (descenso del pH) (Duppont, & Pottner, 2015)

Acidificación es un término químico utilizado para describir esos cambios. Se ha anticipado que estos cambios químicos tendrán consecuencias dramáticas, incluyendo una potencial extinción para especies marinas clave. Estos cambios químicos son exacerbados cuando se

combinan con otros estresores como el incremento en temperatura o hipoxia. Los organismos que producen conchas o esqueleto de carbonato han sido el centro de investigación científica, ya que la calcificación, sobrevivencia y capacidad de producir la concha dependen de la química del agua marina (Barton, et al., 2012).

Las implicaciones de la acidificación aún son pobres o débiles en cuestión de descripción. Hasta ahora se sabe que, aunque el efecto no es directo en organismos acuáticos, el desarrollo larvario y sobrevivencia de los organismos se ve afectado por cambios de pH externos. Sumado a la acidificación, al modificarse los estresores ambientales como salinidad y temperatura, la capacidad de adaptación o aclimatación de los organismos decrece; reflejándose en la modificación de las interacciones de la especie. Además, cuando entran aguas insaturadas o acidificadas por surgencias, el metabolito aragonita (una de las formas más estables y abundantes de carbonato de calcio) decrece en forma inversamente proporcional a la concentración de CO₂ antropogénico. Este metabolito es el más importante en el proceso de formación y fortalecimiento de la concha de los moluscos (Barton, et al., 2015).

El carbonato de calcio se encuentra en dos formas en los organismos marinos, calcita y aragonita. Ambas comparten la misma fórmula CaCO₃, la diferencia es estructural, los cristales son de forma diferente. Los de aragonita se pueden disolver más fácilmente debido a que tienen mayor superficie respecto a su volumen. Los organismos como los quitones, las esponjas y los corales tienen aragonita. Los foraminíferos, braquiópodos y equinodermos tienen calcita. Los moluscos tienen ambos tipos, ocasionalmente mezclados (Wolf-Gladrow, Riebesell, Burckhardt, & Burma, 1999).

La combinación de presión y la alta acidez hacen que las conchas se disuelvan cuando alcanzan cierta profundidad, el proceso se llama “compensación de los carbonatos”. Eso implica que a grandes profundidades solo hay especies con calcita esquelética. Para medir el potencial de disolución se emplea el indicador llamado “omega aragonita” (o calcita). Un índice de omega aragonita 3.0 implica buenas condiciones, los valores menores representan disolución, en el caso de los moluscos de las capas más exteriores de las conchas, lo que implica problemas de crecimiento, defensa y movilización (Feely, 2009).

El patrón de los carbonatos tiende a mostrar un grado 3.0 para calcita en el área del Pacífico, donde el horizonte tiende a abarcar desde la superficie hasta los mil metros. Para aragonita éste

tiende a ser 2.0 y abarca la misma profundidad. A medida que la profundidad aumenta estos niveles descienden hasta menor a 1.0, por lo que la disolución es mayor en estas áreas. Pero la disolución de estas formas de carbonato no es el único problema. También lo son los parámetros fisicoquímicos que indirectamente alteran la disolución como la presión, la temperatura y el pH. Estos dos parámetros están presentando anomalías, que con el paso del tiempo se establecen como la nueva norma histórica, la cual se reconoce como el cambio climático (Dupont, & Pottner, 2013).

Este efecto sinérgico causa cambios en el horizonte de saturación de aragonita, la mayor acidez en el fondo (transporte desde los polos) y en superficie (intercambio gaseoso) llevan a una disminución en la profundidad a la que se hallan las especies con esqueleto de carbonato. Las concentraciones mundiales de omega aragonita de 1880 a 2012 muestran para el litoral Pacífico una disminución del horizonte de 3.0 a 1.0 y en algunas ocasiones ha disminuido hasta -0.3 de omega aragonita. Este resultado refleja el efecto de la acidez sobre la superficie del océano aunado a la temperatura alta, que aumentan la solubilidad de la calcita y la aragonita que a pesar de estar disponible en el medio, los organismos como los moluscos no lograron fijarla en sus estructuras esqueléticas (Feely, 2009).

Se espera que, en los próximos cien años, cantidades elevadas de CO_2 atmosférico penetren en los océanos, causando el descenso en el nivel de pH y en la concentración de iones carbonados, proceso llamado acidificación de los océanos. Existe un creciente interés en conocer los impactos que este proceso tendrá en organismos marinos y estuarinos y en los ecosistemas (Seibel, Maas, & Dierssen, 2012).

¿Qué tiene que ver esto con el océano? La elevación de la temperatura causa el derretimiento de los polos por expansión térmica, el incremento en el nivel del mar, el desplazamiento geográfico de especies de relevancia comercial y ecológica, blanqueamiento coralino, acidificación, etcétera (Hoffman, 2010).

La pérdida en abundancia y riqueza de especies debido a la acidificación conducirá a una reestructuración del hábitat, cambio en cadenas tróficas y redes de alimentación, pérdida de recurso marino y estuarino (Newell, 2004).

2.1.3 Estuarios

Son sistemas de agua semicerrados con una conexión libre con el mar, donde se mezclan las aguas de río con las del mar y, por tanto, presentan amplias variaciones en la salinidad (Wedler, 1998). Algunos de los autores también lo definen como “Una desembocadura de un río o un brazo de él en el mar, donde el agua de las mareas se mezcla con las aportadas por el río”. En estuarios extensos, las corrientes inducidas por la marea avanzan aguas arriba hasta la zona de agua dulce que constituye el límite superior de influencia de la marea, en contraste con las lagunas, el estuario se caracteriza por ser poiquilotérmico y por la inestabilidad de los factores ambientales (Quinána, Oyandelb, Díaz, & Vera, 2016).

2.1.4 Productividad de los estuarios

Depende de la circulación de agua, ésta transporta nutrientes vertical y horizontalmente, mueve el plancton, mantiene y propaga las larvas de peces y crustáceos, retira los desechos animales y vegetales del sistema, controla la salinidad y remueve los sedimentos. Toda esta actividad permanente junto con los cambios de escorrentía, velocidad de flujo, acción de las mareas y los vientos, hacen que los estuarios sean uno de los ecosistemas más productivos del mundo. Los estuarios, constituyen un medio ecológico donde algunas especies, como el camarón de mar, necesitan realizar parte de su ciclo de vida (Kjerve, & Lacerda, 1993).

2.1.5 Biota estuarina

Las comunidades de estuario se componen típicamente por especies endémicas, esto es, por las que están confinadas a él y por las que vienen del mar y de los ríos, y que deben tener mecanismos osmorreguladores bien definidos para subsistir en este medio cambiante. Las ostras, son típicamente estuarinas. Además de los macroinvertebrados, también intervienen en la productividad de los estuarios gran diversidad de formas de zooplancton, fitoplancton y perifiton. Las algas bentónicas que crecen sobre las macrófitas, animales sésiles, rocas, arena y barro, pueden llegar a constituir hasta un tercio de la producción primaria anual. El bosque de mangle asociado es otro factor de gran valor en el trópico y el subtropico para la productividad de los estuarios. Se caracteriza por ser la vegetación de mayor productividad biológica neta. Debido a la ubicación del mangle en los litorales tropicales y subtropicales de suelo plano y fangoso, inundado periódica y parcialmente por aguas de carácter estuarino, tiene la propiedad

de fijar sedimentos, lo que ayuda a consolidar el litoral (Quinána, Oyandelb, Díaz, & Vera, 2016).

La importancia del mantenimiento de los estuarios radica en que éstos son: la fuente de suministros de nutrientes y materiales orgánicos de áreas costeras y de agua dulce; constituyen el hábitat de numerosas especies de valor comercial, como ostras y peces; son el lugar donde muchas especies de aves migratorias encuentran refugio y alimento, y otras, llevan a cabo el desarrollo de su ciclo biológico. La presencia de nutrientes en estas aguas está regulada por la presencia de aportes terrígenos, por la mayor o menor renovación de las aguas, bien por la acción de las mareas, bien por la proximidad de regiones de emersiones hidrobáticas, y la presencia de tales nutrientes, influye, como es normal, en la mayor o menor abundancia de fitoplancton (Lozano, 1978).

El ecosistema estuarino dentro del humedal está tipificado por una alta productividad biológica, que se caracteriza por la presencia de agua marina ricas en nutrientes que mantiene una salinidad promedio dentro de los rangos de 10 a 25 partes por mil de sales intermedias entre aguas dulce y marina, agua que se consideraría salobre, producto de la influencia directa del mar y no de ríos tributarios. Además, presenta condiciones de salinidad únicas en el estuario semejantes al océano las cuales generan un entorno hidrológico idóneo para el desarrollo de organismos típicamente estuarinos y eficientemente adaptados en su fisiología a este ambiente (Contreras, y Castañeda, 2004).

2.1.6 Plancton

Se define como plancton a la comunidad de plantas (fitoplancton) y animales (zooplancton) adaptados a vivir en suspensión, en el mar o en el agua dulce, y con un movimiento pasivo generado por la acción del viento, la corriente o movilidad propia (Sociedad Mexicana de Planctología [SOMPAC], 2017). Estos organismos llevan a cabo movimientos de desplazamiento en su mayoría vertical, pueden encontrarse en todas las estratificaciones del cuerpo de agua. Las especies presentan una distribución particular regida por profundidades, que ejercen un cambio en características morfo - fisiológicas para la adaptación (Cifuentes, Torres-García, & Frías, 1997; Peña, & Pinilla, 2002).

