



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas, Oceánicas y Recursos Naturales

“Efecto de la contaminación antropogénica sobre la estructura comunitaria de fitoplancton presente en la zona marino-costera de las islas Santa Cruz y San Cristóbal, Galápagos”

PROYECTO INVESTIGADOR

Previo a la obtención del título de:
INGENIERO OCEÁNICO Y AMBIENTAL

Presentado por:
Joseph Cecilio Villarreal Villarreal

GUAYAQUIL - ECUADOR

2017

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por sus bendiciones para con mi familia. A mis padres, por todo el esfuerzo hecho para el estudio de sus hijos, a mis hermanos, por ser ejemplos de superación y comprender que aun en peores batallas es imposible desistir, ¡Hacia adelante con constancia!

Al PhD. Rafael Bermúdez, la Escuela Superior Politécnica del Litoral y a la Universidad de Gante, por su gran ayuda en mi trabajo de investigación, desde el inicio hasta la culminación del mismo. Y de manera especial, a mis abuelos, por todo el amor brindado, y sobretodo enseñarnos a crecer con humildad y ser una familia unida.

DEDICATORIA

A mis padres, mis hermanos,
Candy, familiares, seres
queridos y amigos.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Jorge Rafael Bermúdez Monsalve', written over a horizontal line.

Dr.rer.nat. Jorge Rafael Bermúdez Monsalve.

Director del Proyecto Investigador

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este trabajo de proyecto investigador, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Joseph Cecilio Villarreal Villarreal

Efecto de la contaminación antropogénica sobre la estructura comunitaria de fitoplancton presente en la zona marino-costera de las islas Santa Cruz y San Cristóbal, Galápagos.

Villarreal J.^a, Bermúdez R.^b,

^a Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas, Oceánicas y Recursos Naturales (FIMCBOR)
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 Vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil – Ecuador
jcvillar@espol.edu.ec

^b Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas, Oceánicas y Recursos Naturales (FIMCBOR)
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 Vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil – Ecuador
jrbermud@espol.edu.ec

Resumen

El proceso de degradación de los residuos plásticos se encuentra entre uno de los que consumen mayor tiempo de entre todos los materiales de uso antropogénico existentes en los cuerpos de agua, y por lo tanto su acumulación en el medio marino es inevitable. Esta problemática se agrava, si los focos de contaminación poseen una alta carga de turismo u otras dinámicas que demanden la eliminación de desechos producto de las actividades antropogénicas, más aún si no se realiza de manera rutinaria una cuantificación de sólidos que ingresan al medio marino. Durante las campañas de monitoreo, la isla San Cristóbal presentó los volúmenes de microplásticos más altos en comparación con la isla Santa Cruz, siendo 128,7 mm³/m³ el nivel más alto encontrado en una de las estaciones para la primera, mientras que para la segunda se encontró un máximo de 2,86 mm³/m³. Sin embargo, la abundancia de este material se distribuyó de manera contraria al volumen, siendo la mayor abundancia encontrada en una estación de la isla Santa Cruz (840 partículas/m³), mientras que en San Cristóbal las máximas abundancias llegaron a 403 partículas/m³.

Por otro lado, con las muestras obtenidas para el conteo de fitoplancton se observó una dominancia del filo bacillariophyta (Diatomea) en las dos islas con más del 80% de abundancia; los demás filos como las Chlorophyta, Cryptophyta, Cyanophyta, Dinophyta Ciliophora y Foraminifera constituyeron el 20% restante de la abundancia de células para la zona de estudio. Se encontraron 78 especies de diatomeas y 68 especies pertenecientes a los demás filos, con una predominancia de los géneros Nitzschia, Pseudo-nitzschia y Coscinodiscus.

