

# VARIABILIDAD ESTACIONAL DEL FITOPLANCTON Y SU ASOCIACIÓN CON PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS, BAHÍA DE MIRAFLORES (12°S)

## SEASONAL VARIABILITY OF PHYTOPLANKTON AND ITS ASSOCIATION WITH PHYSICAL-CHEMICAL PARAMETERS, MIRAFLORES BAY (12°S)

Jacobó N.<sup>1</sup> Sánchez S. Bernales A. Chang F. Flores G.<sup>2</sup>

### RESUMEN

JACOBO N, SÁNCHEZ S, BERNALES A, CHANG F, FLORES G. 2021. Variabilidad estacional del fitoplancton y su asociación con parámetros físicos-químicos, bahía de Miraflores (12°S). *Inf Inst Mar Perú*. 48(2): 173-185.- Se estudió la variabilidad estacional de la comunidad del fitoplancton y sus patrones de abundancia en la bahía de Miraflores - Callao, entre 2013 y 2014. Las muestras fueron recolectadas en marzo, julio y setiembre 2013 y marzo y octubre 2014 a dos niveles de profundidad. Diatomeas y fitoflagelados (ND) fueron los principales grupos dominantes en la bahía; seguidos por dinoflagelados, silicoflagelados y coccolitofóridos, estos últimos de menor importancia cuantitativa. Se observó un patrón estacional en la comunidad, siendo abundante el grupo funcional con estrategia "R" en primavera y verano, mientras que especies de estrategia "S" lo hicieron en invierno. Se evidenció una comunidad en activo crecimiento con bajos índices de diversidad ( $H' < 2,5 \text{ Bits.cel}^{-1}$ ). Los cambios en la estructura comunitaria estuvieron relacionados principalmente con la concentración de fosfatos y silicatos en diatomeas y con cambios en la relación N:P en dinoflagelados, grupo que presentó sus mayores abundancias ( $49 \times 10^4 \text{ cel.L}^{-1}$ ) en el verano ( $\text{TSM}_{\text{promedio}} > 21 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

**PALABRAS CLAVE:** fitoplancton, variación temporal, diversidad, bahía de Miraflores, Perú

### ABSTRACT

JACOBO N, SÁNCHEZ S, BERNALES A, CHANG F, FLORES G. 2021. Seasonal variability of phytoplankton and its association with physical-chemical parameters, Miraflores Bay (12°S). *Inf Inst Mar Peru*. 48(2): 173-185.- Between 2013 and 2014, we studied the seasonal variability of the phytoplankton community and its abundance patterns in the Miraflores Bay - Callao. Samples were collected in March, July, and September 2013 and March and October 2014 at two depth levels. Diatoms and phytoflagellates (ND) were the main dominant groups in the bay, followed by dinoflagellates, silicoflagellates, and coccolithophores, the latter of minor quantitative importance. We observed a seasonal pattern in the community. The "R" strategy species being abundant in spring and summer, while the "S" strategy species were abundant in winter. We found an actively growing community with low diversity indexes ( $H' < 2.5 \text{ Bits.cel}^{-1}$ ). The changes in community structure were mainly related to the concentration of phosphates and silicates in diatoms and to changes in the N:P ratio in dinoflagellates, a group that presented its highest abundances ( $49 \times 10^4 \text{ cel.L}^{-1}$ ) in the summer ( $\text{SST}_{\text{mean}} > 21 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

**KEYWORDS:** phytoplankton, seasonal variation, diversity, Miraflores Bay, Peru

## 1. INTRODUCCIÓN

Las aguas costeras frente a Perú se caracterizan por encontrarse entre las más fértiles y productivas del mundo y presentar importantes centros de surgencias como el ubicado frente al Callao (12°S) (ZUTA y GUILLÉN, 1970; ROJAS DE MENDIOLA, 1981).

Uno de los primeros trabajos sobre el fitoplancton en la zona del Callao fue desarrollado por OCHOA y GÓMEZ (1988) quienes determinaron las mayores concentraciones de fitoplancton (diatomeas) en las estaciones más costeras entre los 0 y 25 m de profundidad, en primavera y

otoño; predominando especies pequeñas de altas tasas reproductivas como *Skeletonema costatum*, *Detonula pumila*, *Chaetoceros* spp. y *Thalassiosira angulata*.

Existe información de la asociación entre aportes de nutrientes y cambios de las comunidades de fitoplancton en zonas donde los ingresos de agua a la zona costera provienen de ríos (SCHARLER & BAIRD, 2003; GOBLER *et al.*, 2006). Sin embargo, son escasos los trabajos de investigación relacionados con el comportamiento del fitoplancton en ambientes costeros como la bahía de Miraflores.

1 Laboratorio de Fitoplancton y Producción Primaria – Instituto del Mar del Perú

2 Laboratorio de Hidroquímica – Instituto del Mar del Perú

La zona norte de la bahía de Miraflores se caracteriza por estar protegida de los efectos del oleaje y de los vientos permanentes por la península de La Punta y las islas San Lorenzo y El Frontón, también conocida como isla Callao, razón por la que sus aguas son tranquilas en gran parte del año. La Arenilla constituye una de las playas principales de la zona norte, la cual se caracteriza por registrar valores elevados de temperatura superficial, debido a la ausencia de afloramientos y al calentamiento superficial por radiación solar.

SÁNCHEZ y DELGADO (1996) mostraron que estudios bio-ecológicos en la zona revelaron altos valores de fosfatos, silicatos, nitratos y nitritos, indicando fuerte actividad biológica y altos niveles de contaminación en la zona, a causa de las diferentes actividades humanas que generan desechos que conducen a cambios en las condiciones naturales de los sistemas costeros.

Se sabe que, las descargas adicionales de nutrientes inorgánicos disueltos al medio costero pueden acelerar el proceso de eutrofización con lo cual se podrían favorecer cambios en la estructura de las comunidades de fitoplancton (GRANELI *et al.*, 2008; HOWARTH, 2008).

SÁNCHEZ y DELGADO (1996) registraron aproximadamente 150 casos de Floraciones Algas Nocivas (FAN) entre los años 1980 y 1995 en el área del Callao (12°S), el 53% de los casos fue generado por dinoflagelados, destacando las especies *Alexandrium ostenfeldii*, *Akashiwo sanguinea* para la bahía del Callao *Heterosigma akashiwo* y *Prorocentrum micans* en La Arenilla; así como, valores normales para la Temperatura Superficial de Mar (TSM) con rangos entre 23,2 °C (verano) y 17,8 °C (invierno). CONTRERAS *et al.* (1993) mencionaron la influencia de agua dulce sobre la concentración salina superficial, generando áreas de mezcla cuya concentración osciló entre 34,24 y 34,81 ups.

ARGÜELLES *et al.* (2012) destacaron la importancia de la turbulencia para mantener en superficie a las diatomeas, ya que tienden a hundirse por sus densas valvas silíceas, estableciendo bajos valores de volúmenes de plancton en la primavera del 2011, que no ocurrió en la primavera del 2005 cuando se determinó una surgencia intensa y

mayor concentración del fitoplancton al noroeste de la isla San Lorenzo.

En ese sentido, ante la escasa información sobre la variación de la comunidad fitoplanctónica en este tipo de ecosistemas, el presente estudio da a conocer las características del fitoplancton que habitan esa zona, su dinámica y variabilidad temporal, en conjunto con parámetros ambientales (temperatura, nutrientes, oxígeno, pH) y así responder como varía esta comunidad y que factor o factores ambientales intervienen en su variabilidad.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### Área de estudio

Se estudió la bahía de Miraflores, ubicada en el Callao (12°S), bahía semicerrada con comunicación directa con el Océano Pacífico, caracterizada por presentar poca profundidad. Al norte de la bahía se encuentran ubicadas las islas San Lorenzo y El Frontón actuando como barreras naturales y disminuyendo los efectos de los vientos permanentes para esa zona (ROSENZWEIG, 1947; DELGADO y GOMERO, 1985).

### Recolecta y periodo de estudio

Se recolectaron 123 muestras de agua a dos niveles de profundidad (superficie y a 1 m de fondo) utilizando la botella Niskin en estaciones programadas, entre los años 2013 (marzo, julio y setiembre) y 2014 (marzo y octubre) (Fig. 1). Simultáneamente se tomaron datos de temperatura superficial, transparencia, pH y se recolectaron muestras para análisis de nutrientes, clorofila-a y oxígeno.