La distribución vertical del plancton no es estática, y tiene un costo energético elevado. En esta distribución existen las migraciones verticales de los organismos del mar que siguen el ritmo alterno de los días y las noches (Jiménez, & Pesantes, 1978). Durante el día suben y descienden en la noche. Dentro de la distribución vertical ocurren comportamientos de hábitos alimenticios y estrategias de acuerdo con la adaptación como la simbiosis, comensalismo, y la predación (Brusca, & Brusca, 2012).

El plancton es utilizado como indicador de la calidad del agua, por su sensibilidad a los cambios ambientales, ciclo de vida corta, pequeño tamaño y elevada productividad potencial (Kjerve, & Lacerda, 1993), que influyen fuertemente en aspectos fisicoquímicos, ambientales y materiales tóxicos presentes (Cifuentes, Torres-García, & Frías, 1997).

Los cambios climáticos globales tienen una conexión con la variabilidad en la tasa de disturbancia ecológica, en áreas cercanas a la costa y en ambientes oceánicos. Estos procesos han sido utilizados para explicar el comportamiento de los primeros eslabones de la cadena trófica y la presión relacionada a impactos antropogénicos, tales como explotación de pesca, contaminación marina y eutrofización costera (Marshall, Bonaventura, Mitchell, Prospero, Sherman, Shinn, Dolah, & Barber, 2000).

2.1.7 Fitoplancton

Seres vivos de origen vegetal que viven flotando en la columna de agua, y cuya capacidad natatoria no logra nunca superar la inercia de las mareas, las olas o las corrientes. Son organismos autótrofos capaces de realizar la fotosíntesis. Su importancia es fundamental dado que son los productores primarios más importantes en el océano (Jiménez, & Pesantes, 1978).

El fitoplancton presenta una gran diversidad, encontrándose diversas especies en función de las condiciones naturales del lugar y de la presencia o ausencia de nutrientes, episodios de eutrofización o cambio climático. Las especies que podemos encontrar son: diatomeas, dinoflagelados, cianofitas o algas verdes azuladas, algas pardas, cocolitoforidos. Dentro de este grupo las más abundantes son las diatomeas y los dinoflagelados (Cifuentes, Torres-García, & Frías, 1997).

Estos organismos de origen vegetal son los productores primarios del medio marino, realiza la misma función que la hierba y los vegetales en el medio terrestre, como alimentos primarios. Se

encargan de fijar el CO₂ atmosférico de manera que el carbono pasa a ser parte de la cadena alimentaria, y por tanto, fuente de energía. Progresivamente la cadena trófica va enriqueciéndose, pues el fitoplancton es consumido por el zooplancton que a su vez puede ser consumido por determinados peces (Jiménez, & Pesantes, 1978).

Otro aspecto importante es la posibilidad de ser un sumidero de carbono. Al encargarse de fijar el CO₂ atmosférico, parte del exceso de CO₂ que hay en la atmosfera entra en la cadena trófica del océano, de manera que todos los organismos están compuestos por carbono. Estos cada vez son organismos más grandes como peces, poseen esqueletos y estructuras más abundantes en carbono, al morir por gravedad caen al fondo marino de manera que este CO₂ queda retenido en las profundidades del océano. En una capa profunda de agua de manera que se mantiene el equilibrio de carbono en el océano, otra pequeña parte se deposita en el fondo (Cifuentes, Torres-García, & Frías, 1997).

- Diatomeas

Algas unicelulares que constituyen el fitoplancton, son importantes para la alimentación de diversos organismos. Algunas de ellas pueden vivir en colonias formando filamentos o cintas, se hallan rodeadas por una pared celular hecha de sílice llamada frústula. Actualmente se conocen más de 200 géneros de diatomeas, y se estima que hay alrededor de 100,000 especies extintas. Dada sus características se sostiene que son las únicas algas verdaderas al no presentar estructuras propias del reino animal (Brusca, & Brusca, 2012).

El estudio sobre las comunidades de diatomeas justifica su empleo para determinar la calidad del agua y evaluar la evolución del medio ambiente. Se encuentran en cualquier tipo de hábitat, desde los salados mares hasta en condiciones de altas temperaturas que hacen el ambiente extremadamente seco, pueden vivir interactuando con otros organismos como las cianofíceas (Jiménez, & Pesantes, 1978).

Algunas de las diatomeas prefieren como hábitat las aguas dulces, las valvas son alargadas y móviles. Sobre una o ambas superficies valvares presentan una estría o hendidura sin disposición de sílice denominada rafe que puede ser recto, sigmoidal u ondulado y que está relacionado con la movilidad de las diatomeas pennadas, ya que a través del, se ponen en contacto el medio líquido y el citoplasma. Las diatomeas céntricas son, en su mayoría marinas,

con valvas triangulares, circular o poligonales y carecen de un rafe por lo que son inmóviles, aunque presentan estructuras que favorecen la flotación (Brusca, & Brusca, 2012).

- Algas verdes azuladas

Son individuos procariotas que pueden vivir solos o en colonias filamentosas, el tamaño celular es grande entre 5 a 50 micras. Presentan pared celular y vaina gelatinosa en torno a esta pared. No poseen flagelos y su movimiento celular se realiza por reptación sobre un sustrato sólido y húmedo. La reproducción se realiza de forma asexual por formación de tabiques transversales. También se llaman cianofíceas o algas verdes azuladas, debido a que poseen sustancias fotosintéticas del tipo de la clorofila y ficocianina, un pigmento de color azulado. Como pueden realizar la fotosíntesis, desprenden oxígeno. Las algas cianofíceas viven en ambientes acuáticos, en algunos casos viven sobre rocas y árboles, y también habitan en aguas termales, soportando temperaturas de hasta 90 grados centígrados. También pueden vivir en simbiosis con hongos formando líquenes (Brusca, & Brusca, 2012).

- Dinoflagelados

Animales microscópicos, casi siempre unicelulares clasificados como protistas. Tienen flagelos, los cuales les permiten la locomoción y la alimentación. Integran el fitoplancton marino y son cosmopolitas. El tamaño oscila entre 50 y 500 micras, por lo que se les ubica entre el micro plancton, se dividen en dos grandes grupos diferenciados por la presencia o ausencia de placas de naturaleza celulósica en la pared celular. Constituyen el segundo grupo en importancia del fitoplancton, responsable de la producción de energía en la cadena alimentaria oceánica. Las características morfológicas y requerimientos nutritivos lo hacen exitosos desde el punto de vista reproductivo y de crecimiento en aguas tropicales, donde la estabilidad de la columna de agua es mayor y la concentración de nutrientes más baja. Ocupan un lugar secundario, respecto de las diatomeas. La reproducción se lleva a cabo por división binaria. Cuentan con un plano de segmentación oblicuo o longitudinal y después de dividirse regeneran la parte faltante. La reproducción asexual se presenta en pocas especies. La velocidad de reproducción es comparable con las diatomeas, calculándose 2 millones de individuos por litro en condiciones normales (Brusca, & Brusca, 2012).

2.1.8 Humedal Las Lisas – La Barrona

En el humedal Las Lisas – La Barrona, el estuario es de ancho variable, con canales dentro del sistema lagunar formado por los flujos y reflujos. Las profundidades de las aguas del canal son bajas entre 1.25 a 2 m, existiendo partes donde el fondo del canal es de menos de 0.5 de profundidad. Las barras El Jiote y Barrona son áreas importantes de intercambio de aguas, transporte de nutrientes y biota estuarina. El estuario se extiende hacia el este en un humedal con extenso manglar que comunica las áreas de manglares de El Paraíso – La Barrona con la barra Santiago en la República de El Salvador. En cuanto a parámetros fisicoquímicos de agua el Canal presenta salinidad promedio de 35.3 ppm, pH entre 6.2 y 7.7, turbidez de 0 a 120 NTU, concentraciones de oxígeno disuelto de 1.2 a 7 mg/L y temperaturas que oscilan entre 25 y 33 °C (Boix, Rinze, García, Montiel, & Ortíz, 2011).

2.1.9 Beneficios de los humedales

La convención Ramsar emplea un criterio amplio y define los humedales como “extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de agua, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobre o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros (Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional [RAMSAR], 2015).

Los humedales, por sus propiedades, generan una serie de funciones, bienes y servicios necesarios para la conservación de la vida humana y sus relaciones socioeconómicas, entre ellas, agua para consumo humano, paisaje y áreas para turismo y recreación, hábitat para biodiversidad, áreas de conectividad natural, recursos pesqueros y producción acuícola, estabilización de microclimas y estabilización de costas (RAMSAR, 2015).

2.1.10 Riesgos y amenazas de los humedales de Guatemala

Las presiones a las que están sujetos los humedales se originan, en la mayor parte de los casos, por el uso no adecuado de los mismos y por factores de tipo estructural y coyuntural dentro de la sociedad guatemalteca tales como: el uso de los recursos naturales derivados de los humedales hasta los límites de la extinción local de los organismos o disminución de tallas, contaminación por descarga de desechos sólidos y líquidos de diversas fuentes, poco acceso y dispersión de la información existente; son algunas de las amenazas (RAMSAR, 2015).

