

BIODIVERSIDAD ALGAL DE LAGUNAS COSTERAS EN LA REGION CENTRAL DEL PERU (Departamento de Lima)

HAYDEE MONTOYA T.^{1,2},
IRMA VILLANUEVA C.³,
CARLA AGUILAR S.²,
MARIO BENAVENTE P.²

1. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Ricardo Palma
2. Facultad de Ingeniería Pesquera y de Alimentos, Universidad Nacional del Callao.
3. Museo de Historia Natural, Laboratorio de Simbiosis Vegetal, U.N.M.S.M.

RESUMEN

Los ecosistemas acuáticos costeros de la zona desértica central del Perú evaluados entre los 11°10' y 12° 32' S incluyen las lagunas Puerto Viejo, Ventanilla norte, Paraíso, Huacho y Ventanilla sur. Se realizaron muestreos para la evaluación de la flora algal y análisis de algunos parámetros físico-químicos (salinidad, pH, temperatura) entre 1988-1994. Rangos amplios de salinidad y pH estuvieron entre 0-350 o/oo (saturación de NaCl) y 6.5-10 respectivamente. La flora algal estuvo constituida principalmente por comunidades planctónicas, bentónicas, epizoicas, epifitas y endolíticas. Las cianobacterias constituyen el grupo dominante con especies esteno y eurihalinas y con algunos flagelados fueron distribuidos de acuerdo al grado de tolerancia a la salinidad. Adaptaciones morfológicas y ecológicas de algas en poblaciones naturales complementadas con los cultivos unialgales permite comprender la biodiversidad algal de éstos ecosistemas.

SUMMARY

Coastal aquatic ecosystems from central Peruvian desert area between 11°10' and 12° 32' S include Puerto Viejo, Hípico, Ventanilla norte, Paraíso, Villa, Huacho, Ventanilla Sur superficial lagoons. Sampling of these aridland waters for algal flora evaluation and physico-chemical analyses (salinity, pH, temperature) were carried out between 1988- 1994. Algal flora was typified for planktonic, benthonic, epizoic, epiphytic and endolithic assemblages. Wide ranges of salinity and pH were between 0-350 o/oo (saturation NaCl) and 6.5-10 respectively. Flourishing populations of cyanobacteria with euryhaline and stenohaline species as well as some flagellates were distributed according to the salinity tolerance. Algal morphological and ecological adaptations in natural populations complemented with those in unialgal cultures let us understanding the algal biodiversity of these ecosystems.

INTRODUCCION

Los ecosistemas acuáticos costeros son de amplia distribución en las regiones áridas del mundo y de importancia desde el punto de vista económico, científico y ecológico (trofo-dinámico) porque el stress fisiológico en la biota es acentuado y acarrea adaptaciones extremas para la supervivencia. Entre los desiertos costeros del oeste de Sudamérica, el desierto peruano forma una faja costera continua al oeste de las vertientes de la Cordillera de los Andes que tipifica al Perú localizado en la región tropical sur. En general, la topografía costera es baja y plana con una notable homogeneidad térmica que resulta en parte por la influencia de la Corriente Peruana de Humboldt. En la Costa central es posible reconocer comunidades vegetales como las lomas y los gramadales como islas florísticas en el desierto hiperárido (RUNDEL *et al.*, 1991).

El sistema hidrológico de la Costa Peruana comprende una variedad de cuerpos de agua tropicales, subtropicales y talasohalinos, con gradientes de salinidad (aguas dulces,

salobres y salinas) así como la presencia de suelos pantanosos (húmedales) en áreas relativamente restringidas a poca distancia de la línea costera. Los ríos costeros originan reducidos valles agrícolas que interrumpen la topografía árida de la región.

Las microalgas constituyen una fuente genética de gran potencial para mantener el desarrollo de la biosfera y en los ecosistemas acuáticos costeros son los principales contribuidores en los ciclos biogeoquímicos indispensables para la circulación de la materia orgánica. Investigación biosalina con estudios sobre las propiedades de las especies algales que habitan tales ambientes considerando el tipo de compuesto y mecanismos fisiológicos como base fundamental de la halotolerancia de las algas que explica su florecimiento se han realizado a nivel mundial (BROCK, 1975, HELLEBUST, 1976, OREN & SHILO, 1982). En general, la influencia de la salinidad y la temperatura en la distribución, crecimiento y abundancia del fitoplancton en los extremos de los rangos tolerables es de vital importancia para una especie determinada (TOMAS, 1978).

El estudio florístico de las microalgas de éstos tipos de ambientes y la estimación de su potencial en nuestro país es muy limitado, solo tenemos referencia acerca de la presencia de algunas especies algales y las condiciones físico-químicas de las lagunas de Villa, Chilca y Huacho (MALDONADO, 1943, CHACON, 1980, MONTOYA *et al.*, 1988). Debido a la relevancia de la biodiversidad biológica microalgal en el funcionamiento y mantención de éstos ecosistemas acuáticos se ha evaluado parcialmente las comunidades algales de la región central del Perú (Departamento de Lima) determinando su composición florística así como el rango de tolerancia a las gradientes de salinidad (NaCl) y pH que permitiría utilizar las especies algales como bioindicadores de éstos ecosistemas.

