

**Plasticidad fenotípica de la cianobacteria *Rhabdoderma lineare* (Chroococcales, Synechococcaceae) asociada con la rodofita *Porphyridium purpureum* (Porphyridiales, Porphyridiaceae) en comunidad planctónica de humedal, nuevos registros para el Perú**

**Phenotypic plasticity of the cyanobacterium *Rhabdoderma lineare* (Chroococcales, Synechococcaceae) associated with the rhodophyte *Porphyridium purpureum* (Porphyridiales, Porphyridiaceae) in a wetland planktonic community, new records for Peru**

***Haydee Montoya T.***

Museo de Historia Natural, Departamento de Simbiosis Vegetal, UNMSM.  
Av. Arenales 1256. Apartado 14-0434. Lima 14, Perú.  
Laboratorio de Taxonomía Vegetal, Facultad de Ciencias Biológicas, UNMSM.  
Av. Venezuela cuadra 34. Lima 1, Perú.  
haydmon@yahoo.com

***Ronald Tarazona D.***

Museo de Historia Natural, Departamento de Simbiosis Vegetal, UNMSM.  
Av. Arenales 1256. Apartado 14-0434. Lima 14, Perú.  
ronald.mtd@hotmail.com

***Miguel Dávila R.***

Universidad Ricardo Palma, Facultad de Ciencias Biológicas.  
Av. Benavides 5440. Apartado 1801. Lima 33, Perú.  
miguel.davila@urp.edu.pe

***Miguel Vela A.***

Museo de Historia Natural, Departamento de Simbiosis Vegetal, UNMSM.  
Av. Arenales 1256. Apartado 14-0434. Lima 14, Perú.  
miel.velaarce@gmail.com

## Resumen

Las lagunas costeras tropicales, superficiales están localizadas en la Costa Central del Pacífico en Sudamérica. Colecciones cianobacterial y microalgal estándar del humedal de Puerto Viejo (Laguna Grande, lado norte del humedal), departamento de Lima, fueron realizadas con registros irregulares de parámetros físico- químicos entre 2005 y 2010. Poblaciones naturales planctónicas de *Rhabdoderma lineare* Schmidle et Lauterborn en verano y otoño, exhibieron variaciones morfológicas celulares y coloniales. *R. lineare* formó floraciones asociada con la rodofita unicelular *Porphyridium purpureum* (Bory) Drew & Rossen condiciones eutróficas y salinas, con rango de temperatura entre 25 – 33 °C, gradiente de salinidad de 13 - 20 ppt (NaCl) y rango de pH 8 a 9. La plasticidad fenotípica de las especies y sus patrones distribucionales (planctónica y bentónica) en laguna somera están relacionadas con sus estrategias de vida que favorecen la colonización exitosa en lagunas costeros expuestos a régimen hídrico anual con periodos de inundación y desecación. *Rhabdoderma lineare* y *Porphyridium purpureum* son nuevos registros para la flora Peruana.

**Palabras clave:** morfoespecie, plasticidad, fenotípica, planctónico, salino, alcalino.

## Abstract

Coastal tropical shallow lagoons are located at the Central Pacific Coast, South America. Standard cyanobacterial and microalgae collections at Puerto Viejo wetland (Grande lagoon, north of the wetland), Lima department with physical -chemical parameters were registered irregularly between 2005 -2010. Planktic natural populations of *Rhabdoderma lineare* Schmidle et Lauterborn from summer and fall seasons showed cell and colonial morphological variations. *R. lineare* bloomed in eutrophic saline conditions, associated with the unicellular rodophyte *Porphyridium purpureum* (Bory) Drew & Ross. They colonized habitats with temperature range of 25 - 33 °C, salinity gradients between 13 - 20 ppt (NaCl), pH range from 8 to 9. Cyanobacterial and rodophyte phenotypic plasticity and, its distributional patterns (planktic and benthic) in the shallow lagoon are related for viable life strategy for successful colonization of coastal lagoons exposed to the annual fluctuating hydrological regime with flooding and desiccation periods. *Rhabdoderma lineare* y *Porphyridium purpureum* are new records for Peruvian flora.

**Keywords:** morphospecies, phenotypic, plasticity, planktic, saline, alkaline.

**Citación:** Montoya, H.; R. Tarazona; M. Dávila & M. Vela. 2020. Plasticidad fenotípica de la cianobacteria *Rhabdoderma lineare* (Chroococcales, Synechococcaceae) asociada con la rodofita *Porphyridium purpureum* (Porphyridiales, Porphyridiaceae) en comunidad planctónica de humedal, nuevos registros para el Perú. *Arnaldoa* 27 (3): 781-796. doi: <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.273.27308>

## Introducción

Los humedales costeros están distribuidos principalmente en regiones áridas en Sudamérica. En la zona costera central del Perú, lagunas tropicales someras forman parte del corredor biológico del Pacífico Este. Las cianobacterias, constituyen un grupo de procariontes fotoautotróficos oxigénicos de distribución amplia, con roles estructurales y funcionales diversos, siendo el conocimiento de su diversidad

mediante la caracterización de sus especies (morfortipos) en poblaciones naturales de condiciones ecológicas definidas (ecotipos) esencial para la comprensión de los procesos dinámicos relacionados con los ciclos biogeoquímicos en humedales. La diversidad cianobacterial y la presencia de microalgas como las rodofitas en lagunas tropicales es aún poco conocida en nuestro país. El grado de adaptación o aclimatación de las cianobacterias aunado a su plasticidad

fenotípica le permite colonizar diversos hábitats con el desarrollo de morfotipos específicos en su ciclo de vida (Komárek 2014).

Las especies del género *Rhabdoderma* Schmidle et Lauterborn con morfotipos coloniales y distribución extensa han sido reportadas para el plancton y el bentos lacustre de aguas dulces, salobres así como marinos, de regiones templadas (Canadá, USA, Rusia, Noruega), tropicales (Brasil, lagos africanos), fuentes termales (Japón, Parque Nacional de Yellowstone) (Stein & Borden 1979; Komárek & Anagnostidis 1998; Kupriyanova *et al.*, 2003; Sant'Anna *et al.*, 2004). En algunos taxa cianobacteriales cosmopolitas como *Phormidium retzii*, las cepas de esta cianobacteria filamentosa, similares en morfología y microhábitats fueron posteriormente diversificadas y sin correlación por la proximidad geográfica evidenció su rango de distribución restringida (Casamatta *et al.*, 2003). Sin embargo, la validación de cepa unicelular halotolerante *Halothece*, de distribución restringida (pozas de evaporación encostas marinas) y con variabilidad morfológica estuvo en congruencia con sus investigaciones moleculares justificando su definición específica como *H. californica* (Margheri *et al.*, 2008). Investigaciones de cianobacterias eurihalinas con variabilidad fenotípica han sido reportadas en varios hábitats costeros de nuestro país como *Aphanothece halophilica*, *Pleurocapsa entophysaloides* y *Romeria gracilis* (Montoya & Golubic 1991; Montoya, 2009).