2.2 Estado del Arte

En cuanto a las comunidades de fitoplancton se ha reportado la presencia de Bacilariofitas en humedales de la costa ecuatoriana como el grupo con mayor número de especies presentes, establecidos en áreas con altas salinidades (Tapia, 2013).

Se ha reportado abundancia de especies de fitoplancton como las bacilariofitas y cianofitas en estuarios y humedales de la India y zonas de manglar en Deltas de Asia, teniendo hasta 116 especies en el agua (Vajravelu, Martin, Ayyappan, & Mayakrishnan, 2017).

En Taiwán se han reportado 137 especies de fitoplancton en zonas de manglar, utilizando perfiles verticales y horizontales (Yu, et al., 2016).

En áreas de humedales en Bangladesh, se ha reportado la presencia de Bacilariofitas como grupo algal con mayor abundancia, seguido por las clorofitas. Estos grupos algales reflejan el buen estado ecosistémico y la salud ecológica que se mantiene en el humedal (Muzaffar, & Ahmed, 2007).

En la ensenada de Utría, en el Pacífico colombiano se han reportado 218 especies, 64 géneros con 137 diatomeas, 73 dinoflagelados, 5 cianofitas y 3 sicoflagelados (Peña, & Pinilla, 2002). En Yucatán, México se han reportado en lagunas costeras la presencia de cianobacterias, diatomeas y dinoflagelados, siendo las diatomeas el grupo dominante en la composición fitoplanctónica (Herrera-Silveira, 2006).

En áreas del Pacífico guatemalteco se han reportado hasta 20 especies de fitoplancton, según el índice de diversidad de Shannon-Wiener, que reporta un valor mayor a dos, aplicado al área del humedal Las Lisas-La Barrona la clasifica como un ecosistema natural y en buen estado de conservación, al igual que en otros humedales del Pacífico en sur América (Tapia, 2013).

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

- Describir la relación que existe entre la alcalinidad y el pH con la comunidad de fitoplancton en el humedal Las Lisas-La Barrona.

3.2 Objetivos específicos

- Establecer el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos del agua en el humedal Las Lisas-La Barrona.
- Determinar la composición, abundancia y distribución de la comunidad de fitoplancton en el humedal Las Lisas – La Barrona.
- Establecer la relación de los niveles de alcalinidad y pH con la comunidad de fitoplancton en el humedal Las Lisas-La Barrona.

4. Materiales y métodos

4.1 Área de estudio

El humedal Las Lisas – La Barrona se encuentra localizado en latitud: 13.80°11'13", longitud: -90.26°25'36" y altitud: 6 metros sobre el nivel del mar. Se constituye como un tramo de la región sur de Guatemala, enclavado entre bosques de manglar y formaciones estuarinas, que se localiza en la jurisdicción costera del municipio de Chiquimulilla, departamento de Santa Rosa.

El estuario es de ancho variable, con canales dentro del sistema lagunar formado por los flujos y reflujos. Las profundidades de las aguas del canal son bajas entre 1.25 a 2 m, existiendo partes donde el fondo del canal es de menos de 0.5 de profundidad. Las barras El Jiote y Barrona son áreas importantes de intercambio de aguas, transporte de nutrientes y biota estuarina. El estuario se extiende hacia el este en un humedal con extenso manglar que comunica las áreas de manglares de El Paraíso – La Barrona con la barra Santiago en la República de El Salvador.

En cuanto a parámetros fisicoquímicos de agua el Canal presenta salinidad promedio de 35.3 ppm, pH entre 6.2 y 7.7, turbidez de 0 a 120 NTU, concentraciones de oxígeno disuelto de 1.2 a 7 mg/L y temperaturas que oscilan entre 25 y 33 °C. Está delineado naturalmente por los espacios fluviales que conforman parte de las desembocaduras de los ríos Los Esclavos, con una superficie de 2,271 km² y el río Paz con una superficie de 2,661 km² que desembocan en una porción del estuario denominado Canal de Chiquimulilla, y finalmente la bocabarra El Jiote que drena al océano Pacífico (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, 2011; Boix, Rinze, García, Montiel, & Ortiz, 2011).

4.2 Tipo de investigación

Consistió en una investigación es de carácter cuantitativo y descriptivo, determinando la relación de la alcalinidad y el pH con la composición, abundancia y distribución de fitoplancton.

4.3 Sitios de muestreo

Se establecieron 5 puntos de muestreo distribuidos en el Canal, denominados: El Ahumado, Barra el Jiote, El Jiote, Río Viejo y La Barrona (Figura 3). Se realizó un muestreo mensual de enero a agosto de 2017, durante la marea alta.

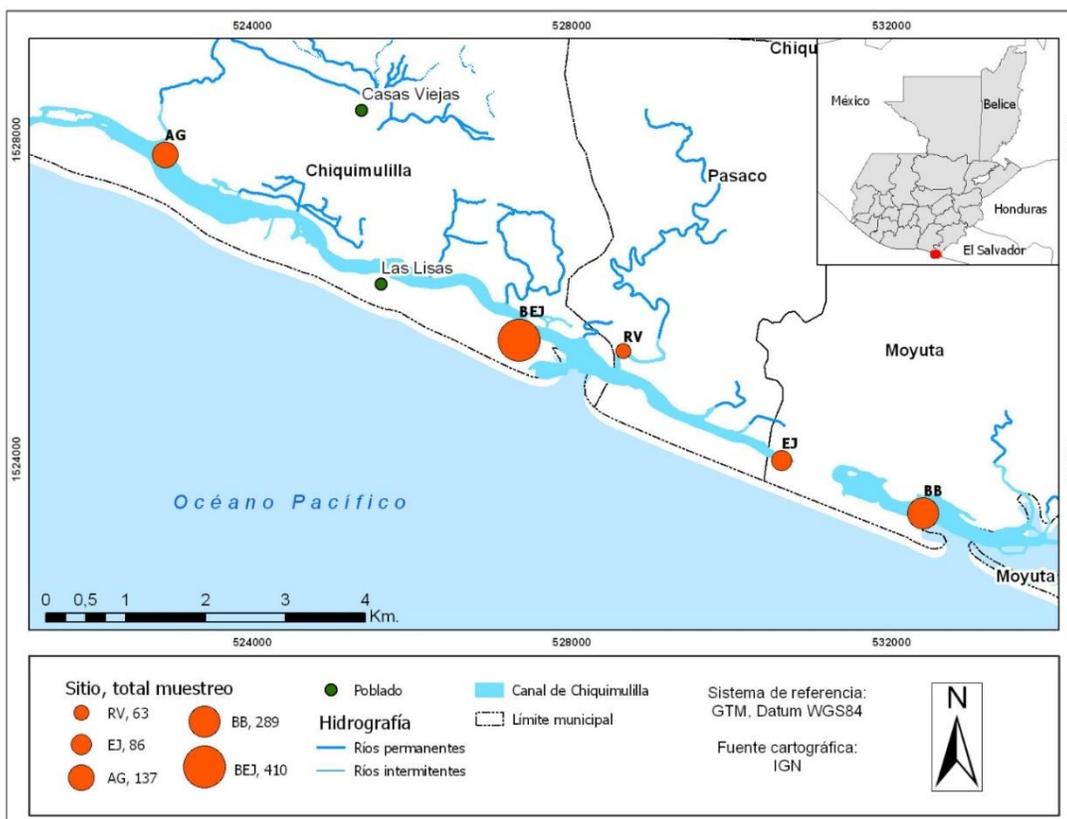


Figura 3. Sitios de muestreo en el humedal Las Lisas – La Barrona

A los 5 puntos de muestreo en el humedal se les asignó siglas y se establecieron las coordenadas (Tabla 1). Se utilizaron estas mismas siglas solamente se les agregó las iniciales del mes en el que fueron tomadas las muestras como se expresa en la tabla 2.

Tabla 1.

Siglas y Coordenadas de 5 puntos de muestreo en el humedal Las Lisas- La Barrona

Sitio	Sigla	N	W
Barra El Jote	BEJ	13°47'45.7''	90°14'49.8''
El Jote	EJ	13°46'56.5''	90°13'00.5''
Río Viejo	RV	13°47'41.2''	90°14'06.4''
El Ahumado	AG	13°49'01.3''	90°17'17.2''
La Barrona	BB	13°46'34.8''	90°12'1.5''

Tabla 2.

Siglas por mes de 5 puntos de muestreo en el humedal Las Lisas- La Barrona

Sitio	Sigla	Sitio	Sigla	Sitio	Sigla	Sitio	Sigla	Sitio	Sigla
Barra el	BEJen	Río	RVen	El Jiote	EJen	El	AGen	La	BBen
Jiote	BEJfeb	Viejo	RVfeb		EJfeb	Ahumado	AGfeb	Barrona	BBfeb
	BEJmar		RVmar		EJmar		AGmar		BBmar
	BEJabr		RVabr		EJabr		AGabr		BBabr
	BEJmay		RVmay		EJmay		AGmay		BBmay
	BEJjun		RVjun		EJjun		AGjun		BBjun
	BEJjul		RVjul		EJjul		AGjul		BBjul
	BEJago		RVago		EJago		AGago		BBago

4.4 Variables físicas, químicas y biológicas

En cada punto de muestreo se obtuvieron datos *in situ* de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto (OD), conductividad, sólidos disueltos totales y pH, utilizando una sonda multiparamétrica marca Hanna. La profundidad y transparencia, se midió utilizando disco sechii, para establecer zona fótica y zona de compensación. Se tomaron muestras de agua para determinar alcalinidad y pH; además de fitoplancton (Tabla 3).