Palabras Claves: *Fitoplancton, Microplástico, Filo, abundancia.*

Abstract

The degradation process of plastic wastes is among one of the most time-consuming of all anthropogenic materials in water bodies, and therefore their accumulation in the marine environment is inevitable. This problem is aggravated if the foci of contamination have a high demand of tourist load or other dynamics that demand the elimination of wastes produced by anthropogenic activities, even more so if a quantification of solids entering the marine environment is not routinely carried out. During the monitoring campaigns, San Cristobal Island presented the highest microplastic volumes compared to Santa Cruz Island, with 128.7 mm³/m³ being the highest level found in one of the stations for the first, while for the Second, a maximum of 2.86 mm³ / m³ was found. However, the abundance of this material was distributed in a way contrary to the volume, being the greatest abundance found in a station of Santa Cruz Island (840 particles/m³), while in San Cristobal the maximum abundances reached 403 particles/m³.

On the other hand, with the samples obtained for the phytoplankton count a dominance of the bacillariophyta phylum (Diatom) was observed in the two islands with more than 80% of abundance (78 species), with a predominance of the genera Nitzschia, Pseudo-nitzschia and Coscinodiscus.

Key words: *Phytoplankton, Microplastic, Phylo, Abundance.*

1. Introducción

El término “microplástico” comúnmente se usa para referirse a aquellas partículas de plásticos de diámetro menor a 5 mm, en cambio otros estudios incluyen aquellas partículas plásticas con dimensiones menores a 1 mm (Andrady, 2011), o más grandes como 10 mm (Browne et al., 2010). De acuerdo a su origen, las partículas de plásticos se clasifican en dos categorías: el microplástico primario, que tiene como origen el uso en cosméticos, textiles en aguas residuales domésticas, pellets de plástico industrial y pinturas; y el microplástico secundario, producto de la fragmentación provocada por la radiación ultravioleta y procesos de abrasión causados por la dinámica costera (Andrady et al., 2011).

La contaminación marina debido a estas partículas va en incremento debido a la alta producción de materiales plásticos y su posterior desecho en el ambiente (Thompson et al., 2009). Aquellos artículos de plásticos que logran fragmentarse en diminutas partículas llegarán a cuerpos acuáticos, se sedimentarán y posteriormente se irán acumulando en el fondo (Woodall et al., 2014). Las concentraciones a nivel marino son muy variables, estas dependen en gran medida de las actividades antropogénicas que realizan las ciudades ubicadas en los perfiles costeros o en las cercanías de los ríos con desembocadura en el mar, las actividades humanas en los océanos (transporte marítimo, turismo, pesca...), así como también de los procesos ambientales como vientos, corrientes, condiciones de clima local y las estaciones (Bernes et al., 2009; Lima et al., 2014).

Aún es poco lo que se conoce sobre los efectos que supondría la acumulación del microplástico en los ecosistemas acuáticos, debido principalmente a la escasa investigación para conocer su distribución y falta de conocimiento en la dinámica a nivel marino (Gorokhova, 2015; Blight and Burger, 1997; Erikson and Burton, 2003; Tanaka et al., 2013; Avio et al., 2015). Algunos autores han supuesto que los microplásticos en los océanos pueden causar toxicidad en los organismos a lo largo de la cadena alimenticia, ya que en muchos casos el zooplancton y otros animales filtradores lo confunden con su alimento (Gorokhova, 2015). Sin embargo, hay otros procesos que despiertan el interés de la comunidad investigadora a nivel mundial, tal es el caso de la interacción de estas partículas con

las microalgas, en donde la incrustación biológica y colonización de esta última modifica la densidad del microplástico flotante, permitiendo que las partículas inicialmente flotantes puedan hundirse (Bernes et al., 2005). Esta propiedad de adherirse al plástico se puede justificar por la expulsión de exopolisacáridos por parte de muchas algas, debido al incremento en el número de células o cuando son estresadas por falta de limitación de luz o nutrientes (Long et al., 2014; Underwood et al., 2004).

