

UNIVERSIDAD ESTATAL A DISTANCIA
VICERRECTORÍA ACADÉMICA
ESCUELA DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
MAESTRÍA EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES CON ENFÁSIS EN GESTIÓN DE LA
BIODIVERSIDAD

**Efecto de las descargas del emisario submarino sobre la abundancia y
composición de especies fitoplanctónicas en los alrededores de Isla Uvita,
Limón, Costa Rica**

Tesis presentada al Tribunal Examinador del Programa de Maestría de Manejo de
Recursos Naturales de la Escuela de Ciencias Exactas y Naturales para optar por el
grado de *Magister Scientiae* en Gestión de la Biodiversidad

Nelson Muñoz Simon

Director de tesis: Ph.D Lilliana Piedra Castro Liliana.piedra.castro@una.cr

Lector de tesis: Ph.D. José Pereira Chaves jose.pereira.chaves@una.cr

Lector de tesis: Ph.D. Ricardo Jiménez Montealegre rjimenez@una.cr

San José, Costa Rica

MARZO, 2020

TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto de Graduación ha sido aceptado y aprobado en su forma presente por el Tribunal Examinador del Programa de Maestría Académica en Manejo de Recursos Naturales del Sistema de Estudios de Postgrado de la Universidad Estatal a Distancia, como requisito parcial para optar por el grado de Magister Scientiae en Manejo y Protección de los Recursos Naturales con énfasis en Gestión de la Biodiversidad.

XXXXXXX, Título.

Representante

Director del Sistema de Estudios de Posgrado

XXXXXX, Título.

Representante

Director de la Escuela de Ciencias Exactas y Naturales

XXXXX, Título.

Representante

Profesores de la Maestría Académica en Manejo de Recursos Naturales

Zaidett Barrientos Llosa, Ph. D.

Coordinadora

Maestría Académica en Manejo de Recursos Naturales

Lilliana Piedra Castro, Ph. D.

Director de Tesis

José Pereira Chaves, Ph. D.

Lector de tesis

Ricardo Jiménez Montealegre, Ph. D.

Lector de tesis

Dedicatoria

A la M.Sc. Roxana Víquez Martínez, profesora y mentora quien me inició en el maravilloso mundo del estudio del fitoplancton.

A P y C que cruzaron el puente primero, pero aún siguen presentes y a Timoteo y Tobías gracias por su infinito amor.

Agradecimientos

Quisiera extender mi más sincero agradecimiento a las siguientes personas:

Al señor Randall Villalta por toda su colaboración y apoyo logístico durante los días de muestreo, que su gran empeño y arduo trabajo en pro de los recursos marinos del Caribe, en especial Isla Uvita, lo hagan cosechar muchos triunfos.

Al M.Sc Víctor Hugo Méndez Estrada y a la Ph.D Zaidett Barrientos Llosa por toda su paciencia y ayuda durante la fase de inicial de la propuesta de investigación, muchas gracias por todas sus observaciones y consejos.

A la M.Sc Ana Yury Saravia Arguedas y al laboratorio de Química Marina por su ayuda con los análisis químicos del agua.

A los Ph.D Meyer Guevara y Karol Ulate por su ayuda en el análisis de los datos.

Finalmente, a mi comité asesor, por haber creído en mí cuando otras personas probablemente no lo hacían, Gracias infinitas a todos y a Lilliana Piedra... simplemente por todo, porque no me alcanzarían las palabras para describir cuanto me ayudaste.

INDICE

CAPITULO I.....	6
Efecto de las descargas del emisario submarino de aguas residuales de Limón sobre la calidad del agua, abundancia y diversidad del fitoplancton en los alrededores de isla uvita, Costa Rica.....	6
RESUMEN.....	6
ABSTRACT.....	6
INTRODUCCION.....	7
MATERIAL Y METODOS.....	8
RESULTADOS.....	11
DISCUSION.....	23
CAPITULO II.....	35
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	35
CONCLUSIONES.....	35
RECOMENDACIONES.....	35
ANEXOS.....	36
ANEXO 1. Concentración de nutrimentos (Amonio, Nitrato, Nitrito Y Fosfato) a 0 y 10m de profundidad en las 4 estaciones bajo la influencia del emisario submarino de Limón, Período 2012-2013.....	36
ANEXO 2. Concentración de nutrimentos (Amonio, Nitrato, Nitrito Y Fosfato) a 0 y 10m de profundidad en 2 estaciones fuera de la influencia del emisario submarino de Limón Período 2012-2013.....	37
ANEXO 3. Variación a 0 y 10m de profundidad de los principales parámetros fisicoquímicos en 4 estaciones ubicadas dentro de la zona influencia del emisario submarino de Limón Período 2012-2013.....	38
ANEXO 4. Variación a 0 y 10m de los principales parámetros fisicoquímicos en 2 estaciones fuera de la zona influencia del emisario submarino de Limón Período 2012.....	39
ANEXO 5. Catálogo de algunas de las especies identificadas en seis estaciones alrededor de isla Uvita, Limón, Costa Rica.....	40
ANEXO 6. ANEXO 6. Carta de recepción del artículo en la revista REVMAR.....	52

CAPITULO I

Efecto de las descargas del emisario submarino de aguas residuales de Limón sobre la calidad del agua, abundancia y diversidad del fitoplancton en los alrededores de isla uvita, Costa Rica

Effect of the Limón marine residual waters outfall discharges on water quality, phytoplankton abundance and diversity in the surroundings of isla Uvita, Costa Rica

Nelson Muñoz Simon^{1}, Lilliana Piedra Castro¹, Ricardo Jiménez Montealegre¹, José Pereira Chaves¹ y
Gilberto Piedra Marín²*

¹ *Escuela de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional. * Nelson.munoz.simon@una.cr*

² *Escuela de Química. Universidad Nacional*

RESUMEN

Los emisarios submarinos han sido la opción que muchos países del mundo han adoptado como estrategia para el manejo de las aguas residuales y su operación ha generado cuestionamientos sobre el posible impacto negativo en el cuerpo receptor. Con el objetivo de evaluar la posible afectación del emisario de Limón sobre el medio marino circundante, se establecieron seis estaciones de muestreo, cuatro de ellas cercanas a la zona de desfogue y dos controles; en cada una se tomaron muestras de agua a 0 y 10m de profundidad durante el periodo 2012-2013 para medir nutrientes, parámetros fisicoquímicos, concentración de microalgas y unidades formadoras de colonias (UFC) de *Enterococcus*. Se logró determinar que en la zona existe una marcada influencia de las lluvias sobre los nutrientes, silicato y ortofosfato, además de parámetros como el Oxígeno disuelto y salinidad. Los conteos de UFC se mantuvieron en rangos muy por debajo de los límites máximos establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA). La diversidad fitoplanctónica fue alta y estuvo compuesta principalmente por especies cosmopolitas. Debido a que la concentración de nutrientes y UFC son relativamente bajas, junto con una alta diversidad algal, se concluye que no existe evidencia directa de un impacto negativo del emisario sobre la zona estudiada.

Palabras clave: Emisario submarino, fitoplancton, biodiversidad, nutrientes, *Enterococcus*.

ABSTRACT

Marine outfalls have been the option that many countries in the world have adopted as a strategy for wastewater management and their operation has generated questions about the possible negative impact on the receiving waterbody. In order to assess the possible impact of the marine outfall of Limón city on the surrounding environment, six sampling stations were established, four were located near the vent zone and two controls, in each station water samples were taken at 0m and 10m depth during 2012-2013 to measure nutrients, physicochemical parameters, microalgae concentration and colony forming units (CFU) of *Enterococcus*. Results showed that in the area, there is

a marked influence of rainfall on nutrients, silicate and orthophosphate, in addition to parameters such as dissolved oxygen and salinity. The dissolved oxygen concentration was high, reflecting that there is no significant organic load in the environment, while the CFU contents remained in ranges well below the maximum limits set by the United States Environmental Protection Agency (USEPA). Phytoplankton diversity was high and composed mostly on cosmopolitan species. Because the low nutrient concentration and CFU counts, together with the high microalgae diversity, it is concluded that there is no direct evidence of a negative impact of the marine outfall on the studied area.

Keywords: Marine Outfall, Phytoplankton, Biodiversity, nutrients, Enterococcus.

INTRODUCCIÓN

Un emisario submarino es considerado la etapa final de todo un proceso de tratamiento de aguas residuales. Está conformado por varios difusores que se ubican en el fondo de la columna de agua y hacia los cuales se bombean las aguas tratadas; la descarga forma una pluma que se desplaza por debajo de la termoclina al mismo tiempo que se diluye, y evita que los efluentes cargados de nutrientes y patógenos lleguen a la superficie donde podrían causar problemas de contaminación (Parnell, 2003; Ramírez & Salazar 2005).

Países como Chile (Toledo *et al.* 2005), Argentina (Cuello *et al.* 2019) y Estados Unidos (Parnel, 2003) entre otros han operado emisarios submarinos desde hace muchos años obteniendo resultados prometedores, por ello este tipo de estructura se ha vuelto muy común en el mundo, incluso en Latinoamérica donde actualmente se encuentran en operación unas 104 unidades (Salas, 2000).

En el 2005 iniciaron las operaciones del primer emisario submarino de Costa Rica, ubicado en la ciudad de Limón, y el cual beneficia a unos 70 000 habitantes (Carvajal, 2005). La estructura es administrada por una institución autónoma del estado costarricense (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados), tiene una capacidad de flujo de 200 l/s, y su tubería se adentra unos 800 m en el mar donde se hace la liberación de los efluentes a una profundidad de 17 metros (Carvajal, 2004).

Este tipo de proyecto ha generado cuestionamientos sobre la posible afectación en el medio circundante, pues es necesario garantizar a la población el mínimo impacto en el ecosistema marino; por ello el estado costarricense se ha comprometido, a través del ente operador a mantenerse vigilante de la correcta operación del emisario mediante un programa de monitoreo (PROIGE- AyA, 1999). Los programas de monitoreo permiten dar un seguimiento continuo para evaluar la correcta operación, y en caso de anomalías dar la alerta temprana para ejecutar las medidas correctivas.

Es necesario garantizar que los parámetros a vigilar sean los más adecuados para la toma de decisiones (Gianesella *et al.* 1999). Debido a que uno de los efectos más perjudiciales de este tipo de obra está relacionados con la eutrofización (Parnell, 2003) es necesario llevar a cabo un programa de muestreo que sea capaz de discernir cuál o cuáles parámetros fisicoquímicos y biológicos podrían haber sido alterados de manera activa por las descargas de emisario; o en su defecto, brindar indicadores que de manera rápida y económicamente rentable sean capaces de brindar información sobre el estado del ecosistema.

El presente estudio tuvo como finalidad evaluar la calidad del agua, la abundancia y diversidad fitoplactónica en 6 puntos alrededor de isla Uvita, para establecer si existen efectos negativos causados por las descargas del emisario submarino de la Ciudad de Limón sobre el medio circundante.

MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio se ubica en el caribe costarricense. En dicha zona no se presenta una estación seca bien definida; septiembre es el mes más seco del año. Sin embargo, se reconocen dos periodos bien definidos de lluvia: de noviembre a enero, y de mayo a agosto (Instituto

Meteorológico Nacional, 2010). Las temperaturas más bajas se registran entre diciembre y enero, y las más altas durante los meses de mayo a septiembre (Instituto Meteorológico Nacional, 2010; Marín *et al.* 2009).

El punto de desfogue del emisario submarino se ubica a 800 m de la costa, limita al este con la isla Uvita y al oeste con la costa de Limón. Entre ambos puntos se define un pasaje natural con una corriente marina que se dirige de norte a sur a una velocidad promedio de 0,90 km/h.

Los valores de precipitación de la zona fueron obtenidos de: Morera (2012), Naranjo & Poleo (2012); Naranjo (2013) y Chinchilla (2013).

En total se llevaron a cabo 4 muestreos para los parámetros físico-químicos y biológicos, uno por mes, entre setiembre y octubre del 2012, y marzo y setiembre del 2013 en seis estaciones en los alrededores de isla Uvita (Fig. 1). Las estaciones E1 (sobre el emisario), E2, E3 y E4 se designaron como zonas de influencia, mientras que E5 y E6 se utilizaron como puntos de control. En todas las estaciones se tomaron 2 muestras de 3 l con una botella Niskin, una a 0 m y otra a 10 m de profundidad. Del volumen total se apartó una alícuota de 250 ml para medir *in situ* la concentración de oxígeno disuelto, salinidad y temperatura con un multiparámetro HANNA, modelo HI9033. Mientras que el pH se midió con un pH-metro HANNA, modelo HI98130.

Para cada uno de los nutrientes a analizar (nitrato, nitrito, amonio-amoniaco, ortofosfatos y silicatos) se tomaron alícuotas de 250 ml y se mantuvieron en hielo hasta su llegada al laboratorio de Química Marina de la Universidad Nacional en Heredia, donde fueron conservadas a -10°C para su posterior análisis. En el caso de las muestras para la determinación de amonio-amoniaco las muestras se fijaron previamente con unas gotas de ácido sulfúrico concentrado.

Las tres formas inorgánicas del nitrógeno disuelto se determinaron de la siguiente forma: El amonio-amoniaco ($N-NH_4^+ + N-NH_3$) se cuantificó según el método del azul de indofenol

(Tinoco, 2007), el nitrato ($N-NO_3^-$) mediante la espectrofotometría ultravioleta (Hansen y Koroleff, 2007), mientras que el nitrito ($N-NO_2^-$) según la metodología 420 de Grasshoff *et al.* 1999 . Por su parte la concentración de ortofosfato inorgánico disuelto ($P-PO_4^{3-}$) se determinó por el método colorimétrico del ácido vanado-molibdo-fosfórico (Hansen & Koroleff, 2007), mientras que los silicatos se analizaron por el método del metol según lo propone Tinoco (2007)



Fig. 1. Área de estudio y ubicación estaciones de muestreo

Fig. 1. Study area and sampling stations location

Para determinar la densidad algal se tomaron submuestras de un litro y se fijaron con Lugol ácido. Posteriormente se procesaron según el método de concentración en probetas (Sournia, 1978) y la cantidad de algas en cada estación se contó por triplicado en celdas de Palmer-Maloney.