MATERIALES Y METODOS

Las lagunas costeras del departamento de Lima que tipifican determinadas localidades de la zona desértica costera fueron muestreadas en forma irregular así como los pequeños cuerpos de agua (pozas, charcas) aledaños a ellas entre 1988 y 1994. Las lagunas estudiadas se localizan entre los 11° 10' y 12° 32' de latitud sur y fueron de norte a sur: Paraíso, Huacho, Ventanilla (norte y sur), Villa, Hípico y Puerto Viejo. Las lagunas talasohalinas como las de Huacho y Ventanilla sur son de origen marino mientras que las lagunas como Puerto Viejo, Paraíso y Ventanilla norte son abastecidas con aguas dulces provenientes de sistemas fluviales e irrigaciones agrícolas.

El reconocimiento de los diversos habitats algales y colecciones de las comunidades bentónicas fueron realizadas por remoción del substrato mientras que las planctónicas fueron transportadas en su medio natural. Las comunidades endolíticas fueron obtenidas de los alrededores de los cuerpos de agua constituidos por suelos calcáreo-arenosos, costrosos, de perfil ondulado con cavidades y fisuras. Las endolíticas sumergidas fueron extraídas del interior del substrato sumergido en los cuerpos de agua. Las muestras frescas fueron llevadas directamente al laboratorio para su observación microscópica. Parte de cada una de las muestras colectadas fueron fijadas y preservadas en formalina al 5% o en una solución de lugol. Registros de temperatura (termómetro de - 10° C - 110 °C), salinidad (salinómetro A.O. T/C) y pH (papel y varillas indicadoras: 6.5-10; 4-7; alkalit 7.5-14) fueron realizados simultáneamente con las colecciones algales. La identificación de las especies fueron realizadas mediante consulta bibliográfica especializada (GEITLER, 1932; ROUND, 1971; PRESCOTT, 1978; SILVA 1982; HINDAK, 1988).

Los cultivos unialgales fueron obtenidos en los medios *f/2* (GUILLARD, 1975) con pH 7 y 35 o/oo de salinidad (NaCl) y N8 (usado en el Instituto del Carbón

Biológico de Dortmund, Alemania) con pH 6.1 y 0 o/oo de salinidad (NaCl). Iluminación mediante lámparas fluorescentes 40W fue proporcionada así como iluminación natural a través de una ventana. Inoculaciones standard y técnicas de subcultivo fueron empleadas para mantener cultivos unialgales en medio líquido y agarizado a aproximadamente 21°C.

RESULTADOS

AREA DE ESTUDIO

El desierto costero que constituye aproximadamente el 10% del territorio peruano es de geomorfología plana evidenciado por numerosas pampas de arena con dunas movedizas. En la parte central (departamentos de Ancash y Lima) la Cordillera de los Andes se acerca al mar formando una sucesión de acantilados rocosos por las estribaciones andinas a excepción de aquellos tramos por donde discurren los ríos costeros. Las condiciones atmosféricas proporcionan un clima desértico húmedo, moderado y uniforme. La parte central se caracteriza por una estable nubosidad en invierno mientras que en los meses de verano se presenta un clima claro y luminoso con ocasionales nubes. Las temperaturas medias oscilan entre 19 y 23°C con precipitaciones «garúas» en el invierno en el centro y sur.

Las lagunas costeras preferentemente en depresiones del terreno constituyen cuerpos de agua (dulces, salobres y salinas) superficiales (2,5 m de profundidad) alimentadas por aguas subterráneas que ascienden por capilaridad hasta la superficie donde al evaporarse pueden dejar sales como cloruro de sodio y sulfato de calcio (yeso) mezclado con una proporción elevada de arena eólica. Manantiales de aguas dulces y ligeramente salobres entre los espigones naturales de arena se atribuyen a percolaciones de aguas de ríos durante las crecientes relacionados con las lluvias de verano en la región andina (Sierra). El suministro de aguas subterráneas en parte de la región desértica costera parece representar agua fósil introducida durante los períodos pluviales del Pleistoceno. Adiciones contemporáneas de significantes abastecimientos de agua son limitadas a inundaciones súbitas en los canales ribereños y están relacionados con fuertes lluvias asociadas con el fenómeno del Niño (GOUDIE & WILKINSON, 1977; RUNDEL *et al.*, 1991).

Lagunas de Puerto Viejo

El sistema hidrológico comprende un grupo de lagunas superficiales eutróficas que se localizan a 70 km al sur de la ciudad de Lima entre las coordenadas 12°32' de latitud sur y 76°45' de longitud oeste, con una superficie aproximada de 1,000 ha y rodeadas en una gran extensión por las estribaciones occidentales de los Andes. El recurso hídrico proviene de la percolación de aguas subterráneas

dulces probablemente de las cuencas de los ríos Chilca y Mala. La salinidad de las aguas oscila entre 0-12 o/oo (NaCl) y el pH de 7,4-10, lo que revela la influencia de las sales cíclicas marinas por la cercanía del Océano Pacífico (aproximadamente 200 m).