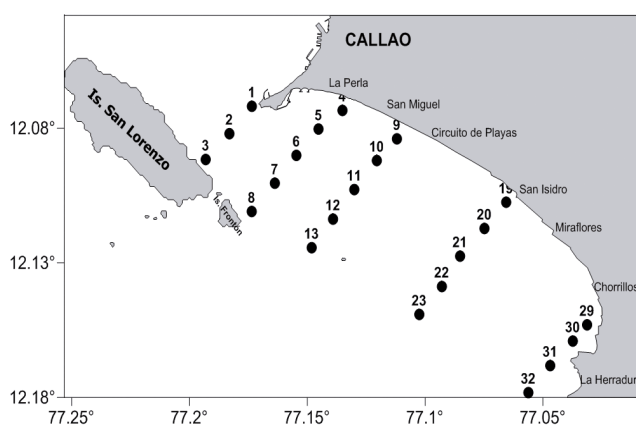


Figura 1.- Carta de Posiciones en Bahía de Miraflores. Proyecto Borde Costero 2013 - 2014

### Determinación y cuantificación del fitoplancton

Las muestras de agua recolectadas (100 mL) se fijaron con formalina neutralizada al 20%. En el laboratorio se dejó sedimentar por 24 horas (50 mL) en cámaras de sedimentación (Utermöhl). La densidad del fitoplancton quedó expresada en células por litro ( $N^{\circ} \times 10^4 \text{ cél.L}^{-1}$ ). Todos los organismos fueron determinados en lo posible hasta el nivel de especie, siendo agrupados los flagelados del nanoplancton (2-20µm) como "Fitoflagelados ND (No determinados)".

### Procesamiento de los datos (análisis estadístico)

Para jerarquizar la dominancia de las especies fitoplanctónicas, se construyó el diagrama de Olmstead y Tukey (SOKAL & ROHLF, 1981) determinándose cuatro categorías (dominantes, constantes, ocasionales y raras). Esta categorización fue realizada a partir de la relación entre las densidades de los organismos y sus frecuencias de aparición.

El índice de diversidad Shannon y Weaver ( $H'$ ) fue calculado con el objetivo de analizar la comunidad en cada punto de muestreo y meses de recolecta. Se construyó una matriz de similaridad mediante el índice de Bray-Curtis; para ello los valores de abundancia fueron transformados al Log (x+1) a fin de reducir la contribución de las especies dominantes en la matriz de similitud; este procedimiento también permitió realizar un análisis de ordenación no-métrica y un análisis de clasificación jerárquica, así como el dendrograma construido haciendo uso del método UPGMA (SNEATH & SOKAL, 1973) a través del programa PRIMER 6.1.

Para determinar si hubo diferencias significativas en la comunidad entre los diferentes muestreos

se aplicó el análisis ANOSIM a dos vías (programa PAST). Por otro lado, se calculó el coeficiente de correlación de Spearman entre las variables bióticas y abióticas. Finalmente, con la ayuda del programa estadístico R studio 3.3, previa normalización de los datos, se utilizó la técnica multivariada Análisis de Correspondencia Canónica (ACC), con la finalidad de identificar el o los parámetros que explicarían la variabilidad de la distribución del fitoplancton.

### Determinación de grupos funcionales

Los taxa fueron clasificados en Grupos Funcionales, siguiendo la clasificación basada en características morfométricas, morfológicas, ecológicas y/o taxonómicas de las especies, de acuerdo a REYNOLDS (1980) y KRUK *et al.* (2010) (Tabla 1).

## 3. RESULTADOS

### Variables oceanográficas

La temperatura promedio presentó sus mínimos valores en octubre (primavera) y los máximos en marzo (verano) (Tabla 2).

La concentración promedio del oxígeno disuelto, la Clorofila-a y pH alcanzaron sus máximos registros a nivel superficial en marzo, setiembre y octubre.

Lossilicatos presentaron mayores concentraciones en marzo 2013 y menores en setiembre 2013; los fosfatos presentaron mayores concentraciones en marzo 2013, en tanto que, los máximos registros de nitratos se observaron en julio 2013 y como consecuencia la razón N:P fue mayor en ese periodo.

Tabla 1.- Grupos funcionales

C	R	S
Tamaño pequeño y rápido crecimiento	Tamaño intermedio	Tamaño grande, toleran el stress
Alto S/V y bajas tasas de hundimiento. Mayor capacidad de incorporar nutrientes. y altas disponibilidad de luz.	Alto S/V capacidad óptima de incorporar los nutrientes bajo condiciones altas de mezcla.	Bajo S/V y crecimiento lento. Sensible a limitación temperatura.
Colonizadoras, invasivas, oportunistas. Susceptibles al pastoreo.	Adaptables, sobreviven a notables dosis de luz y temperaturas reducidas No poseen movimiento.	Adaptables a ambientes oligotróficos y de alta luz. Usan estrategias de mixotrofia y migración vertical

Tabla 2.- Valores promedio y desviación estándar de los diferentes parámetros ambientales recolectados en las diferentes campañas. Estudio Integrado de los Procesos Físicos, Químicos y Biológicos de un Ecosistema de Borde Costero: Bahía Miraflores (2013-2014)

	Nivel	Temp (°C)	Oxígeno (mL.L <sup>-1</sup> )	Fosfatos (µMol)	Silicatos (µMol)	Nitratos (µMol)	Nitritos (µMol)	Clorofila-a (µg.L <sup>-1</sup> )	pH	N.P	Transp. (m)	
2013	Marzo	Superficie	20,0 ± 1,02	4,6 ± 1,02	2,6 ± 0,87	20,7 ± 4,46	1,1 ± 0,76	0,4 ± 0,16	0,7 ± 0,43	7,8 ± 0,14	0,6 ± 0,35	2,5 ± 0,76
		Fondo	16,3 ± 0,81	0,2 ± 0,34	4,3 ± 1,61	26,7 ± 7,01	1,1 ± 1,06	0,4 ± 0,51	1,4 ± 1,08	7,7 ± 0,08	0,4 ± 0,40	
	Julio	Superficie	15,5 ± 0,17	4,6 ± 0,49	1,4 ± 0,25	13,6 ± 2,34	9,2 ± 3,88	0,4 ± 0,17	1,0 ± 0,37	7,9 ± 0,05	7,0 ± 3,21	2,1 ± 0,83
		Fondo	15,2 ± 0,21	2,9 ± 1,28	1,6 ± 0,51	15,8 ± 3,85	9,1 ± 4,25	0,5 ± 0,36	0,7 ± 0,24	7,8 ± 0,05	6,9 ± 3,82	
	Setiembre	Superficie	18,0 ± 0,66	5,7 ± 1,13	1,6 ± 0,57	4,5 ± 4,19	3,1 ± 2,53	0,3 ± 0,28	1,7 ± 0,53	8,2 ± 0,13	2,5 ± 2,04	2,1 ± 1,26
		Fondo	15,8 ± 1,12	2,1 ± 1,30	2,2 ± 0,78	12,5 ± 4,73	5,6 ± 3,12	0,6 ± 0,24	1,5 ± 0,75	8,1 ± 0,10	3,3 ± 2,47	
2014	Marzo	Superficie	21,0 ± 1,25	5,4 ± 1,46	1,3 ± 0,44	5,9 ± 5,23	1,4 ± 1,05	0,1 ± 0,20	1,2 ± 0,36	8,1 ± 0,16	1,2 ± 1,06	2,6 ± 0,63
		Fondo	18,3 ± 1,21	1,3 ± 1,61	2,6 ± 0,76	18,6 ± 7,70	2,8 ± 2,79	0,4 ± 0,32	1,7 ± 1,39	7,8 ± 0,15	1,3 ± 1,29	
	Octubre	Superficie	16,3 ± 0,55	6,3 ± 1,34	1,4 ± 0,62	5,2 ± 4,19	2,8 ± 1,75	0,2 ± 0,22	1,2 ± 0,63	8,2 ± 0,12	2,3 ± 1,30	2,8 ± 0,75
		Fondo	14,5 ± 0,61	1,1 ± 0,92	2,7 ± 0,64	20,3 ± 5,22	9,1 ± 2,86	0,6 ± 0,30	0,9 ± 0,55	8,0 ± 0,13	3,8 ± 1,46	

### Composición, abundancia y distribución del fitoplancton

Se determinaron 196 especies de fitoplancton. El grupo de Diatomeas fue el más representativo con 109 especies, seguidas de Dinoflagelados (76 especies), Silicoflagelados (4 especies), Cocolitoforidos (3 especies) y Fitoflagelados (4 especies).