Adicionalmente, en cada muestreo se tomaron muestras cualitativas de fitoplancton en cada estación, haciendo arrastres horizontales de 2 minutos con una red de fitoplancton de 20 micras. El volumen final de cada colecta se fijó con Lugol ácido y se mantuvo en la oscuridad. Para cada

muestra se identificaron las microalgas presentes a nivel de especie con la ayuda de un microscopio de luz Olympus, modelo BX 75. Los datos obtenidos en los conteos se utilizaron para calcular los índices de diversidad de Shannon y de dominancia de Simpson, los cuales se promediaron tanto para las estaciones con influencia como para los controles. Adicionalmente los datos se utilizaron para calcular las frecuencias de aparición de cada especie.

La cuantificación de Unidades Formadoras de Colonias (UFC) de *Enterococcus* se llevó a cabo según el método 1600 propuesto por la USEPA (2006), a partir de muestras de 300 ml tomadas en cada estación de muestreo y dos controles positivos ubicados bajo el puente del río Cieneguita y su desembocadura.

Los datos físico-químicos y ambientales se integraron en un análisis de componentes principales utilizando la extensión XLSTAT (versión 2018) para MS Excel. Posteriormente se realizó un análisis de similitud (ANOSIM) utilizando el programa PRIMER-E (versión 7), mediante el cual se compararon los factores físico-químicos entre fondo vs superficie, y zona de influencia vs controles.

En los casos en que se encontraron diferencias entre los pares cotejados, se ejecutó a posteriori un análisis SIMPER, con un 90% de confianza, utilizando PRIMER-E (versión 7) para establecer cuál o cuáles parámetros contribuyeron a las diferencias observadas.

Los datos biológicos se utilizaron para llevar a cabo un análisis ANOSIM y SIMPER con los mismos criterios establecidos para los factores físico-químicos. Por otra parte, la dominancia de especies fue jerarquizada mediante el diagrama de Olmstead-Tukey (Sokal & Rohlf, 1970). Finalmente, las especies dominantes obtenidas con el diagrama de Olmstead-Tukey se utilizaron para llevar a cabo un análisis de Correspondencia Canónica.

RESULTADOS

Los valores de precipitación pluvial para noviembre y octubre del 2012 fueron de 139.6 mm y 88 mm respectivamente, mientras que para marzo y setiembre de 2013 fueron de 315.5 mm y 111.9 mm.

En el análisis de componentes principales (ACP, Fig. 2) los tres primeros ejes explican el 87.3% del total de la variabilidad. Las variables Precipitación (0.89), Silicatos (0.35) y Oxígeno disuelto (0.27) aportaron la mayor contribución en el primer componente (PC1). En el segundo componente (PC2) fueron las variables Silicatos (0.88), Amonio (0.610) y Temperatura

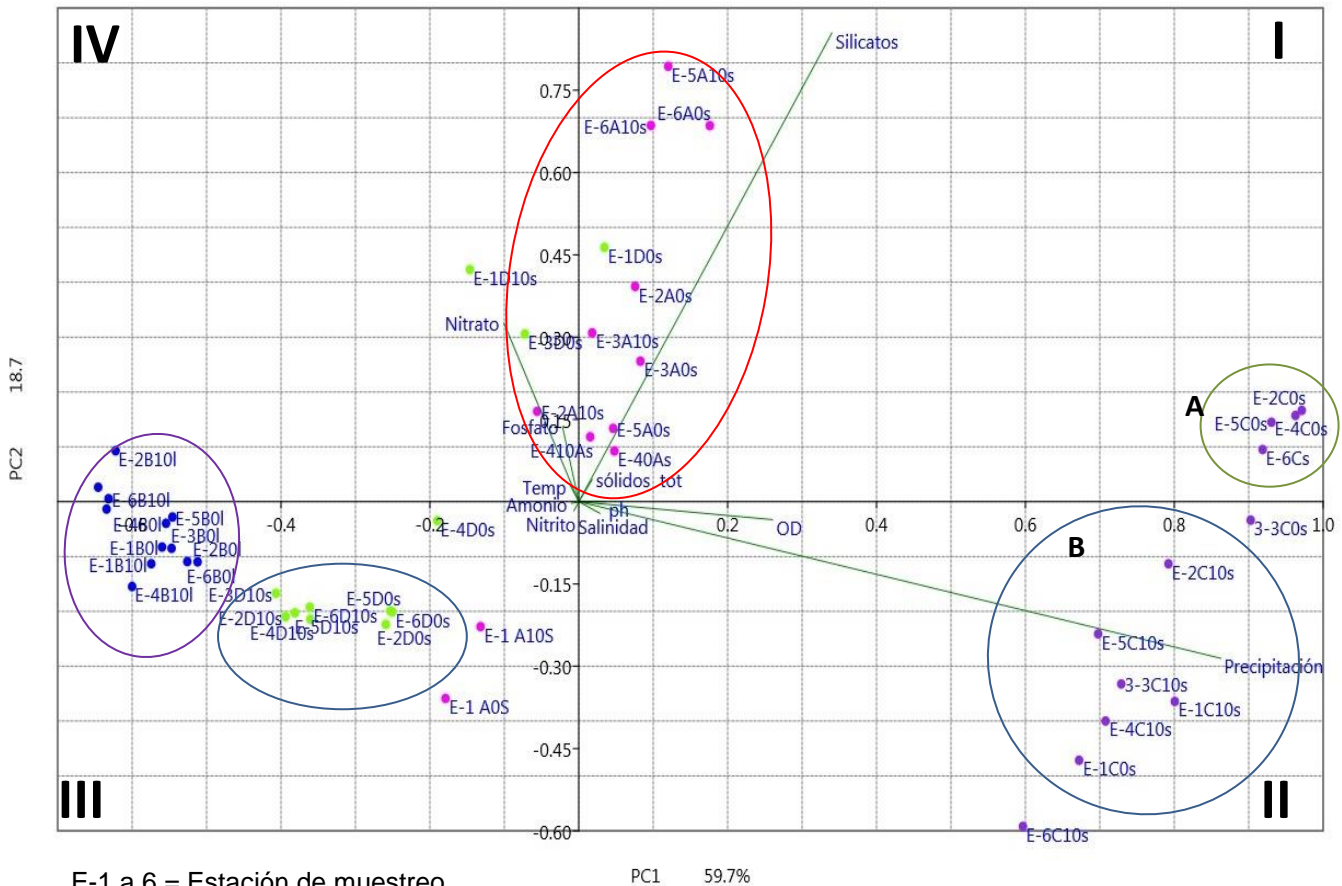
En el gráfico Biplot, entre el primer y cuarto cuadrante se ubican aquellas estaciones de muestreo que se distribuyen a lo largo de un gradiente de concentración de silicato, nitrato y ortofosfato, y la gran mayoría de ellas corresponden al primer muestreo y solamente tres al cuarto (Fig. 2).

En los cuadrantes I y II se ubican las estaciones cuyos datos fueron obtenidos en el tercer muestreo, en ellas existe una clara separación entre la superficie y el fondo (designados como A y B respectivamente). La variación en A donde se ubican estaciones de superficie, está claramente definida por el silicato, el oxígeno disuelto y la precipitación, mientras que en B hay una influencia de las precipitaciones y el oxígeno disuelto. En el tercer cuadrante se ubicaron los puntos de colecta relacionados con una disminución de la precipitación, los silicatos y un leve aumento del ortofosfato y el nitrato, sobre todo durante el segundo muestreo.

Según los resultados del ANOSIM, las variables fisicoquímicas arrojaron leves diferencias entre la superficie y el fondo ($R = 0.18$ $P=0.001$), mientras que los controles y las zonas de influencia mostraron ser similares entre ellos ($R=0.06$ $P=0.87$).

La disimilitud promedio entre la superficie y el fondo fue del 23.37%. Las variables que más contribuyeron fueron Oxígeno disuelto (2.88), Salinidad (2.52) y Sólidos totales (2.06),

mientras que la temperatura aportó un 2.0 y registró como valor promedio en la superficie 28.8°C (Cuadro 1).



E-1 a 6 = Estación de muestreo
 A, B, C y D = Fecha de muestreo donde: A = 10/9/12, B=11/10/12, C= 17/3/13 y D= 1/9/13
 0 = muestreo superficial.
 10 =muestreo a 10 metros.

Fig. 2. Biplot del análisis de componentes principales (ACP) de las variables fisicoquímicas en estaciones bajo influencia del emisario submarino de Limón y sus controles según profundidad.

Fig. 2. Principal Components Biplot of the physicochemical variables in stations under the influence of the marine outfall of Limón and its controls according to depth.

La mayor cantidad de unidades formadoras de colonias de *Enterococcus* ocurrió en los puntos de control positivo, con valores de 1800 y 1550 UFC en las estaciones Puente río Cieneguita y desembocadura, respectivamente (Cuadro 2). En los puntos con influencia del emisario

submarino la mayor cantidad de UFC se registró en estación E-1 con un total de 19.5 UFC durante en octubre del 2012. En las estaciones control, el mayor conteo se obtuvo en la estación E-6 con un total de 12 UFC y el menor de 1 UFC en E-5.

Cuadro 1. Análisis SIMPER de las disimilitudes promedio de factores fisicoquímicos entre estaciones bajo influencia del emisario submarino y sus controles

Table 1. SIMPER analysis of the average dissimilarities of physicochemical factors between stations under the influence of the marine outfall and its controls

Variable	Valor promedio de cada variable Superficie	Valor promedio de cada variable fondo	Disimilitud promedio
Oxígeno Disuelto (mg/l)	8.22	5.96	2.88
Salinidad (PSU)	29.2	30.2	2.52
Sólidos totales (g/l)	35.14	37.21	2.06
Nitritos ($\mu\text{m/l}$)	0.30	0.46	2.05
Silicatos ($\mu\text{m/l}$)	7.98	6.08	2.04
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	28.8	28.5	2.0

A partir del análisis de varianza de una vía, no se determinó diferencia significativa en relación a la cantidad de unidades formadoras de colonias de *Enterococcus* entre las zonas bajo influencia del emisario submarino y las zonas fuera de esta influencia ($P = 0.99$, $\alpha=0.005$, gl 23). Al comparar las zonas con influencia contra los controles positivos (puente y desembocadura río Cieneguita), se obtuvieron diferencias significativas ($P= 0.004$, $\alpha=0.005$, gl 23 y $P= 0.002$, $\alpha=0.005$, gl 23, respectivamente).

En las estaciones bajo influencia del emisario la mayor densidad algal fue de 28.1 cél/ml y correspondió a la E-2 durante marzo de 2013 (Fig. 3), y la densidad más baja registrada fue de 0.5 cél/ml en la estación 4 en octubre de 2012.

Cuadro 2. Cantidad de Unidades Formadoras de Colonias de *Enterococcus* dentro y fuera de la zona influencia del emisario submarino de Limón durante el período 2012-2013

Table 2. Amount of *Enterococcus* CFU's inside and outside the influence zone of the submarine outfall of Limón during the 2012-2013 period

Fecha de muestreo	Controles positivos		Estaciones bajo influencia del emisario				Estaciones sin influencia del emisario	
	Puente Cieneguita	Desembocadura río Cieneguita	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6
10/9/2012	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
11/10/2012	1 800	1 550	19.5	16.5	4	5	12	17
17/3/2013	900	850	1	2.5	2.5	4	1	2.5
1/9/2013	524	395	4	19	3.5	8	2	2

A 10 metros de profundidad las estaciones ubicadas cerca de la zona de desfogue obtuvieron un máximo de 16.20 cél/ml en la estación E-3 en marzo de 2013 y un mínimo de 5.15 cél/ml en E-4 durante marzo del mismo año. El segundo valor en importancia se registró en E-2 con un total de 12.55 cél/ml en setiembre del 2012.

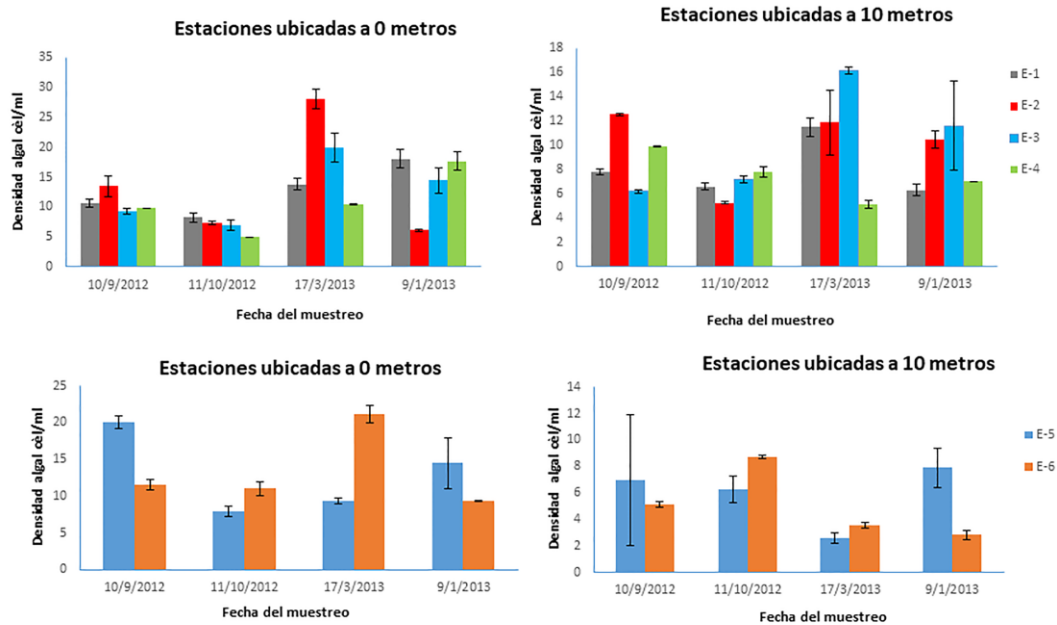


Fig. 3. Concentración de microalgas a 0 y 10 metros en 4 estaciones bajo la influencia del emisario submarino de Limón y sus controles.

Fig. 3. Microalgae concentration at 0 and 10 meters in 4 stations within the influence of the Limón marine outfall and its controls.

Las estaciones sin influencia del emisario ubicadas a la profundidad de 10 metros obtuvieron un promedio de 5.50 cél/ml, siendo la E-6 la que reporta la concentración más alta de fitoplancton (8.700 cél/ml), mientras que el valor mínimo de 2.60 cél/ml se reportó en la E-5 en marzo de 2013.