Lagunas de Ventanilla

Las lagunas de Ventanilla localizadas al norte de la ciudad de Lima a la altura del km 12 de la Carretera a Ventanilla, entre las coordenadas 11°52' de latitud sur y 77°08' de longitud oeste están rodeadas de cerros y colinas de poca altura correspondiente a las vertientes occidentales centrales de los Andes. El sistema hidrológico comprende lagunas superficiales del lado norte (Ventanilla norte) en relación al desvío que conduce a la playa Ventanilla. Estas lagunas de fondo fangoso con aporte fluvial de aguas freáticas provenientes de la cuenca del río Chillón (ROJAS, 1975) se caracterizan por la presencia de aguas con rangos de salinidad de 0 - 7 o/oo y pH de 7 - 10. Las lagunas del lado sur (Ventanilla Sur) son talasohalinas con filtraciones de agua marina por debajo de la barra o cordón litoral de arena y grava que impide la visualización directa de la playa. El rango de salinidad oscila de 6 - 150 o/oo hasta la saturación (salmuera) y los valores de pH de 7 - 8,7. El frente de encuentro de las aguas subterráneas de mar y dulce en el litoral es variable a lo largo del año lo que explicaría las variantes de salinidad existentes en áreas restringidas de Ventanilla.

Laguna de Villa

La laguna de Villa se encuentra localizada en el departamento de Lima, entre las coordenadas 12°12' de latitud sur y 76°59' de longitud oeste. Este ecosistema de aguas superficiales en su mayoría de tipo circulante es alimentado con aguas freáticas dulces que provienen de las filtraciones del río Surco que constituye un ramal del río Rímac y que desemboca en el Océano Pacífico. El rango de pH oscila de 6,8- 9,5 y el de salinidad entre 0-14 o/oo. En casos excepcionales se detectó pozas de 142 o/oo y 194 o/oo de salinidad al borde de la laguna que podría explicarse por la presencia cercana de algún canal de filtración de agua marina suplementada con la salinidad del terreno.

Lagunas de Huacho

Las lagunas salinas de Huacho están localizadas a 110 km al norte de la ciudad de Lima entre los 11°10' de latitud sur y 77°30' de longitud oeste, aledañas a la salinera más grande del país, con un promedio anual de precipitación de 0-12,3 mm. Los cuerpos de agua talasohalinas por percolación de agua marina a través de la barrera costera son superficiales y permanentes en su mayoría. Algunos de ellos llegan ser reducidos en volumen periódicamente dejando pozas y charcas temporales que se secan a fines de verano y otoño (PETERSEN, 1977). Debido a las

variaciones climáticas se presentan oscilaciones en el nivel de agua acompañadas por cambios en gradientes salinidad siendo el rango de 80-350 o/oo (NaCl) y el pH de 6,5-8. La temperatura del agua osciló entre 22 y 36°C.

Laguna El Paraíso

La laguna costera El Paraíso (Playa Chica) está localizada entre las coordenadas de 11° 12'S, 77°36'W a 10 km. al sur de la ciudad de Huacho. El nivel de agua está influenciado por las mareas de la playa aledaña y por el agua proveniente de las filtraciones de los terrenos de cultivo próximos (CASTRO et al., 1990). Sus aguas evidenciaron un rango de pH de 9-9,5 y gradiente de salinidad de 0-20 o/oo.

Pozas del Hípico

Las pozas del Hípico localizada aproximadamente a 500 m al sur de la laguna de Villa comprende cuerpos de agua pequeños y charcas con un rango de salinidad de 4-122 o/oo y valores de pH de 8,5-10. Al parecer el sistema hidrológico proviene de la filtración de aguas freáticas similar al de la laguna de Villa y filtración de agua marina por las amplias variaciones en salinidad en pequeñas áreas.

DIVERSIDAD ALGAL

La diversidad de la flora algal de las lagunas costeras del departamento de Lima correspondiente a la Costa central esta constituida principalmente por comunidades planctónicas, bentónicas epizoicas, epifitas, saxícolas y endolíticas. Se reportan las comunidades más representativas con la especie dominante, su rango de salinidad, pH y especies asociadas. Los ambientes acuáticos evaluados con un rango de pH de 6,5-10 oscilan entre los de agua dulce y los hipersalinos hasta la saturación de NaCl (350 o/oo). Los grupos y especies algales de las lagunas costeras evaluadas del departamento de Lima fueron:

PHYLUM CYANOPHYTA

CYANOPHYCEAE

Chroococcales

Chroococcaceae

- Gomphosphaeria aponina* Kuetzing
- Merismopedia glauca* (Ehr.) Naegeli
- Microcystis aeruginosa* Kuetzing
- Aphanothece halofitica* Frey
- Aphanothece stagnina* A. Braun
- Chroococcus dispersus* Lemmermann
- Chroococcus limneticus* Lemmermann
- Chroococcus turgidus* (Kuetz.) Naegeli

Chamaesiphonales

Pleurocapsaceae

- Pleurocapsa entophysaloides* Setchell & Gardner

Oscillatoriales

Oscillatoriaceae

- Lyngbya martensiana* Meneghini
- Spirulina subsalsa* Oersted
- Oscillatoria amphibia* C.A. Agardh
- Oscillatoria princeps* Vaucher
- Oscillatoria tenuis* C.A. Agardh
- Oscillatoria formosa* Bory
- Microcoleus chthonoplastes* (Mert.) Zanardini
- Phormidium* sp.

Nostocales

Nostocaceae

- Anabaenopsis elenkini* Miller
- Anabaena variabilis* Kuetzing
- Nodularia harveyana* (Thw.) Thuret
- Nodularia spumigena* Mertens

Rivulariaceae

- Gloeotrichia natans* (Hedwig) Rabenh.
- Calothrix* sp.

PHYLUM CHLOROPHYTA

CHLOROPHYCEAE

Volvocales

Dunaliellaceae

- Dunaliella salina* Teodoresco
- Dunaliella viridis* Teodoresco

Chlorococcales

Oocystaceae

- Oocystis eremosphaeria* G.M. Smith
- Chlorella* sp.