Las diatomeas centrales como *Coscinodiscus perforatus* Ehrenberg, *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve, *Chaetoceros lorenzianus* Grunow, *Ch. affinis* Lauder, *Ch. debilis* Cleve y *Leptocylindrus danicus* Cleve alcanzaron frecuencias mayores al 50%; diatomeas pennadas como *Thalassionema nitzschioides* (Grunow) Mereschkowsky, *Pleurosigma* sp. W. Smith, *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann & J.C.Lewin y *Amphiprora* sp. C.G. Ehrenberg, presentaron frecuencias entre 72% y 89%; mientras que, los dinoflagelados (tecados y atecados) en general presentaron bajas frecuencias (<50%). El silicoflagelado *Dictyocha fibula* Ehrenberg tuvo 96% de frecuencia, muy semejante a lo registrado por los Fitoflagelados (ND) 95%.

En términos de abundancias celulares, las especies que alcanzaron máximos registros fueron: *Ch. debilis*, *Ch. socialis* H.S.Lauder, *Detonula pumila* (Castracane) Gran, *L. danicus*, *S. costatum*, *Thalassiosira subtilis* (Ostenfeld) Gran, *Prorocentrum gracile* F.Schütt y Fitoflagelados

(ND), evidenciando variabilidad estacional, dependiendo directamente de las condiciones ambientales para su alto desarrollo.

En superficie, la abundancia total del fitoplancton mostró marcada variabilidad mensual durante el tiempo de estudio, presentando mayores valores promedio en las campañas de setiembre 2013 ( $332 \times 10^4$  cel.L<sup>-1</sup>) y octubre 2014 ( $204 \times 10^4$  cel.L<sup>-1</sup>); en tanto que, menores valores fueron registrados para los otros meses: marzo 2013 ( $42 \times 10^4$  cel.L<sup>-1</sup>), julio 2013 ( $84 \times 10^4$  cel.L<sup>-1</sup>) y marzo 2014 ( $93 \times 10^4$  cel.L<sup>-1</sup>).

En general, los mayores núcleos de cada campaña fueron registrados en la zona centro-sur de la bahía, en especial en setiembre y octubre, mientras que los mínimos en la zona norte y cercanas al litoral de la bahía.

En marzo (verano), en ambos años, los núcleos con mayor abundancia no superaron las  $163 \times 10^4$  cel.L<sup>-1</sup>, registros asociados a una TSM que varió entre 18,2 y 20,6 °C. Estos núcleos recibieron mayores aportes del grupo de Fitoflagelados (ND), destacando además para el verano 2013 otras especies como la diatomea *Leptocylindrus* cf. *minimus* Gran, el silicoflagelado *D. fibula* y un Dinoflagelado (ND.); mientras que, en el 2014, junto con los Fitoflagelados sobresalieron diatomeas de fases iniciales de la sucesión como *Ch. affinis*, *Ch. compressus* Lauder, *Ch. socialis* y *Th. subtilis* junto con *L. danicus* y la especie oportunista *S. costatum*.

En julio (invierno) las densidades fitoplanctónicas tuvieron un ligero incremento alcanzando concentración máxima de  $226 \times 10^4 \text{ cel.L}^{-1}$ , valor asociado a TSM de  $15,6 \text{ }^\circ\text{C}$ ; las especies que alcanzaron mayor abundancia fueron las diatomeas de fases intermedias *Dactylosolem fragillissimus* (Bergon) Hasle, *Flagillariopsis doloiolus* (Wallich) Medlin & P.A.Sims, *Guinardia striata* Hensen, entre otras y el grupo de los Fitoflagelados (ND).

En setiembre 2013 y octubre 2014 (primavera) se observó notable incremento en las densidades celulares fitoplanctónicas, en especial el año 2013, registrándose un núcleo máximo de  $1207 \times 10^4 \text{ cel.L}^{-1}$  (Fig. 2), el cual estuvo asociado a TSM de  $15,9 \text{ }^\circ\text{C}$ , destacando para esta época la abundancia de diatomeas del género *Chaetoceros* (*Ch. debilis*, *Ch. lorenzianus*,

*Ch. didymus* Ehrenberg, *Ch. socialis*), *D. pumila*, especies típicas de fases iniciales de la sucesión de esta comunidad, junto con los Fitoflagelados (ND). Otras especies como *Eucampia zoodiacus* Ehrenberg, *L. danicus*, *S. costatum* y *Th. nitzschoides* a pesar de sus menores densidades presentaron frecuencias mayores al 60%. Los otros grupos (dinoflagelados, silicoflagelados y cocolitofóridos) no superaron las  $12,4 \times 10^4 \text{ cel.L}^{-1}$ .

A nivel de fondo, en marzo y julio (2013), destacaron diatomeas de fases intermedias como *Amphiprora* sp. C.G. Ehrenberg, *D. fragillissimus* y el grupo de los Fitoflagelados (ND); a diferencia del 2014 cuando dominaron, además de los Fitoflagelados (ND), diatomeas centrales pequeñas como *Th. subtilis* y *Actinocyclus* sp. C.G. Ehrenberg.

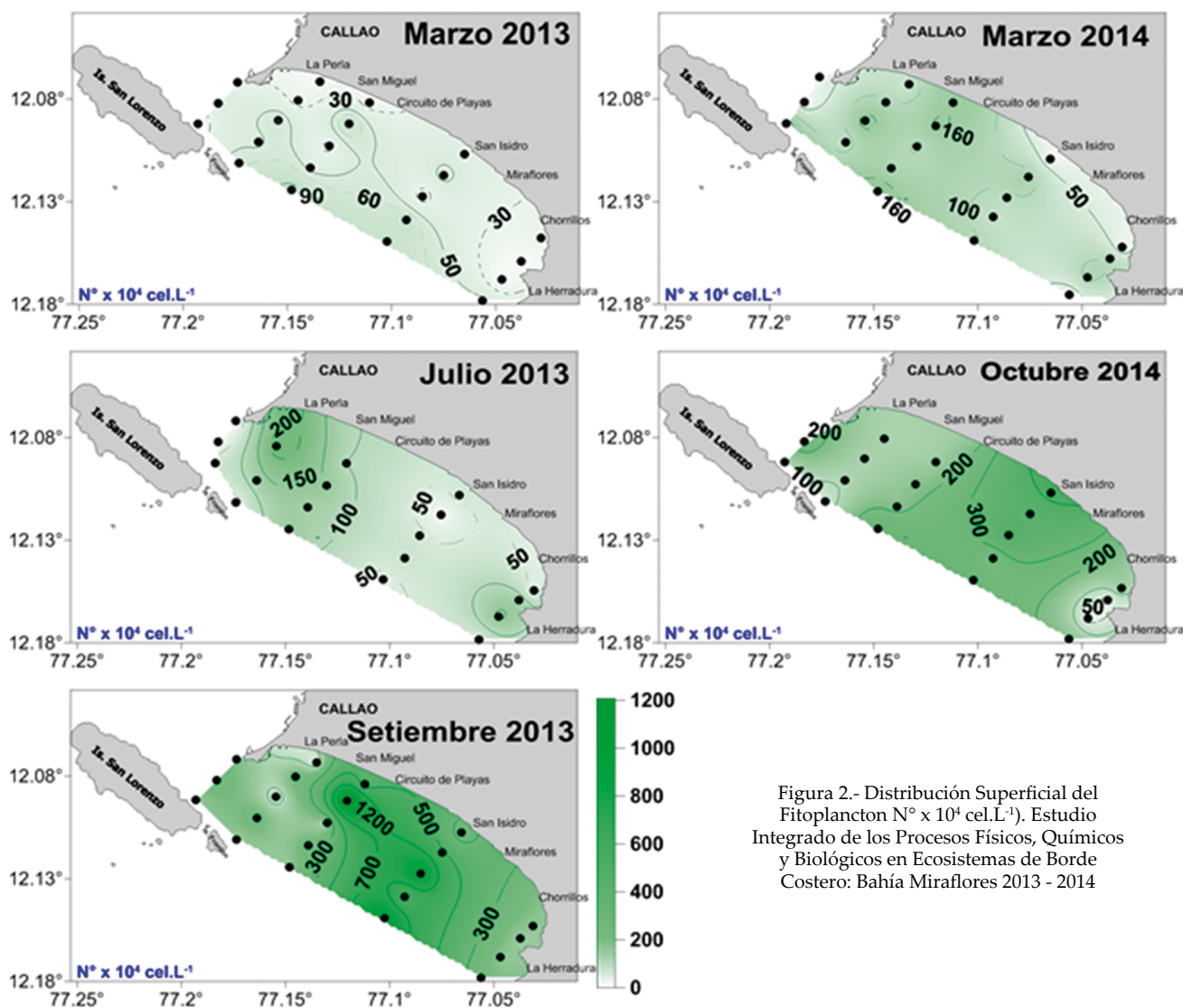


Figura 2.- Distribución Superficial del Fitoplancton ( $\text{N}^\circ \times 10^4 \text{ cel.L}^{-1}$ ). Estudio Integrado de los Procesos Físicos, Químicos y Biológicos en Ecosistemas de Borde Costero: Bahía Miraflores 2013 - 2014