En las muestras de red (Cuadro 3) se identificaron 123 especies microalgales, de ellas 86 fueron diatomeas, 29 dinoflagelados, 5 cianobacterias y 3 corresponden a fitoflagelados diversos. Dentro de las diatomeas *Skeletonema costatum*, *Rhizosolenia stolterfothii*, *Thalassionema nitzschioides* y varias especies de *Chaetoceros* sp. son muy frecuentes, tanto espacial como temporalmente. Dentro de las especies menos comunes que se identificaron se pueden citar: *Odontella longicuris*, *Oltmannsiellopsis* sp. y algunas diatomeas penadas que solo se observaron en uno o dos muestreos o en menos de tres estaciones.

Cuadro 3. Especies fitoplactónicas presentes en 4 estaciones bajo influencia del emisario submarino de Limón y 2 fuera de esa influencia.

Table 3. Phytoplankton species present in 4 stations under the influence of the Limón marine outfall and 2 zones without influence.

Especie	Estación					
	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6
Bacillariophyceae						
<i>Actinopticus undulatus</i>	+		+		+	
<i>Amphiprora</i> sp	+		+			
<i>Asterionella japónica</i>	+++	++	++	++	+	++
<i>Asteromphalus hialina</i>	++	+			+	+++
<i>Bacteriastrum delicatulum</i>	+++	+++	+++	+++	++	++
<i>Bacteriastrum enlongatum</i>	+++	++	+++	+++	+++	+
<i>Bidulphia mobiliensis</i>			+	++	+	+
<i>Ceratoneis closterium</i>			+	+		+
<i>Ceratulina cf begordii</i>		+	+			
<i>Ceratulina pelágica</i>	++	+++	+	++	++	+++
<i>Chaetoceros affinis</i>	++++	++++	+++	++	++++	+++
<i>Chaetoceros atlanticus</i>	++++	+++	+++	++++	+++	+++
<i>Chaetoceros brevis</i>	+	+		+		
<i>Chaetoceros cf mitra</i>	+		+	++	++	+
<i>Chaetoceros coarctatus</i>	+	++			+	+
<i>Chaetoceros compresus</i>	++	+	+	++	++	
<i>Chaetoceros constrictus</i>	+++	++	+		+	++
<i>Chaetoceros costatus</i>	+	+	+	+	+	+
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	++++	++++	+++	+++	++++	+
<i>Chaetoceros descipiens</i>	++++	++++	++++	++++	+++	+++

Especie	Estación					
	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6
<i>Chaetoceros didymus</i>	+++		+++	++	++	++
<i>Chaetoceros diversus</i>	+	+	+			+
<i>Chaetoceros lacinosus</i>	+++	++	+	++++	+	+++
<i>Chaetoceros laevis</i>	+++	+++	++	+++	+++	++
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	+	+	+	+		+
<i>Chaetoceros pendulus</i>	+			+		
<i>Chaetoceros peruvianus</i>	+++	+	++	+++		++
<i>Chaetoceros pseudocurvisetus</i>	+		+	+	+	
<i>Chaetoceros sp1</i>	++	+		+		
<i>Chaetoceros sp2</i>	++	+		+	+	+
<i>Chaetoceros subtilis</i>	++	+	++	+	++	++
<i>Chaetoceros unicel</i>					+	
<i>Cilindrotheca closterium</i>	+		++	++	++	+
<i>Corethron sp</i>	+	+			+	++
<i>Coscinodiscus coscinodiscus</i>	+++	++	+	+++	+++	++
<i>Coscinodiscus concinnus</i>			+	+		++
<i>Cyclotella comensis</i>		+		+	+	+
<i>Cyclotella menengiana</i>	++	+	+	+	+	+
<i>Cyclotella sp</i>	+	+				
<i>Cymbella sp</i>		++		+		
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>		+	+	+	+	+
<i>Dactyliosolen sp</i>	+					
<i>Ditylum brigweldii</i>	++	+	++	++	++	+
<i>Eucampia cf zodiacus</i>		+	+		+	+
<i>Grammatophora sp</i>	+++	+	+			
<i>Guinardia striata</i>	++	+		+++	++++	++++
<i>Guinardia fláccida</i>	+++	++	++		++	++
<i>Hemiaulus haukii</i>	+++	+++	+++	++	+++	+++
<i>Hemiaulus membranaceus</i>	++++	+++	++	+++	+++	+++
<i>Lauderia annulata</i>			+	+		
<i>Leptocilindrus danicus</i>	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>Lioloma pacificum</i>	++	+				+
<i>Lithodesmium undulatum</i>	+				+	+
<i>Melossira sp</i>		+	+			+
<i>Meuniera membranacea</i>	+	+	+		+	
<i>Navicula sp</i>	+	+	+	+	++	++
<i>Nitzschia pungens</i>	++	+	+	+	+	+
<i>Nitzschia pungens var atlántica</i>	+++	++	++	++	++	++
<i>Odontella longicruris</i>	+					
<i>Pinnularia sp</i>	+		+	+		
<i>Pleurosigma angulatum</i>	+	+	++	+		+
<i>Pleurosigma sp</i>	+		+			
<i>Probocia alata</i>	+	+	+++	++	++	++
<i>Pseudonitzschia sp</i>	+	+				
<i>Pseudonitzschia pungens</i>	++	++	++	++	+++	+++
<i>Pseudosolenia calcar-avis</i>	+++	++	++	+	+	++
<i>Rhizosolenia acuminata</i>	+		+			
<i>Rhizosolenia hebeata</i>			+		+	++
<i>Rhizosolenia robusta</i>		+	+		++	+
<i>Rhizosolenia brevis</i>	+		+		+	
<i>Rhizosolenia cf polydactyla</i>	+			+		
<i>Rhizosolenia imbricata</i>	+				+	+
<i>Rhizosolenia setigera</i>	+++	+	+++		+++	++
<i>Rhizosolenia stolterfothii</i>	++++	++++	++++	++++	++++	++++
<i>Skeletonema costatum</i>	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>Stephanopyxys sp</i>	+	+		+		
<i>Thalassionema nitzschiodes</i>	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>Thalassiosira nana</i>	+	+			+	+

Especie	Estación					
	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6
<i>Thalassiosira sp</i>			++	+++	++	+
<i>Thalassiotrix frauenfeldii</i>		++	++	++	++	+
<i>Thalassiotrix longissima</i>	+	++	+	++	++	++
Dinopyceae						
<i>Ceratium furca</i>	+++	+++	+++	++		+++
<i>Ceratium fusus</i>		+		+		
<i>Ceratium horridum</i>		+	+	+		
<i>Ceratium macroceros</i>		++			++	+
<i>Ceratium pentagonum</i>	+	++				+
<i>Ceratium sp</i>		+			+	+
<i>Ceratium tricocerus</i>					+	+
<i>Ceratium tripos</i>			+			
<i>Dinophysis caudata</i>			+		+	+
<i>Gonyaulax digitale</i>			+			+
<i>Gymnodinium sp</i>		+	+		+	+
<i>Gymnodinium sp redondeado</i>					+	
<i>Gynodinium cf pulchelum</i>					+	+
<i>Gyrodinium sp</i>					+	
<i>Heterocapsa sp</i>	+	+	+	+	+	+
<i>Phalacroma rotundatum</i>					++	+
<i>Prorocentrum micans</i>	++	++	++	+++	+++	+++
<i>Prorocentrum minimum</i>	++	+	+		+	+
<i>Protoperidinium conicum</i>	+	+	+	+		+
<i>Protoperidinium divergens</i>						
<i>Protoperidinium oceanicum</i>	+		++	++	+	+
<i>Protoperidinium pellucidum</i>	+	+	+	++	+	++
<i>Protoperidinium pentagonum</i>		+		+	+	+
<i>Protoperidinium sp</i>	++	++	+	++		
<i>Pyrophacus steinii</i>	+			+		
<i>Scripsiella trocoidea</i>	+	+			++	+
Dinoflagelado no id	+		+			
Cyanophyceae						
<i>Ciano no id 1</i>	+					
<i>Oscillatoria sp</i>		+		+	+	+
<i>Phormidium sp</i>		+	+			
<i>Synechocystis sp</i>	+	+	+			
<i>Johannesbaptistia pellucida</i>	+	+	+		++	++
Chlorophyceae						
<i>Euglena sp</i>	+	++	++	+	++	++
<i>Eutreptiella sp</i>	+					
Otros grupos						
Fitoflagelado no id	+	+				

+ Muestreo 10/09/2012. + Muestreo 11/10/2012. + Muestreo 17/03/2013. + Muestreo 01/03/2013

La diversidad promedio en la zona bajo influencia del emisario submarino a nivel de superficie mostró poca variación entre las fechas de muestreo (Fig. 4). Los valores oscilaron entre 2.30 a 2.87 bits/cél, mientras que el promedio de la dominancia se mostró baja. En las estaciones

control, el índice de Shannon registró valores más altos en octubre del 2012 y el 17 de marzo de 2013 que coinciden con una disminución de la dominancia.

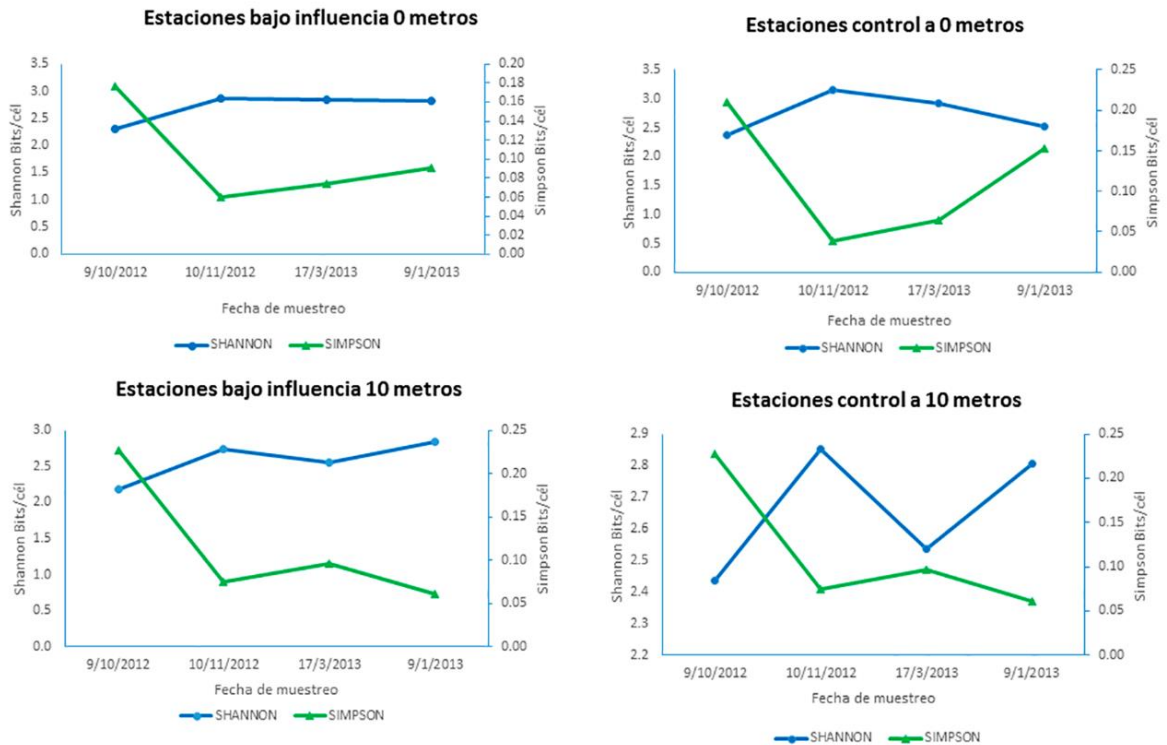


Fig. 4. Valor promedio de los Índices de diversidad Shannon Weiner y dominancia de Simpson para estaciones bajo influencia del emisario submarino y sus controles según profundidad.

Fig. 4. Average value of the Shannon Weiner diversity index and Simpson's dominance for stations under the influence of the marine outfall and its controls according to depth.

A 10 metros de profundidad y en la región de influencia del emisario, se obtuvieron índices de diversidad bajos en comparación con su contraparte en la superficie; mientras que en la región fuera de la influencia se obtuvieron valores levemente mayores, oscilando entre 2.44 y 2.85 bits/cél. La dominancia fue baja con un mínimo de 0.06 bits/cél y el máximo de 0.23 bits/cél.

Según el diagrama de Olmstead-Tukey (Fig. 5) 34 especies fueron dominantes, una de las cuales fue el dinoflagelado *Protoperidinium* sp. y el resto fueron diatomeas. De estas, *T. nitzschoides* y *S. costatum* fueron las más frecuentes, seguidas por *P. pungens* junto con *Ch.*

descipiens y *R. stolterfortii*. Las especies consideradas como raras fueron 29, 2 cianobacterias, 12 dinoflagelados y 19 diatomeas. Los dinoflagelados más frecuentes fueron *P. micans* y *P. minimum*, seguidos por *P. oceanicum* y *P. pellucidum*. Las especies raras más frecuentes de diatomeas fueron *R. hebeata*, *R. acuminata* junto con *Ch. atlanticus*. Las especies ocasionales fueron 9; 3 de ellas dinoflagelados y 6 diatomeas, de las cuales *Ch. didymus* y *Ch. compresus* fueron los más frecuentes. Para esta investigación no se registraron especies constantes.