Tabla 3.

Variables físicas, químicas y biológicas evaluadas

VARIABLE INDEPENDIENTE	INDICADOR
Temperatura	°C
Salinidad	Ups
Oxígeno Disuelto	mg/L
Conductividad	$\mu\text{S}/\text{cm}^2$
Sólidos disueltos totales	Ppm
pH	Unidades de pH
VARIABLE DEPENDIENTE	INDICADOR
Alcalinidad Total AKT	mg/L de CaCO_3
Comunidad de Fitoplancton	Cel/ml

4.5 Muestras

Para la determinación de los factores químicos (alcalinidad total y pH) se tomaron muestras de 1 L, acidificadas con ácido sulfúrico (H_2SO_4) para su análisis posterior en el laboratorio. Las muestras de agua se tomaron con una botella Van Dorn horizontal de 5 L de capacidad, en marea alta; La muestra fue servida en recipientes de plástico oscuro de 1 L de capacidad. La cuantificación de alcalinidad se realizó por método volumétrico, según el método 10112 del manual de procedimientos para aguas y efluentes, adaptado del Standar Methods (con base en indicadores y cálculos de volumen). Se verificó la concentración utilizando el kit de espectrofotometría (Spectroquant Total Alkalinity 0.20 mmol/L – 8.0 mg/L cod. 20441017620002). El pH se obtuvo in situ por medio de una sonda multiparamétrica y se verificó utilizando el método 10301 para la determinación de pH con electrodo, según el manual de procedimientos para aguas y efluentes, adaptado del Standar Methods (versión APHA).

Las muestras de Fitoplancton se colectaron en cada punto de forma horizontal con una red cónica simple con tamaño de poro de 20 μ , mediante arrastres superficiales lineales a una velocidad promedio de 2 nudos durante 4 min, (Balech, 1977) de orilla a orilla. La recolección vertical se realizó por medio de muestras discretas de 5 L, con botella Van Dorn según la profundidad del disco Sechii y en la profundidad de compensación (profundidad del disco Sechii multiplicada por 2.5) (Odum, 1986). Las muestras se conservaron en frascos ámbar y preservadas con lugol ácido. Para la identificación taxonómica de los organismos se utilizaron trabajos y claves taxonómicas según Kofoid, & Skossberg (1928), Cupp (1943) y Davis (1964). La cuantificación de los organismos se realizó en cámaras Sedgewick - Rafter. La diversidad y abundancia se establecieron en células por mililitro.

4.6 Análisis de la información

Para determinar si existía normalidad entre los parámetros fisicoquímicos se llevó a cabo la prueba de Shapiro-Wilks. Para establecer diferencias significativas entre los parámetros fisicoquímicos y los muestreos y sitios, se realizó una prueba no paramétrica de ANOVA (Ramírez, 1999). Para establecer la similitud entre los sitios de muestreo y los parámetros fisicoquímicos se realizó un análisis de similitud de Bray-Curtis (Digby, & Kempton, 1987). A partir de los datos estandarizados de las variables fisicoquímicas y de las abundancias fitoplanctónicas, se determinaron los índices de diversidad de Shannon, de igualdad de

Menhinick, Margalef, Fisher Alpha, Berger Parker, de dominancia de Simpson, y de proporcionalidad (diversidad/diversidad máxima) como herramientas para interpretar la relación entre el número de especies y su abundancia, se realizó un análisis de correlación para establecer la relación de los parámetros fisicoquímicos y los índices (Ludwing, & Reynolds, 1988; Ramírez, 1999).

Con el objetivo de tener una visión general sobre la variabilidad ambiental en el área de estudio, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) mediante el programa PcOrd 5.0. Para determinar la posible influencia de las variables ambientales sobre la composición y distribución de la comunidad de fitoplancton, se realizó un análisis de correspondencia canónico (ACC), el ACC es una técnica de gradiente directo que proporciona una ordenación de estaciones relacionada con los valores de los factores ambientales. Para el análisis se utilizaron las abundancias relativas de cada taxa. La significancia de la relación entre la ordenación de las especies y las variables ambientales, así como de los ejes, se evaluó mediante una prueba de permutaciones aleatorias de Monte Carlo (McCune, & Grace, 2002). Para establecer una relación entre las especies, sitios y parámetros fisicoquímicos se realizó un NMDS, herramienta que relaciona las variables ambientales, biológicas y físicas de los sitios de muestreo.

Para establecer la relación entre alcalinidad y pH y la comunidad de fitoplancton se utilizó el software CalcCO₂. Este método toma en cuenta los niveles de alcalinidad y pH, la temperatura y la salinidad de cada sitio para calcular un horizonte de omega aragonita, que establece la relación entre los niveles de alcalinidad (sales presentes en disolución y disponibles para los organismos) y la riqueza de los organismos.

5. Resultados y discusión

5.1 Ciclo del Carbono y parámetros fisicoquímicos.

La prueba de normalidad de Shapiro - Wilks mostró que existe normalidad entre la conductividad, TDS, salinidad, saturación de oxígeno y oxígeno disuelto con valores de $p < 0.0001$. La temperatura y el pH se comportan de manera diferente en el humedal con valores de $p = 0.7055$ y $p = 0.0579$, respectivamente. Por lo que la temperatura fue analizada por medio de una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis obteniendo un valor de $p = 0.9501$.

La prueba ANOVA mostró diferencias significativas con respecto a los sitios de muestreo y los parámetros fisicoquímicos, obteniendo valores de $p < .05$. Siendo estos valores los siguientes: conductividad $p = .001$, pH $p = .001$, TDS $p = .0435$, salinidad $p = .001$, saturación de oxígeno $p = .0082$, oxígeno disuelto $p = .0274$. Por otro lado, con respecto a la temporalidad, solamente el oxígeno ($p = .0001$), oxígeno disuelto ($p = .0490$) y la temperatura ($p = .001$) mostraron diferencias significativas. Para el oxígeno los meses de enero, febrero, abril, mayo y julio fueron los que presentaron las saturaciones más elevadas, mientras que para el oxígeno disuelto y la temperatura fueron abril, mayo y julio (los meses más calurosos), donde se registraron los datos mayores.

Los parámetros como temperatura (21-30°C), salinidad (21 – 34 UPS) y sólidos totales disueltos (22 – 26) no presentan fluctuación en comparación con reportes anteriores (Boix Moran, 2011). Los valores de oxígeno disuelto se presentan en porcentaje de saturación evidenciando una disponibilidad alta, beneficiando a los organismos y el intercambio de gases en el humedal. Los valores de pH muestran valores entre 7.4 y 8.2 siendo la tendencia del nivel de pH promedio del mar, evidenciando la influencia que el océano tiene sobre el humedal. Sin embargo, en las áreas más alejadas de las barras como en Rio Viejo y el Ahumado Garón, se ven valores de hasta 7.2 en donde el cambio en 0.1 unidades de pH provoca que los niveles saturación de omega aragonita disminuyan. Se espera entonces una respuesta negativa por parte del fitoplancton, porque el carbonato y carbono inorgánico se precipita dejando de ser útil en la superficie y columna de agua (Duarte, Navarro, Acuña, Torres, Manríquez, Lardies, Vargas, Lagos, & Aguilera, 2015).

La alcalinidad total con valores entre 81.23 y 186.04 mg/L son indicativos de un sistema de carbono balanceado en donde la disponibilidad de los carbonatos es alta y los organismos pueden utilizarlos. Esta condición se ve reflejada en la alta disponibilidad de omega aragonita con valores cercanos a $3\Omega_{\text{ara}}$ en todos los puntos durante todo el ciclo de muestreo (Tabla 4), estas condiciones se presentan en los 5 puntos de muestreo y muestra relación directa con el pH, dos especies importantes en el sistema de carbono (Wolf-Gladrow, Riebesell, Buckhardt, & Buma, 1999).

Tabla 4.

Valor de omega aragonita en base a pH, alcalinidad, temperatura y salinidad

Sitio	pH	Alk	Temp	Salinidad	Ω aragonita
AGe	7.47	89.13	28.53	35.84	2.95
BEJe	7.91	96.64	29.37	33.67	2.89
EJe	7.35	92.46	28.37	23.93	2.91
RVe	7.49	101.26	29.27	30.39	2.97
BBe	8.28	123.56	28.71	3.45	2.97
AGf	7.67	82.54	31.64	35.84	2.95
BEJf	8.09	114.36	29.16	34.77	2.87
EJf	7.51	110.65	29.82	27.92	2.89
RVf	8.03	119.58	30.05	34.45	2.97
BBf	8.01	156.63	28.99	27.02	2.95
AGm	7.74	106.45	29.22	37.92	3.05
BEJm	8.18	132.46	28.95	35.19	3.01
EJm	8.18	113.51	28.95	35.19	2.91
RVm	7.88	172.63	28.48	31.86	2.93
BBm	8.21	186.04	29.48	35.24	2.95
AGa	7.56	126.36	30.23	37.07	2.92
BEJa	7.72	180.11	29.42	14.64	2.86
EJa	7.52	118.26	31.26	31.15	2.59
RVa	8.01	115.03	26.46	35.41	2.68
BBa	8.03	126.15	28.21	35.41	2.95
AGmy	7.95	89.26	30.44	34.87	2.76
BEJmy	8.28	112.11	31.37	34.76	2.84
EJmy	7.56	96.25	30.08	26.76	2.96
RVmy	7.77	94.05	31.04	31.15	2.95
BBmy	8.15	156.12	30.83	31.21	2.98
AGju	7.53	101.36	27.96	27.96	2.94
BEJju	8.42	114.21	29.88	32.99	2.89
EJju	8.16	97.02	29.95	29.47	2.91