En los océanos y cuerpos de agua dulce, el fitoplancton constituye el primer eslabón dentro de la cadena trófica, siendo el elemento indispensable para la producción de materia orgánica y sirviendo como base de la alimentación para los consumidores primarios. Su crecimiento o disminución a nivel de especies, está influenciado por la dinámica físico-química y climática de los océanos.

Las islas Galápagos se caracterizan por poseer uno de los afloramientos de mayor productividad dentro de la región Ecuatorial. El surgimiento de aguas enriquecidas en nutrientes, según Jiménez (1980) son la causa del crecimiento en la comunidad fitoplanctónica. Los cruceros oceanográficos efectuados en la zona, indican una dominancia de las diatomeas, y en una menor cantidad dinoflagelados, coccolitofóridos, silicoflagelados y tintínidos (Tapia y Naranjo, 2005-2006; Moya, 2016).

Este estudio pretende evaluar la dinámica existente entre la abundancia de la comunidad fitoplanctónica, la diversidad presente en las islas y los filos que se vean relacionados de una u otra forma con la abundancia en microplásticos presentes en las islas Santa Cruz y San Cristóbal, Galápagos, Ecuador.

El área de estudio comprende la zona marino-costera (500-1000 m desde la línea de playa) de las islas mencionadas con anterioridad. Santa Cruz está localizada en la parte central del archipiélago y San Cristóbal ubicado en la parte sur-este. Para la primera isla, se estableció 6 estaciones ubicadas en las zonas de playas con mayor demanda turística, muelles y en las cercanías del centro poblado, Puerto Ayora. En cambio, para la segunda, se establecieron 8 estaciones ubicadas estratégicamente en playas o sitios turísticos y uno en la capital de la provincia, Pto. Baquerizo Moreno (Figura 1). Las campañas de muestreos

se realizaron a bordo de una lancha pesquera en San Cristóbal y otra de turismo para Santa Cruz,

durante el período comprendido entre el 21 al 27 de octubre del 2016.