En setiembre 2013 sobresalieron las diatomeas *S. costatum* y *Th. nitzschioides*, en tanto que, en octubre 2014, pasaron a ser dominantes las diatomeas de menor tamaño y dispuestas en cadena como *Ch. debilis*, *Ch. socialis*, *S. costatum* y los Fitoflagelados (ND).

### Jerarquización de especies

El diagrama de Olmstead y Tukey evidenció la presencia de 40 especies dominantes durante el tiempo de estudio, sobresaliendo con frecuencias por encima del 70%, las diatomeas *Ch. affinis*, *Ch. debilis*, *C. perforatus*, *C. closterium*, *L. danicus*, *Pleurosigma* sp., *Th. nitzschioides* y *S. costatum*. Especies como *Cyclotella* sp. (F.T. Kützing) A. de Brébisson y *Planktoniella sol* (C.G.Wallich) Schütt, junto a los dinoflagelados *Triplos* *buceros* (Zacharias) F.Gómez, *T. dens* (Ostenfeld & Johannes Schmidt) F.Gómez, *Protoperidinium crassipes* (Kofoid) Balech, *P. depressum* (Bailey) Balech, *P. losgispinum* (Kofoid) Balech, *P. mendiolae* Balech y *Pyrocystis elegans* Pavillard fueron tipificadas como "constantes" por su frecuencia y bajas abundancias relativas.

Las especies raras fueron 89, siendo 45 de ellas diatomeas (9 pennales y el resto centrales), 43 dinoflagelados y un silicoflagelado. Se

registraron 28 especies ocasionales, de ellas 16 fueron diatomeas (en su mayoría centrales), 9 dinoflagelados, 2 cocolitofóridos y un Fitoflagelado ND (Fig. 3).

### Diversidad y Equitabilidad de especies

En general, los valores de diversidad presentaron un rango comprendido de 0,23 a 3,83 Bits. cel<sup>-1</sup>, cuyos extremos fueron determinados en julio (invierno) y octubre (primavera), tanto en superficie como en fondo, respectivamente. La mayoría de resultados presentó valores menores a 2,5 bits.cel<sup>-1</sup> (73%) (Fig. 4).

El índice de equitabilidad fue clasificado en tres rangos: < 0,4 (alta dominancia), 0,4 – 0,6 (promedio) y > 0,6 (alta equitabilidad). El 62% de los resultados presentaron valores comprendidos en el primer rango con media de 0,2 es decir tendientes a "0", con una o pocas especies abundantes, valores observados en las 4 primeras campañas. El 32% de los resultados se ubicaron dentro del rango promedio, correspondientes, en gran parte, a la campaña desarrollada en octubre 2014. Finalmente, 6% estuvo comprendido en el rango de alta equitabilidad, es decir de comunidades uniformes (abundancias relativas semejantes) y todos procedentes de setiembre 2013.

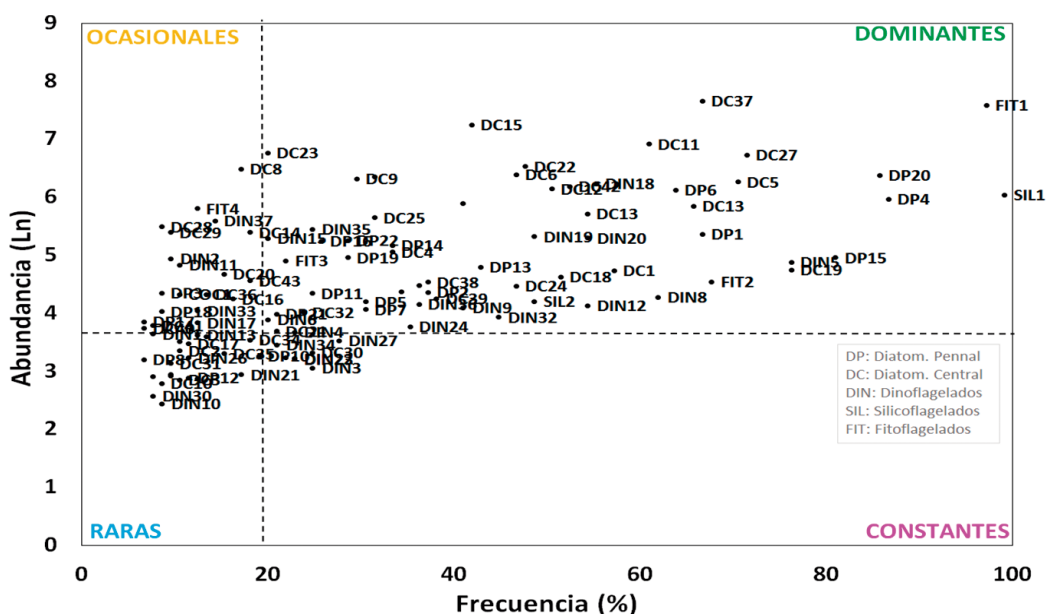


Figura 3.- Diagrama de Olmstead y Tukey de las especies fitoplanctónicas. Estudio Integrado de los Procesos Físicos, Químicos y Biológicos en Ecosistemas de Borde Costero: Bahía Miraflores 2013-2014