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la variabilidad fenotípica de las morfoespecies *Rhabdoderma lineare* y *Porphyridium purpureum* que forman floraciones, así como su tolerancia a gradiente de salinidad, temperatura y pH. Estos datos ecológicos de poblaciones

naturales en laguna somera costera son importantes para futuras investigaciones sistemáticas, además las especies *R. lineare* y *P. purpureum* constituyen nuevos registros para la diversidad cianobacterial y microalgal de nuestro país.

## Material y Métodos

El humedal tropical de Puerto Viejo está localizado en la región costera central entre los 69 y 73 km al sur del departamento de Lima. La evaluación de la flora cianobacterial y microalgal se evaluó mediante colecciones estándar realizadas en forma irregular entre 2005 y 2010. El registro de los parámetros físico químicos (pH, salinidad, temperatura) de muestras de la columna de agua se realizó "in situ" simultáneamente con las colecciones. El pH fue obtenido mediante varillas analíticas indicadoras (Merck), los fosfatos (iones ortofosfato) fueron medidos con cintas analíticas (Merck) en mg L<sup>-1</sup>. Los nitratos fueron detectados mediante un test para nitratos (La Motte, modelo NCR) en mg L<sup>-1</sup>. La medición de la salinidad (NaCl) se realizó mediante un salinómetro AO T/C. Submuestras fueron secadas en condiciones naturales, otras fijadas y preservadas en formalina 5%. Datos morfométricos de las especies, su rango de variación, así como las microfotografías secuenciales de los diferentes morfotipos vegetativos y reproductivos fueron realizados para la identificación de las especies con bibliografía especializada (Geitler, 1932; Komárek & Anagnostidis 1998; Kumano, 2002; Komárek *et al.*, 2003; Joosten, 2006; Eloranta & Kwandrans 2007; Komárek *et al.*, 2014).

## Resultados

### Área de estudio

El humedal de Puerto Viejo está formado por una variedad de lagunas superficiales con un rango amplio en la calidad de sus aguas (dulces, salobres y salinas). El humedal está expuesto a un régimen hidrológico anual con periodos de inundación y desecación. La disminución gradual del nivel del agua en las lagunas origina pozas, charcas y acequias generalmente en el verano, que está relacionado con la desecación lagunar. El ecosistema acuático muestreado, la Laguna Grande, localizada en la zona norte del humedal (12° 33'19.64"S, 76° 42'46.09"O), es superficial y parcialmente efímera en verano, con un área aproximada de 60 km<sup>2</sup> y máxima profundidad entre 3y 4 m. En la presente investigación, el rango de pH osciló entre 8 y 9, la gradiente de salinidad entre 13 y 20 ppt NaCl en verano (marzo) y otoño (mayo), con rango de temperatura entre 25 y 33 °C, fosfatos entre 5 y 10 mg L<sup>-1</sup> y nitratos entre 0.66 y 0.88 mg L<sup>-1</sup>. Esta laguna colinda con el cerro La Bruja en el límite sur y debido a los vientos en la columna de agua esta recibe partículas de polvo liberados del cerro que contribuyen a enriquecer sus aguas. El sedimento es fangoso, areno arcilloso, con sales de cloruro y carbonato de sodio y con detritus microbiano y de macrófitas como *Bacopa monierii* halófitas como *Distichlis spicata* y *Sesuvium portulacastrum* que quedan sumergidas en época de inundaciones. Debido a su estructura somera de la laguna, los vientos causan disturbancia en sus aguas con la remoción y resuspensión del sedimento y bentos que en época de inundación causa la turbidez de sus aguas (Fig.1).

**Caracterización de la morfoespecie *Rhabdoderma lineare* Schmidle et Lauterborn (Synechococcaceae, Chroococcales).** Figs. 2-8. Se reporta para nuestra diversidad cianobacterial la presencia de la morfoespecie colonial *R. lineare* en la laguna Grande de los humedales de Puerto Viejo. La investigación evidenció la plasticidad fenotípica con variantes morfológicas, sus formas transicionales complementado con datos ecológicos de sus poblaciones planctónicas como sigue:

Colonias adultas mucilaginosas redondeadas, ovoide lobuladas, oval elongadas o lobuladas irregularmente, colonias jóvenes en su mayoría redondeadas u ovoides. Mucilago colonial delgado o denso, bien definido, homogéneo e incoloro. El mucilago gelatinoso llega a ser difluente, amorfo, en los márgenes coloniales donde fue reconocido por células libres en sus bordes. Diámetro colonial de (6) 27-112 (84) µm y longitud colonial de 86 a 150 µm. Células cilíndricas, oval elongadas, curvadas, en forma de barra, sigmoides, verde olivo, azules verdes o azulado pálido. Contenido celular homogéneo o finamente granulado y ápice celular redondeado. Células distribuidas en forma irregular y generalmente distantes, espaciadas o dispuestas en forma laxa en el interior colonial y densas en la periferia colonial. Algunas células están distribuidas más o menos en la misma dirección. Diámetro celular de 0.7a 1.1 µm y longitud celular entre (1.1) 2.1 – 7.5 (8.5) µm. División celular por fisión binaria perpendicular al eje longitudinal, algunas células con plano de división orientado ligeramente oblicuo en células curvadas. Las células hijas pueden adquirir la forma de "v", posteriormente adquieren posición paralela con mucilago evidente o distribuidas en la periferia tangencialmente a la superficie colonial. Las

divisiones celulares consecutivas resultan en la formación de cadenas celulares por generaciones subsecuentes que permanecen unidas formando pseudofilamentos cortos. Reproducción colonial por bipartición con fragmentación en subcolonias o desintegración irregular de colonias con liberación de mucílago.