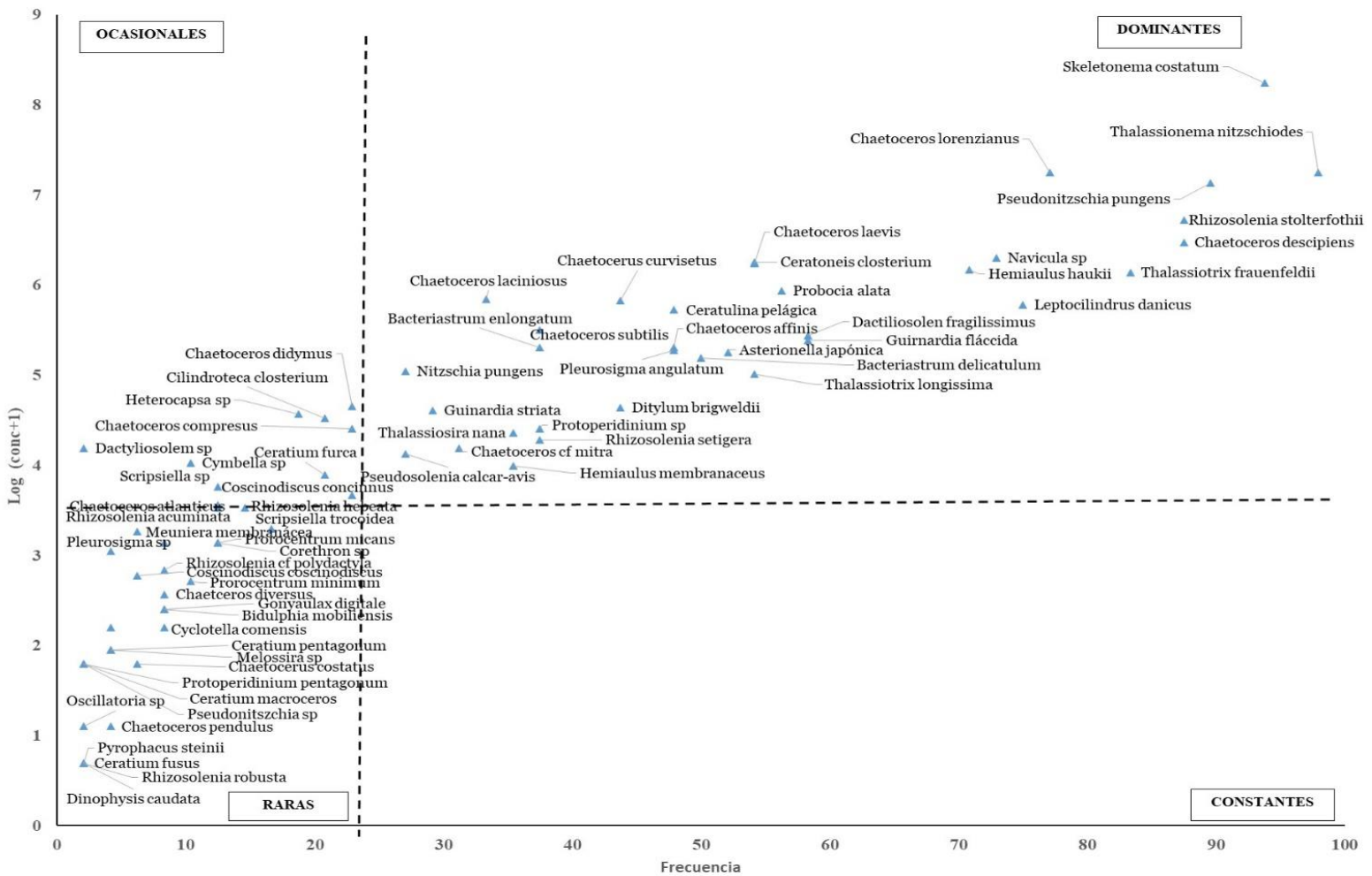


Fig. 5. Diagrama de Olmstead- Tukey de las especies fitoplanctónicas para seis estaciones de muestreo alrededor de isla Uvita; Limón, Costa Rica

Fig. 5. Olmstead-Tukey diagram of phytoplankton species for six sampling stations around Uvita Island; Limón, Costa Rica

Con respecto a la abundancia de microalgas se logró evidenciar que no existe diferencia significativa entre la zona de influencia y los controles ($R=0.069$ $P=0.12$), pero sí entre la superficie y el fondo ($R=0.14$ $P=0.001$).

En total, 22 especies fitoplactónicas fueron las que aportaron las mayores disimilitudes entre la superficie y el fondo. *S. costatum* fue una de las más importantes con una concentración promedio en la superficie de 2.00 cél/ml y de 1.35 cél/ml en el fondo, lo que corresponde a un valor de 11.64 de disimilitud. Otras especies como *C. pelagica*, *H. haukii* y *Ch. curvisetus* aportan valores de disimilitud de entre 2.19 y 2.99 (Cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis SIMPER de las disimilitudes promedio en la concentración de especies fitoplanctónicas entre estaciones bajo influencia del emisario submarino y sus controles

Table 4. SIMPER analysis of the average dissimilarities of phytoplankton concentration between stations under the influence of the marine outfall and its controls

Especie	Valor promedio (cél/ml)		Disimilitud promedio
	Superficie	fondo	
<i>Skeletonema costatum</i>	2.00	1.35	11.64
<i>Pseudonitzschia pungens</i>	1.08	0.40	5.93
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	0.84	0.43	4.64
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	0.83	0.83	3.94
<i>Rhizosolenia stolterfothii</i>	0.75	0.29	3.37
<i>Asterionella japonica</i>	0.35	0.22	2.34
<i>Nitzschia pungens</i>	0.26	0.143	2.23
<i>Chaetoceros descipiens</i>	0.47	0.19	2.23
<i>Navicula sp</i>	0.18	0.34	2.13
<i>Ceratulina pelagica</i>	0.31	0.11	1.88
<i>Leptocylindrus danicus</i>	0.30	0.18	1.62
<i>Dactiliosolen fragilissimus</i>	0.27	0.06	1.55
<i>Hemiaulus haukii</i>	0.32	0.08	1.53
<i>Thalassiotrix frauenfeldii</i>	0.30	0.22	1.47
<i>Chaetoceros laevis</i>	0.23	0.08	1.43
<i>Chaetocerus curvisetus</i>	0.29	0.02	1.38
<i>Ceratoneis closterium</i>	0.15	0.13	1.23
<i>Chaetoceros subtilis</i>	0.13	0.05	1.03
<i>Thalassiotrix longissima</i>	0.14	0.05	0.9
<i>Ditylum brigweldii</i>	0.12	0.08	0.88
<i>Bacteriastrum delicatulum</i>	0.12	0.07	0.87
<i>Chaetoceros lacinosus</i>	0.15	0.02	0.84

Un total de 33 especies fitoplanctónicas y 10 variables ambientales fueron utilizadas para el análisis de correspondencia canónica (Fig. 6). La respuesta de las especies a las variables ambientales fue explicada principalmente por los tres primeros ejes (71%), siendo el primero el más importante con un 33.3%. Este eje se haya fuertemente relacionado con la precipitación, la salinidad, el oxígeno disuelto, y los silicatos. Por otro lado, las variables temperatura, nitrito, silicato y ortofosfato son las más destacadas para el segundo eje.

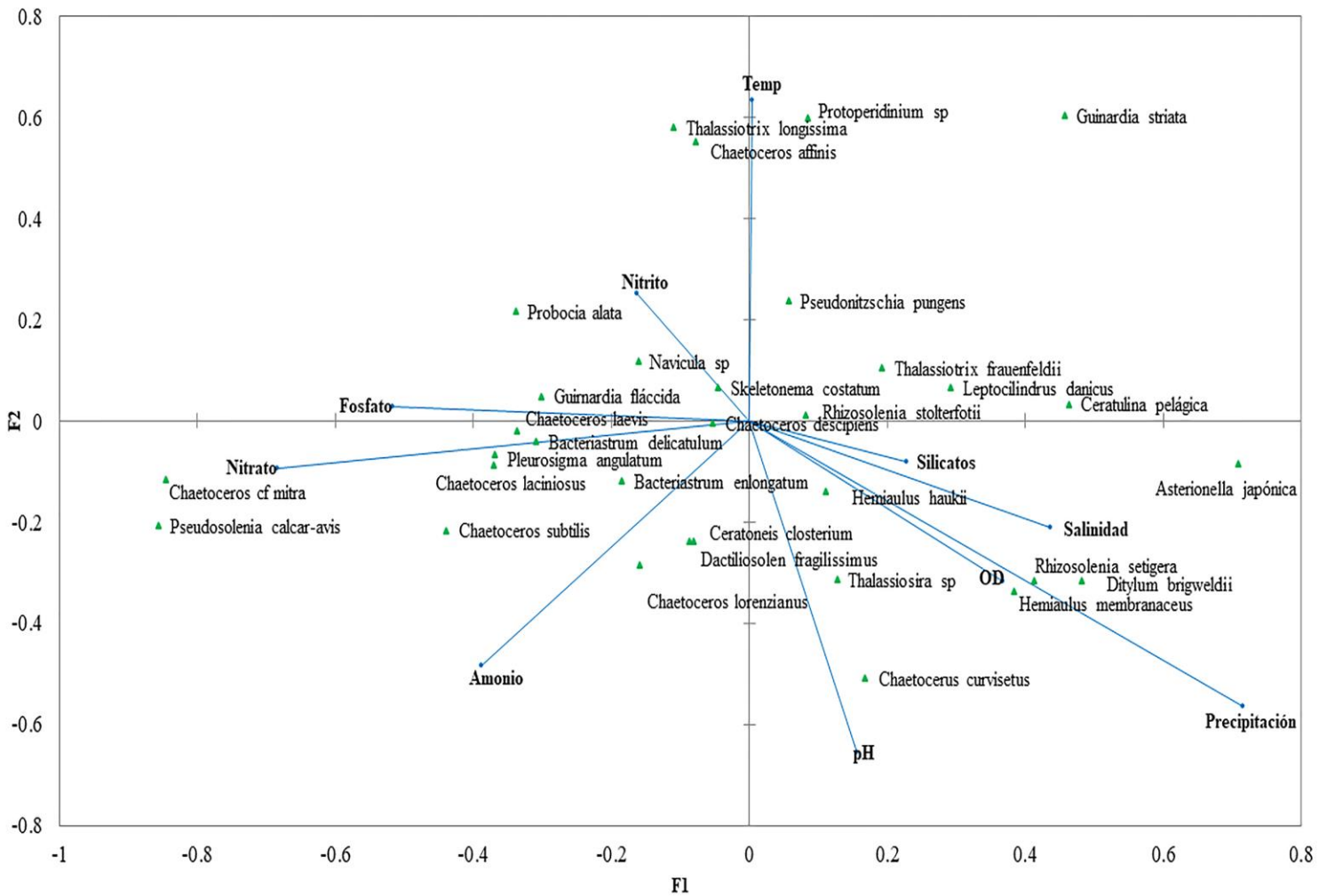


Fig. 6. Proyección del análisis de correspondencia canónica del fitoplancton y las variables biológicas para las estaciones bajo influencia del emisario submarino y sus controles.

Fig. 6. Projection of the canonical correspondence analysis of phytoplankton and biological variables for stations under the influence of the marine outfall and its controls.

En el primer cuadrante del biplot y relacionadas con la variación en la precipitación y la temperatura, se encontraron las especies *G. striata*, *P. pungens*, *T. frauenfeldii* y *L. danicus*. La variación de la salinidad fue de particular importancia para las diatomeas *C. pelagica*, *L. danicus* y *A. japonica* que se ubican hacia los extremos del primer eje, mientras que el aumento en la precipitación está correlacionado con el aumento de en la concentración de *R. setigera*, *D. brigwerdii* y *H. membranaceus*. En el tercer y cuarto cuadrante se identificaron especies agrupadas por los nutrientes nitrato, ortofosfato y amonio, donde *Ch. lacinosus*, *Ch. laevis* y *Ch. descipiens* estuvieron más relacionados con la concentración de ortofosfato, mientras que *P. calcar-avis* y *Ch. cf mitra* se ubican en los extremos del eje nitrato. Por otro lado, el pH y la concentración de amonio explican la abundancia de *C. closterium*, *D. fragilissimus* y *Ch. lorenzianus* que se relaciona con los valores bajos de amonio.

DISCUSIÓN

En algunas temáticas el Caribe costarricense continúa siendo inexplorado, los estudios publicados sobre la diversidad y abundancia de microalgas fitoplanctónicas y su relación con los parámetros fisicoquímicos son prácticamente inexistentes, a la fecha solamente existe un estudio de impacto ambiental previo a la construcción del emisario (PROIGE- AyA, 1999) y el estudio realizado por Mora-Alvarado & Portuguez-Barquero (2016), pero respecto a la abundancia y diversidad algal no existe referente para un “antes” o un “después” en la zona, por ello este estudio es pionero y su información es sumamente valiosa para futuras investigaciones en la temática.

El análisis de componentes principales y de correspondencia canónica evidenciaron que en la zona de muestreo existe influencia de las precipitaciones, donde los valores altos de silicatos,

oxígeno disuelto y sólidos totales suspendidos coinciden con las mayores precipitaciones. Troccoli *et al.* 2004, obtienen patrones similares en la Península de Yucatán en una zona con influencia de agua dulce, sin embargo, a diferencia de estos autores, durante los períodos de lluvias no se encontraron especies de microalgas típicas de ecosistemas dulceacuícolas.

Los datos reflejan que hay influencia de las precipitaciones sobre los factores abióticos y, por ende, en la estructura de la comunidad fitoplactónica. Durante los períodos de mayores precipitaciones que corresponden al primer y tercer muestreo se observó un aumento en la concentración de silicato, nitrato, amonio y fosfato, lo que sugiere que la zona de estudio se encuentra bajo la influencia del caudal de los ríos en la región, tal y como lo mencionaron Brenes-Rodríguez & Benavides-Morera (2015).

La alta escorrentía desde la zona terrestre junto con el arrastre de sedimentos y el aumento en la concentración de nutrientes podría ser también responsable del aumento de los sólidos totales durante el período, a través de dos mecanismos: 1) partículas en suspensión derivadas de los procesos de erosión, meteorización y arrastres de materia orgánica (Vinayachandran *et al.* 2002; Vajravelu *et al.* 2018) y 2) aumento de la biomasa microalgal estimulada por el ingreso de nuevos nutrientes (Quinlan & Philips, 2007).

La diferencia entre el fondo y la superficie respecto a los parámetros físico-químicos, son producto de la naturaleza misma de la columna de agua y no de la operación del emisario submarino. Estas diferencias en parámetros tales como el oxígeno tienden a aumentar conforme aumenta la profundidad, producto de factores como la disminución de la cantidad de organismos fotoautótrofos y a una relación más cercana con el fondo, donde se pueden presentar procesos de descomposición y reciclaje de nutrientes. Los valores obtenidos fueron similares a los reportados

por el PROIGE- AyA (1999), previo a la construcción del emisario, por lo que se puede asegurar que no hay una afectación respecto a los parámetros físico-químicos.