Scenedesmaceae

- Scenedesmus quadricauda* (Turpin) de Bréb.

Hydrodictyaceae

- Pediastrum boryanum* (Turpin) Meneghini

Dictyosphaeriaceae

- Botryococcus braunii* Kuetzing

Zygnematales

Zygnemataceae

- Spirogyra* sp.

Ulvales

Ulvaceae

- Enteromorpha prolifera* (Mueller) Agardh
- Enteromorpha* sp.

CHAROPHYCEAE

Charales

Characeae

- Chara* sp.

PHYLUM PRASINOPHYTA

PRASINOPHYCEAE

Prasinocladales

Tetraselmiaceae

- Tetraselmis* sp.

PHYLUM EUGLENOPHYTA

EUGLENOPHYCEAE

Euglenales

Euglenaceae

- Euglena gracilis* Klebs
- Lepocinclis fusiformis* (Carter) Lemm.

PHYLUM CRYPTOPHYTA

CRYPTOPHYCEAE

Cryptomonadaceae

- Cryptomonas* sp.

PHYLUM PYRRHOPHYTA

DESMOKONTAE

Desmomonadales

Proocentraceae

- Exuviaella cassubica* Woloszynska

PHYLUM CHRYSOPHYTA

BACILLARIOPHYCEAE

Pennales

Nitzchiaceae

- Nitzschia closterium*

Surirellaceae

- Campylodiscus* sp.

PHYLUM RHODOPHYTA

Bangiales

Erythrotrichaceae

- Compsopogon coeruleus* (Balbis) Montagne

COMUNIDADES ALGALES

Comunidades bentónicas

- Formando mantos gelatinosos o natas sumergidas azul verdes oscuros, verde parduzcos o pardo amarillentos, tapizando el fondo fangoso de las orillas de lagunas y pozas que en muchos casos presentan bacterias azufradas. Estas comunidades constituidas principalmente por la cianofita filamentosa *Spirulina subsalsa* con un rango de salinidad de 0- 130 ‰ y pH 6,8-10, pueden desprenderse como natas o películas densas flotantes. En ambientes acuáticos de bajas salinidades (0-7 ‰; pH 9-10) como los de Ventanilla norte coexiste con *Lyngbya martensiana*, *Nodularia spumigena*, *N.harveyana*, *Scenedesmus quadricauda*, y *Oscillatoria tenuis*. Entre las salinidades de 2-5 ‰ y pH: 9,5-10 en pozas del Hípico *S. subsalsa* se presenta planctónica asociada con *Euglena gracilis*, *Chroococcus dispersus* y *Chlorella* sp. A mayores salinidades en el Hípico (10-22 ‰; pH:9,5-10) coexiste con *Calothrix* sp. formando biodermas verde

oscuro o parduzcos, de textura gelatinosa-coriacea con proyecciones de contorno ondulado y habitat saxícola (epilítica). En ambientes hipersalinos (85-130 o/oo; pH: 6,5-7) como los de Huacho forma poblaciones densas asociadas con *O. tenuis*, *O. amphibia*, *Aphanothece halophytica*, *Tetraselmis* sp. y diatomeas. La cepa de Ventanilla norte fue posible aislarla en medio N8.

- Masas grumoso-gelatinosas formando mantos sumergidos que se desprenden como natas flotantes espumosas (burbujas de oxígeno atrapadas) en pozas formadas en bordes de efluente de laguna de Ventanilla norte de aguas dulces (0 o/oo; pH: 7,7- 8,1) que van a desembocar en la playa de Ventanilla ubicada a aproximadamente 100 m de distancia. A esta comunidad de agregados coloniales de *Gomphosphaeria aponina* como especie dominante puede considerarse que alcanza condiciones óptimas que permiten su proliferación por su alta densidad colonial en verano (27° C). Coexiste con *S. subsalsa*, *O. tenuis*, *C. turgidus*, *S. quadricauda* y *Spirogyra* sp. En menor proporción *G. aponina* se encuentra en aguas con salinidades de 5-10 o/oo y pH: 7,4, 9,5 - 10 (Villa, Puerto Viejo) asociada con *C. turgidus*, *C. dispersus*, *O. tenuis*, *O. princeps*, *Microcystis aeruginosa*, *Exuviaella cassubica*, *Campylodiscus* sp. y *Chara* sp.

- Formando natas o mantos sumergidos verde oscuro, pardo verdoso o verde claro en lagunas y pozas entre totorales que pueden desprenderse del sustrato de fondo lodoso (epipélica) originando capas gelatinosas flotantes. Esta comunidad estuvo dominada por cianofitas filamentosas con predominancia de *Lyngbya martensiana* en un rango de salinidad de 0-17 o/oo y pH 7,4-10 (Puerto Viejo, Ventanilla norte, Hípico). Asociada principalmente con *O. tenuis*, *N. harveyana*, *N. spumigena*, *S. subsalsa*, *C. dispersus* y *Phormidium* sp. Cultivos de *L. martensiana* de 20 días en medio N8 tuvieron una proliferación notoria comparado con el escaso crecimiento en medio f2.