*Rhabdoderma lineare* forma floraciones de tonalidad verdosa (Fig.1), colonizando ambientes salinos y eutróficos con rango de pH de 8 a 9, rango de salinidad entre 13 y 20 ppt NaCl en verano (marzo) y otoño (mayo) con rango de temperatura entre 25 y 33 °C, fosfatos entre 5 a 10 mg L<sup>-1</sup> y nitratos de 0.66 a 0.88 mg L<sup>-1</sup>. *R. lineare* coexiste con la especie planctónica *Romeria gracilis*. La colonización cianobacterial nos permite comprender su función ecológica en éstos hábitats inestables. Los morfotipos planctónicos de las poblaciones naturales de *Rhabdoderma lineare* en verano y otoño, exhibieron variación morfológica celular, con células ovoides cortas en colonias esféricas hasta células elongadas curvadas formando cortos pseudofilamentos en colonias ovoides, elongadas, ovoides lobuladas o irregulares. Las células cortas fueron registradas en altas salinidades a fines del verano. Las células de mayor tamaño (elongadas) fueron halladas a comienzos de otoño inmediatamente después del inicio del periodo de inundación cuando el afloramiento de las aguas subterráneas disuelve gradualmente el sedimento parcialmente seco y expuesto formando pozas temporales que posteriormente confluyen en la laguna Grande.

**Caracterización de la morfoespecie de *Porphyridium purpureum* (Bory) Drew & Ross (Porphyridiales, Porphyridiaceae).** Figs. 9-11. Células esféricas u ligeramente ovoides libres o dispersas, de color rojizo, vinosas, verde rojizas o verdes plumizas

con cloroplasto axial estrellado con lóbulos periféricos o irregulares, pirenoide central y rodeado de gránulos de almidón. División celular por fisión. Células de (7.5) 10.7 a 18 (19.3) µm de diámetro, rodeadas de mucílago individual, incoloro, alcanzando de 9.6 a 21.4 µm de diámetro. El mucílago confluyente con el mucílago individual de células vecinas llega a alcanzar de 26.7 a 48 µm de diámetro, reconociéndose la matriz mucilaginoso incolora con las células embebidas.

Las células rodeadas del mucílago gelatinoso fueron mejor reconocidas cuando se distribuyen sobre colonias de *R. lineare*. Las células de mayores dimensiones en condiciones desfavorables pueden ser consideradas como aplanosporas (estados latentes). Poblaciones de *P. purpureum* dispersas como las planctónicas o bentónicas. Estas últimas sobre las superficies coloniales sumergidas de *R. lineare*, por reducción del nivel de agua, exhiben adaptación cromática con las células de tonalidad verdosa.

## Discusión y conclusiones

Las condiciones ambientales inestables como escenarios de la biosfera al cual han estado expuestas las cianobacterias durante los eventos de su historia evolutiva larga y rica (Precámbrico) causaron una extensa diversificación de especies con variabilidad morfológica y ecológica que actúan con estrategias de vida temporal y espacialmente exitosas (espectro de nichos y ecotipos). El alto grado de plasticidad fenotípica que exhiben las especies cianobacteriales y algales dificulta la separación de especies por la interpretación morfológica específica por cual es necesario el registro de sus datos ecológicos (Komárek & Komárková – Legnerová, 2007). La variabilidad fenotípica de genotipos

idénticos que evidenciaron divergencia morfológica en géneros cercanos no siempre es reflejada en la diversidad genética según Palinska *et al.* (1996). La investigación de las relaciones filogenéticas de algunas cepas cianobacteriales establecieron que la caracterización morfológica y molecular fueron congruentes (Rajaniemi-Wacklin *et al.*, 2005). Es conocido que los caracteres morfológicos están sujetos a la dinámica e integración evolutiva como el patrón de evolución paralela o convergente y la plasticidad fenotípica, que en los talos simples (unicelulares) puede conducir a una diversidad baja también evidenciada en algas verdes cocoides (Lewis & Flechtner, 2004).

Las características morfológicas representan diferencias y adaptaciones fenotípicas potenciales en respuesta a condiciones fluctuantes en ecosistemas lagunares someros. Estos cuerpos de agua en nuestro litoral están expuestos a fluctuaciones anuales del régimen hídrico como la inundación estacional (afloramientos) relacionada con la gradiente de nutrientes en la columna de agua y a periodos de desecación. En las lagunas costeras las fuerzas hidrodinámicas y aeólicas, la disturbancia de sedimentos (bioturbancia), aunada a la gradiente de salinidad, así como la dinámica del sestón están asociadas con las floraciones del fitoplancton (Scheffer, 2004; Oseguera *et al.*, 2010). En las floraciones de *R. lineare*, por su naturaleza transicional se reconocieron en forma frecuente la reproducción por fragmentación colonial (origen de colonias hijas) aunada a la desintegración colonial (colonias irregulares), distribución irregular de los pseudofilamentos (origen por divisiones celulares consecutivas) y la separación celular. La disminución del nivel de agua en la laguna Grande que

origina pozas temporales en el periodo de desecación (verano) puede inducir en la comunidad planctónica la formación ocasional de poblaciones bénticas en los sedimentos que se reducen a costras biológicas secas en periodos de desecación. Durante el periodo de inundación gradual (inicio de otoño) por filtración del agua subterránea, las costras bentónicas secas o ligeramente humedecidas hidratan el mucílago colonial quedando resuspendidas en la columna de agua. De esta manera, los talos coloniales, fragmentos o células que estuvieron en estado de reposo fisiológico en los sedimentos pueden ser inoculados (stock) en la columna de agua y con sucesivas divisiones celulares favorecen el desarrollo de floraciones. La habilidad de las matas cianobacteriales que toleran la desecación y adquieren ventajas en periodos de hidratación aun en periodos de condiciones subóptimas ha sido documentada por Fleming *et al.* (2007).

La morfoespecie *R. lineare* en los humedales costeros, exhibió variaciones plásticas intraespecíficas que reflejaron su plasticidad fenotípica con caracteres celulares y coloniales transicionales dependientes del estado del ciclo de vida y del hábitat fluctuante. Por consiguiente, *R. lineare* es tipificada por su ecotipo eutrófico, alcalino, eurihalino y halofílico en humedal costero. La variación temporal (verano/otoño) en *R. lineare* fue reconocida por su variación morfológica intraespecífica que refleja su plasticidad fenotípica con implicancias ecológicas y fisiológicas. La plasticidad fisiológica ha sido reconocida como una ventaja morfológica para la adquisición de recursos que incrementa su adaptación para la supervivencia en ambientes fluctuantes. El material de estudio de Puerto Viejo (colonias ovas, elongadas, irregulares lobuladas; células

cilíndricas de ápices redondeadas) es próximo a la descripción original de la especie tipo *R. lineare* de Schmidle (1900) quien estableció colonias curvadas huecas, ápices celulares redondeados, distribución celular en una capa y formación de cadenas cortas o pseudofilamentos.