Mora-Alvarado y Portuguez-Barquero en el 2016, reportaron 33 UFC de *Enterococcus* para julio del 2014, una cantidad mayor a la reportada en el presente estudio, tanto en las estaciones con influencia del emisario como en los controles. Para dictaminar si un cuerpo de agua es apto para la recreación se utiliza como referencia la normativa estadounidense, que establece un máximo de 35 UFC/100ml (USEPA, 2012; Vergaray *et al.* 2007). Bajo esta normativa las aguas en los puntos de muestreo de esta investigación podrían clasificarse como aptas para el uso recreativo.

Los controles positivos permitieron verificar la no afectación de las descargas del río Cieneguita sobre la cantidad de *Enterococcus* en las estaciones ubicadas al sur de Isla Uvita. La carga del río sobrepasa por muchos órdenes de magnitud la establecida por la USEPA (2012) como mínima para proteger la salud humana. Estas descargas podrían estar canalizándose hacia la corriente superficial que se mueve paralela a la playa, por lo que es recomendable tomar muestras en esos puntos, que son justamente los utilizados por los bañistas y pescadores para realizar sus actividades.

No hubo diferencia significativa en la cantidad de UFC entre la zona bajo influencia del emisario submarino y sus controles, por ello no se puede asumir una afectación al medio causada por los efluentes vertidos. Los controles positivos mostraron valores muy altos en comparación a las estaciones de muestreo; esto podría indicar que el río Cieneguita es un punto muy importante de contaminación fecal y que su problemática debería abordarse desde una perspectiva interdisciplinaria.

En otras latitudes García y Luque (2011) reportan concentraciones algales máximas que rondan las 4000 cél/l alrededor de las Islas Canarias, un entorno con influencia oceánica y escasas de nutrientes, mientras que en la bahía Boka Kotorska, Drakulović *et al.* (2016) reportan valores máximos de 8.4×10^5 cél/l en un ecosistema fuertemente influenciado por la actividad antropogénica. La densidad algal reportada en los alrededores del emisario submarino se encuentra apenas por encima de los valores de un sistema de características oligotróficas.

Las diatomeas dominaron en todas las muestras seguidas por los dinoflagelados, y este comportamiento también ha sido observado en otras regiones del mundo (García & Luque, 2011; Drakulović *et al.* 2016; Muhammad-Adlan *et al.* 2012). Los datos obtenidos por Hulburt (1968) cerca de la costa Caribe costarricense donde se logró identificar un total de 15 especies, es un número bajo en comparación con el encontrado en esta investigación.

La diversidad algal en las estaciones de muestreo tendió a ser alta mientras que la dominancia fue baja; este comportamiento coincide con lo reportado por García y Luque (2011) para 15 estaciones de muestreo ubicadas en la costa del municipio de San Bartolomé de Tirajana en Islas Canarias. Margalef (1986) citado por García y Luque (2011) indica que el índice de diversidad en ecosistemas costeros puede variar entre 3.5 y 4.5, dado que los valores de diversidad obtenidos en la zona se mantuvieron en 3, la comunidad fitoplanctónica podría ser considerada predominantemente costera.

La zona de estudio es un ambiente del tipo costero donde al parecer la abundancia de las especies y la secuencia en la que se presentan puede no implicar un proceso de sucesión, sino más bien una serie de eventos temporales causados por fenómenos físicos como corrientes, el tiempo o escorrentías. Lo anterior se refleja por algunas de las especies como *T. nitzschioides*, y *S. costatum* que dominan ecosistemas costeros designados por Margalef (1997) como “turbulentos”,

donde las aguas están mezcladas y cargadas de nutrientes. La alta relación superficie-volumen de estas diatomeas les confiere una rápida capacidad de crecimiento y absorción de nutrientes por lo que pueden alcanzar altas densidades en poco tiempo.

El 57% de las especies fitoplactónicas fueron raras, esto debido a que presentaron densidades y frecuencias de aparición inferiores a la media. Lo anterior sumado a la ausencia de especies constantes podría deberse a un cambio continuo en la dinámica del ecosistema, donde las poblaciones algales son removidas de la zona por la corriente marina sin que la tasa de división celular pueda reponer las células perdidas; lo anterior concuerda con los resultados obtenidos por Varona-Cordero & Gutiérrez-Mendieta (2003) y por Varona-Cordero *et al.* (2010) en lagunas costeras de México.

Las diferencias observadas entre la abundancia algal de la superficie y la del fondo reflejan el comportamiento típico del fitoplancton marino y no una afectación del emisario submarino. De las dos especies que dominaron a 10 m de profundidad, *Navicula sp.* es predominantemente bentónica siendo usual encontrarla a esta profundidad. Mientras que, *R. stolterfotii*, mostró colonias pequeñas, que según lo reportado por Peperzak *et al.* (2003) podrían presentar tasas de asentamiento mayores. El alto porcentaje de disimilitud aportado por *S. costatum* y *Ch. lorenzianus* puede deberse al mayor tamaño de las colonias, factor que contribuye a que presente flotabilidad neutra (Cloern *et al.* 1983), al igual que *P. pungens* forman cadenas de variada longitud y alargadas que facilita su reubicación en las capas superficiales por los movimientos de las masas de agua.

Muchas de las especies presentes en la zona son cosmopolitas y presentan múltiples mecanismos para adaptarse a entornos dinámicos. Sin embargo, a pesar de esto requieren de condiciones óptimas para mantener la densidad poblacional. Khan *et al.* (1998) y Tian *et al.* (2002) demostraron, bajo condiciones de laboratorio, que *S. costatum* crece en rangos de salinidad de 25-

35 PSU y temperaturas de 20-25°C, condiciones similares a las observadas en el presente estudio. Esto podría explicar por qué la baja variabilidad en su abundancia pese a estar correlacionada con el nitrito.

S. costatum se encuentra ampliamente distribuida en los mares del mundo y produce florecimientos nocivos bajo condiciones eutróficas, por lo que se ha sugerido como indicador de la calidad del agua (Sánchez *et al.* 1995). Sin embargo, no se observó esa condición en la investigación.

La temperatura fue el factor más importante con el que se relacionó la abundancia de *P. pungens* y concuerda con lo reportado por Zrinka *et al.* (2011) para el noreste del mar Adriático. La especie es cosmopolita y se ha relacionado su abundancia con el ortofosfato y el amonio (Trainer *et al.* 2012; Zrinka *et al.* 2011). No obstante, el presente estudio muestra que puede existir especificidad regional y que otros factores pueden explicar la abundancia de la especie.

Estudios en otras latitudes han evidenciado que un aumento en la ocurrencia de *Chaetoceros* sp y *Bacteriastrum* sp puede estar asociada con altas concentraciones de nutrientes (Paul *et al.* 2008; Kumar *et al.* 2007). Pese a que esta información pareciera reflejarse en el análisis de correspondencia canónica, es importante recalcar que los valores de nutrimentos en general se mantienen bajos con respecto a zonas con mayor productividad y por ello no debe interpretarse esta relación como un mero indicador de eutrofización antropogénica, sino más bien desde la perspectiva de la eficiencia y especificidad en el uso del nitrógeno y el fósforo.

Los datos recolectados en el presente estudio han demostrado que no existe un impacto evidente en el medio marino adyacente a la zona de desfogue del emisario submarino de la ciudad de Limón, y que la estructura y composición de la comunidad fitoplanctónica, dominada por diatomeas céntricas se haya muy influenciada por la precipitación, la temperatura y la salinidad.

AGRADECIMIENTOS

A Roxana Viquez Marten quien a lo largo de mi vida profesional me inculcó el amor por el estudio de las microalgas y fue quien dirigió mis primeros pasos.

Este trabajo se realizó como parte de los requisitos de graduación del programa de Maestría en Manejo de Recursos Naturales de la Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica.

BIBLIOGRAFÍA

Brenes-Rodríguez, C. L. & Benavides-Morera, R. (2015). Características termohalinas de las aguas costeras del Caribe Sur de Costa Rica. *Rev. Mar. Cost.*, 7, 27-41.

<http://dx.doi.org/10.15359/revmar.7.2>.

Carvajal, M. (26 de mayo de 2004). Limón ya tiene un sistema de aguas negras. *La Nación*.

Recuperado de <https://www.nacion.com/el-pais/limon-ya-tiene-un-sistema-de-aguas-negras/HGXD26REZVHRZBO4OCX7O6ZATI/story/>

Carvajal, M. (26 de noviembre de 2005). Sistema de aguas negras de Limón Opera al 100 por ciento. *La Nación*. P 21.

Chinchilla, R. G. (2013). *Resumen meteorológico setiembre de 2013*. San José, Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional.

Cloern, J. E., Alpine, A. E., Cole, B. E., Wong, J. F. & Ball M.D. (1983) River discharge controls phytoplankton dynamics in the northern San Francisco Bay Estuary. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 16(4), 415-429.

Cuello, V. G., Llanos, E. N., Garaffo, G. V. & Jaubet, M. L. (2019). Emisario submarino de Mar del Plata (Argentina): ¿Cómo impactó su construcción en la comunidad bentónica intermareal? *Ecol. Austral.*, 29, 028-040. <https://doi.org/10.25260/EA.19.29.1.0.771>

- Drakulović D., Pestorić B., Kraus R., Ljubimir S. & Krivokapić S. (2016) Phytoplankton Community and Trophic State in Boka Kotorska Bay. In Joksimović A., Djurović M., Semenov A., Zonn I. & Kostianoy A. (Eds.), *The Boka Kotorska Bay Environment*. (169-201). Cham, Switzerland: Springer.
- García, R. A. & Luque, E. A. (2011). *Evaluación ambiental de las aguas costeras y puertos deportivos a partir de la comunidad fitoplanctónica en las Islas Canarias, España*. Tesis de doctorado no publicada, Universidad de las Palmas de Gran Canarias, Gran Canarias.
- Gianesella, F. M., Saldanha-Corrêa, P. M., Kutner, B. M. & Pompeu, M (1999). Assessment of plankton community and environmental conditions in São Sebastião Channel prior to the construction of a produced water outfall. *Rev. Brasileira Oceanogr.*, 47(1), 29-46. <https://doi.org/10.1590/S1413-77391999000100003>.
- Hansen, H. & Koroleff, F. (2007). Determination of nutrients. In K. Grasshoff & M. Ehrhardt (Eds.), *Methods of Seawater Analysis* (pp. 159-228). New York: Wiley-VCH.
- Hulburt, E. M (1968). Phytoplankton Observations in the Western Caribbean Sea. *Bull. Mar. Sci.*, 18(2), 388-399.
- Instituto Meteorológico Nacional. (2010). Climatología Aeronáutica. Recuperado el 15 de octubre de 2019 de http://www.imn.ac.cr/informacion_aero/clima_limon.pdf.
- Paul, J. T., Ramaiah, N. & Sardesai, S. (2008). Nutrient regimes and their effect on distribution of phytoplankton in the Bay of Bengal. *Mar. Envir. Res.*, 66, 337-344. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2008.05.007>.
- Khan, S., Haque, M., Arakawa, O. & Onoue, Y. (1998). Physiological observations on a diatom *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve. *Bangladesh J. Fish. Res.*, 2, 109-118.
- Margalef, R. (1997). Turbulence and marine life. *Sci. Mar.*, 61(1), 109-123.

- Marín, R., Marquetti, M. & Díaz, M. (2009). Índices larvales de *Aedes aegypti* antes y después de intervenciones de control en Limón, Costa Rica. *Rev. Cub. de Med. Trop.*, 2(61),1-10.
- Mora-Alvarado, D. & Portuguez-Barquero, C. (2016). Cobertura de la disposición de excretas en Costa Rica en el periodo 2000-2014 y expectativas para el 2021. *Rev. Tec. Marcha*, 29(2), 43-62.
- Morera, R. R. (2012). *Resumen meteorológico setiembre de 2012*. Boletín meteorológico Nacional. San José, Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional. <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/14635/SEPTIEMBRE>.
- Muhammad-Adlan, A. H., Wan-Maznah, W.O., Khairun, Y., Chuah, C. C., Shahril, M. H. & Noh, M. (2012). Tropical Marine Phytoplankton Assemblages and Water Quality Characteristics Associated with Thermal Discharge from a Coastal Power Station. *J. Nat. Sci. Res.*, 2, 88-99.
- Naranjo, D. J. & Poleo, B. D. (2012). *Resumen meteorológico octubre de 2012*. San José, Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional. <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/14635/OCTUBRE>.
- Naranjo, D. J. (2013). *Resumen meteorológico marzo de 2013*. San José, Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional. <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/14637/MARZO>.
- Parnell, P. E. (2003). The effects of sewage discharge on water quality and phytoplankton of Hawai'ian coastal waters. *Mar. Env. Res.*, 55(4), 293-311.
- Peperzak, L., Colijn, F., Koeman, R., Gieskes, W. W. & Joordens, J. C. (2003). Phytoplankton sinking rate in the Rhine region of freshwater influence. *J. Plankton Res.*, 25(4), 365-383. <https://doi.org/10.1093/plankt/25.4.365>

- Kumar, S. S., Nuncio, M. S., Ramaiah, N., Sardesai, S., Narvekar, J., Fernandes, V. & Paul, J. T. (2007). Eddy-mediated biological productivity in the Bay of Bengal during fall and spring intermonsoons. *Deep-Sea Res.*, 9 (54), 1619-1640. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2007.06.002>
- PROIGE- AyA. (1999). *Informe. Estudio de impacto ambiental del proyecto emisario submarino para la Ciudad de Limón. Costa Rica: Sin editorial.*
- Quinlan, E. L. & Philips, E. J. (2007). Phytoplankton assemblages across the marine to low-salinity transition zone in a blackwater dominated estuary. *J. Plankton Res.*, 29, 401-416.
- Ramírez, C. J. & Salazar, M. E. (2005). Calidad de aguas residuales en los sistemas de depuración operados y administrados por AYA y estudios especiales de interés institucional (Informe 2005). San José, Costa Rica: Sin editorial.
- Salas, H. J. (2000). *Emisarios submarinos alternativa viable para la disposición de aguas negras de ciudades costeras en América Latina y el Caribe. Lima; Perú: CEPIS.*
- Sánchez, S., Martínez, M. E., Molina, E. & Casa, J. A. (1995). *Skeletonema costatum* as a potential source of fatty acids and single-cell protein (SCP): The effect of pH on growth rate and biomass composition. *Mar. Biotechnol.*, 2, 23-26.
- Sokal, R. R. & Rohlf, F. J (1970). Biometry: the principles and practice of statistics in biological research. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 133(1), 102-102. [doi:10.2307/2343822](https://doi.org/10.2307/2343822)
- Sournia, A. (1978). *Phytoplankton Manual*. Paris, France: UNESCO
- Tian, Y., Mingjiang, Z. & Peiyuan, Q. (2002) Combined effects of temperature, irradiance and salinity on growth of diatom *Skeletonema costatum*. *Chin. J. Ocean. Limnol.*, 20, 237-243. <https://doi.org/10.1007/BF02848852>

