

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias

Escuela Profesional de Biología – Microbiología

**INFLUENCIA DE LOS FACTORES AMBIENTALES EN LA ORGANIZACIÓN
DE LAS COMUNIDADES DE FITOPLANCTON DEL SISTEMA DE
BOFEDALES PITICOCHA, LIMA**

Tesis

Presentada por:

Bach. JHONATAN BRANDON MILAVERES FERNÁNDEZ

Para optar el Título Profesional de:

BIÓLOGO MICROBIÓLOGO

Tacna – Perú

2022

Página de Jurados

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 368

En la ciudad de Tacna, a través de la Plataforma Google Meet, la Facultad de Ciencias, de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann; siendo las 08:000 del día 06 de Julio del 2022, estando presente en jurado calificador nominado por Resolución de Facultad N°10260-2022-FACI-UNN/JBG, conformado por los siguientes docentes:

MSc. LUIS LLOJA LOZANO PRESIDENTE

MSc. ANGELA CHOQUE MIRANDA SECRETARIA

Blgo. VÍCTOR CARBAJAL ZEGARRA MIEMBRO

Acto seguido, le dio lectura a la Resolución correspondiente y del mismo modo se dio lectura al Artículo 22 del Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ciencias.

A continuación, el presidente del jurado instó al Bachiller: JHONATAN BRANDON MILAVARES FERNÁNDEZ, a exponer la tesis titulada: **Influencia de los factores ambientales en la organización de las comunidades de fitoplancton del sistema de bofedales Piticocha, lima.**

Siendo las 08:45 horas, el tesista concluye su exposición, luego se procedió a la formulación de las preguntas por parte de los miembros del jurado calificador. Terminado este proceso, se invitó a que los miembros del jurado emitan su calificación de acuerdo a reglamento. El promedio de la calificación dio el siguiente resultado: **Aprobado por Unanimidad** con el calificativo de Bueno (15) de acuerdo el reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ciencias.

Siendo las 09:40 horas, se dio por concluido el acto de sustentación de la tesis, firmando los señores miembros del jurado calificador, en señal de conformidad.


.....
MSc. LUIS LLOJA LOZANO
PRESIDENTE


.....
MSc. ANGELA CHOQUE MIRANDA
SECRETARIO


.....
Blgo. VÍCTOR CARBAJAL ZEGARRA
MIEMBRO

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo Giovanni Aragón Alvarado, en mi condición de asesor acreditado de la tesis: **“INFLUENCIA DE LOS FACTORES AMBIENTALES EN LA ORGANIZACIÓN DE LAS COMUNIDADES DE FITOPLANCTON DEL SISTEMA DE BOFEDALES PITICOCHA, LIMA”** aprobada con Resolución de Facultad N° 10260-2022-FACI-UNN/JBG y presentado por el bachiller Jhonatan Brandon Milaveres Fernández para optar por el título profesional de biólogo microbiólogo.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajo de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual TURNITIN, cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 4%. Por lo que, CERTIFICO LA SIMILITUD de las tesis líneas arriba, la cual esta expedita para continuar con los trámites para la obtención del Título Profesional según corresponda consiguientemente la publicación en el repositorio institucional



Giovanni Aragón Alvarado

DNI: 00499959

Asesor de tesis



Bach. Jhonatan Milaveres Fernández

DNI: 47905301

Tesista

Dedicatoria

A mi familia

Mis padres Emilio y Maritza

Mis hermanos Williams, Gustavo y Yurema

A Paola y mi hijo Emanuel

Agradecimiento

Agradezco a mi familia, que estuvieron conmigo apoyándome y dándome los consejos necesarios para seguir mi senda profesional.

A mi asesor, Mgr. Giovanni Aragón Alvarado, profesor de la Facultad de Ciencias - UNJBG, por sus recomendaciones y observaciones que enriquecieron mi informe de tesis.

Al Centro de Ornitología y Biodiversidad – División de Limnología, que proporcionaron el espacio, los equipos y los materiales para poder realizar mi tesis.

Al grupo de personas dentro de CORBIDI - División de Limnología que, en sí, son como una segunda familia donde me dieron sus consejos, amistad y compañía.