La similaridad de *Rhabdoderma* con otros géneros planctónicos como *Rhabdogloea* Schröder, de colonias subsféricas u elipsoidales, células fusiformes, cilíndricas, ligeramente curvadas o sigmoides, distribuidas en forma distante, uniforme o irregular, algunas veces orientadas en la misma dirección y rara vez forman pseudofilamentos (Komárek, 2003; Joosten, 2006). Sin embargo, las diferencias entre los autores citados se basan en la forma celular con ápices atenuados y en que las células cilíndricas los ápices son redondeados. La principal diferencia de éste género con el material de estudio *R. lineare* se basa en las formas coloniales adultas lobuladas e irregulares y en la forma celular no atenuada o fusiforme. El género planctónico *Leptothorax* Geitler también similar a *Rhabdoderma*, tiene colonias esféricas, ovoides u elipsoidales, células cilíndricas, de ápices redondeados, fusiformes, rectas o curvadas, densamente distribuidas en la periferie o en forma irregular. Sin embargo, *R. lineare* es más próxima a la especie *L. flexa* Hindák de colonias esféricas, ovoides u elípticas, células cilíndricas algo curvadas, con pseudofilamentos aunque no llega a desarrollar colonias lobuladas e irregulares como la cepa de estudio *R. lineare*. Algunas especies del género *Aphanothece* Nägeli tienen cierta similitud con *Rhabdoderma*, siendo *A. bacilloidea* Gardner con colonias esféricas elongadas, células cilíndricas y de forma sigmoidea y ápices redondeados similares a las colonias de *L. flexa* con excepción de las células irregularmente

distribuidas. Sin embargo, *A. bacilloidea* tiene similitud con las colonias jóvenes de *R. lineare* y *L. flexa*.

En relación a las especies de *Rhabdoderma* registradas para hábitats salinos tenemos a *R. curtum* (Setchell) Komárek et Anagnostidis con células fusiformes que la relacionan mejor con *Rhabdogloea* y fue citada para zonas costeras salinas pantanosas y litorales marinos en California, USA, Europa, Portugal, Grecia (Komárek & Anagnostides, 1998). También, *R. rubrum* (Alvik) Komárek et Anagnostidis, con frecuentes células en hileras, ha sido reportada para aguas salinas en regiones costeras marinas europeas (Noruega). Sin embargo, cepas halófilas y alcalofílicas de *R. lineare* han sido aisladas de lagos sódicos (África y Rusia) y que florecen a pH 9-10 siendo extremófilas al igual que las cianofitas asociadas como *Microcoleus chthonoplastes* y *Spirulina*. Estas comunidades cianobacteriales son consideradas como relictos de la biota ancestral preservados bajo condiciones extremas como productores primarios dominantes (Kupriyanova et al., 2003). La especie de estudio *R. lineare* floreció en condiciones con rango alcalino de pH 8 - 9. Sin embargo, la laguna Grande registra un rango de pH entre 7 y 10.5 siendo considerada la más alcalina en la zona sur de los humedales. *R. lineare* ha sido reportada para el plancton de zonas templadas como lagos de Canadá y Estados Unidos, República Checa, Suecia (Komárková-Legnerová & Cronberg, 1994), reservorios en São Paulo, Brasil (Sant'Anna et al., 2004), lago africano Magadi y lago de Chilganta, Rusia (Kupriyanova et al., 2003). *R. lineare* de los humedales de Puerto Viejo incrementa su distribución en hábitats salinos costeros del Pacífico Este de Sudamérica evidenciando su gradiente biogeográfico.

Considerando que la mayoría de especies de formas coloniales en la naturaleza, crecen en cultivos con formas unicelulares perdiendo la característica colonial natural intrínseca, la clasificación taxonómica y nomenclatura binomial basado en el fenotipo natural constituye es un método de reconocimiento y comprensión de la diversidad cianobacterial, además como criterios fenotípicos (caracteres morfológicos) pueden utilizarse para la identificación de poblaciones naturales. Debido a la variabilidad fenotípica de *R. lineare* es apropiado obtener la información filogenética para la mejor visión y diagnóstico de la especie, así como discernir la presencia de especies crípticas o variedades en lagunas someras. La mayoría de cianobacterias y microalgas con taxa planctónicos marinos y de agua dulce tiene distribución cosmopolita debido a que sus células aisladas, esporas o porciones del talo colonial son más factibles de ser dispersados a grandes distancias (Finlay, 2002). No obstante, la distribución de algunas especies se generaliza con distribución global, algunos autores consideran que la ecología y distribución geográfica tienen impacto significativo en las poblaciones locales. El empleo de herramientas moleculares ha demostrado diferencias entre especies morfológicamente idénticas y bien distribuidas (Lewis & Flechtner, 2004). La sistemática cianobacterial contribuye a la delimitación específica evidenciando en algunos casos una mayor diversidad que avala la diversidad críptica en las cianobacterias (Engene *et al.*, 2018). Las especies crípticas en la sistemática cianobacterial ha sido demostrada para la cianobacteria cosmopolita *Phormidium retzii* (cepas de localidades distantes y cercanas) no distinguibles por caracteres morfológicos y la carencia de similaridad en la secuencia

molecular avala que cepas de *P. retzii* poseen distribución restringida (microhabitats) con diversificación posterior (capacidad de dispersión). La morfoespecie *R. lineare* de distribución cosmopolita probablemente incluya especies crípticas con variedades de distribución en laguna costera alcalina y salina como la laguna Grande que las hace próxima a las cepas extremófilas africanas con influencia en sus tendencias o patrones biogeográficos.

En ecosistemas salinos han reportado la influencia de la gradiente de salinidad en la morfología celular, las diferencias significativas en las dimensiones celulares con células pequeñas a mayores salinidades en comparación con las de baja salinidad, así como los cambios en forma, como fueron citados para las cepas cianobacteriales *Cyanothece* o *Aphanothece* de pozas solares de evaporación en Israel (Dor & Hornoff, 1985). Margheri *et al.* (2008) determinaron la dependencia de la morfología celular de la salinidad del medio de cultivo siendo las células de mayor diámetro y ligeramente más cortas a salinidades mayores para *Halotheca californica*. En las poblaciones naturales investigadas de *R. lineare*, las diferencias leves en tamaño celular fueron reconocidos según la literatura. La plasticidad fenotípica en *R. lineare* demostró estar relacionada con sus habilidades adaptativas que le proporcionan estrategias viables de vida para una exitosa colonización en lagunas costeras.