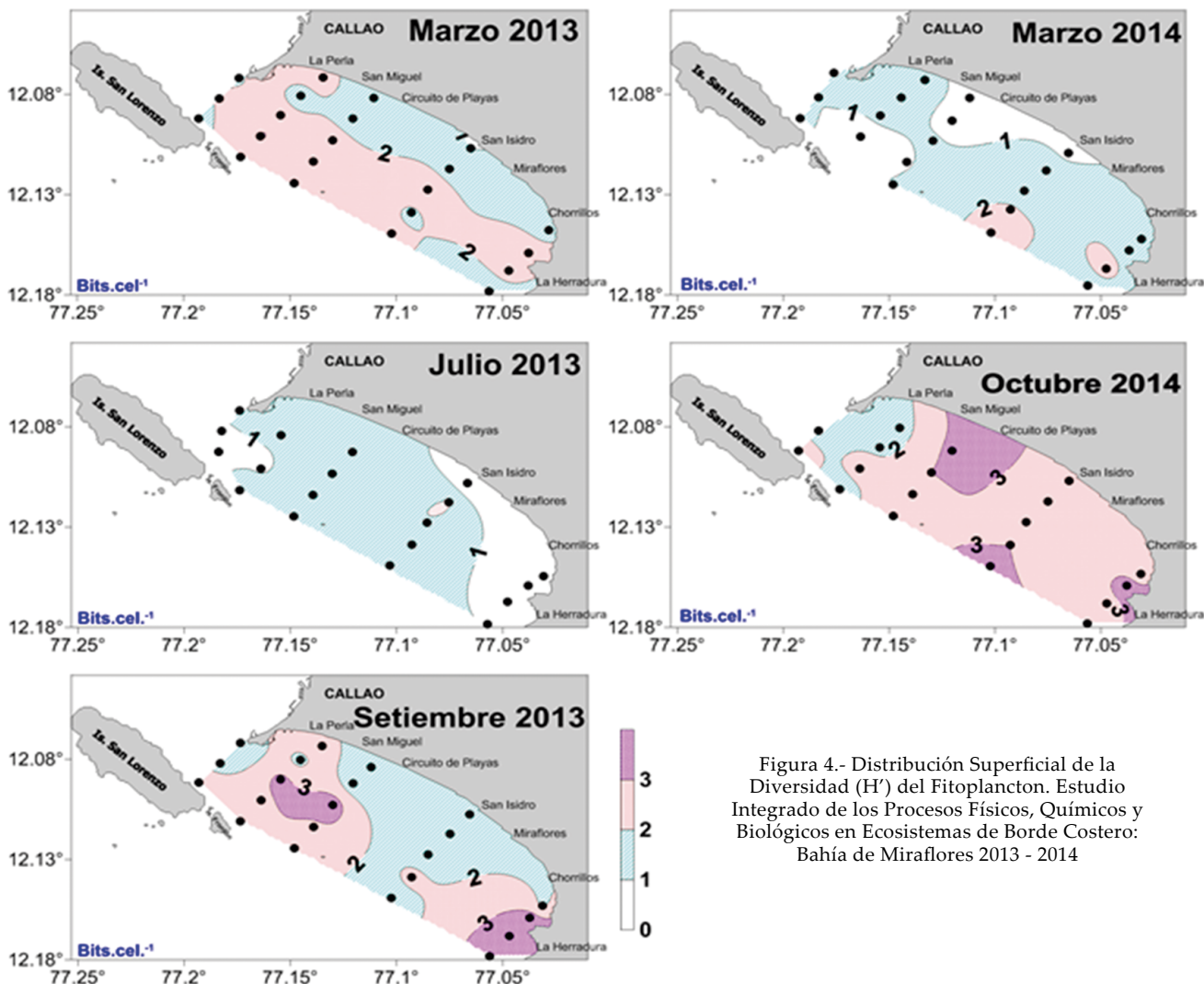


Figura 4.- Distribución Superficial de la Diversidad (H') del Fitoplancton. Estudio Integrado de los Procesos Físicos, Químicos y Biológicos en Ecosistemas de Borde Costero: Bahía de Miraflores 2013 - 2014

### Análisis de Similitud y Ordenación

A nivel superficial, el análisis de similitud y el escalado multidimensional no métrico, a un grado de stress de 0,18, evidenció marcada variación temporal correspondiente a las campañas de estudio en mención (Fig. 5). El componente estacional estuvo marcado por la diferencia entre las abundancias celulares por especie, así como el número de especies. Las diferencias de las concentraciones celulares de cada campaña fueron estadísticamente significativas (ANOSIM  $R_{global} = 0,86; p < 0,05$ ).

El análisis de similitud (Fig. 5a) también discriminó agrupaciones en cada campaña, asociando puntos de recolección de acuerdo a cada temporada de estudio, reflejando una zonificación marcada, en especial en julio (invierno), cuando se registró presencia de dinoflagelados y menores abundancias de diatomeas y Fitoflagelados (ND) en la zona

norte de la bahía; mayor densidad de diatomeas, dinoflagelados y silicoflagelados en la zona centro y, mayor dominancia de diatomeas pequeñas y Fitoflagelados (ND) en la zona sur (Fig. 5b).

### Análisis de Correspondencia Canónica (ACC)

Se realizó el Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) entre el fitoplancton total y las diferentes variables abióticas, con el fin de detectar algún tipo de patrón en esta comunidad, dando como resultado dos componentes principales que explicaron el 48,9% de la varianza total.

Se evidenció tres escenarios: i) La primavera con dominancia de las diatomeas pequeñas (*Chaetoceros debilis*, *Ch. socialis*, *Detonula pumila*) y correlacionadas positivamente con las concentraciones de clorofila-a, oxígeno y pH. ii) En invierno diatomeas de mayor tamaño (*Guinardia striata*, *Dactyliosolen fragilissimus*, *Fragilariopsis doliolus*, *Thalassionema*

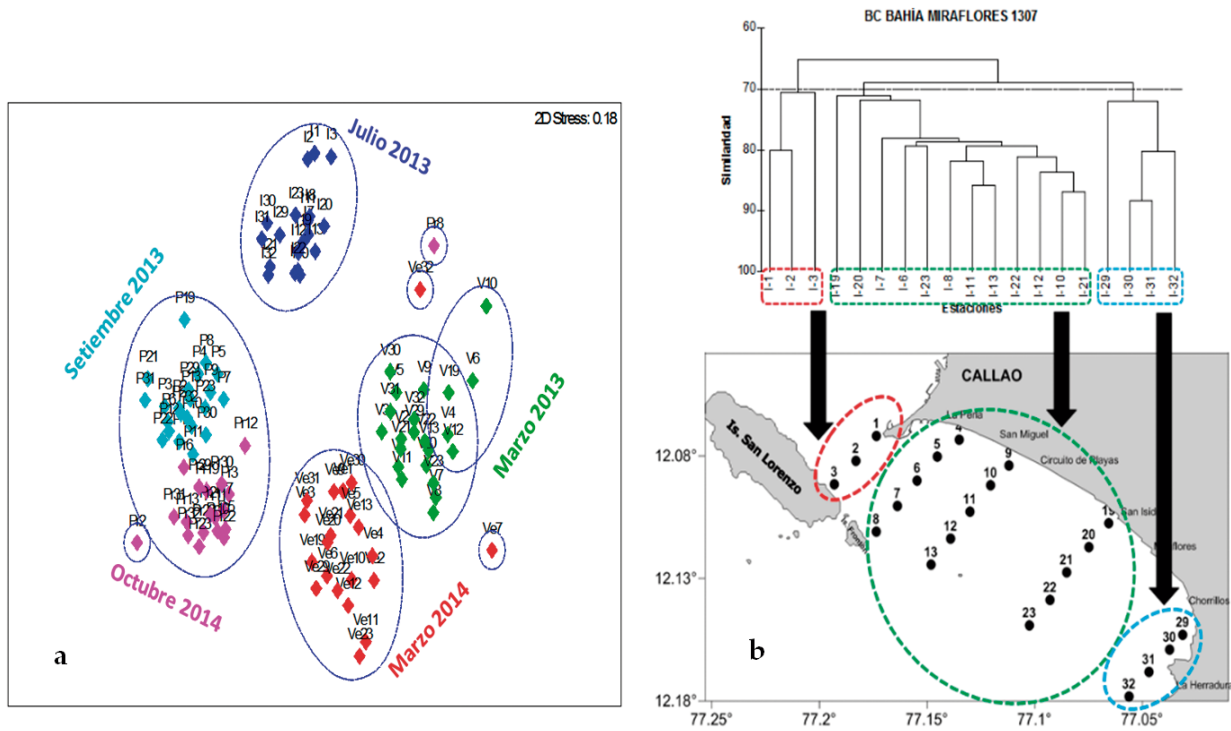


Figura 5.- Escalado multidimensional no métrico (a) por estaciones/meses de colecta y (b) Análisis de Similitud entre estaciones de la campaña del mes de julio 2013. Estudio Integrado de los Procesos Físicos, Químicos y Biológicos en Ecosistemas de Borde Costero: Bahía de Miraflores 2013 – 2014