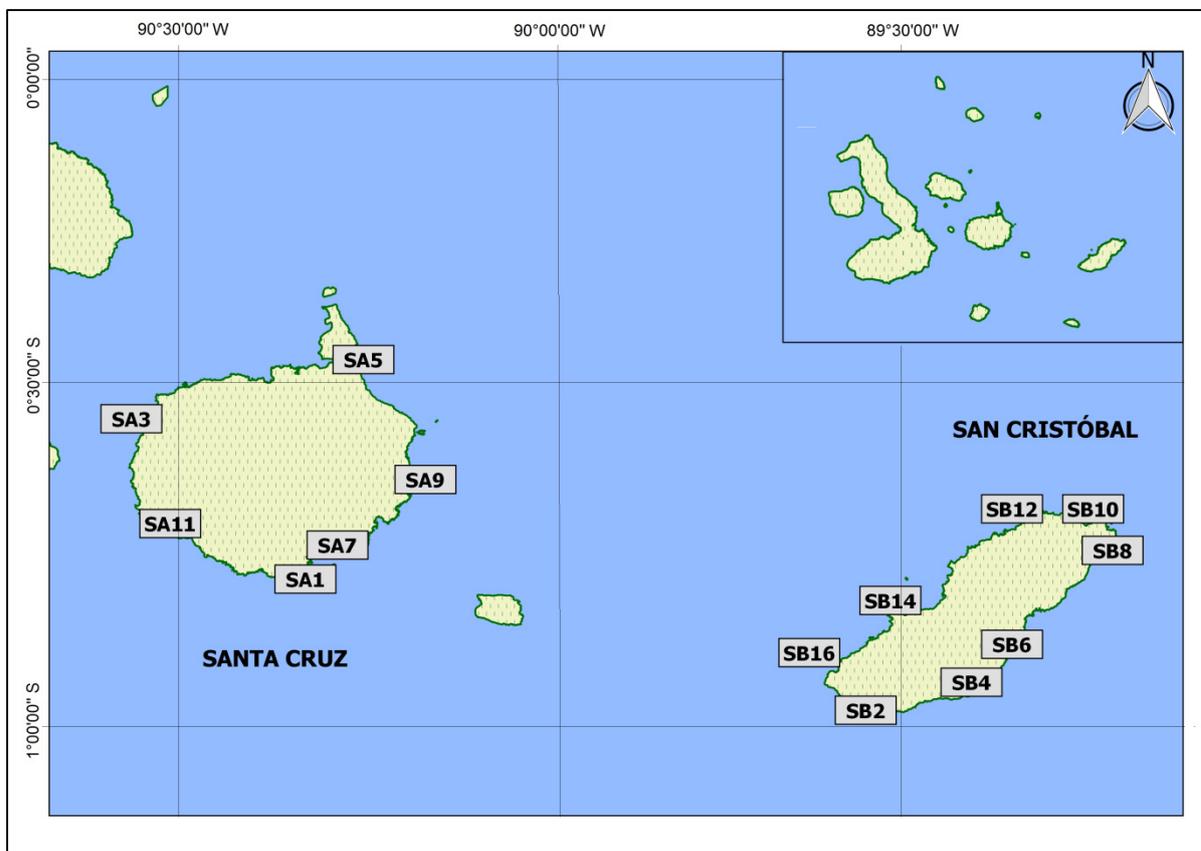


Fig. 1.- Ubicación de la zona de estudio y la distribución de las estaciones en cada isla.

2. Materiales y Métodos

2.1. Metodología

Fitoplancton

Para la determinación de fitoplancton, se recolectaron 250 ml de muestras de agua haciendo uso de una botella Niskin en cada una de las estaciones a niveles de profundidad variables, entre los 0 a 10 metros, lo cual dependía de la profundidad del sitio. A estas muestras se les añadió 2.5 ml de lugol siguiendo la metodología de Uthermol (1958). Ya en el laboratorio, la muestra fue colocada en una cámara de sedimentación (25 ml) durante las siguientes 24 a 48 horas y finalmente, luego de este tiempo, se procedió a utilizar el microscopio invertido (40x, 20x, 10x, 4x) para realizar el conteo de las células. Los datos de los conteos se los convirtió a células por mililitro (Lund J. et al, 1958).

Microplástico

Las muestras de agua para la identificación de las partículas de microplástico fueron recolectadas mediante una red de zooplancton de 150 μ m sumergida a profundidades entre 1 a 10 metros, luego depositadas en un envase esterilizado de 150 ml y preservado con 5% de formaldehído hasta su posterior análisis en el laboratorio.

El resultado de laboratorio para las muestras de microplástico se las obtuvo de Santander (2017).

2.2. Análisis estadístico

Se identificó los géneros encontrados para las dos islas, y se determinó el filo dominante para el tiempo de estudio (época seca). Haciendo uso del software estadístico R, se buscó explicar el comportamiento de la abundancia de células debido al cambio en la

carga volumétrica de plástico, número de partículas y tipo de partículas plásticas encontradas en el área de estudio. Para determinar la diversidad entre los sitios de muestreos se utilizó el Índice de diversidad de Shannon-Wiener, el cual se basa en la cantidad de individuos encontrados y además de las especies. Durante el análisis estadístico, se añadió dos variables químicas tomadas durante la misma campaña de muestreo, esto para comprobar si la limitación de nutrientes incide en la adherencia de las células fitoplanctónicas en las partículas de plástico (Long et al., 2014; Underwood et al., 2004).

3. Resultados y discusiones

En el estudio taxonómico del fitoplancton encontrado para cada una de las estaciones en las islas de estudio, se identificaron 146 especies durante las salidas en época seca, de las cuales 78 pertenecen al filo Bacillariophyta (84.6%), 22 especies son Chlorophyta (5.0%), 13 especies son Ciliophora (13.0%), 11 especies son Dinophyta (2.6%), 8 especies pertenecen al filo Cyanophyta (1.7%), 7 especies son Cryptophyta (1.6%), una cantidad igual presentó el filo Foraminifera (1.6%) y finalmente Haptophyta (<0.1%) con una sola especie encontrada, según se presenta en la tabla 1. Las especies más abundantes pertenecieron a los géneros *Nitzschia*, *Pseudonitzschia* para la isla Santa Cruz y *Coscinodiscus* en la isla San Cristóbal.