Las Rhodophyta constituyen un grupo diverso por su exitosa radiación adaptativa, apoyado en el registro de uno de los fósiles más antiguos (1.2 billones de años) entre los eucariontes fotosintéticos que incluye numerosos linajes unicelulares mesófilicos como el de *Porphyridium* (Porphyridiophyceae), entre otros. *P. purpureum* tiene una distribución amplia

en ecosistemas marinos y terrestres, aguas dulces, salobres, marismas y orillas de ríos. Los organismos fotosintéticos han desarrollado varios sistemas de captura de la radiación para asegurar una eficiente transferencia energética y *P. purpureum* tiene estrategias en su maquinaria fotosintética con ficobilisomas (complejos de ficobiliproteínas) y proteínas del complejo de fotopigmentos (clorofila, carotenoides) que estabilizan sus funciones y favorecen su adaptación como se presenta en las células rojizas (ficoeritrina) de los humedales costeros. El genoma de *P. purpureum* ha demostrado una diversidad de historias evolutivas con origen genético de procariontes y eucariontes que ha enriquecido el árbol fotosintético de la vida (Bhattacharya *et al.*, 2013; Muñoz-Gómez *et al.*, 2017).

La microalga *Porphyridium* muestran un gran potencial para cultivos comerciales porque acumulan ficoeritrina (complejo pigmento proteico), exopolisacáridos y ácidos grasos polinsaturados. Varias microalgas pueden cambiar su capacidad de acumular compuestos secundarios bajo condiciones de estrés como alta intensidad luminosa o limitación de nitrógeno. Li *et al.* (2019) demostraron en *P. purpureum* que las respuestas diferenciales a las concentraciones bajas de nitrógeno (3.5 mM) promueven la secreción de mucílago (compuesto de exopolisacáridos), así mismo el incremento de iluminación y temperatura estimula esta secreción como se reconoció en las células verdes en la laguna Grande a fines del verano (marzo) cuando las floraciones coloniales de *R. lineare* decaen y pasan a estados sumergidos o bentónicos. La limitación de nitrógeno también puede inhibir la síntesis de ficoeritrina, que fue reconocido en las células verdes de *P. purpureum* y podría

explicarse por la reducción de nutrientes posterior a las floraciones.

Según Sheath (2003), las mayores dimensiones celulares de *P. purpureum*, de 7 a 16  $\mu\text{m}$  de diámetro, son alcanzadas en la fase estacionaria de cultivos y las más pequeñas (5 a 10  $\mu\text{m}$  de diámetro), en la fase exponencial. Las células *P. purpureum* en poblaciones naturales del humedal de estudio alcanzan un rango ligeramente mayor (7.5 10.7 a 18 (19.3)  $\mu\text{m}$  donde las células de mayores pueden considerarse como estadios latentes (aplanosporas) en ambientes inestables y someros. Existen registros de *P. purpureum* con células de 8 a 15  $\mu\text{m}$  de diámetro liberando mucílago por la adhesión mutua del mucílago, las células se agregan en forma irregular (Eloranta & Kwadrans, 2007; Kumano, 2002). Sin embargo, cuando se secan toma el aspecto de costra que también puede considerarse como estado de latencia en los humedales costeros.

### Agradecimiento

La presente investigación forma parte del Proyecto de Investigación Binacional entre el Perú; Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC), y la República Checa: "Caracterización Polifásica y Correspondencia entre la Morfología y Filogenia Molecular de Especies Cianobacteriales Indicadoras de Eutroficación en Laguna Tropical de la Costa Central Peruana", aprobado mediante la Res. Presidencia N°061-2013-CONCYTEC-P, por lo cual agradecemos al CONCYTEC su apoyo.

## Contribución de los autores

Los autores H.M.; R.T.; M.D. & M.V. han contribuido en forma similar en los diferentes aspectos de la investigación (logística, colección, selección del material de estudio, datos morfométricos, descripción, macro y microfotografías, revisión bibliográfica) hasta la elaboración final del artículo científico.

## Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

## Literatura citada

- Bhattacharya, D. et al.** 2013. Genome of the red alga *Porphyridium purpureum*. *Nat. Commun.* 4:1941.
- Casamatta, D., M. Vis & R. Sheath.** 2003. Cryptic species in cyanobacterial systematic: a case study of *Phormidium retzii* (Oscillatoriales) using RAPD molecular markers and 16S rDNA sequence data. *Aquatic Botany* 77:295-309.
- Dor, I. & M. Hornoff.** 1985. Salinity-temperature relations and morphotypes of a mixed population of coccoid cyanobacteria from a hot, hypersaline pond in Israel. *Marine Ecology* 6:13-25.
- Eloranta, P. & J. Kwandrans.** 2007. Freshwater Red Algae (Rhodophyta). Identification guide to European taxa, particularly to those in Finland. *Norrilinia* 15. Saarijärven Offset Oy Saarijärvi, Finland. 103p.
- Engene, N.; A. Tronholm & V. Paul.** 2018. Uncovering cryptic diversity of *Lyngbya*: the new tropical marine cyanobacterial genus *Dapis* (Oscillatoriales). *J. Phycol.* 54:435- 446.
- Finlay, B. J.** 2002. Global dispersal of free-living microbial eukaryote species. *Science* 296:1061-1063.
- Fleming, E.; B. Bebout & R. Castenholz.** 2007. Effects of salinity and light intensity on the resumption of photosynthesis in rehydrated cyanobacterial mats from Baja California Sur, Mexico. *J. Phycol.* 43:15-24.
- Geitler, L.** 1932. Cyanophyceae. In Rabenhorst, L. (ed.): *Kryptogamen-Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz*. Akademische Verlagsgesellschaft. m.b.H. Leipzig. 14:1-1196.
- Joosten, A. M.** 2006. Flora of the blue-green algae of the Netherlands. I The non-filamentous species of inland waters. KNNV Publish. Utrecht. The Netherlands. 239p.
- Komárek, J. & K. Anagnostidis.** 1998. Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales. In *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. H. Ettl et al. (eds): Band 19/1. Gustav Fischer Verlag Jena. 548pp.
- Komárek, J.** 2003. Coccoid and colonial Cyanobacteria. In *Freshwater Algae of North America*. J. Wehr & R. Sheath (eds). Academic Press. Boston, USA. 59-116p.
- Komárek, J. & J. Komárková- Legnerová.** 2007. Taxonomic evaluation of the cyanobacterial microflora from alkaline marshes of northern Belize. 1. Phenotypic diversity of coccoid morphotypes. *Nova Hedwigia* 84: 65.111.
- Komárek, J.; J. Kastovsky; J. Mares & J. Johansen.** 2014. Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (cyanobacterial genera) using a polyphasic approach. *Preslia* 86:295-335.
- Komárková - Legnerová, J. & G. Cronberg.** 1994. Planktic blue-green algae from lake in South Scania, Sweden. Part I. Chroococcales. *Algological Studies* 72:13-51.
- Kumano, S.** 2002. *Freshwater Red Algae of the world*. Biopress Ltd. Dorset Press. England. 375p.
- Kupriyanova, E. et al.** 2003. Carbonic anhydrase activity of alkalophilic cyanobacteria from soda lakes. *Russian J. Plant Physiology* 50(4): 532-539.
- Lewis, L. & V. Flechtner.** 2004. Cryptic species of *Scenedesmus* (Chlorophyta) from desert soil communities of Western North America. *J. Phycol.* 40:1127-1137.
- Li, T.; J. Xu; H. Wu; P. Jiang; Z. Chen & W. Xiang.** 2019. Growth and biochemical composition of *Porphyridium purpureum* SCS-02 under different nitrogen concentrations. *Mar. Drugs* 17:124.
- Margheri, M. C.; S. Ventura; J. Kastovsky & J. Komárek.** 2008. The taxonomic validation of the cyanobacterial genus *Halotheca*. *Phycologia* 47(5):477-486.
- Montoya, H.** 2009. Algal and Cyanobacterial saline biofilms of the Grande Coastal lagoon, Lima, Peru. In *Saline Lakes around the world: Unique systems with unique values*. A. Oren et al., (eds): Vol XV. S.J. and Jessie E. Quinney Natural. Resources Research Library. Logan, Utah, USA. 127-134.
- Montoya, H. T. & S. Golubic.** 1991. Morphological variability in natural populations of mat forming