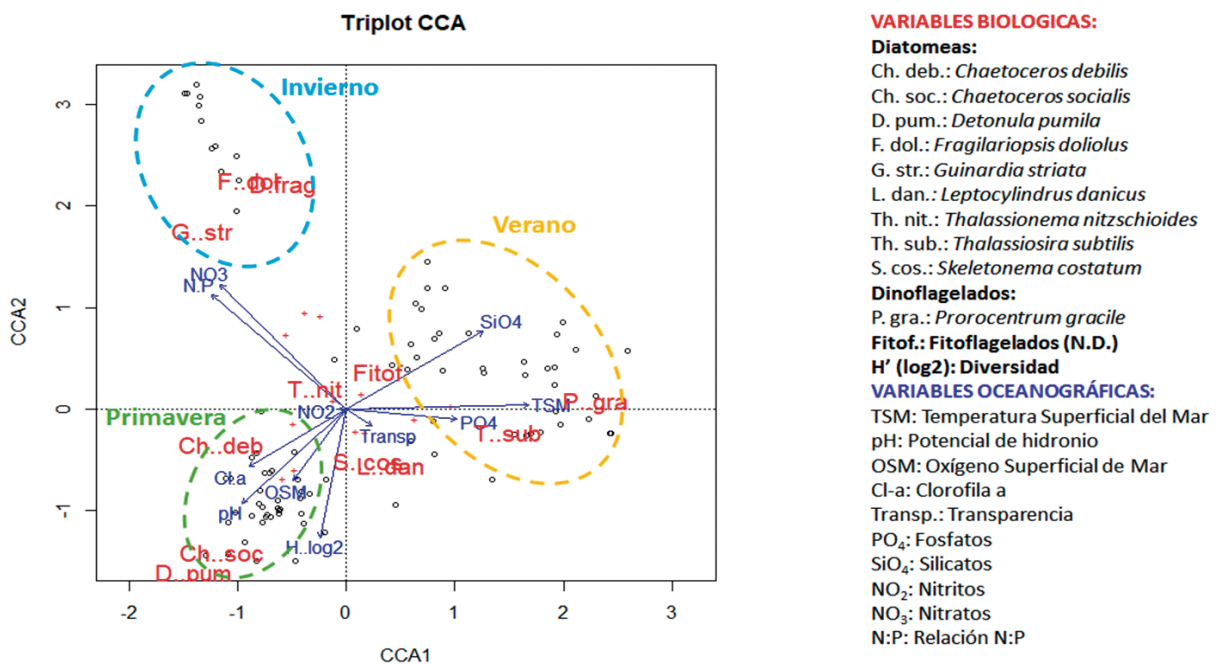


Figura 6.- Análisis de Correspondencia Canónica entre fitoplancton y variables abióticas. Estudio Integrado de los Procesos Físicos, Químicos y Biológicos en Ecosistemas de Borde Costero: Bahía Miraflores 2013-2014

*nitzschioides*) y relacionadas directamente con las concentraciones de nitratos y la razón N:P y, iii) El verano donde se observó mayor desarrollo de dinoflagelados como *Prorocentrum gracile* F.Schütt asociado directamente a concentraciones

de silicatos, fosfatos y altas temperaturas. Además, se observó que el desarrollo tanto de *Th. nitzschioides* como de Nanofitoplancton ND no estarían influenciados por la variabilidad de las condiciones ambientales (Fig. 6)



#### 4. DISCUSIÓN

Los cambios en la composición y abundancia del fitoplancton, generalmente están asociados a las variaciones de la disponibilidad de nutrientes y luz en distintas escalas temporales, asociadas a procesos oceanográficos o a la interacción entre la atmósfera y el océano, así como, en zonas marino-costeras, a la eutrofización debido a la entrada de nitrógeno y fósforo de origen antrópico (HUTCHINGS *et al.*, 1995).

De acuerdo a nuestro estudio, la comunidad fitoplanctónica de la bahía de Miraflores, en términos de abundancia, está compuesta principalmente por diatomeas y Fitoflagelados (ND), siendo menor la contribución de dinoflagelados y casi nula la presencia de silicoflagelados y cocolitofóridos (Fig. 7a).

La composición específica fitoplanctónica de la zona centro-sur de la bahía de Miraflores fue la típica de áreas de afloramiento costero, principalmente durante la primavera, ya que se registraron especies de altas tasas reproductivas y rápido crecimiento (estrategia "R") como las diatomeas centrales: *Chaetoceros* spp., *L. danicus* y *S. costatum*. Ello evidenciaría la predominancia de las fases iniciales de la sucesión fitoplanctónica, comunidad concordante con lo reportado por ROJAS DE MENDIOLA Y ESTRADA (1976), OCHOA Y GÓMEZ (1988), ROJAS DE MENDIOLA (1981), DELGADO Y VILLANUEVA (1998) y CHANG *et al.* (1999) en estudios a nivel de mesoescala en las aguas costeras del mar peruano; así como, en

evaluaciones a microescala por BLASCO (1971), OCHOA Y GÓMEZ (1981), SÁNCHEZ *et al.* (1988) y OCHOA Y TARAZONA (2003).

Para enfrentar las diferentes expresiones del hábitat en un ambiente, los organismos del fitoplancton poseen una serie de adaptaciones de forma o rasgos que se asocian a la denominada morfología funcional (MARGALEF, 1978).

Al parecer, las formas coloniales de las diatomeas fueron las más abundantes, pues presentan ventajas al aumentar la fricción que disminuye su velocidad de sedimentación; además, mantienen alta eficiencia en términos de captación de luz, incorporación de nutrientes y crecimiento, dado que cada célula conserva su individualidad, viéndose favorecida por una mayor relación superficie/volumen, promoviendo el mayor aprovechamiento de las condiciones presentes (BALECH, 1977) y altas concentraciones de nutrientes (REYNOLDS, 1980; HARRIS, 1986).

Junto con las diatomeas fueron abundantes los Fitoflagelados (ND), que fueron determinados frecuentemente en toda la zona de estudio (Fig. 7), constituidos por especies tipificadas como "C" estrategias (REYNOLDS, 2006), dominantes en aguas estratificadas con alta concentración de nutrientes y alta disponibilidad de luz (ALVES DE SOUZA, 2008), condiciones observadas en la bahía en marzo, especialmente el 2014, cuando se registró abundancia total para la bahía de  $1463 \times 10^4 \text{ cel.L}^{-1}$  (Fig. 7).

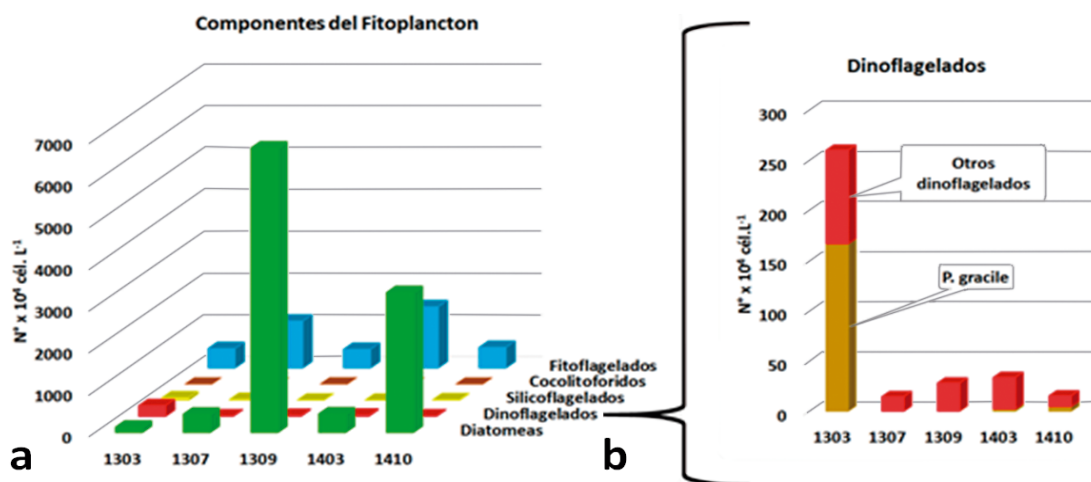


Figura 7.- Abundancia total (a) de los Componentes del Fitoplancton y (b) de los Dinoflagelados ( $N^{\circ} \times 10^4 \text{ cel.L}^{-1}$ ) por campaña. Estudio Integrado de los Procesos Físicos, Químicos y Biológicos en Ecosistemas de Borde Costero: Bahía Miraflores 2013-2014

Asociados a las altas abundancias del fitoplancton se determinaron valores de diversidad  $\leq 2,5$  Bits.cel<sup>-1</sup> en promedio, que corresponden a poblaciones con activo crecimiento y pocas especies dominantes (MARGALEF 1958, 1968, 1978).

ROLDÁN (1992) desarrolló estudios de caracterización de ambientes acuáticos para determinar el grado de contaminación de un ecosistema haciendo uso de índices de diversidad (H') y el grado de vertimientos de descargas a las bahías. De acuerdo a su clasificación los valores de diversidad de la bahía de Miraflores corresponden a condiciones medianamente contaminadas.

Estudios de SÁNCHEZ y DELGADO (1996) y SALVATIER *et al.* (2008) reportaron para la bahía del Callao abundancias por encima de 10<sup>6</sup> cél.L<sup>-1</sup> de diatomeas (*L. cf. minimus*) y Fitoflagelados (ND), valores que indican floraciones algales en curso en la zona de influencia directa de recolectores costaneros, los que estarían indicando alteración en la calidad del ecosistema acuático. Cabe indicar que *L. cf. minimus* fue registrada con menores abundancias para la bahía de Miraflores en marzo, cuando tendría condiciones que favorecerían su desarrollo.