RVju	8.36	99.23	29.72	32.99	2.75
BBju	8.68	123.06	29.52	32.62	2.86
AGjul	7.87	126.02	31.11	33.41	2.91
BEJul	7.64	158.23	30.78	23.51	2.84
EJul	8.41	76.32	30.91	33.76	2.96
RVjul	7.95	81.23	31.87	27.94	2.82
BBjul	8.27	146.03	31.38	16.57	2.76
AGag	7.94	79.12	30.49	28.76	2.84
BEJag	7.76	92.11	31.72	5.61	2.95
EJag	8.18	96.03	28.95	35.19	2.94
RVag	7.79	92.01	28.91	17.06	2.96
BBag	9.27	86.02	32.38	17.05	2.93

* Las letras minúsculas representan meses de muestreo

5.2 Comunidad de fitoplancton

5.2.1 Composición, distribución y abundancia de fitoplancton

Se identificaron 17 especies pertenecientes a 12 familias, cuatro clases y tres filos (Tabla 5). De las cuales cinco especies tuvieron mayor abundancia en los ocho meses de muestreo y los 5 sitios de muestreo, siendo estas: *Coscinodiscus sp.*, *Chaetoceros affinis*, *Skelatonema costatum*, *Chaetoceros descipiens* y *Asterionella glacialis* (Figura No. 4).

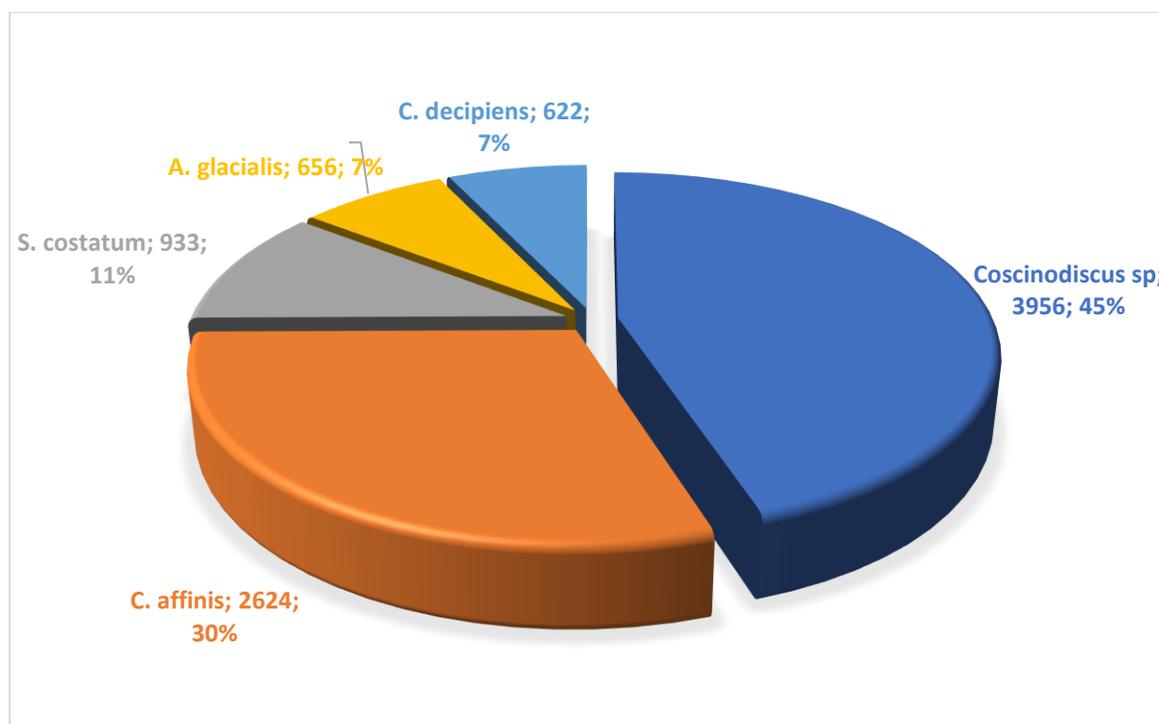


Figura No. 4. Especies con mayor abundancia en el humedal Las Lisas – La Barrona

Los sitios BEJ y BB mostraron mayor abundancia y riqueza. RV y EJ muestran igual número de organismos con la menor riqueza. La abundancia y la riqueza fueron mayores en ambos sitios BEJ y BB (Tabla 5)

Tabla 5.

Número de especies por clase presentes en el Humedal Las Lisas – La Barrona

No.	Clase	AG	RV	BEJ	EJ	BB
Cyanophyceae						
1	<i>Desmidos sp.</i>	-	+	+	+	+
Cloroficeae						
2	<i>Pediastrum sp.</i>	+	+	+	+	+
Bacillariophyceae						
3	<i>Coscinodiscus sp.</i>	+	+	+	+	+
4	<i>Lithodinium undulatum</i>	+	-	+	-	-
5	<i>Odontella mobiliensis</i>	+	+	-	+	+
6	<i>Chaetoceros affinis</i>	+	+	+	+	+
7	<i>Chaetoceros decipiens</i>	+	+	+	-	+
8	<i>Chaetoceros curvicutus</i>	-	-	-	+	-
9	<i>Chaetoceros wighamii</i>	+	+	+	+	+

10	<i>Chaetoceros falcatifformes</i>	+	+	+	+	+
11	<i>Pleurosigma sp.</i>	-	-	-	-	+
12	<i>Asterionellopsis glacialis</i>	+	-	+	-	+
13	<i>Amphora ovalis</i>	+	+	+	+	+
14	<i>Schelatonema costatum</i>	+	+	-	+	+
<i>Dinophyceae</i>						
15	<i>Proteridinium conicum</i>	+	+	+	+	+
16	<i>Ceratium furca</i>	+	+	+	+	+
17	<i>Ceratium macroceros</i>	+	-	+	-	+

Nota. + presencia - ausencia. Ahumado Garón (AG), Río Viejo (RV), Barra El Jote (BEJ), El Jote (EJ), Barra Barrona (BB).

El índice de Shannon – Wiener mostró datos mayores a 2, en todos los sitios del humedal, lo mismo que Margalef y para el índice de Simpson valores mayores a 0.5 (Tabla 6). Lo que evidencia que el humedal se encuentra en buenas condiciones y que es un lugar de alto valor ecológico.

Tabla 6.

Promedio (desvest) de los índices de diversidad para fitoplancton de los sitios de muestreo en el humedal Las Lisas - La Barrona

Índices de diversidad	AG	BEJ	EJ	RV	BB
Taxa	14	13	12	12	15
Individuos	137	410	86	63	289
Dominancia	0.174	0.318	0.131	0.122	0.136
Shannon-Wiener	2.103	1.623	2.276	2.277	2.233
Simpson	0.826	0.682	0.869	0.878	0.863
Igualdad	0.5853	0.39	0.8113	0.812	0.622
Menhinick	1.196	0.642	1.294	1.512	0.882
Margalef	2.642	1.995	2.469	2.655	2.471
Equidad	0.797	0.633	0.916	0.916	0.824
Fisher alpha	3.904	2.557	3.792	4.396	3.358
Berger-Parker	0.299	0.527	0.279	0.238	0.238

Según el análisis de correlación r se estableció que los sólidos disueltos (TDS) tiene correlación con los índices de dominancia ($r=0.924$, $p= 0.025$), Shannon - Wiener ($r=0.923$, $p=0.025$) y Simpson ($r=0.924$, $p= 0.025$).

La conductividad con salinidad ($r=0.940$, $p=0.017$), salinidad con pH ($r= -0.932$, $p= 0.020$) y saturación de oxígeno con pH ($r=0.961$, $p= 0.009$)

Esta abundancia por sitios se muestra gráficamente a través del mapa de abundancia de fitoplancton en el humedal (Figura 5).