cyanobacteria in the salines of Huacho, Lima, Perú.  
Algological Studies 64: 423–441.

**Muñoz-Gómez, S. *et al.*** 2017. The new red algal subphylum Proteorhodophytina comprises the largest and most divergent plastid genomes know. *Cur. Biology* 7:1677-1684.

**Oseguera, L. A.; J. Alcocer & E. Escobar.** 2010. Seston flux in a tropical saline lake. *Verh. Internat.Verein. Limnol.* Vol.30. Part 10. 1477-1481.

**Palinska, K. A.; W. Liesack; E. Rhiel & W. E. Krumbein.** 1996. Phenotype variability of identical genotypes: the need for a combined approach in cyanobacterial taxonomy demonstrated on *Merismopedia*-like isolates. *Archives of Microbiology* 166:224-233.

**Rajaniemi-Wacklin, P. *et al.*** 2005. Correspondence between phylogeny and morphology of *Snowella* *spp.* and *Woronichinia naegeliana*, cyanobacteria commonly occurring in lakes. *J. Phycol.* 42:226-232.

**Sant'Anna, C.; M. T. Azevedo; P. A. Senna; J. Komarek & J. Komarkova.** 2004. Planktic Cyanobacteria from Sao Paulo State, Brazil: Chroococcales. *Rev. bras. Bot.* 27(2).

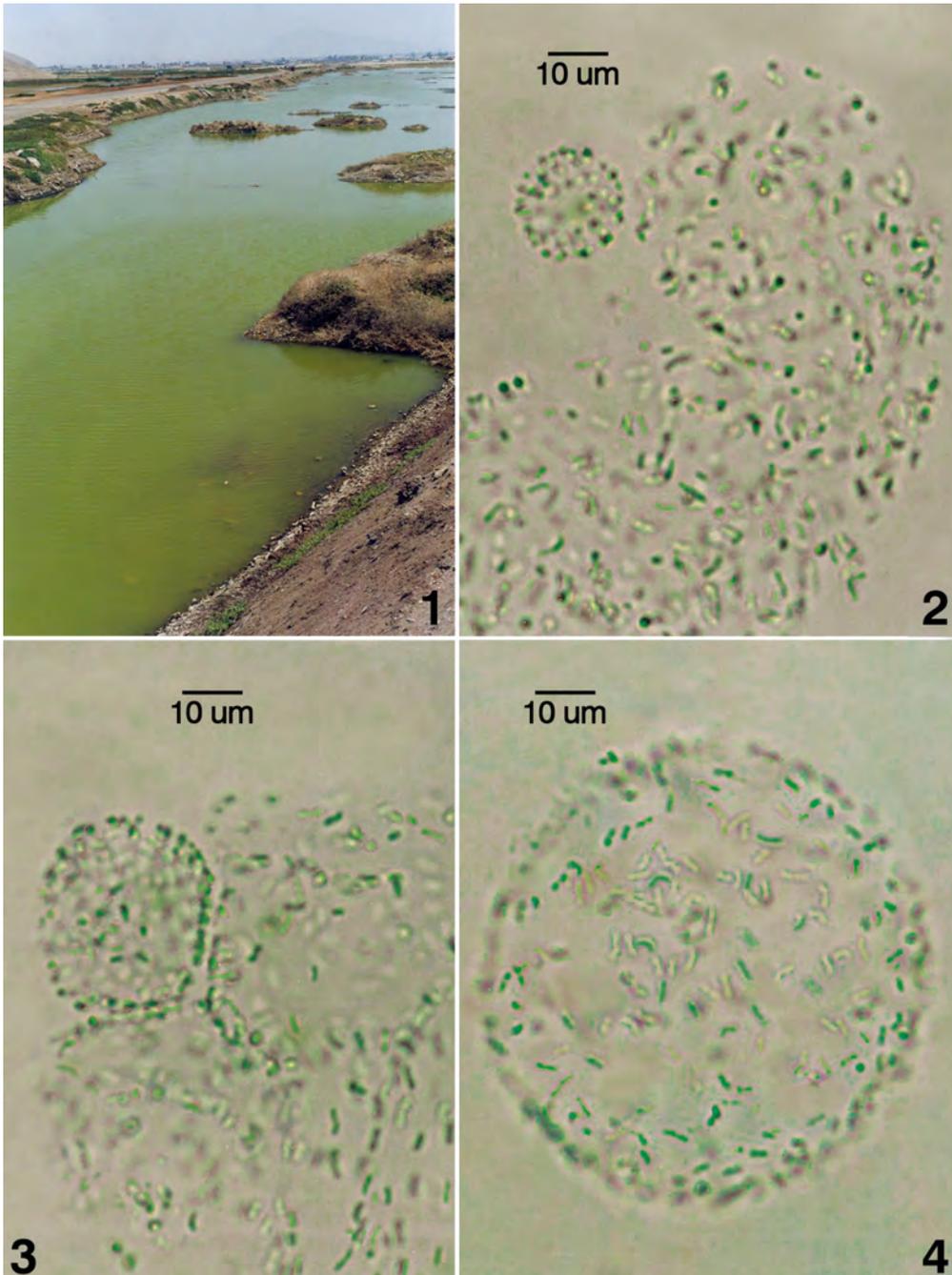
**Scheffer, M.** 2004. *Ecology of Shallow lakes.* Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 357 p.

**Schmidle, W.** 1900. Beiträge zur Kenntniss der Planktonalgen. *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft* 18:144-158. pl.6.