Según el diagrama de Olmstead y Tukey las diatomeas *Pleurosigma* sp., *T. nitzschioides*, *S. costatum* junto a otras especies fueron catalogadas como dominantes, resultados congruentes con los determinados por SÁNCHEZ *et al.* (1988), ANTONIETTI (1989) y OCHOA y TARAZONA (2003) para la bahía de Independencia, en donde fueron registradas como dominantes las diatomeas *Th. nitzschioides* y de alta frecuencia a *S. costatum*, *A. glacialis* (Castracane) Round, *D. pumila*, *G. marina* (Lyngbye) Kützing y *Pleurosigma* sp. Esto permite establecer una constancia de estas especies en la comunidad del fitoplancton en zonas de bahía.

El índice de similaridad evidenció la formación de grupos de estaciones de acuerdo a las especies dominantes cuantitativamente en cada campaña de estudio. Para las evaluaciones de verano se observó mayores abundancias de dinoflagelados, en especial de *P. gracile*, especie fotosintética (MEAVE *et al.*, 2012) (Fig. 7b) y productora de floraciones algales, cuyo desarrollo estuvo

asociado a una baja razón N:P en la zona norte de la bahía (Tabla 3); mientras que, en la zona centro-sur de la bahía (entre San Miguel y Miraflores), en las campañas de primavera, se observó dominancia de especies de estrategia "R" y de diatomeas potencialmente tóxicas (*Chaetoceros* spp., *D. pumila*, *L. danicus*, Grupos *Pseudo-nitzschia seriata*, *G. P. delicatissima* y *S. costatum*).

En cambio, en invierno dominaron diatomeas grandes (*G. striata*, *D. fragilissimus*, *F. doliolus*, *Th. nitzschioides*) con bajo radio s/V (estrategas "S"; REYNOLDS, 1988) caracterizadas por ser más efectivas que otros grupos más pequeños en la fijación de nutrientes (HUTCHINGS *et al.*, 1995).

Un proceso que impulsa la sucesión del fitoplancton es la competencia interespecífica que limita la concentración de nutrientes. En ambientes costeros los nutrientes que limitan el crecimiento son los nitratos, fosfatos y silicatos. Diferentes autores (GLIBERT & TERLIZZI, 1999; LOMAS & GLIBERT, 1999; IRIARTE *et al.*, 2005) han estimado las preferencias de nutrientes que influyen en el crecimiento y desarrollo de diatomeas (fosfatos y silicatos), dinoflagelados (nitrógeno reducido: amoníaco y nitrógeno orgánico) y algas verdes (fosfatos). Los análisis de correlación entre las especies más abundantes y las variables abióticas como temperatura superficial del mar (TSM), concentración de fosfatos y nitratos, resultaron en correlación significativa directa ( $p < 0,01$ ) entre dinoflagelados y TSM (como *P. gracile* y *P. cordatum* (Ostenfeld) J.D.Dodge y correlación inversa entre dinoflagelados y nitratos. En cambio, las diatomeas presentaron correlación inversa con temperatura, fosfatos y especialmente con silicatos.

En general, la relación negativa entre silicatos y diatomeas refleja la fijación biológica de este nutriente por dichas microalgas (Tabla 3).

Finalmente, los análisis de similaridad (Fig. 5) junto con los análisis multivariados (6) mostraron un gradiente no solo estacional sino también espacial dentro de la bahía, estableciéndose una zona al norte de la bahía con altas temperaturas y características geomorfológicas muy diferenciadas al encontrarse protegida de los oleajes y vientos, razón por la cual sus aguas

Tabla 3.- Matriz de correlaciones de Spearman entre las variables ambientales y densidades celulares de las especies más abundantes del fitoplancton. Bahía Miraflores (2013-2014)

Rho Spearman	TEMP(°C)	PO <sub>4</sub>	SiO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	N.P
Diatomeas					
<i>Chaetoceros debilis</i>	<b>-0,455**</b>	-0,173	<b>-0,478**</b>	0,175	0,226*
<i>Detonula pumila</i>	<b>-0,286**</b>	-0,131	<b>-0,306**</b>	-0,027	0,034
<i>Leptocilyndrus danicus</i>	<b>0,321**</b>	-0,236*	<b>-0,423**</b>	<b>-0,316**</b>	-0,208*
Grupo <i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>	-0,226*	-0,227*	<b>-0,391**</b>	-0,046	0,039
<i>Thalassionema nitzschoides</i>	-0,168	<b>-0,306**</b>	<b>-0,403**</b>	0,215*	<b>0,260**</b>
Dinoflagelados					
<i>P. gracile</i>	<b>0,597**</b>	<b>0,300**</b>	<b>0,324**</b>	<b>-0,522**</b>	<b>-0,552**</b>
<i>P. cordatum</i>	<b>0,642**</b>	-0,012	0,138	-0,356**	<b>-0,347**</b>

\*\* . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral)

\* . La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral)

tienden a permanecer tranquilas gran parte del año (ARGÜELLES *et al.*, 2012).

Estas condiciones favorecen el establecimiento y retención de dinoflagelados productores de Floraciones Algales Nocivas (FAN) principalmente en épocas de verano y primavera (Fig. 7b), como lo registraron SÁNCHEZ y DELGADO (1996) quienes indicaron que la variabilidad de la temperatura, salinidad, densidad potencial y estratificación en la bahía tienen un comportamiento que va de un ambiente estratificado y cálido (marzo), a un medio homogéneo y frío (setiembre), tal vez separados por un periodo corto de transición, concluyendo que la distribución de las variables físicas difiere espacial y estacionalmente, producto de la radiación solar, estratificación por calentamiento y flujos de densidad, mezcla debida a la acción del viento y las surgencias que se presentan en la bahía.

## 5. CONCLUSIÓN

Las variaciones de los factores físicos y químicos entre los años 2013 y 2014 influyeron sobre la composición del fitoplancton, en el cual si bien dominaron diatomeas y Fitoflagelados (ND) en todo el periodo de estudio, estas y otras comunidades estuvieron conformadas por especies con estrategias funcionales diferenciadas en cada estación.

En ese sentido: i) En el verano se desarrollaron los dinoflagelados (potencialmente formadores de FAN), donde dominaron algas con carácter autotrófico, en condiciones de mayor TSM,

radiación solar y estratificación; ii) En el invierno, prevalecieron diatomeas de mayor tamaño, “S” estrategias, tolerantes a estrés (de lento crecimiento) y a procesos de mezcla vertical de la columna de agua; iii) En primavera, especialmente en la zona sur de la bahía, se presentó dominancia de especies de estrategia “R”, de altas tasas reproductivas y crecimiento acelerado (diatomeas en cadenas y de pequeño tamaño), asociadas a TSM <19 °C y condiciones de mezcla (ambiente homogéneo y frío) causadas por el ingreso de aguas originadas por los vientos que soplan paralelos a la costa.

## Agradecimientos

Esta investigación fue desarrollada y forma parte de los resultados del proyecto: “Estudio Integrado de los Procesos Físicos, Químicos y Biológicos en Ecosistemas de Borde Costero”. Agradecemos por el apoyo brindado a la coordinadora principal del proyecto a Sonia Sánchez R. y a los integrantes del Laboratorio de Fitoplancton y Producción Primaria, por su apoyo y sugerencias en el desarrollo del presente trabajo.

## 6. REFERENCIAS

- ANTONIETTI E. 1989. El fitoplancton en dos bahías del litoral peruano en abril 1987. Mem. Simp. Internacional de los Recursos Vivos y las Pesquerías en el Pacífico Sudeste. Viña del Mar. Com. Permanente del Pacífico Sur. Rev. Pacífico Sur. Número Especial.
- ALVES DE SOUZA C. 2008. Functional groups in marine phytoplankton assemblages dominated by diatoms in fiords of southern Chile. Journal of Plankton Research. 30(11): 1233-1243.