	Estación	Fitoplancton		Plástico	
		Abundancia (cel/ml)	Shannon	Volumen	Partícula
Santa Cruz	SA1	18400	3,18	0,09	93
	SA3	12420	2,70	0,25	159
	SA5	10412	2,15	1,46	111
	SA7	29772	1,09	2,87	296
	SA9	14300	2,79	2,17	175
	SA11	14793	2,87	0,92	60
San Cristóbal	SB2	5847	3,15	0,23	84
	SB4	4565	2,28	0,12	36
	SB6	20500	2,37	56,74	249
	SB8	18700	1,98	6,31	108
	SB10	8900	2,62	0,21	129
	SB12	20900	2,22	128,74	120
	SB14	14611	2,18	10,40	147
	SB16	18900	1,98	4,52	284

Tabla 1.- Resultados del conteo de fitoplancton (abundancia e índice de Shannon) y plástico, este último se lo obtuvo del trabajo realizado por Santander (2017).

Las mayores concentraciones de fitoplancton estuvieron en la Isla Santa Cruz, llegando a niveles cercanos a las 30000 células/ml en la estación SA7 y con mínimos de 10000 células/ml en la SA5; mientras que para San Cristóbal los niveles máximos bordearon las 20000 células/ml en las estaciones SB12 y

SB6, y con mínimos de 5000 células/ml para la SB4 (ver Figura 2). Las estaciones con mayor número de células corresponden a muelles o bahías, lo cual explica la mayor abundancia de células, provocado por la aportación de nutrientes por parte de las zonas pobladas o por la dinámica costera de las bahías.

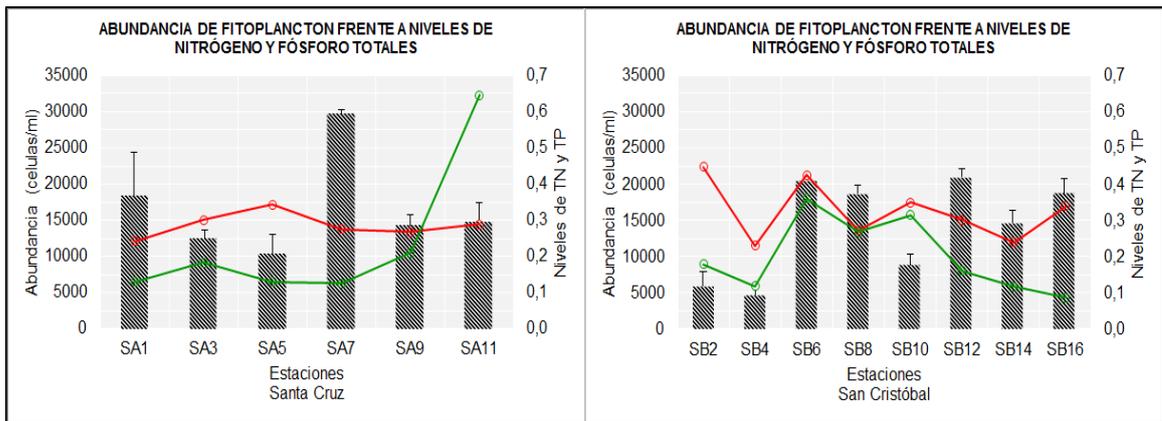


Fig. 2.- Distribución de la abundancia de fitoplancton para cada una de las estaciones en Santa Cruz (izq.) y San Cristóbal (der.). Además, se muestran los niveles de nitrógeno y fósforos totales, observándose una baja relación entre las variables.