- Tinoco, Q. J. (2007). *Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos: Aguas, sedimentos y organismos*. Santa Marta, Colombia: INVEMAR.
- Toledo, H., Hernández, C., Rodríguez, C., Bittner, V., Ferreira, L. & Orellana, F. (2005). Estudio de la contaminación fecal mensual y estacional en la zona costera adyacente al emisario submarino en la bahía de puerto Montt. *Gayana (Concepción)*, 69(1), 104-112.
- Trainer, V. L., Stephen, S. B., Lundholm, N., Thessen, A. E., Cochlan, P. W., Adams, N. G. & Trick, G. C. (2012) "*Pseudo-nitzschia* physiological ecology, phylogeny, toxicity, monitoring and impacts on ecosystem health", *Harmful Algae*, 14(2012), 271-300.
- Trocchi, G. L., Herrera-Silveira, J. & Comín, F. A. (2004). Structural variations of phytoplankton in the coastal seas of Yucatan, Mexico. *Hydrobiologia*, 519, 85-102. <https://doi.org/10.1023/B:HYDR.0000026487.78497.b6>.
- USEPA. (2006). *Method 1600: Enterococci in Water by Membrane Filtration Using membrane-Enterococcus Indoxyl- β -D-Glucoside Agar (mEI)*. (Report # 821-R-02-022). Washington D.C: Government printing office.
- USEPA. (2012). Recreational Water Quality Criteria. <https://www.epa.gov/wqc/2012-recreational-water-quality-criteria>
- Vajravelu, M., Mariasingarayan, Y., Saravanakumar, A. & Mayakrishnan, M. (2018). Seasonal influence of physico-chemical parameters on phytoplankton diversity, community structure and abundance at Parangipettai coastal waters, Bay of Bengal, South East Coast of India. *Oceanologia*, 60(2), 114-127. <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2017.08.003>

- Varona-Cordero, F. & Gutiérrez-Mendieta, F. (2003). Estudio multivariado de la fluctuación espacio-temporal de la comunidad fitoplanctónica en dos lagunas costeras del estado de Chiapas. *Hidrobiológica*, 13(3), 177-194.
- Varona-Cordero, F., Gutiérrez-Mendieta, F. & Castillo, M. M. (2010). Phytoplankton assemblages in two compartmentalized coastal tropical lagoons (CarretasPereyra and Chantuto-Panzacola, Mexico). *J. Plankton Res.*, 32, 1283-1299.
- Vergaray, G., Méndez, C.R., Morante, H. Y., Heredia, V. & Béjar, V. (2007). *Enterococcus* y *Escherichia coli* como indicadores de contaminación fecal en playas costeras de Lima. *Rev. I. Inves. Facu. Ing. Geol., Miner., Metal. Geo.*, 10(20), 6-82.
- Vinayachandran, P. N., Murty, V. S. & Ramesh Babu, V. (2002). Observations of barrier layer formation in the Bay of Bengal. *J. Geophys. Res.* 107 (12), 1-14.
<http://drs.nio.org/drs/handle/2264/1362>
- Zrinka, L., Suncica, B., Damir, V., Borojevic, K., Pfannkuchen, D., Jelena, G., Ivana, U., Peharec Štefanić, P. & Djakovac, T. (2011). Ecology and taxonomy of potentially toxic *Pseudo-nitzschia* species in Lim Bay (north-eastern Adriatic Sea). *Harmful Algae*, 10, 713-722.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.hal.2011.06.002>

CONCLUSIONES

Según la evidencia obtenida en esta investigación se puede concluir que:

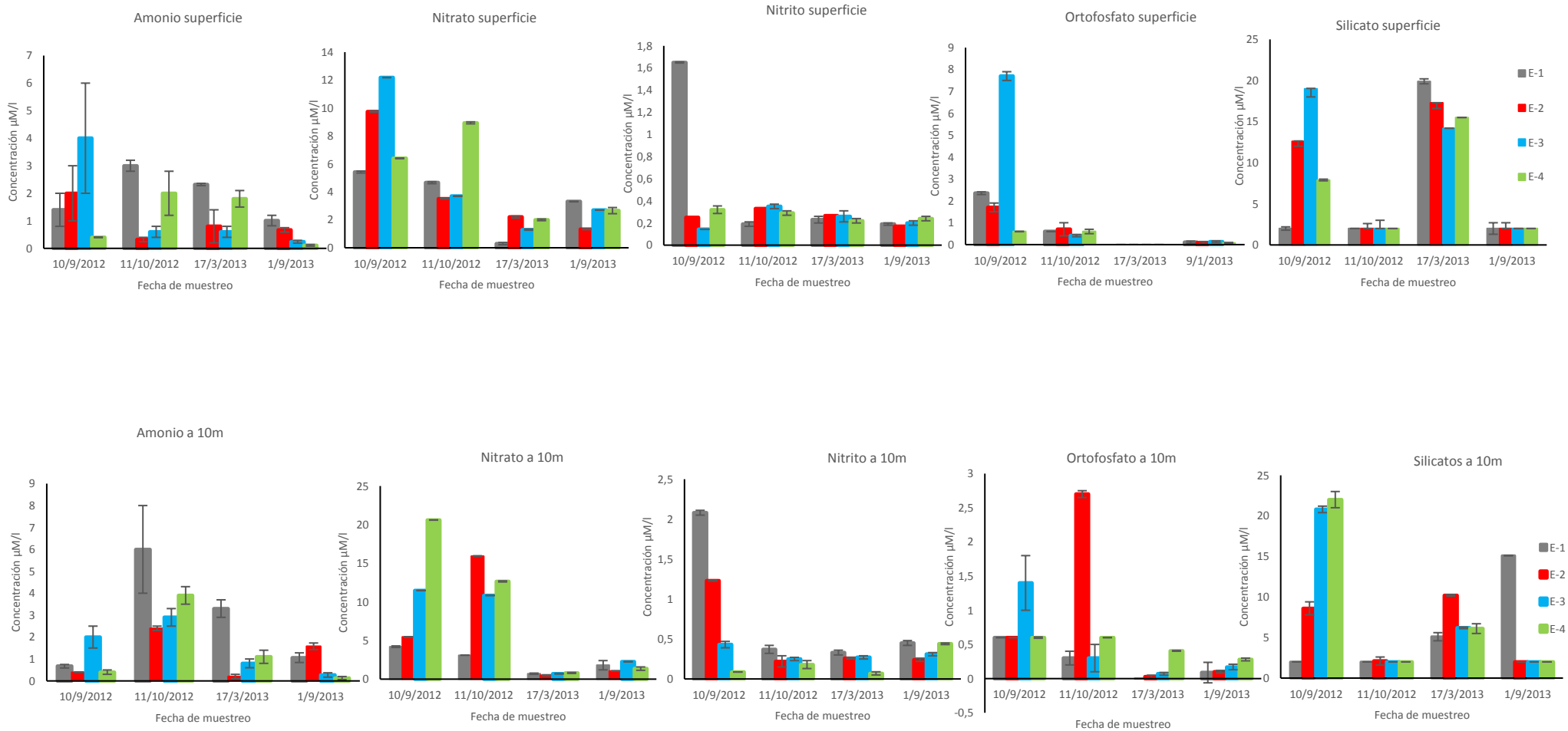
- A) No existe evidencia directa de afectación en el ecosistema marino cercano a la isla Uvita y sus alrededores debido a la operación del emisario submarino.
- B) La variación en la estructura y composición de la comunidad fitoplanctónica en la zona alrededor de isla Uvita se encuentran influenciadas principalmente por la precipitación y la concentración de silicatos
- C) Ninguna de las especies fitoplanctónicas identificadas puede utilizarse como bioindicadora de un eventual posible efecto producto de la operación del emisario submarino.
- D) Las especies de fitoplancton dominantes durante el estudio fueron principalmente cosmopolitas, lo que junto con los altos valores de diversidad indican una no afectación del emisario al ecosistema.

RECOMENDACIONES

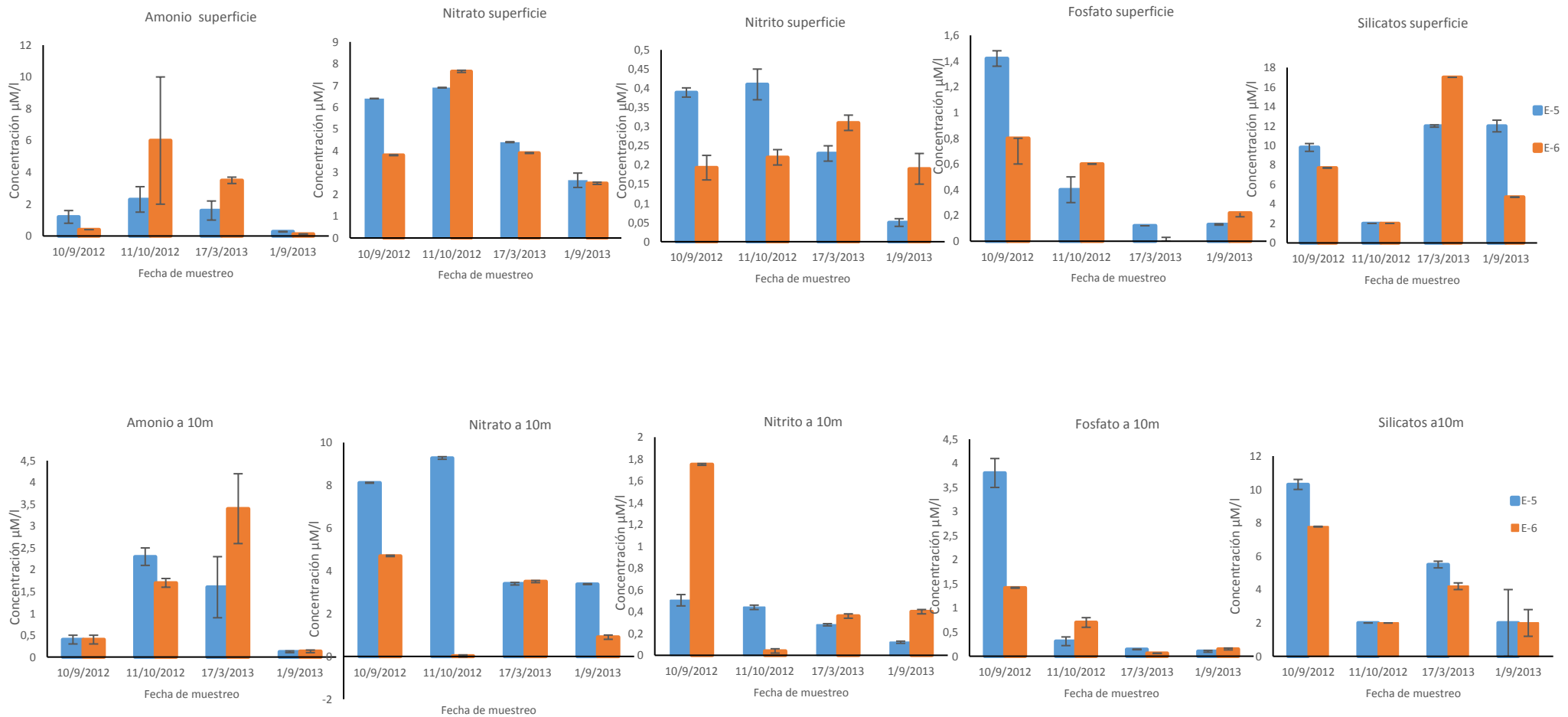
Los resultados obtenidos en este trabajo sientan las bases para futuras investigaciones y estudios de impacto ambiental en la zona costera, para ello se brindan las siguientes recomendaciones:

- A) Implementar un programa de monitoreo, fisicoquímico y biológico en la zona cercana al emisario submarino para dar seguimiento a su correcta operación.
- B) Es necesario aumentar la frecuencia de muestreo de manera que pueda darse un seguimiento más cercano a las variables fisicoquímicas y biológicas.
- C) La toma de muestras en la zona del caribe debe de manera obligatoria incluir datos sobre la precipitación.
- D) Se recomienda tomar muestras solo en la superficie de la columna de agua para agilizar la obtención y procesado de la información cuando se incluya fitoplancton en el programa de muestreo.