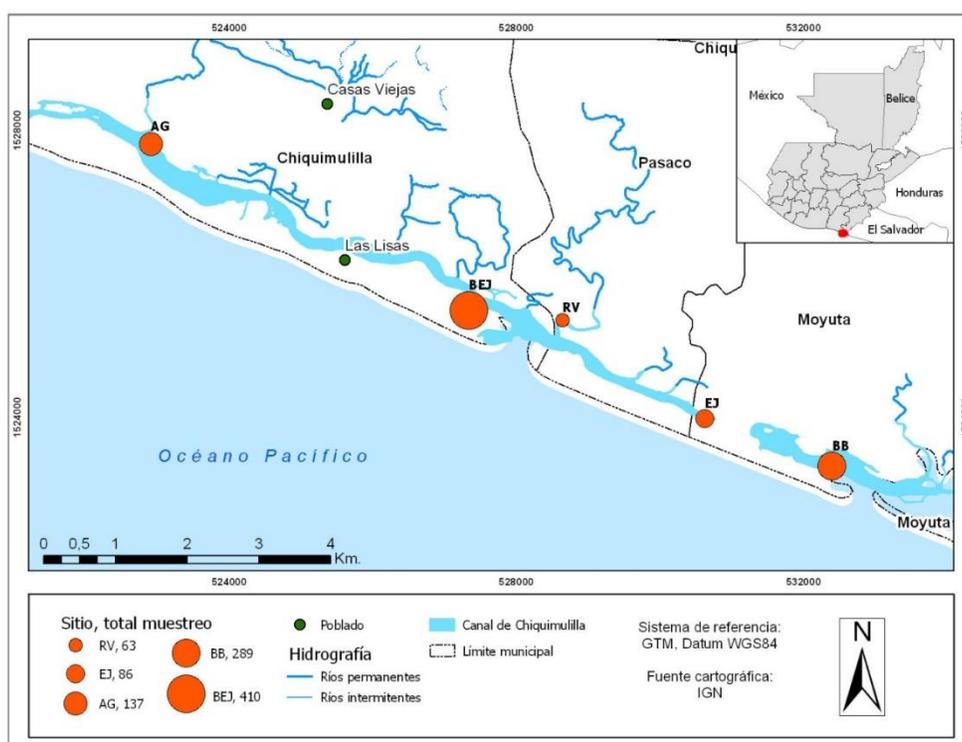


Figura 5. Abundancia de Fitoplancton en el humedal Las Lisas – La Barrona

El análisis de correspondencia canónica (ACC), (Figura 6), evidencia la abundancia alta de 8 especies de fitoplancton siendo estas: *Odontella mobiliensis*, *Pediastrum sp.*, *Coscinodiscus sp.*, *Chaetoceros affinis*, *Chaetoceros descipiens*, *Ceratium macroceros*, *Chaetoceros wighamii* y *Asterionellopsis glacialis*, en los sitios de muestreo ubicados en las barras.

Además, establece que la distribución del fitoplancton está influenciada por cuatro parámetros fisicoquímicos, sólidos totales disueltos (TDS), temperatura (T), potencial de hidrógeno (pH) y salinidad (Sal). Siendo los sólidos totales el factor determinante, debido a que el fitoplancton se encuentra suspendido en la capa superficial del agua y pueden llegar a interferir en el movimiento y obtención de luz.

El mismo indicó con un valor de $p=0.001$, la relación directa y estrecha entre cuatro parámetros fisicoquímicos de: sólidos disueltos totales (TDS), alcalinidad (ALK) y la temperatura (T)). Mientras que 8 especies: *Desmidios sp.*, *Lithodenum undulatum*, *Ceratium furca*, *Chaetoceros curvicetus*, *Pleurosigma sp.*, *Amphora ovalis*, *Proteridinium conicum* y *Schelatonema costatum*, muestran una relación directa con la disponibilidad de oxígeno disuelto (OD), y salinidad (SAL), potencial de hidrógeno (pH) y saturación de oxígeno (SAT). El análisis de permutaciones de Monte Carlo permite por medio de flechas relacionar y colocar las áreas de muestreo BEJ, BB, RV, EJ y AG.

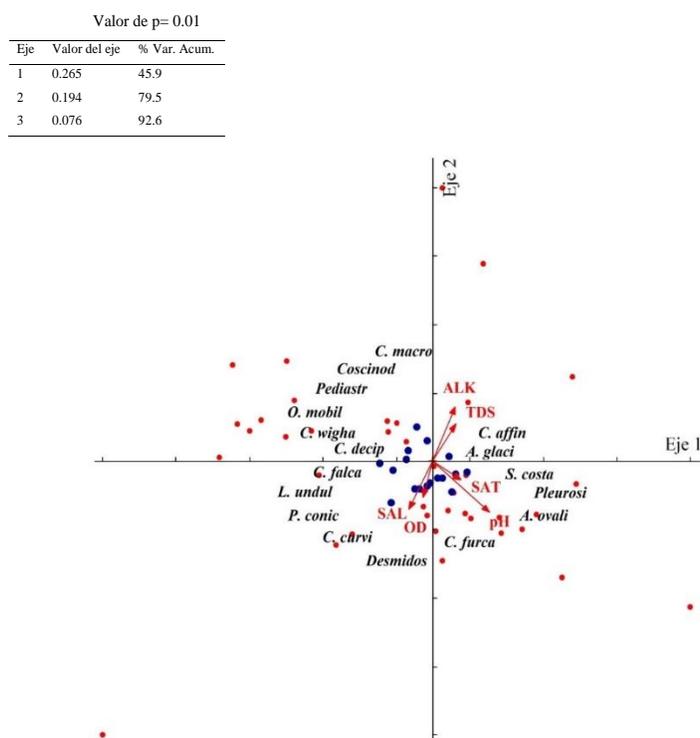


Figura 6. Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) y permutaciones de Monte Carlo en humedal Las Lisas-La Barrona

En cuanto a fitoplancton se ha reportado mayor abundancia de especies en estuarios y humedales como la India y zonas de manglar en Deltas de Asia, teniendo hasta 116 especies en el agua (Vajravelu, Martin, Ayyappan, & Mayakrishnan, 2017).

En Taiwán se han reportado 137 especies de fitoplancton en zonas de manglar, utilizando perfiles verticales y horizontales (Yu, Jian – hua, You – yin, Gen – ming, Qing – liang, & Mao, 2016).

En áreas del Pacífico guatemalteco se han reportado hasta 20 especies, lo que muestra al humedal Las Lisas-La Barrona como un sitio ecológicamente saludable. Según el índice de diversidad de Shannon-Wiener, que reporta un valor mayor a dos, se clasifica como un ecosistema natural y en estado de conservación. En Latinoamérica se han reportado ensambles plantónicos en humedales compuestos por diversas especies como: *Coscinodiscus sp*, *Chaetoceros sp*, y dinoflagelados como *Ceratium sp*. (Quinána', Oyandelb, Díaz, & Vera, 2016).

El análisis de Bray-Curtis mostró que, entre los parámetros fisicoquímicos y los sitios de muestreo, existen similitudes. Los sitios EJ, RV y AG comparten características al igual que BEJ y BB. Los sitios de muestreo BEJ y BB son barras con influencia directa del océano, con similitudes en cuanto a parámetros fisicoquímicos y mayor abundancia de fitoplancton, presentan valores de pH parecidos y los valores de alcalinidad son los más elevados.

El mismo agrupa a RV y EJ, ambos caracterizados por ser los puntos con mayor profundidad y anchura, con influencia de áreas de manglar en los extremos. AG se encuentra solo por ser el sitio con mayor nivel de salinidad, bajo intercambio con agua del océano y áreas someras de agua (Figura 7).

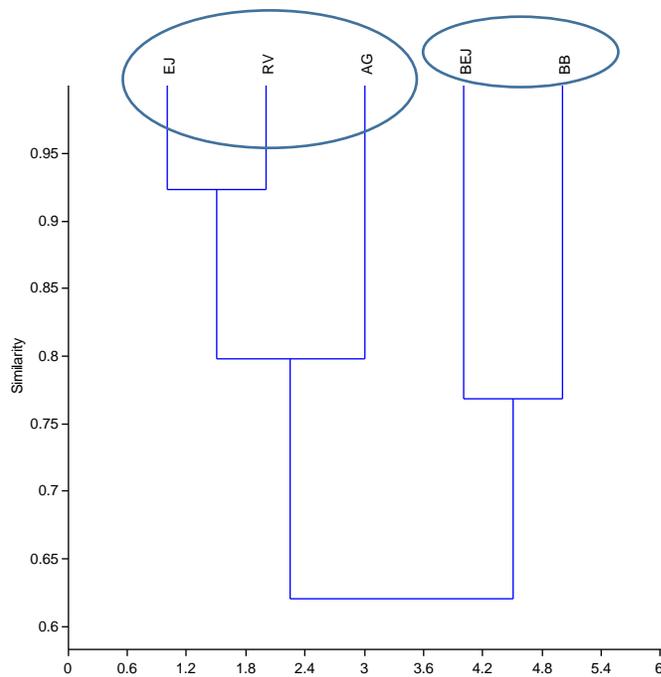


Figura 7. Análisis de similitud de Bray-Curtis de los sitios con los parámetros fisicoquímicos del agua.

El análisis de componentes principales indica que en cuanto a parámetros fisicoquímicos la mayoría de los sitios de muestreo y en los meses de muestreo de enero a mayo, se ven afectados por TDS, alcalinidad, salinidad y conductividad eléctrica. Mientras que solo algunos meses de muestreo como junio, julio y agosto todos los sitios recibieron mayor influencia del pH, temperatura, saturación y miligramos de oxígeno disuelto. Este comportamiento se observa en humedales de características similares al de Las Lisas-La Barrona, tal es el caso de un humedal Ramsar en Bangladesh, que presenta en los primeros seis meses del año, mayor influencia de la alcalinidad, conductividad eléctrica, salinidad y TDS, mientras que en los meses de junio a diciembre los porcentajes de saturación y los niveles de pH aumentan su influencia en todo el humedal (Muzzafar& Ahmed, 2006) (Figura 8).