- ARGÜELLES J, QUISPE J, LEDESMA J, LEÓN V, SARMIENTO M, ROBLES C, BERNALES A, VILLANUEVA P, SÁNCHEZ S, VELAZCO F, SOLÍS J, QUIPUZCOA L, YUPANQUI W, MARQUINA R, HENOSTROZA A, MARTÍNEZ C, OROZCO R, CARBAJAL P, TAÍPE A, AGUILAR S, SANJINEZ M, MEDINA A, CASTILLO G. 2012. Estudio Línea Base – ELBA Callao, primavera 2011. *Inf Inst Mar Perú*. 39(3-4): 149-198.
- BALECH E. 1977. *Introducción al fitoplancton marino*. Universitaria, Buenos Aires. 194 pp.
- BLASCO D. 1971. Composición y distribución del fitoplancton en la región de afloramiento de las costas peruanas. *Inv. Pesq.* 35: 61-112.
- CHANG F, DELGADO E, FERNÁNDEZ C. 1999. Composición, Abundancia y distribución del fitoplancton frente a la costa del Perú durante el verano 1999. *Inf Inst Mar Perú*. 147: 99-108.
- CONTRERAS E, LOSTANAU N, JACINTO M, GUZMÁN M. 1993. Estudio de contaminación y eutroficación en las playas La Arenilla y Cantolao, Callao. 1989-1991. Área de Contaminación Marina. *Inf. Inst. Mar Perú-Callao*.
- DELGADO C, GOMERO R. 1985. Algunas observaciones sobre las características de los Sedimentos del Área: Isla de San Lorenzo-La Punta. *IMARPE. Inf. Interno Chucuito-Callao*.
- DELGADO E, VILLANUEVA P. 1998. La comunidad fitoplanctónica en el litoral peruano durante marzo-mayo 1998. Crucero BIC Humboldt 9803-05 de Tumbes a Tacna. *Inf Inst Mar Perú*. 135: 114-120.
- GLIBERT P M, TERLIZZI D E. 1999. Cooccurrence of elevated urea levels and dinoflagellate blooms in temperate estuarine aquaculture ponds. *Applied and Environmental Microbiology*. 65: 5594–5596.
- GRANELI E, WEBERG M, SALOMON S. 2008. Harmful algal blooms of allelopathic microalgal species: The role of eutrophication. *Harmful Algae*. 8: 94-102.
- GOBLER C J, BUCK N J, SIERACKI M E, SANUDO-WILHELMY S A. 2006. Nitrogen and silicon limitation of phytoplankton communities across an urban estuary: The East River-Long Island Sound system. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 68: 127–138.
- HARRIS G P. 1986. *Phytoplankton ecology: structure, function and fluctuation*. London, Chapman & Hall.
- HOWARTH R W. 2008. Coastal nitrogen pollution: A review of sources and trends globally and regionally. *Harmful Algae*, 8: 14–20.
- HUTCHINGS L, PITCHER G, PROBYN T, BAILEY G. 1995. The chemical and biological consequences of coastal upwelling. En: Summerhayes CP, Emers KC, Angel MV, Smith RL, Zeitzchel B. (eds) *Upwelling in the ocean modern process and ancient records*. John Wiley & Sons, Nueva York. pp. 65-81.
- IRIARTE J L, QUIÑONES R A, GONZÁLEZ R R. 2005. Relationship between biomass and enzymatic activity of a bloom-forming dinoflagellate (Dinophyceae) in southern Chile (41°S): A field approach. *Journal of Plankton Research*. 27: 159–166.
- KRUK C, HUSZAR V L, PEETERS E T, BONILLA S, COSTA L, Lürling M, REYNOLDS C S, SCHEFFER M. 2010. A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton. *Freshwater Biology*. 55: 614-627. doi:10.1111/j.1365-2427.2009.02298.x
- LOMAS M W, GLIBERT P M. 1999. Interactions between  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{NO}_3^-$  uptake and assimilation: Comparison of diatoms and dinoflagellates at several growth temperatures. *Marine Biology*. 133: 541–551.
- MARGALEF R. 1958. Temporal succession and spatial heterogeneity in phytoplankton. In: Buzzati-Traverso (ed.). *Perspectives in Marine Biology*. Univ. Calif. Press, Berkeley, Los Angeles, Calif. 323-349 pp.
- MARGALEF R. 1968. *Perspectives in ecological theory*. The University of Chicago press. Chicago. 111 pp.
- MARGALEF R. 1978. Phytoplankton communities in upwelling areas. The example of NW Africa. *Oecol. Aquat.* 3: 97-132.
- MEAVE-DEL CASTILLO M, ZAMUDIO-RESENDIZ M, CASTILLO-RIVERA M. 2012. riqueza fitoplanctónica de la bahía de acapulco y zona costera aledaña. Guerrero, México. *Acta Botánica Mexicana, Instituto de Ecología, A.C. Pátzcuaro, México*. 100: 405-487. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57424406013>
- OCHOA N, GÓMEZ O. 1981. Variaciones del fitoplancton en el área de Chimbote durante 1977. In: A. Landa (ed): *Investigación Cooperativa de la Anchoqueta y su Ecosistema (ICANE) entre Perú y Canadá*. Bol. Inst. Mar Perú, Vol. Extraordinario, 119-129.
- OCHOA N, GÓMEZ O. 1988. Variación espacio temporal del fitoplancton frente al Callao, Perú, en 1986. En: H. Salzwedel y A. Landa (eds): *Recursos y dinámica del ecosistema de afloramiento peruano*. Bol Inst Mar Perú. Vol. Extraordinario: 51-57. <http://bibliomarpe.imarpe.gob.pe/handle/123456789/1084>
- OCHOA N, TARAZONA J. 2003. Variabilidad temporal de pequeña escala en el fitoplancton de Bahía Independencia, Pisco, © Facultad de Ciencias Biológicas UNMSM. Perú. *Rev. peru. biol.* 10(1): 59 – 66.
- REYNOLDS C S. 2006. *The Ecology of Phytoplankton*. Cambridge University Press. Cap. 7: 308 – 318.
- REYNOLDS C. 1980. Phytoplankton assemblages and their periodicity in stratifying lake systems. *Echography*. 3(3): 141-159.
- ROLDÁN G. 1992. *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Ed. Universidad de Antioquía. Medellín-Colombia. 529 pp.
- ROJAS DE MENDIOLA B. 1981. Seasonal phytoplankton distribution along the Peruvian coast. I: F. A. Richards (ed.), *Coastal Upwelling*. American Geophysical Union, Washington D. C. 348- 356.
- ROJAS DE MENDIOLA B, ESTRADA M. 1976. El fitoplancton en el área de Pimentel. Verano de 1972. *Inv. Pesq.* 40: 463-490.
- ROSENZWEIG A. 1947. Algunas Aspectos de la Geología de la Isla de San Lorenzo e Islas Vecinas, Tesis de Grado, UNMSM. Lima.
- SALVATIER M, OSORIO O, FAJARDO W, RONCAL F, OLIVARES V. 2008. Caracterización fitoplanctónica

- del área costera del Callao-Perú, afectada por aguas residuales. *Biologist* (Lima). 6(2): 135-145.
- SÁNCHEZ S, TARAZONA J, FLORES R, MALDONADO M, CARBAJAL G. 1988. Características del fitoplancton de invierno en Bahía Independencia, Perú. En: H. Salzwedel y A. Landa (eds.): Recursos y Dinámica del ecosistema de afloramiento peruano. *Bol Inst Mar Perú*. Vol. Extraordinario: 57-66.
- SÁNCHEZ S, DELGADO E. 1996. Mareas Rojas en el área del Callao (12°S) 1980-1995. Área de Fitoplancton y Productividad Primaria, Dirección de Oceanografía Biológica. Informe Progresivo. 44: 19-37. <http://biblioimarpe.imarpe.gob.pe/handle/123456789/1231>
- SCHARLER U, BAIRD D. 2003. The influence of catchment management on salinity, nutrient stoichiometry, and phytoplankton biomass of Eastern Cape estuaries, South Africa. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 56: 735-748.
- SNEATH P H A, SOKAL R R. 1973. Numerical taxonomy. W. H. Freeman, San Francisco.
- SOKAL R, ROHLF F J. 1981. Biometry. Freeman. 2nd Ed. San Francisco, California. 259 p.
- ZUTA S, GUILLÉN O. 1970. Oceanografía de las aguas costeras del Perú. *Bol Inst Mar Perú*. (2): 157-324.