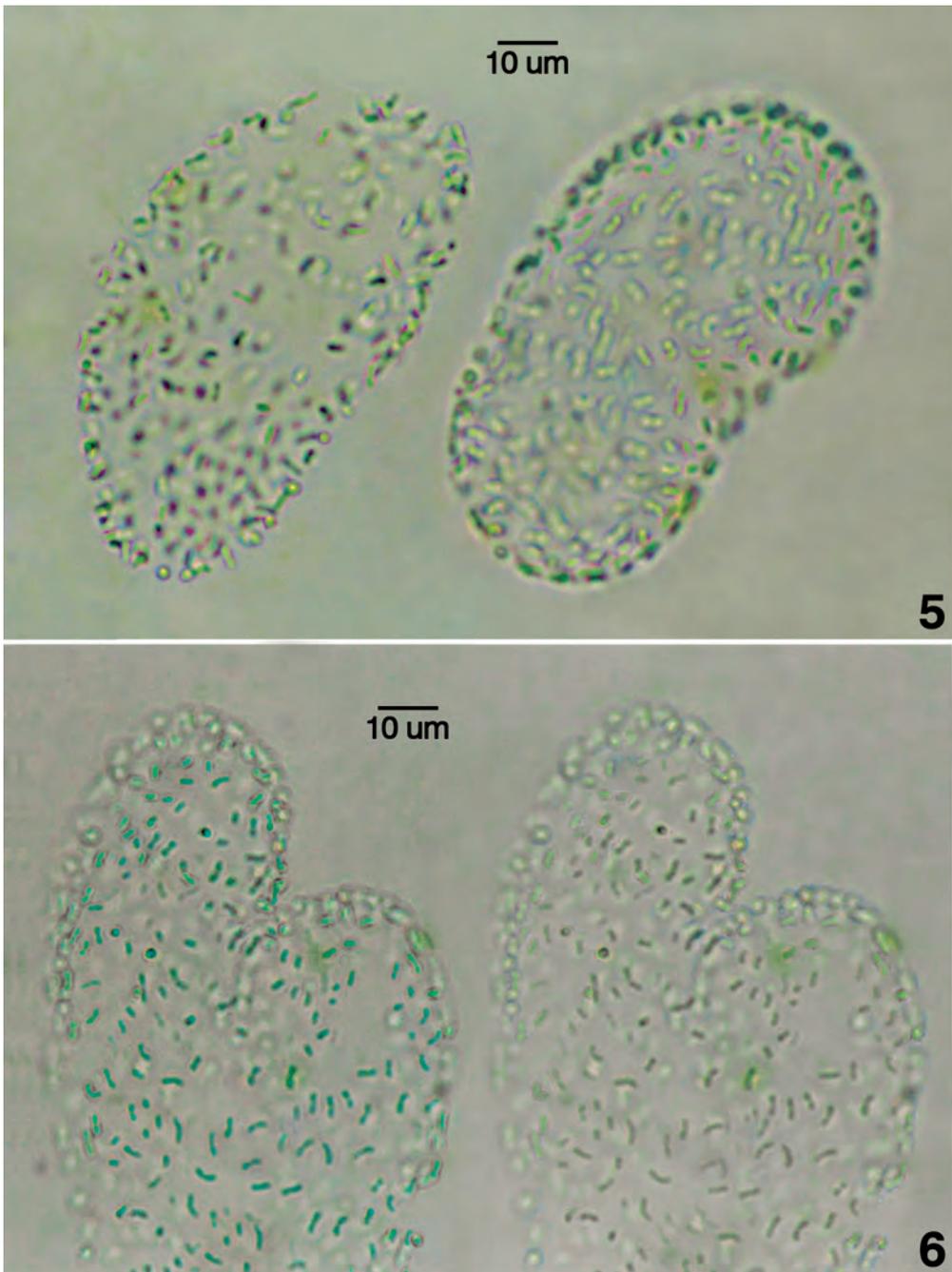
**Sheath, R. G.** 2003. Red Algae. In *Freshwater Algae of North America.* J. Wehr & R. Sheath (eds.). Academic Press. Boston, USA. 197-224p.