Eje	Eigenvalue	% Var. Acum.
1	0.041	6.9
2	0.032	12.3
3	0.023	16.2

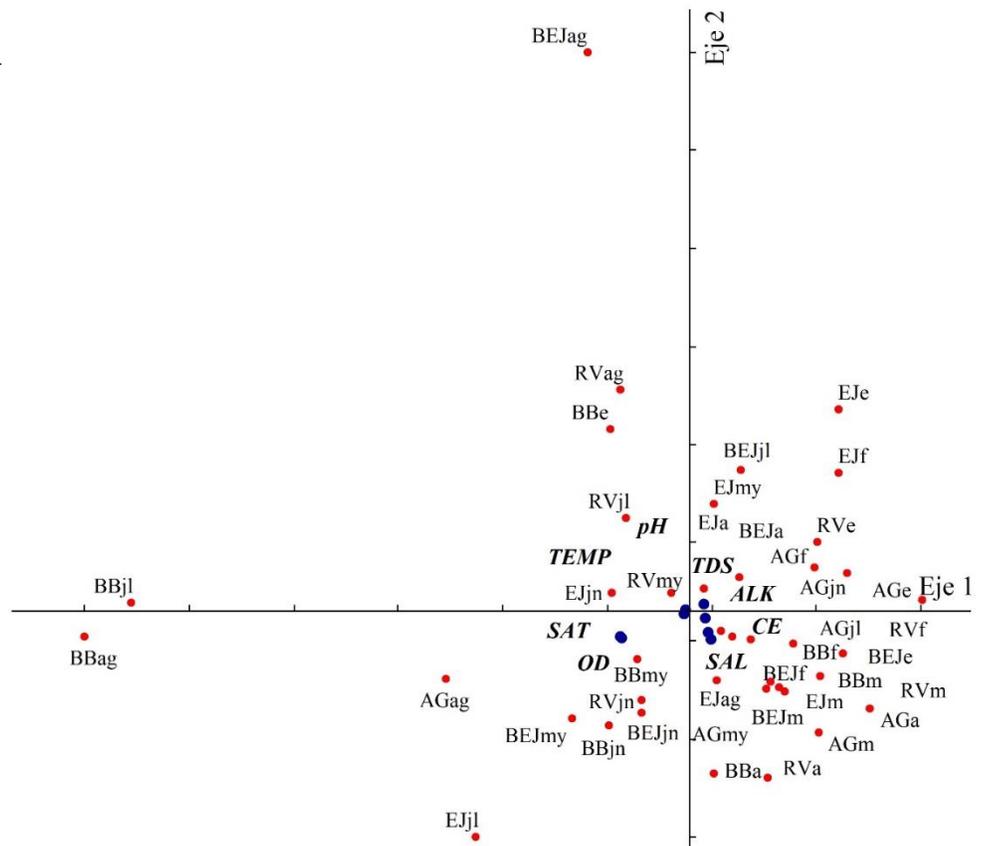


Figura 8. Análisis de Componentes Principales (ACP), en el humedal Las Lisas-La Barrona

El Análisis de Escalamiento No Métrico Multidimensional (NMDS por sus siglas en inglés) evidenció la relación de los niveles de pH y alcalinidad, como variable fisicoquímica, la abundancia de fitoplancton, como variable biológica, los sitios de muestreo y los meses de muestreo. Los sitios BEJ y BB se encuentran en los mismos cuadrantes teniendo relación directa entre la abundancia de los organismos y los valores más altos de alcalinidad y pH. Solamente el mes de enero muestra diferencias entre la abundancia y los niveles de alcalinidad.

Ambas barras tienen los mayores niveles de pH, salinidad y debido a que los parámetros y muestras de fitoplancton fueron tomadas en marea alta, la entrada de agua del océano era mayor.

Destacando entonces la abundancia y riqueza de organismos y las concentraciones de los parámetros.

Los sitios RV y EJ, aunque en las secciones medias del canal, también mostraron la influencia que tiene el océano colocándolos en el segundo lugar en cuanto a abundancia, pH y alcalinidad, ambos sitios se encuentran en el mismo cuadrante y se traslapan en algunos meses de muestreo. AG, se mantiene aislado, ocupando un solo cuadrante y debido a que es el área más alejada del océano y el que recibe mayor caudal por parte de los ríos tributarios, la abundancia en este sitio es constante y presenta organismos que no se encuentran en los otros sitios (Figura 9).

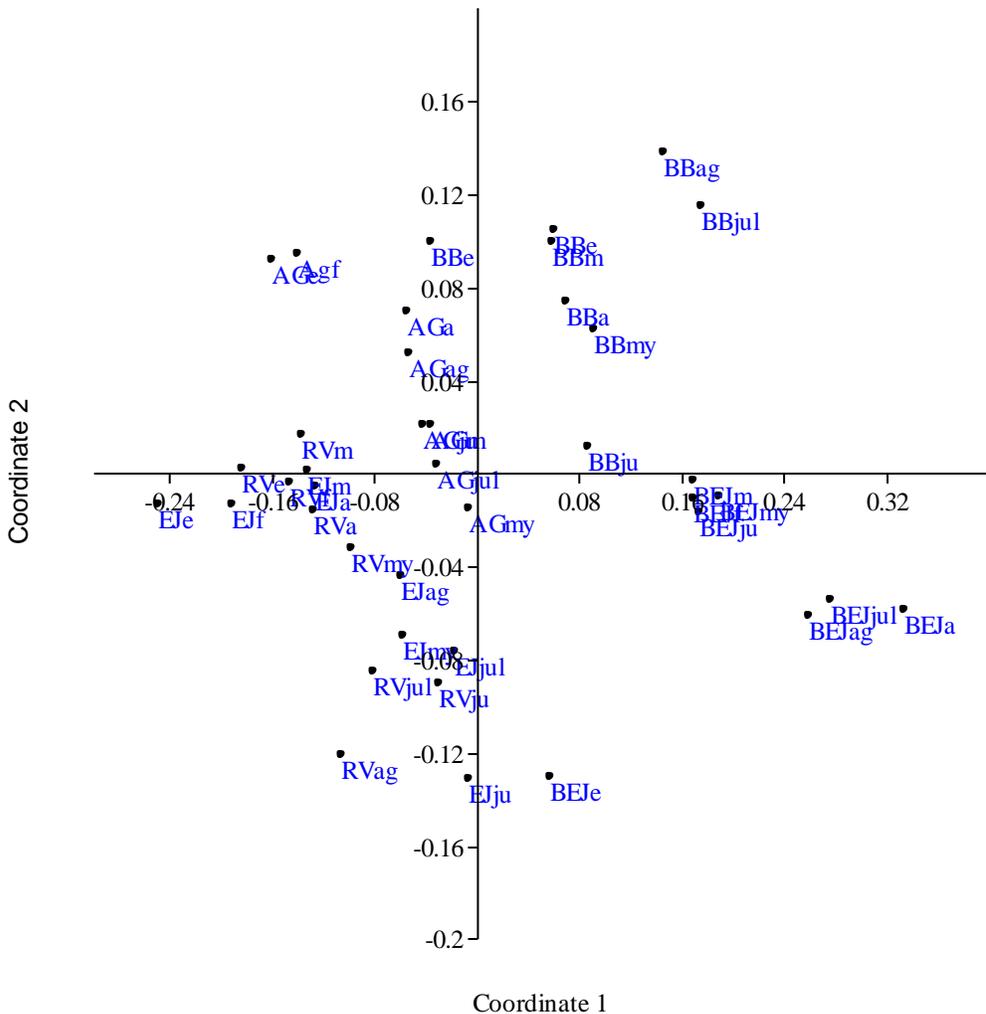


Figura 9. Análisis de Escalamiento No Métrico Multidimensional (NMDS por sus siglas en inglés) en el humedal Las Lisas-La Barrona

6. Conclusiones

1. El comportamiento de los parámetros fisicoquímicos en el humedal Las Lisas – La Barrona fue el esperado, presentando regularidad y condiciones afines a un ecosistema estuarino con ambientes oceánicos e influencia de agua dulce. El primer grupo tiene sitios con influencia de río y contacto con manglar, en él se encuentran Rio Viejo, El Jiote y el Ahumado Garon, que presentaron un rango menor de salinidad, alcalinidad y un pH muy parecido al del agua dulce. El segundo grupo tiene sitios cercanos al mar sin contacto con manglar y son barras, en él se encuentran Barra El Jiote y Barra Barrona, que presentaron un pH muy parecido al del océano y valores de alcalinidad altos.
2. Las comunidades de fitoplancton en el humedal Las Lisas-La Barrona se encuentran compuestas por 17 especies pertenecientes a 12 familias, cuatro clases y tres filos. Cinco especies tuvieron mayor abundancia siendo estas: *Coscinodiscus sp.*, *Chaetoceros affinis*, *Skelatonema costatum*, *Chaetoceros descipiens* y *Asterionella glacialis*. La mayor cantidad de organismos se encontraron en Barra El Jiote y Barra Barrona.
3. En el humedal, 8 especies se encuentran asociadas a sitios donde los niveles de alcalinidad son altos, siendo estas: *Odontella mobiliensis*, *Pediastrum sp.*, *Coscinodiscus sp.*, *Chaetoceros affinis*, *Chaetoceros descipiens*, *Ceratium macroceros*, *Chaetoceros wighamii* y *Asterionellopsis glacialis*. En los sitios donde el pH es alcalino se encontraron 9 especies de fitoplancton siendo estas: *Desmidios sp.*, *Lithodenum undulatum*, *Ceratium furca*, *Chaetoceros curvicetus*, *Pleurosigma sp.*, *Amphora ovalis*, *Proteridinium conicum* y *Schelatonema costatum*,

7. Recomendaciones

Realizar estudios sobre composición, abundancia y distribución de la comunidad de fitoplancton, aumentando la cantidad de sitios en el humedal, priorizando áreas de mayor actividad antropogénica y cuñas de salinidad presentes en las barras y entradas de ríos tributarios, para tener un inventario de las especies que hay. Esto fortalecerá el conocimiento de tan importante zona marino-costera.