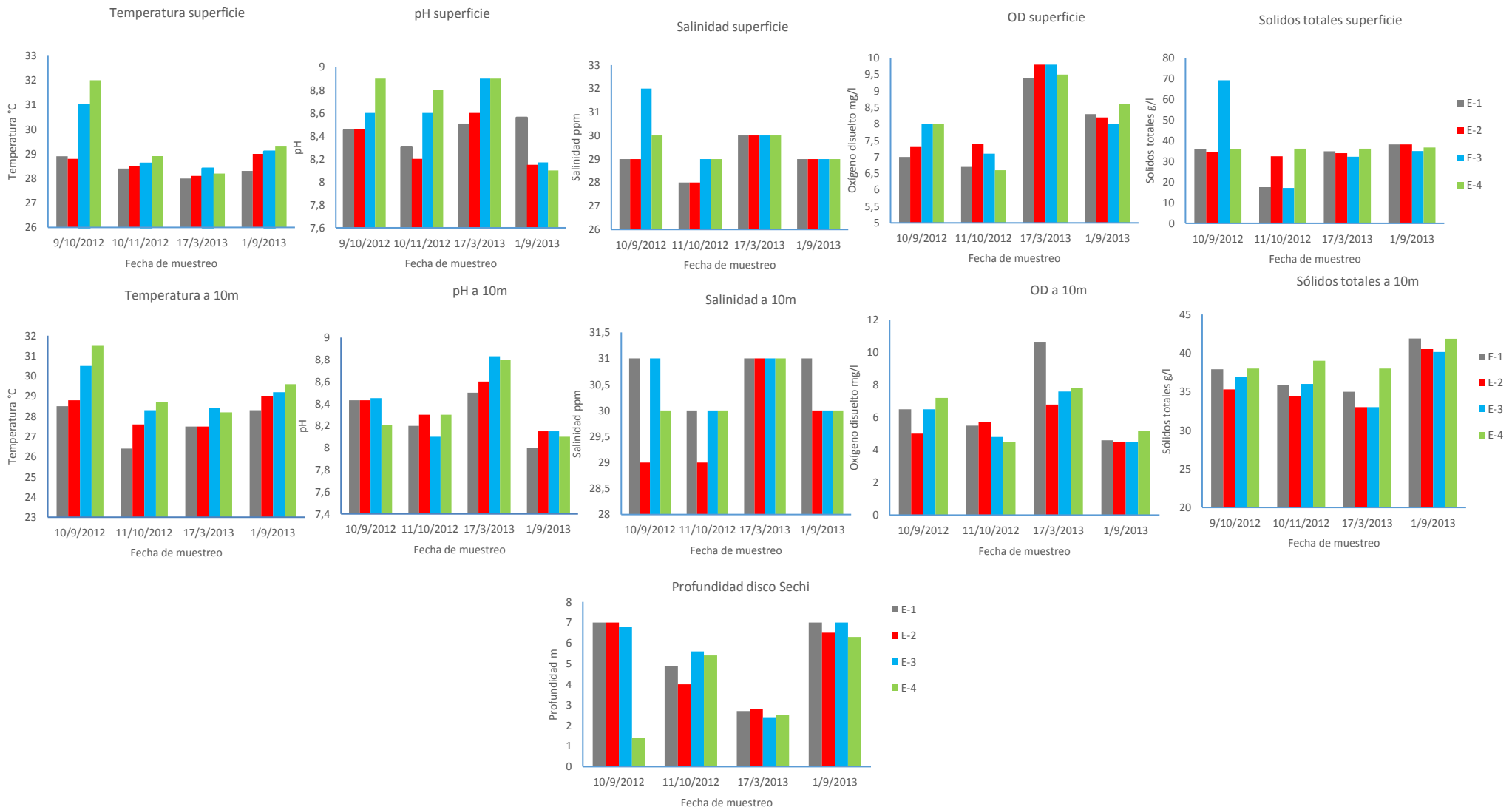
ANEXOS



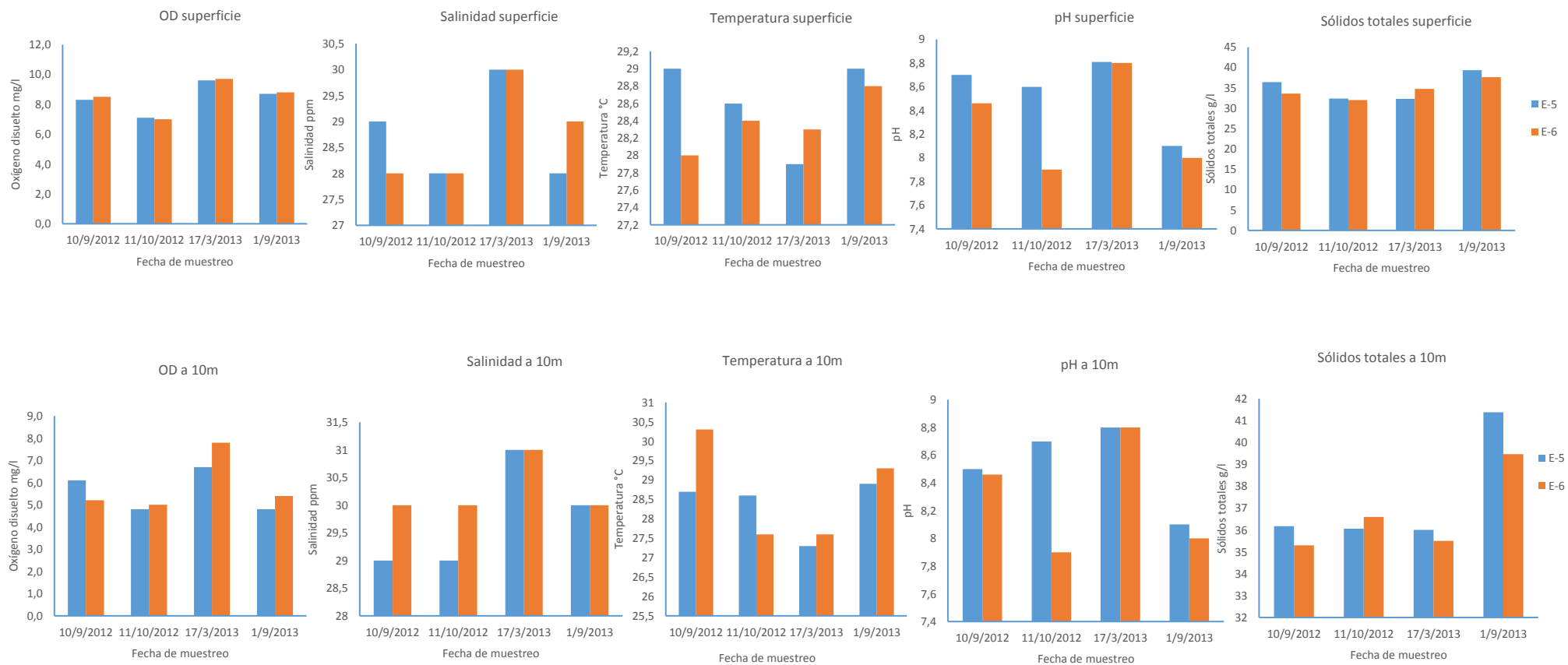
ANEXO 1. Concentración de nutrientes (Amonio, Nitrato, Nitrito Y Fosfato) a 0 y 10m de profundidad en las 4 estaciones bajo la influencia del emisario submarino de Limón, Período 2012-2013.



ANEXO 2. Concentración de nutrientes (Amonio, Nitrate, Nitrite Y Fosfato) a 0 y 10m de profundidad en 2 estaciones fuera de la influencia del emisario submarino de Limón Período 2012-2013.



ANEXO 3. Variación a 0 y 10m de profundidad de los principales parámetros fisicoquímicos en 4 estaciones ubicadas dentro de la zona influencia del emisario submarino de Limón Período 2012-2013.

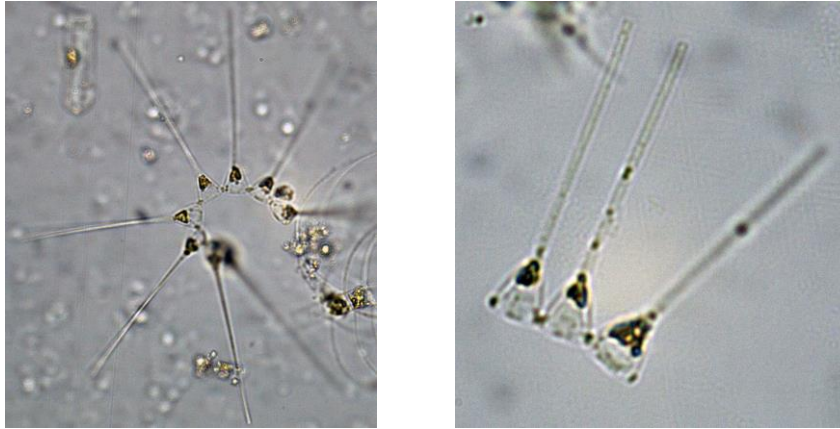


ANEXO 4. Variación a 0 y 10m de los principales parámetros fisicoquímicos en 2 estaciones fuera de la zona influencia del emisario submarino de Limón Período 2012

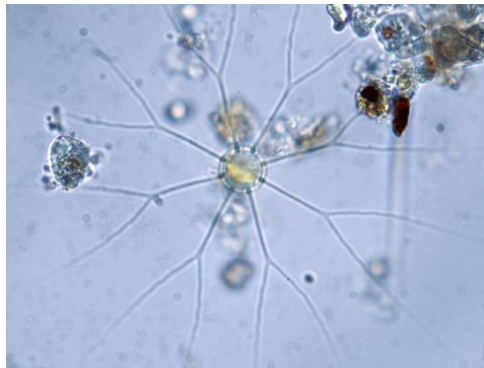
ANEXO 5. Catálogo de algunas de las especies identificadas en seis estaciones alrededor de isla Uvita, Limón, Costa Rica.

Bacillariophyceae

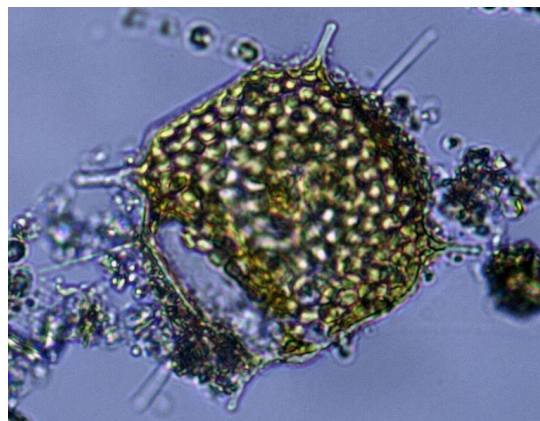
Asterionella japonicus



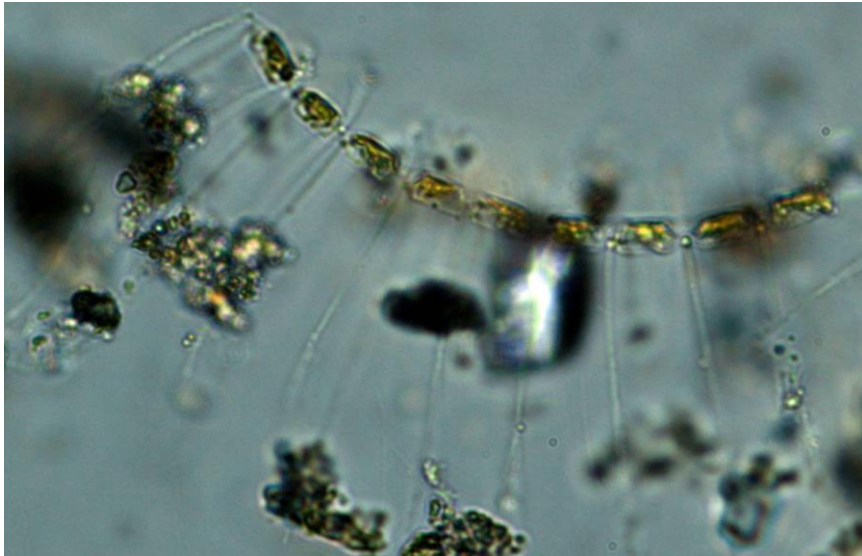
Bacteriastrum delicatulum



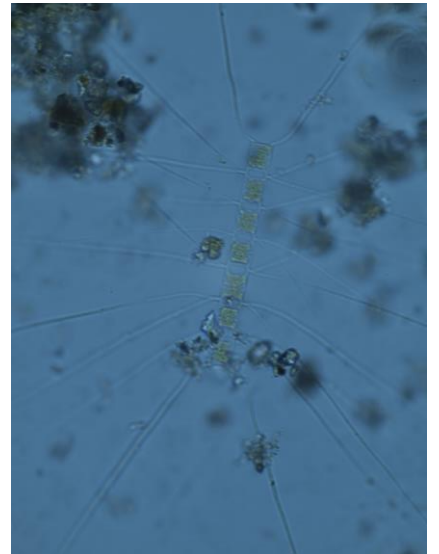
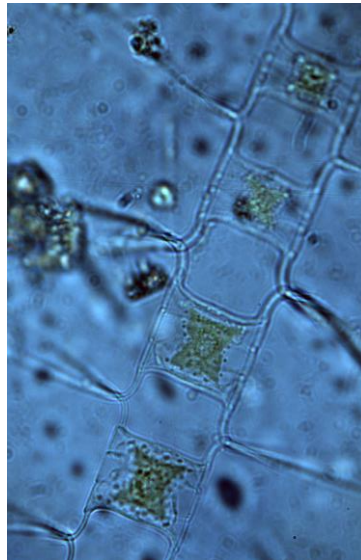
Bidulphia sp