- Formando mantos gelatinosos a coriáceos de superficie irregular originados por colonias adyacentes que se fusionan como un sustrato verrucoso continuo pardo amarillento, pardo oscuro o verde azulado oscuro firmemente adherido a sustrato salino calcáreo. Esta comunidad bentónica tipificada por la cianofita cocoide colonial *Pleurocapsa entophysaloides* es dominante en lagunas salinas de Huacho (80-190 o/oo; pH: 6,5-8) y Ventanilla sur (80-145 o/oo; pH: 6,5-7,5). Sin embargo puede tolerar mayores salinidades como se reconoció en lagunas hipersalinas (salmueras: 350 o/oo) asociada con *O. tenuis* y *O. amphibia*.

- Formando biodermas como mantos algales verdosos tapizando el bentos con la cianofita dominante *Microcoleus chthonoplastes* de talo filamentoso agregados por mucilago colonial que consolida el bentos calcáreo arenoso evitando su erosión (Paraiso : pH 9-9,5; 20 o/oo). *M. chthonoplastes* también se presentan

asociada con otras cianofitas filamentosas como *Lyngbya* sp. proporcionado el aspecto de un mosaico algal.

- Formando natas flotantes, verde claras, verde oscuras, espumosas en pozas de borde de laguna y en áreas pantanosas, con rango de salinidad de 0-7 o/oo y pH de 7,0-10. Comunidad tipificada por la clorofita *Scenedesmus quadricauda* que se presenta en Ventanilla norte (0-7 o/oo; pH: 7-10) y Puerto Viejo (2 o/oo; pH: 7,9-8,1) asociada principalmente con *C. dispersus*, *N. spumigena*, *N. harveyana*, *S. subsalsa*, *O. tenuis*, *L. martensiana*, *Anabaenopsis elenkini* y *Anabaena variabilis*. En aguas dulces de Ventanilla norte (0 o/oo; pH: 7-7,5) se presenta preferentemente asociada con *G. aponina*, *Pediastrum boryanum* y *Spirulina subsalsa*. La cepa de *S. quadricauda* de Ventanilla norte fue aislada en medio agarizado N8 formando colonias redondeadas verde oscuras.

- Floraciones de la prasinofita *Tetraselmis* sp. en lagunas, pozas y charcas de orilla de lagunas y en manantiales, con un rango de salinidad de 6-155 o/oo y pH : 6,5-10. En la mayoría de éstos cuerpos se reconoció contaminación orgánica por la fertilización natural ocasionada por aves y el ganado (vacuno, equino, caprino). Forman películas superficiales densas, verde amarillentas, en algunos casos espumosas (Puerto Viejo, Huacho) y masas suspendidas verde amarillentas o pardo amarillentas (Hípico, Villa), verdosas (Huacho, Ventanilla sur). Las cepas de *Tetraselmis* sp. de baja salinidades como en Puerto Viejo (6-8 o/oo; pH: 8-10) coexiste principalmente con el dinoflagelado *Exuviaella cassubica*, el euglenoide *Euglena gracilis* y la diatomea *Campylodiscus* sp. En mayores salinidades como en el Hípico (38-54 o/oo) se presenta asociada con *Chlorella* sp. y diatomeas. En los cuerpos de aguas hipersalinas de Ventanilla sur (65-70 o/oo; pH: 8-8,5), Hípico (100-122 o/oo; pH: 8,6-10), Villa (130-142 o/oo; pH: 9,5) y Huacho (88-155 o/oo; pH: 6,5-8) coexiste con *Dunaliella viridis*, *O. tenuis*, *Aphanothece stagnina* y *A. halophytica*. En Huacho se ha observado condiciones óptimas para *Tetraselmis* sp. por la alta densidad poblacional en los meses de verano entre 130 y 145 o/oo de salinidad (NaCl).

- Formando natas azul verdes densas, flotantes y sumergidas en pozas con aguas de consistencia mucilaginosas y capas superficiales cristalizadas. Exhiben un rango de salinidad de 130-142 o/oo y pH: 9,5 (Villa). Esta comunidad tipificada por la cianofita colonial dominante *Aphanothece stagnina* podría considerarse en condiciones óptimas por su alta densidad poblacional. Esta asociada con *O. formosa*, *Tetraselmis* sp. y diatomeas. En las lagunas de Puerto Viejo y Ventanilla norte con salinidades de 6-7 o/oo y pH: 9-10, *A. stagnina* se halla en mínima proporción junto con otras cianofitas. Las cepas de *A. stagnina* de Puerto Viejo, Villa y Ventanilla norte con células vegetativas elipsoidales u ovoides, embebidas en el mucilago colonial denso, difluente e irregular son similares

a las de *A. halophytica* de Huacho (91-155 o/oo; pH: 6,5-8) y Ventanilla sur (75-145 o/oo; pH: 6,5-7,5) con excepción de la delimitación del mucflago que tipifica a las colonias esféricas de *A. halophytica*. En diversos ambientes acuáticos en Huacho *A. halophytica* prolifera temporalmente (verano y otoño) coexistiendo con *Tetraselmis* sp., *S. subsalsa*, *O. tenuis* y diatomeas.

- Floraciones de estadios unicelulares móviles de *Dunaliella viridis* con formación de películas verde amarillentas colonizando ambientes de amplio rango de salinidad como en Ventanilla sur (65-150 o/oo; pH: 7-8,7), Hípico (90-122 o/oo; pH: 10), Huacho (80-350 o/oo; pH: 6,5-8) y Villa (194 o/oo). El estado béntico palmeloide durante el ciclo de vida de *D. viridis* forma masas gelatinosas verdosas en Huacho y Ventanilla sur (50 o/oo). En Huacho se presenta asociada con el estado palmeloide de *D. salina* en las lagunas y pozas hipersalinas que alcanzan la saturación (350 o/oo). *D. salina* se presenta libre como masas en suspensión rojo ladrillo siendo el estado palmeloide mucilaginoso de coloración rojiza en Huacho (165-350 o/oo; pH: 6,5-8).