Establecer monitoreos del sistema de carbono en el humedal, utilizando alcalinidad y pH como indicadores, levantando información mensual que brinde una serie de datos anuales para ser utilizados como herramientas de manejo de la zona marino-costera. Estas series de datos también brindarán información para la toma de decisiones e indicarán puntos de vulnerabilidad, riesgo y resiliencia del humedal.

Es necesario estudiar otras comunidades de organismos como el zooplancton, moluscos, crustáceos y peces para poder completar la información que se tiene de la zona, solamente con información actualizada y bien documentada se pueden tomar decisiones y fortalecer el manejo de las zonas marino-costeras.

8. Referencias bibliográficas

- Barton, A., Waldbusser, G., Feely, A., Weisberg, S., Newton, J., Hales, B., Cudd, S., Eudeline, B., Langdon, C., Jefferds, I., King, T., Suhrbier, I., & McLaughlin, K. (2015). Impacts of coastal ocean acidification on the Pacific Western Shellfish industry and adaptation strategies implemented in response. *Oceanography*, 28 (2), 146 – 159.
- Boix Morán, J., Rinze, L., Turton, M., García, J., Montiel, A., & Ortíz, C. (2011). *Elementos para contribuir a la gestión integrada de zonas costeras del Pacífico de Guatemala (Dirección General de Investigación 2011- 027)*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala [USAC], Centro de Estudios del Mar y Acuicultura [CEMA].
- Brusca, R., & Brusca, G. (2012). *Invertebrados: Los protistas* (Cap. 4, pp. 119-153). (9a. ed.). España: Interamericana McGraw Hill.
- Cifuentes, L., Torres – García, P., & Frías, M. (1997). *El océano y sus recursos: Plancton* (Cap. 5, pp. 121-145). (2a. ed.) México: Educa.
- Contreras, E., & Castañeda, O. (2004). La biodiversidad de las lagunas costeras. *Ciencias*, 76 (2), 48 – 56.
- Cupp, E. (1943). Marine plankton diatoms of the West coast of North America. *University of California Press, Bulletin Scripps of Institute of Oceanography*, 5 (1), 1-238.
- Davis, J. (1964). *Leaflet series: Plankton* (Vol.1, pp. 1-3). St. Petersburg, Florida: Board of Conservation.
- Digby, P., & Kempton, R. (1987). *Multivariate analysis of ecological communities* (vol.1, pp. 204). London: Chapman and Hall.
- Declaración sobre la Acidificación Oceánica del Panel Inter – Académico de Asuntos Internacionales. (2009). *Impacto en los ecosistemas marinos*, 113 (4), 1 – 100.
- Duarte, C., Navarro, J., Acuña, K., Torres, R., Manríquez, P., Lardies, M., Vargas, C., Lagos, N., & Aguilera, V. (2015). Intraspecific variability in the Response of the Edible Mussel *Mytilus Chilensis* (Hupe) to Ocean Acidification. *Estuaries and Coasts*, 38 (2), 590-598.
- Dupont, S., & Pottner, H. (2013). Marine science get ready for ocean acidification. *Nature*, 498 (2), 116 - 121.

- Feely, R., Donay, S., & Cooley, S. (2009). Ocean acidification: Present conditions and future changes in a high CO₂ world. *Oceanography*, 22 (4), 124 - 131.
- Feely, R. A., Sabine, C. L., Hernandez-Ayon, J. M., Ianson, D., & Hales, B. (2008). Evidence for upwelling of corrosive “acidified” water onto the continental shelf. *Science*, (320), 1490–1492.
- Gazeau, F., Parker, L., Comeau, S., Gattuso, J., O’Connor, W., Martin, S., Pörtner, S., & Pauline, M. (2013). Impacts of ocean acidification on marine shelled mollusks. *Marine Biology*, (160), 2207–2245.
- Hoffman, E., Barry, P., Edmunds, J., Gates, R., Hutchins, A., Klinger, T., & Sewell, A. (2010). The effect of ocean acidification in calcifying organisms in marine ecosystems: an organism – to ecosystem perspective. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, (41), 127- 147.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología INSIVUMEH]. (2016). *Atlas climatológico* [en línea]. Recuperado octubre 10, 2017, de http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS_HIDROMETEOROLOGICO/Atlas_Clima.html
- Jiménez R., & Pesantes, F. (1978). Fitoplancton, producción primaria y pigmentos en aguas costeras ecuatorianas. *Acta Oceanográfica del Pacífico [INOCAR]*, 2 (1), 30.
- Kjerve, B., & Lacerda, L. (1993). Manglares del Brasil: Conservación y aprovechamiento sostenible de bosques de manglar en las regiones de América Latina y África / Ecosistemas de manglares. *Informes Técnicos, Proyecto ITTO/ISME*, (2), 1-265.
- Kofoid, C., & Skossberg, T. (1928). *The dinoflagellata: The dinophysoidae*. Cambridge, Massachusetts: McGraw Hill.
- Lozano Cabo, F. (1978). *Oceanografía, biología marina y pesca*. (3a. ed.). Madrid, España: Limusa.
- Ludwing, J., & Reynolds, F. (1988). *Statistical ecology, a primer on methods and computing* (p.337). New York: John Wiley.

- Marshall, L., Bonaventura, J., Mitchell, T., Prospero, J., Sherman, B., Shinn, E., Dolah, F., & Barber, R. (2000). *How are climate and emerging marine diseases functionally linked*. Reino Unido: Environmental Protection Agency.
- McCune, B., & Grace, J. (2002). *Analysis of ecological communities*. United States: MjM Software Design.
- Medina-Rosas, P. (2016). Notas sobre la acidificación del océano. *Investigaciones Costeras*, 28, 215 - 223.
- Muzzafar, S., & Ahmed, F. (2006). *The effects of the flood cycle on the diversity and composition of the phytoplankton community of a seasonally flooded Ramsar wetland in Bangladesh*. Bangladesh: Wetlands eco manage.
- Newell, R. I. E. (2004). Ecosystem influences of natural and cultivated populations of suspension-feeding bivalve mollusks: A review. *J. Shellfish Res.*, 23 (5), 1–6.
- Ojeda, J., Rosenfeld, S., Marambio, J., Rozzi, R., & Mansilla, A. (2014). Patrones estacionales y espaciales de la diversidad de moluscos intermareales de Bahía Róbaló, Canal Beagle, Reserva de la Biosfera Cabo de Hornos, Chile. *Biología Marina y Oceanografía*, 49 (3), 493-509.
- Olabarría, C. (1999). Estructura y variación estacional de moluscos asociados a la pesca artesanal de langosta en el Pacífico tropical. *Biología Tropical*, 47 (4), 851-865.
- Peña, V., & Pinilla, G. (2002). Composición, distribución y abundancia de la comunidad fitoplanctónica de la ensenada de Utría, Pacífico colombiano. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 37 (1), 67 – 81.
- Quinána, E., Oyandelb, J., Díaz, K., & Vera, C. (2016). Caracterización de la composición y fluctuaciones en la densidad y diversidad de los ensambles planctónicos en cuatro humedales de Tarapacá. *Sustainability, Agri, Food and Environmental Research*, 4 (4), 27-44.
- Ramírez, A. (1999). *Ecología aplicada, diseño y análisis estadístico* (p. 325). Bogotá: Universidad Jorge Tadeo Lozano.

- Satheeshkumar, P., y Basheer Khan, A. (2012). Influence of environmental parameters on the distribution and diversity of molluscan composition in pondicherry mangroves, southeast coast of India. *Ocean Science Journal*, 47 (1), 61-71.
- Seibel, B., Maas, A., & Dierssen, H. (2012). Energetic plasticity underlies a variable response to ocean acidification in the pteropod, *Limacina helicina antarctica*. *PLoS ONE*, (7) 1132 - 1140.
- Sociedad Mexicana de Planctología [SOMPAC]. (2017). *Taller de identificación del zooplancton*. México: Universidad Autónoma de Yucatán.
- Tapia, M. E. (2013). Composición y distribución del fitoplancton durante la prospección sísmica en la costa ecuatoriana, diciembre de 2008. *Acta oceanográfica del Pacífico* [INOCAR], 18 (1), 75 – 89.
- Torres, G., & Tapia, M. 2002. Distribución del Fitoplancton en la región costera del Mar Ecuatoriano, durante diciembre 2000. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, INOCAR, 11(1), 31 – 41.
- Wolf-Gladrow, D. A., Riebesell, U. L. F., Burkhardt, S., & Buma, J. (1999). Direct effects of CO₂ concentration on growth and isotopic composition of marine plankton. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 51 (2), 461-476.
- Zeebe, R. E., Zachos, J. C., Caldeira, K., & Tyrrell, T. (2008). Carbon emissions and acidification. *Science*, 321 (5885), 51-52.
- Zvonareva, S., Kantor, Y., Li, X., & Britayev, T. (2015). Long term monitoring of Gastropoda (Mollusca) fauna in planted mangroves in central Vietnam. *Zoological Studies*, 54 (39), 1-16.