**Stein, J. & C. Borden.** 1979. Checklist of freshwater algae of British Columbia. *Syesis* 12:3-39.

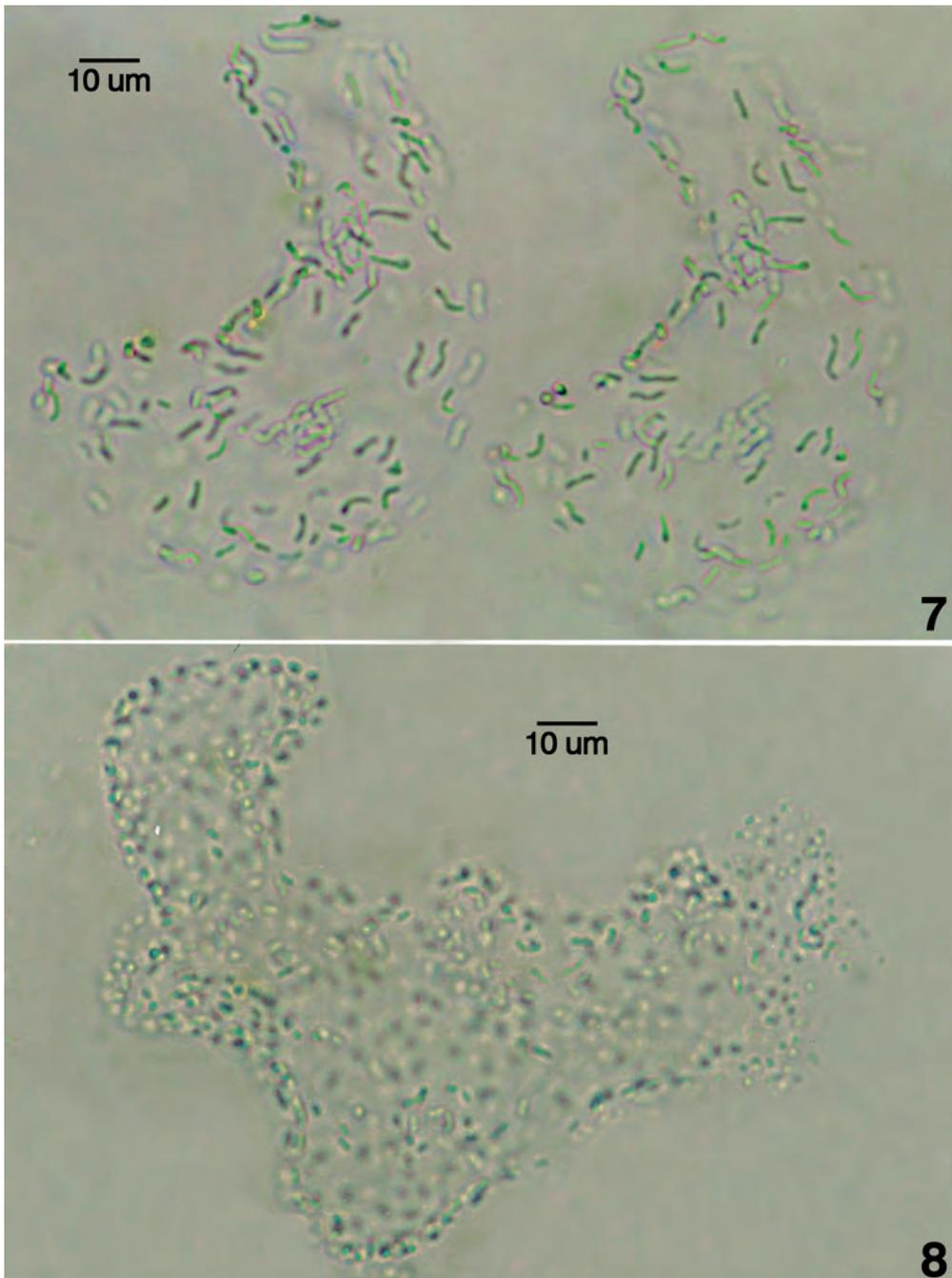
Legenda de las figuras



**Fig.1.** Laguna Grande del humedal de Puerto Viejo, Lima, con floración de comunidades planctónicas cianobacteriales y microalgales. **Figs. 2-3.** Secuencia de desarrollo colonial de *Rhabdoderma lineare* con colonias hijas por fragmentación de talo irregular adulto. **Fig.4.** Talo colonial esférico de *R. lineare*.

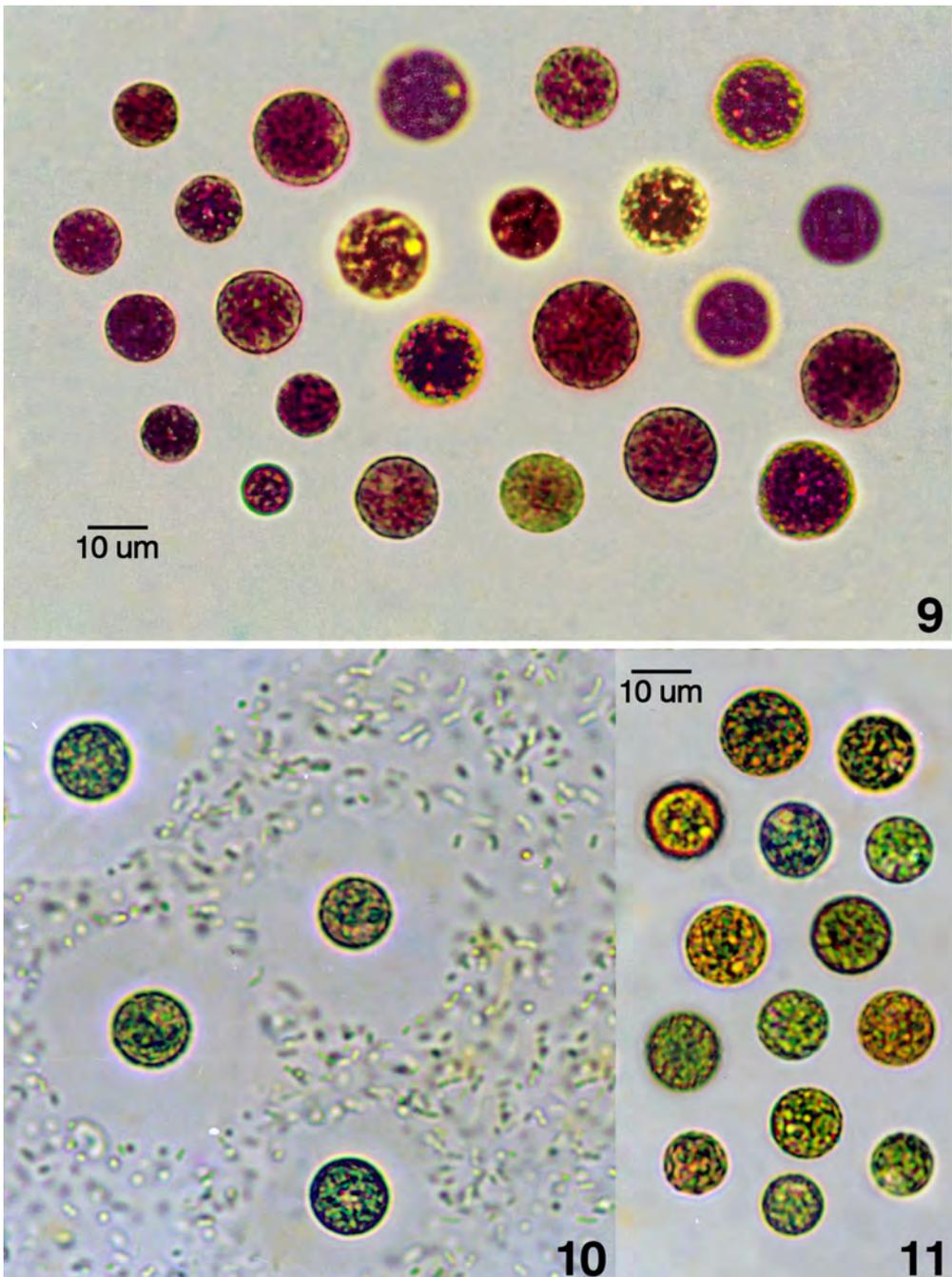


**Figs. 5-6.** Variabilidad de talos coloniales de *R. lineare*. **Fig. 5.** Colonias ovoides de extremos atenuados y redondeados. **Fig. 6.** Colonia adulta lobulada en diferentes planos para reconocer su distribución celular.



**Figs. 7-8.** Plasticidad fenotípica colonial y celular *R. lineare*. **Fig. 7.** Colonias ovoides y curvadas en diferentes planos, distribución celular laxa y formación de seudofilamentos.

**Fig. 8.** Colonia adulta irregular lobulada.



**Figs. 9-11.** Talos unicelulares de *Porphyridium purpureum*. **Fig. 9.** Poblaciones planctónicas con células rojizas (ficoeritrina) con plasticidad fenotípica en sus dimensiones celulares. **Fig. 10.** Células aisladas y rodeadas de mucílago individual sobre colonia de *R. lineare*. **Fig. 11.** Células rojizas virando a verdosas por adaptación cromática.