- Formando natas gelatinosas azul verde flotantes y sumergidas en lagunas y pozas con vegetación macrofítica dominada por *Chara* sp. y con un rango de salinidad de 5-6 o/oo y pH: 7,5-9,5 (Puerto Viejo, Villa). Comunidad constituida principalmente por la cianofita cocoide *Chroococcus dispersus* asociada con *Microcystis aeruginosa*, *C. turgidus*, *C. limneticus*, *Merismopedia glauca* y *Phormidium* sp. La clorofita *Oocystis eremosphaeria* y la cianofita *Gloeotrichia natans* también estuvieron presentes en Puerto Viejo y la segunda especie además en Villa. *C. dispersus* y *C. limneticus* de Ventanilla norte (0-7 o/oo; pH: 9-10) aunque no llegan a ser dominantes constituyen parte de la comunidad bentónica junto con las cianofitas *S. subsalsa*, *N. harveyana* y *N. spumigena*. La cepa de *C. dispersus* de Puerto Viejo fue aislada en medio f/2 con el desarrollo de colonias esféricas verde oscuras a verde olivo y también en medio N8 con colonias mas bien laminares de una coloración verde azulada intensa lo que evidencia su naturaleza eurihalina luego de un periodo de adaptación (1 mes).

- Floraciones algales del flagelado *Euglena gracilis* formando masas suspendidas de tonalidades verde oscuras o verde amarillentas en lagunas y pozas con un rango de salinidad de 2-22 o/oo y pH de 8-10. *E. gracilis* en altas densidades (Puerto Viejo, Hípico) origina natas o películas espumosas en ambientes con rango de salinidad de 2-8 o/oo. Frecuente en lugares con contaminación orgánica por la fertilización natural de aves y ganado (Hípico, Puerto Viejo). En menor proporción estuvo presente en Ventanilla norte (6-7 o/oo; pH: 10). Se presenta asociada con *Chlorella* sp., *Exuviaella cassubica*, *C. dispersus*, *S. subsalsa* y *Tetraselmis* sp.

- Floraciones del dinoflagelado *Exuviaella cassubica* que forma poblaciones densas proporcionando tonalidades parduzcas al cuerpo de agua y llegando a formar películas superficiales en pozas y lagunas con un rango de salinidad de 2-15 o/oo y pH: 7,9-10 (Ventanilla norte, Hípico, Puerto Viejo). Asociada con *C. dispersus*, *E. gracilis*, *Tetraselmis* sp. y *Cryptomonas* sp.

- Formando masas verde-amarillentas, verde oscuras, flotantes y sumergidas de la clorofita filamentosa *Enteromorpha* sp. con talo cilíndrico rugoso y contorneado, en borde de lagunas y charcos de Huacho (88-110 o/oo; pH: 6,5-8), Hípico (12-22 o/oo; pH: 8,8-10) y Villa (12-14 o/oo; pH: 7,8). El talo originalmente saxícola también sirve como sustrato para el desarrollo de epifitos como *Pleurocapsa entophysaloides* en Huacho.

- Floraciones temporales de la criptofita *Cryptomonas* sp. proporciona una coloración pardo amarillenta al cuerpo de agua (Paraiso: pH: 9-9,5; 0-10 o/oo) asociada con especies subdominantes como *Nitzschia closterium* y *Gomphosphaeria aponina* a comienzos de primavera. Posteriormente se evidenció la sucesión algal con proliferación de la cianofita *Pleurocapsa* sp.

- Floraciones de la clorofita *Botryococcus braunii* en lagunas de Puerto Viejo (pH 6,5-8,3; 0-10 o/oo) constituyen masas coloniales agregadas por conexiones mucilaginosas asociadas principalmente con *Exuviaella cassubica*, *Lepocinclis fusiformis*, *Lyngbya martensiana* y *Anabaena* sp.

Comunidades epizoicas

- Densas masas de algas verdes filamentosas como *Enteromorpha* prolifera colonizan las valvas de moluscos como *Sinum cymba* (Naticidae), ostras y *Balanus* sp. en las lagunas del Paraiso. *E. prolifera* también puede presentarse formando comunidades epifitas (hidrofitas superiores) y saxícolas. En Ventanilla norte (pH: 7,1-7,4) coloniza las valvas de *Melanoides tuberculata* donde se presenta asociada con *Compsopogon coeruleus* y *Stigeoclonium* sp. Esta última especie que también forma capas verdosas amarillentas sobre las valvas de los moluscos puede presentarse en forma saxícola.

Comunidades endolíticas

- Comunidades cripto y casmoendolítica con colonias de *Pleurocapsa entophysaloides* habitando cavidades estructurales y fisuras pre-existentes en suelos aledaños a lagunas (Huacho y Ventanilla sur) llegando a ser incluidas en la matrix cristalina, translúcida y porosa. Crecimiento algal como estratos azul verdes de 0,2 - 2,0 cm por debajo de la superficie

costrosa. También puede presentarse irregularmente distribuida y asociada con *O. tenuis* y *O. amphibia*.