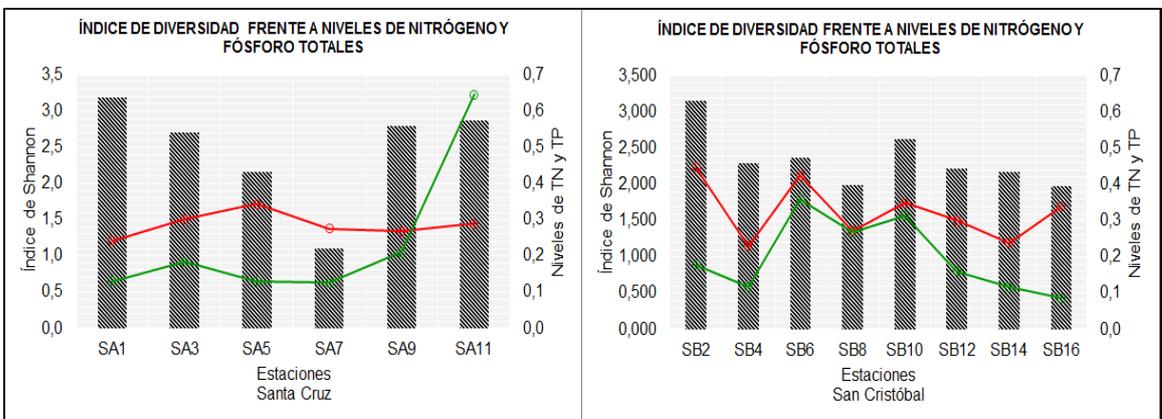


Fig. 3.- Distribución del índice de diversidad para cada una de las estaciones en Santa Cruz (izq.) y San Cristóbal (der.). Al igual que en la figura anterior, se los compara con los niveles de nitrógeno y fósforos totales, observándose una baja relación entre las variables.

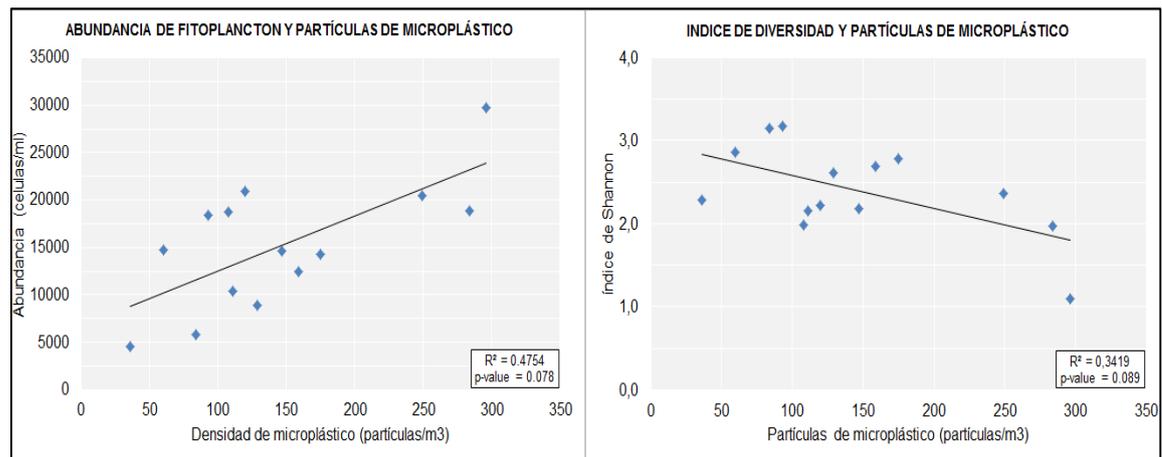


Fig. 4.- (Izq.) Comportamiento de la abundancia de fitoplancton frente a las partículas de microplástico, donde existe una tendencia a la alza pero su correlación es baja y no significativa. (Der.) Por el contrario, la diversidad en las especies se ve afectada por el incremento de las partículas plásticas, sin embargo, su correlación sigue siendo bajo y estadísticamente no significativa; esto para las dos islas en estudio.