Chaetocerus curvisetus



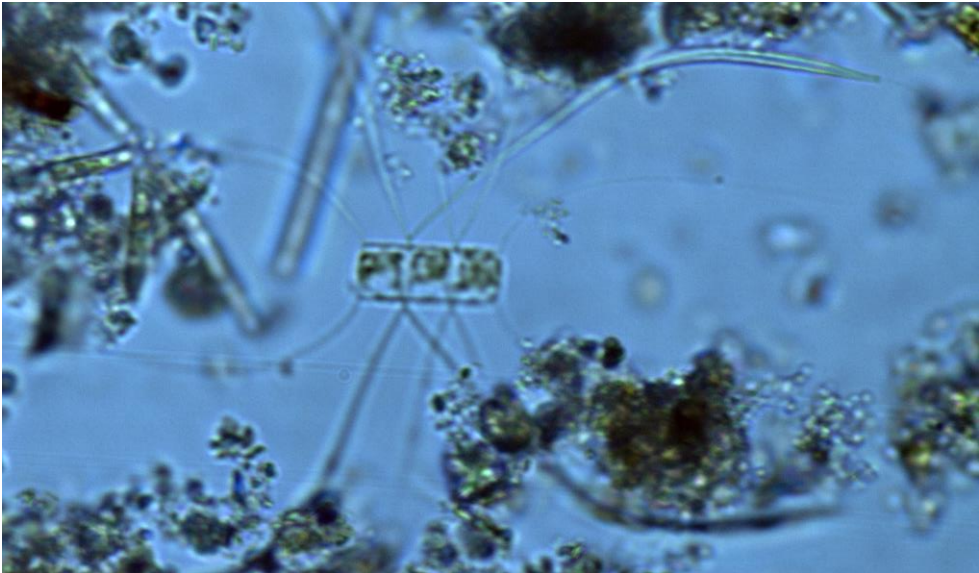
Chaetocerus decipiens



Chaetocerus didymus



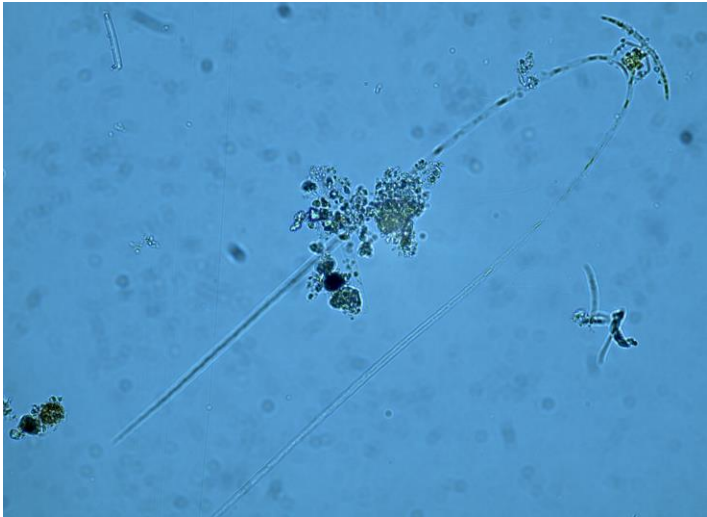
Chaetocerus diversus



Chaetocerus laevis



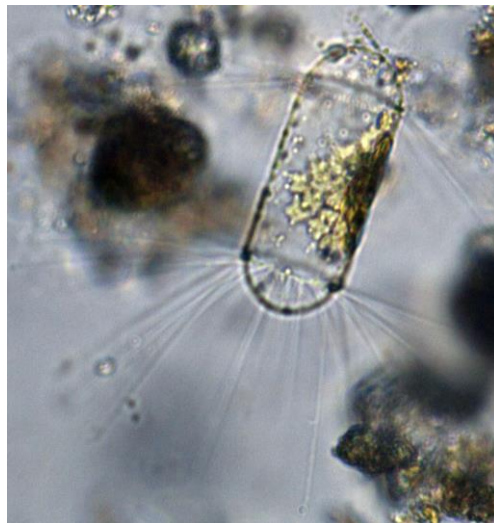
Chaetocerus pendulus



Chaetocerus peruvianus



Corethron sp



Coscinodiscus sp



Cyclotella menengiana



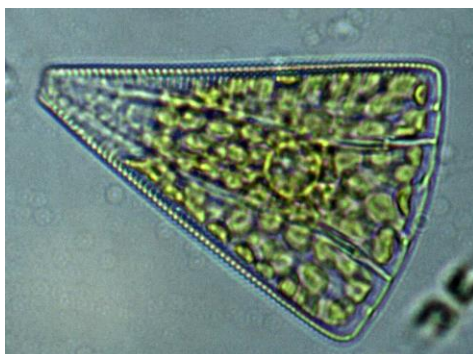
Guinardia delicatula



Hemiaulus hauckii



Licmophora abbreviata



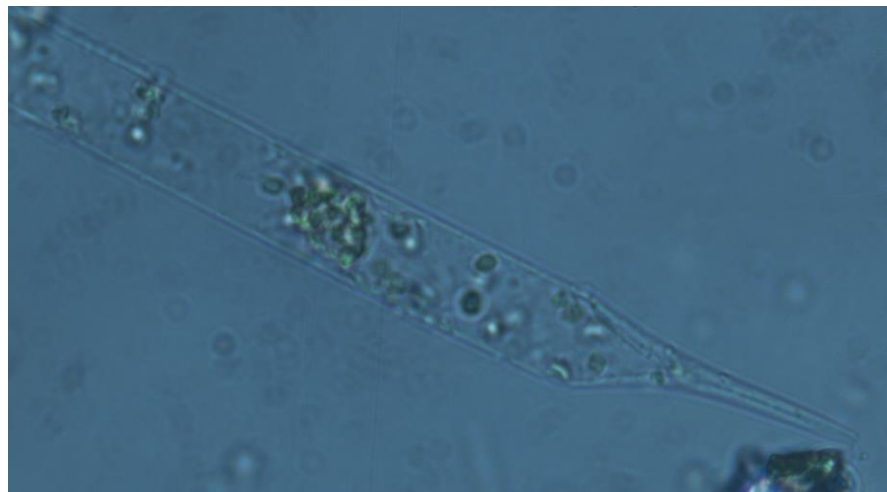
Litodesmium undulatum



Pleurosigma sp



Proboscia alata



Pseudonitzschia pungens



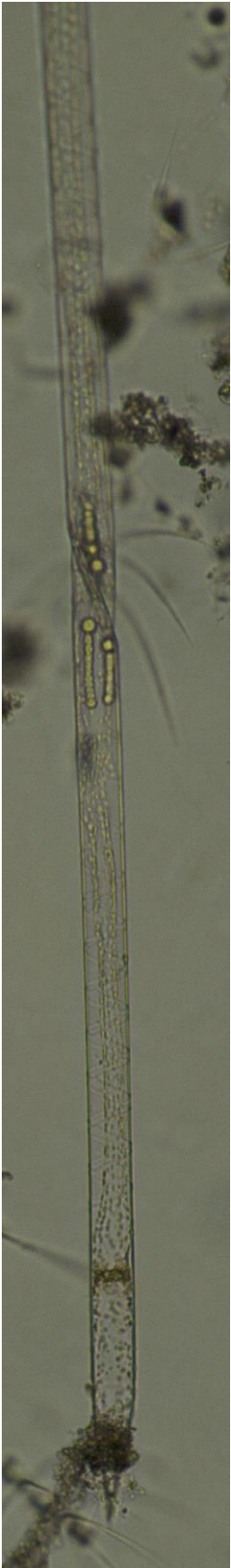
Rhizosolenia calcar-avis



Rhizosolenia stolterfothii



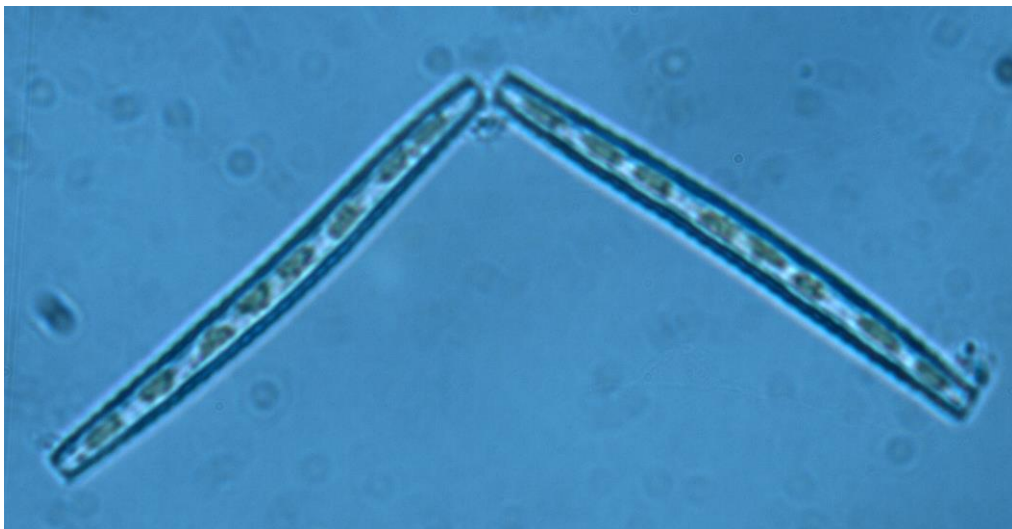
Rhizosolenia hebeata



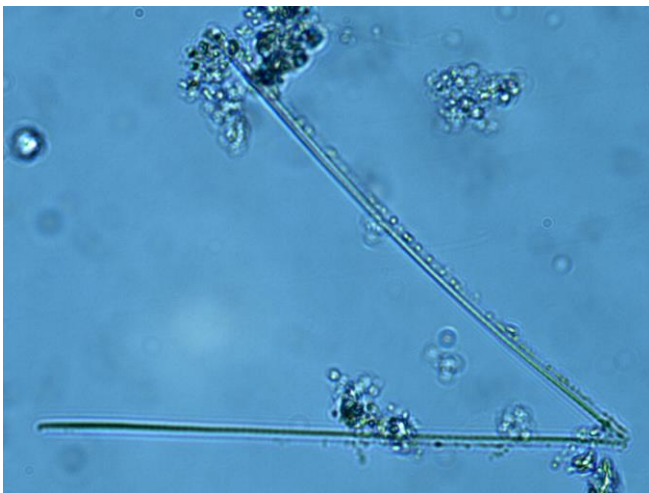
Skeletonema costatum



Thalassionema nitzschioides



Lioloma pacificum

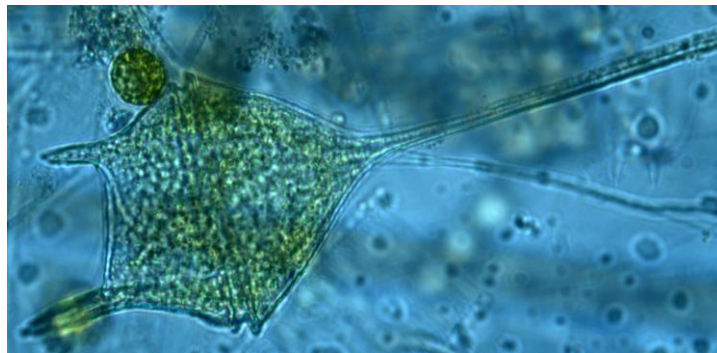


Dinophyceae

Ceratium macrocerus



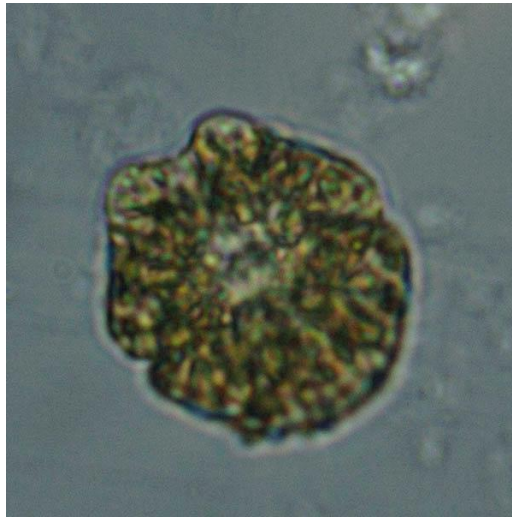
Ceratium pentagonum



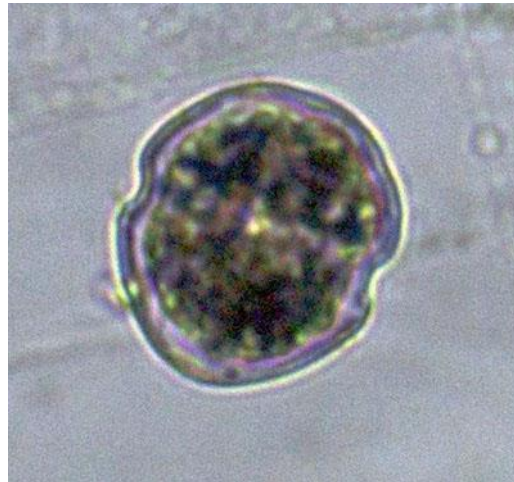
Dinophysis caudata



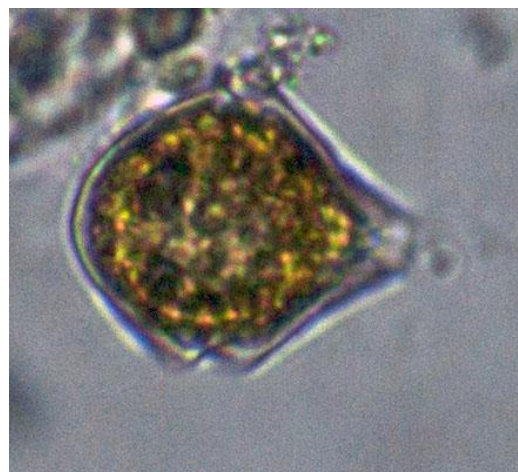
Gymnodinium sp



Heterocapsa sp



Heterocapsa trochoidea



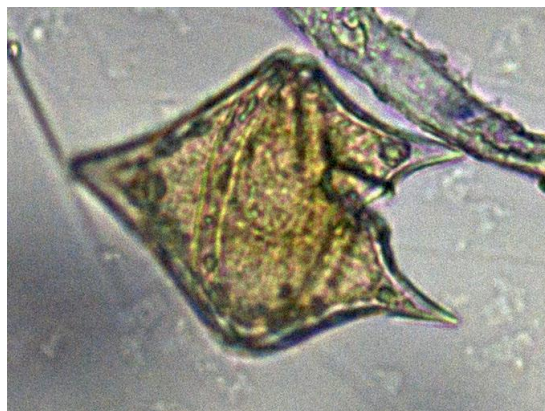
Phalacroma rotundata



Prorocentrum micans



Protoperdinium cf oceanicum



ANEXO 6. Carta de recepción del artículo en la revista REVMAR



Revista Ciencias Marinas y Costeras
Escuela de Ciencias Biológicas
Teléfax: (506)2277-3438 Tel: (506)2277-3438
www.una.ac.cr/revmar e-mail: revmar@una.cr
Universidad Nacional, apartado 26-3000, Costa Rica.

REVMAR
REVISTA CIENCIAS MARINAS Y COSTERAS



Heredia, 10 marzo 2020
ECB-MCMC-REVMAR-058-2020

Estimado autor

Por medio de la presente hemos recibido el artículo: **Efecto de las descargas del emisario submarino de aguas residuales de Limón sobre la calidad del agua, abundancia y diversidad del fitoplancton en los alrededores de isla uvita, Costa Rica.** Nelson Muñoz Simon, Lilliana Piedra Castro, Ricardo Jiménez Montealegre, José Pereira Chaves y Gilberto Piedra Marín. **REVMAR No. 281**, el cual será enviado a evaluación por el Comité Editorial de la Revista Ciencias Marinas y Costeras.

Al finalizar el proceso de evaluación, se le notificará. Agradeciendo su contribución, les saluda cordialmente.

Atentamente

M. Sc. Luis Villalobos Chacón
Director
Revista Ciencias Marinas y Costeras
Escuela de Ciencias Biológicas
Universidad Nacional, Costa Rica
luis.villalobos.chacon@una.cr
revmar@una.cr
Teléfax (506)2277-3480

Master Nidya Cecilia Nova Bustos
Editora
Revista Ciencias Marinas y Costeras
Escuela de Ciencias Biológicas
Universidad Nacional, Costa Rica
nidya.nova.bustos@una.cr
revmar@una.cr
Teléfax (506)2277-3480