- Formando natas o capas gelatinosa-membranosas irregulares, verde parduzca o azul verde oscuras, tapizando el interior del sustrato de fondo constituido por sales cristalizadas en lagunas hipersalinas de Huacho de (165-350 o/oo; pH: 6,5-7). Esta comunidad endolítica sumergida esta dominada por la cianofita filamentosa *Oscillatoria tenuis* y en menor proporción por *O. amphibia*.

DISCUSION

Debido a las variaciones climáticas de la Costa Peruana como las escasas precipitaciones que no permiten el drenaje de las sales del suelo y las que se forman por los agentes atmosféricos (transporte de sales cíclicas vía eólica) las lagunas costeras están sujetas a un incremento en salinidad aunada a la desecación estacional de sus litorales con pozas efímeras aledañas. La presencia de determinadas especies algales que requiere en algunos casos la inoculación de poblaciones autóctonas que fueron capaces de resistir períodos de desecación (estados de resistencia en su ciclo de vida) es consistente con su distribución aparentemente óptima cuando originan floraciones algales demostrando que la salinidad y pH tienen diferentes efectos en su sobrevivencia y crecimiento. Las comunidades algales constituidas en su mayoría por especies eurihalinas de las lagunas Puerto Viejo, Ventanilla norte, Villa y pozas de Hípico son más ricas en especies que las lagunas talasohalinas (Huacho, Ventanilla sur) corroborando que la distribución y la diversidad biótica de las especies esta inversamente correlacionado con la salinidad (VARESCHI, 1982, COMIN *et al.*, 1983). Los rangos de tolerancia algal a la salinidad y pH hallados en las lagunas costeras esta en relación con la dinámica de las poblaciones naturales y la biogeografía de las especies que permite tipificarlas como bioindicadores para la región costera peruana.

La tolerancia a un amplio rango de salinidad fue demostrado en cultivos de algas bénticas litorales en lagos alcalinos salinos (Lagos Mono y Abert, USA) aunque las velocidades de crecimiento y almacenamiento (contenido orgánico) fueron limitados por el incremento de salinidad dentro del rango óptimo (HERBST & BRADLEY, 1989). La dominancia de las comunidades algales bénticas por cianobacterias en nuestros lagos como matas cohesivas creciendo sobre una considerable heterogeneidad espacial originada por el sustrato de fondo como superficies rocosas (algas epilíticas) o sedimentos fangosos (algas epipelicas) puede ser atribuida al rango de pH alcalino relacionada con iones de calcio y bicarbonato de aguas duras en suelos calcáreos como los de la costa Peruana. Además esta comunidad béntica contribuye en gran proporción a la biomasa algal planctónica por

desprendimiento de los biodermas en zonas litorales. Entre las cianofitas bénticas *Spirulina subsalsa* con un amplio rango de tolerancia a la salinidad (0-130 o/oo) evidenció su naturaleza eurihalina formando extensos biodermas en habitats salinos (85-100 o/oo; pH: 6,5-7) que revela su óptimo crecimiento y avala su naturaleza halofílica. Sin embargo en aguas dulces y salobres (pH: 9-10) se presenta en menor proporción probablemente debido a la competencia interespecífica ó al pH alcalino.

La distribución de *Nodularia spumigena* que en nuestras lagunas (Ventanilla norte, Hípico) es más bien litoral béntica con un rango de salinidad de 0-17 o/oo puede ser comparada con la de los lagos salinos del área Saskatchewan (Canada) donde origina floraciones mono-específicas en el lago Manito con un rango de salinidad de 22 a 24 g·l⁻¹ (HAMMER *et al.*, 1975). Según SMARDA *et al.*, 1988) *N. spumigena* forma poblaciones planctónicas que desarrollan floraciones densas y también colonizan localidades extremas (suelo, pozas salinas, manantiales minerales, etc.).

En lagos tropicales el crecimiento de cianobacterias puede ser através del año mientras que en regiones templadas existe desarrollo de floraciones estacionales como el de *Microcystis aeruginosa* (junio-octubre). Por ejemplo, el lago Humboldt (Canada) con 3,5-7 g·l⁻¹ de salinidad presenta floraciones mixtas anuales de *M. aeruginosa* principalmente con *Aphanizomenon flos-aquae* y *Stephanodiscus niagarae*. Así mismo las poblaciones naturales de *M. aeruginosa* en las lagunas (Villa, Puerto Viejo, Ventanilla norte, Hípico) con rango de salinidad de 4-12 o/oo estarían relacionadas con un requerimiento bajo de sodio para ésta especie según McLACHLAN & GORHAM (1961). Igualmente la asociación de *M. aeruginosa* y otras especies con la vegetación macrofítica de *Chara* sp. en las lagunas de Villa y Puerto Viejo, podría estar relacionada con la baja salinidad como en las poblaciones de *Chara* sp. del lago Wakau con rango de salinidad de 3,5-4,3 g·l⁻¹. Por consiguiente, las diferencias fisiológicas entre especies algales permiten su colonización en cuerpos de aguas dulces y salobres, mientras otras requieren mayores salinidades como *P. entophysaloides*, *A. halophytica*, *D. salina* y *D. viridis*.

La agregación celular en poblaciones algales naturales parece ser un paso preliminar en la formación del estado béntico palmeloide en especies como *D. viridis* y *D. salina* donde la copiosa producción y excreción de carbohidratos es necesario para producir la matrix extracelular característica del estadio béntico. La liberación de células del estado béntico puede ser un modo de restablecer poblaciones móviles en ambientes favorables, como se evidenció adicionando 1/2 a las células palmeloides. Por lo tanto, la plasticidad morfológica relacionada con el estado béntico puede actuar como una fase de sobrevivencia algal cuando se colonizan lagunas costeras hipersalinas tropicales.