La figura 3, muestra la relación de los índices de diversidad frente a los niveles de Nitrógeno y Fósforos totales, donde la

variabilidad en los índices de Shannon para cada una de las estaciones no presentó ninguna relación con los parámetros mencionados. A

pesar de que en algunas estaciones se podría observar una tendencia a disminuir la diversidad con la disminución de los niveles de nitrógeno y fósforo (es más notorio para la isla San Cristóbal), el modelo estadístico demuestra baja correlación entre estas variables y estadísticamente no significativo debido a que su p-valor está por encima de 0.05 considerando un nivel de confianza del 95%.

Los resultados de la abundancia frente a las concentraciones de partículas de microplásticos presentan una tendencia a la alza, pero a pesar de ello su correlación es baja y con p-value menor a 0.05, lo cual demuestra una relación no significativa entre estas dos variables. A pesar de este resultado, la gráfica reflejaría el comportamiento dicho por Barnes et al. (2005), el cual hace referencia a la adherencia de las células fitoplanctónicas en las partículas de microplásticos (ver Figura 4).

Los resultados del análisis del modelo estadístico realizado con el software R, demostraron la poca relación existente entre las variables ambientales consideradas en este estudio, el microplástico presente en las muestras y la abundancia de fitoplancton debido a que los p-valores son mayores en cada variable de interés. Así mismo, ninguno de los filos presentó una dependencia significativa de las variables ambientales, esto considerando un nivel de confianza del 95%.

Tabla 2.- Resumen del modelo estadístico aplicado en el software R. No se observa una dependencia significativa de las variables ingresadas respecto a la abundancia en las especies.

Model: species ~ VP + PT + PP + NT				
	Df	AIC	F	Pr(>F)
VP	1	119.20	31.458	0.085
PT	1	120.82	14.873	0.275
PP	1	121.35	0.9918	0.540
NT	1	122.00	0.3969	0.865

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

4. Conclusiones

El análisis estadístico para las variables ambientales, los niveles de microplástico y fitoplancton demostró una baja relación entre el comportamiento de mi variable biológica frente

a los cambios en las variables bioquímicas, y la carga volumétrica y densidad del microplástico. A pesar de ello, se observó un ligero incremento en los niveles de células fitoplanctónicas con el aumento en el número de partículas de microplástico, lo cual permite entender la adherencia de las células en este último elemento, haciendo las veces de sustrato. No se observó una directa relación para las especies de fitoplancton, sino más bien en el número total de células para cada estación.

Los efectos del microplástico en la comunidad fitoplanctónica aún siguen tema de debate para la comunidad científica, ya que no se observa un impacto directo en estos organismos, pero al constituir la base en la cadena alimenticia supondría un grave riesgo para las especies en los eslabones superiores. Esta incertidumbre nace debido a que el crecimiento o disminución de la abundancia de fitoplancton depende en gran medida de otras variables ambientales que afectan su hábitat, por tal motivo, es necesario continuar con investigaciones encaminadas en el estudio del impacto del microplástico a variables limitantes para la comunidad fitoplanctónica, tal es el caso de los nutrientes.

5. Referencias

- Andrady, A.L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*. 62, 1596–1605.
- Avio, C.G., Gorbi, S., Regoli, F. (2015) Experimental development of a new protocol for extraction and characterization of microplastics in fish tissues: first observations in commercial species from Adriatic Sea. *Mar. Environ. Res.* 111, 18–26.
- Bernes, D. K. (2009) Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of The Royal Society*, 3.
- Blight, L.K., Burger, A.E. (1997) Occurrence of plastic particles in seabirds from the eastern North Paci fic. *Marine Pollution Bulletin*. 34, 323–325.
- Browne, M.A., Galloway, T.S., Thompson, R.C. (2010) Spatial patterns of plastic debris along estuarine shorelines. *Environ. Sci. Technol.* 44, 3404–3409.
- Erikson, C., Burton, H. (2003) Origins and biological accumulation of small plastic particles in fur seals from Macquarie island. *Mar. Pollut. Bull.* 32, 380–384.
- Gorokhova, E. (2015) Screening for microplastic particles in plankton