El mejor conocimiento de las poblaciones algales, estructura de sus comunidades con la composición específica y sucesión permitirá evidenciar la diversidad algal así como sus interacciones biológicas en nuestros ecosistemas acuáticos costeros.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro reconocimiento al Dr. Pedro Huamán por la identificación de los moluscos, Roberto Quesquen y Victor H. Vera por su colaboración en las colecciones realizadas.

BIBLIOGRAFIA

- BROCK, T.D., 1975. Salinity and the ecology of *Dunaliella* from Great Salt Lake. *J. gen. Microbiol.* 89:285-292.
- CASTRO, G., E. ORTIZ & L. BERTOCHI. 1990. Importancia biológica y conservación de la laguna El Paraiso, Lima. *Bol. Lima.* 71: 47-55.
- CHACON, G.R., 1980. *Chlorella peruviana* sp. nov. y su ambiente altamente salino. *Bol. Soc. Per. Bot.* 8:83-96. Lima.
- COMIN, F.A., M. ALONSO, P. LOPEZ & M. COMELLES. 1983. Limnology of Gallocanta Lake, Aragon, northeastern Spain. *Hydrobiologia.* 105:207-221.
- GEITLER, L. 1932. *Cyanophyceae*. In Rabenhorst's Kryptogamenflora von Deutschland, Österreich und der Schweiz. Akad. Verlagsges. Leipzig. 14:1-1196.
- GOUDIE, A. & J. WILKINSON, 1977. The warm desert environment. Cambridge Univ. Press. Cambridge. 88 p.
- GUILLARD, R.L., 1975. Culture of phytoplankton for feeding marine invertebrates. In W. L. Smith & M.H. Chanley eds Culture of marine invertebrate animals. Plenum Press. New York. 29-60 p.
- HAMMER, U.T., R.C. HAYNES, J.M. HESELTINE & S.M. SWANSON. 1975. The saline lakes of Saskatchewan. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 19:589-598.
- HELLEBUST, J.A., 1976. Osmoregulation. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 27: 485-505.
- HERBST, D.B. & T.J. BRADLEY. 1989. Salinity and nutrient limitations on growth of benthic algae from two alkaline salt lakes of Western Great Basin (USA). *J. Phycol.* 25:673-678.
- HINDAK, F., 1988. Planktic species of two related genera *Cylindrospermopsis* and *Anabaenopsis* from Western Slovakia. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 80: 283-302.
- MALDONADO, A., 1943. Las lagunas de Boza, Chilca y Huacachina y los Gramadales de la Costa del Perú. Act. Trab. 2do. Cong. Per. Quim. Lima. 143 p.
- MCLACHLAN, J., 1961. The effects of salinity on growth and chlorophyll content in representative classes of unicellular marine algae. *Can. J. Microbiol.* 7:399-406.
- MCLACHLAN, J. & P.R. GORHAM, 1961. Growth of *Microcystis aeruginosa* Kutz. in a precipitate free medium buffered with Tris. *Can. J. Microbiol.* 7:869-882.
- MONTOYA, H., C. BARBERENA & R. QUESQUEN. 1988. Algas de las salinas de Huacho, Perú, con énfasis en *Aphanothece halophytica* Frey. En H. Salzwedel & A. Landa eds. Recursos y dinámica del ecosistema de afloramiento peruano. *Bol. Inst. Mar. Perú-Callao*, Vol. extraordinario. 67-75 p.
- OREN, A. & M. SHILO, 1982. Population dynamics of *Dunaliella parva* in the Dead Sea. *Limnol. Oceanogr.* 27: 201-215.
- PETERSEN, G., 1977. Historia marítima del Perú. Geografía y geología general del litoral peruano, Vol. I. Inst. Estudios Histórico-Marítimos del Perú. Lima. 214 p.
- PRESCOTT, G. 1978. How to know the freshwater algae. W.C. Brown Co. Publishers. Iowa. 293 p.
- ROJAS, A.C., 1975. Estudio de los servicios e industrias en el área urbana de Ventanilla. Tesis. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima. 165 p.
- ROUND, F.E., 1971. The taxonomy of the Chlorophyta II. *Br. Phycol. J.* 6: 235-264.
- RUNDEL, P.W., M.O. DILLON, B. PALMA, H.A. MOONEY, S.L. GULMON & J. R. EHLERINGER, 1991. The phytogeography and ecology of the coastal Atacama and Peruvian deserts. *Aliso.* 13:1-49.
- SILVA, P., 1982. *Thallobionta*. In Synopsis and Classification of living organisms. S.P. Parker ed. Mc Graw-Hill Book Co. 133-161p.
- SMARDA, J., J. KOMAREK, J. CASLAVSKA & M. HUBEL, 1988. The *Nodularia* studies. I. Introduction, fine structure. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 80:109-129.
- TOMAS, C., 1978. *Olisthodiscus luteus* (Chrysophyceae) I. Effects of salinity and temperature on growth, motility and survival. *J. Phycol.* 14: 309-313.
- VARESCHI, E. 1982. The ecology of Lake Nakuru (Kenya). III Abiotic factors and primary production. *Oecologia.* 55:81-101.