- samples: How to integrate marine litter assessment into existing monitoring programs?. *Mar. Pollut. Bull.* (in press).
- Jiménez, R. (1980) El fitoplancton como posible indicador del afloramiento originado por la Subcorriente Ecuatorial (Corriente de Cromwell) al oeste de las Islas Galápagos. *Memorias del Seminario sobre indicadores biológicos del plancton*, Guayaquil, Ecuador, pp. 20-70.
- Lima, A.R.A., Costa, M.F., Barletta, M. (2014) Distribution patterns of microplastics within the plankton of a tropical estuary. *Environ. Res.* 132, 146 – 155.
- Long, M., Hégaret, H., Lambert, C., Le Goic, N., Huvet, A., Sussarellu, R., Fabioux, C., Soudant, P. (2014) Can phytoplankton species impact microplastic behaviour within water column? *International workshop abstract book - Fate and impacts of microplastics in marine ecosystems*. Page 9. January 2014.
- Lund, J., Kipling, C. and Le Cren, E.D. (1958) The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. *Hydrobiol.*, 11, 143–170.
- Moya, A. (2016) efecto de “los bajos” en la estructura y composición de las comunidades fitoplanctónicas al norte y sur de la isla Santa Cruz, abril-octubre 2015. *Universidad Internacional del Ecuador, Escuela de Biología Aplicada*.
- Muharrem B., Neslihan B. (2016) Assessment of phytoplankton and environmental variables for water quality and trophic state classification in the Gemlik Gulf, Marmara Sea (Turkey). *Mar. Pollut. Bull.* (in press).
- Santander, V. (2017) Efecto de la cantidad de microplástico sobre la comunidad zooplanctónica en la zona marino-costera de las islas Santa Cruz y San Cristóbal, Galápagos, Ecuador. *Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas, Oceánicas y Recursos Naturales*.
- Tanaka, K., Takada, H., Yamashita, R., Mizukawa, K., Fukuwaka, M., Watanuki, Y. (2013) Accumulation of plastic-derived chemicals in tissues of seabirds ingesting marine plastics. *Mar. Pollut. Bull.* 69, 219 –222.
- Tapia, M., Naranjo, N. (2005-2006) Plancton alrededor de las Islas Galápagos, durante el crucero oceanográfico efectuado en mayo de 2004. *Acta Oceanográfica del Pacífico*. INOCAR, Ecuador (13).
- Thompson, R.C., Moore, C.J., von Saal, F.S., Swan, S.H. (2009) Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. *Philos. Trans. R. Soc.*, B 364, 2153 –2166.
- Tsang, Y., Mak, C., Liebich, C., Lam, S., Sze E., Chan k. (2016) Microplastic pollution in the marine waters and sediments of Hong Kong. *Mar. Pollut. Bull.* (in press).
- Underwood, G.J.C., Boulcott, M., Raines, C.A. and Waldron, K. (2004) Environmental effects on exopolymer production by marine benthic diatoms: dynamics, changes in composition, and pathways of production1. *Journal of Phycology*, 40(2): 293-304.
- Utermöhl, H. (1958) Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitt. Int. Verein. Theor. Angew. Limnol.* 9:1-38.
- Woodall, L.C., Sanchez-Vidal, A., Canals, M., Paterson, G.L.J., Coppock, R., Sleight, V., Calafat, A., Rogers, A.D., Narayanaswamy, B.E., Thompson, R.C. (2014) The deep sea is a major sink for microplastic debris. *Royal Soc. Open Sci.* 1, 140317.