A Eduardo, Lucia y Israel, quienes me acompañaron y ayudaron en las salidas de campo a los Bofedales de Piticocha.

Al Blgo. Leonardo Mendoza Carbajal, por sus comentarios sobre las identificaciones de las Cianobacterias y proporcionar material bibliográfico sobre taxonomía de Charophytas y Chlorophytas.

Índice

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
1. INTRODUCCION.....	3
1.1. Hipótesis.....	6
1.2. Objetivos.....	6
2. MARCO TEORICO.....	7
2.1. Bofedales.....	7
2.2. Biodiversidad en ambientes altoandinos.....	10
2.3. Fitoplancton en ambientes altoandinos.....	12
2.4. Interacción de los factores ambientales con el fitoplancton.....	14
2.5. Vocabulario.....	17
3. METODOLOGIA.....	19
3.1. Lugar de estudio.....	19
3.1.1. Estaciones de muestreo.....	20
3.1.2. Temporadas.....	22
3.2. Colecta de las comunidades de fitoplancton.....	22
3.3. Factores fisicoquímicos.....	23
3.4. Identificación del fitoplancton.....	24
3.4.1. Limpieza de frústulos.....	25
3.5. Cuantificación del fitoplancton.....	25
3.6. Análisis del fitoplancton y factores ambientales.....	26
3.6.1. Índice de Dominancia de Simpson.....	26
3.6.2. Índice de Riqueza de Margalef.....	27

3.6.3. Equidad de Pielou.....	27
3.9. Métodos Multivariados.....	28
3.10.1. Escala Multidimensional No Métrica (NMDS).....	28
3.10.2. Correlación de los factores ambientales con las comunidades de fitoplancton.....	29
4. RESULTADOS	30
4.1. Descripción de la organización de las comunidades de fitoplancton dentro del sistema de bofedales Piticocha, temporada húmeda y seca.....	30
4.1.1. Diversidad.....	37
4.1.1.1. Diversidad a nivel de bofedales.....	37
4.1.1.2. Diversidad a nivel de estaciones de muestro.....	40
4.2. Factores ambientales que influyen sobre el sistema de bofedales Piticocha.....	43
4.3. Relación de las variables ambientales con la organización de las comunidades de fitoplancton.....	47
4.3.1. Variaciones en la organización de las comunidades de fitoplancton del sistema de Piticocha mediante el Escalamiento multidimensional no métrico (NMDS).....	47
4.3.2. Correlación de los factores ambientales con la organización de las comunidades de fitoplancton expuestas en el análisis de escalamiento multidimensional no métrica (NMDS).....	50

5.	DISCUSIONES	53
6.	CONCLUSIONES	58
7.	BIBLIOGRAFIA	61
8.	ANEXOS	69

Resumen

El sistema de bofedales Piticocha se ubica en la vertiente occidental del nevado Pariacaca, dentro de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cocha. Cada bofedal presenta características particulares, sin embargo, se desarrollan sobre una base de sedimentos calcáreos en común. Los factores ambientales afectan los procesos hidrológicos e hidroquímicos de los estanques de agua presentes en los bofedales, generando cambios en los procesos biológicos que a su vez influyen en la biodiversidad. El presente trabajo describió la diversidad de fitoplancton en el sistema de bofedales Piticocha, así mismo, se evaluó los factores ambientales tales como iones mayoritarios (im), profundidad en la columna de agua (h), pH, conductividad eléctrica (CE) y temperatura (T); y se concluyó generando una relación entre los factores ambientales y las comunidades de fitoplancton en base a su composición. Se registraron 213 especies y/o morfoespecies, donde el Phylum Bacillariophyta resulto el grupo dominante a nivel espacial y temporal. Se registro una gran variabilidad en los factores ambientales evaluados, donde los resultados de relación sugieren que son el pH, la conductividad eléctrica (CE) y profundidad en la columna de agua (h), los principales factores ambientales que influyen en la organización de las comunidades de fitoplancton en el sistema de bofedales Piticocha.

Abstract

The Piticocha wetland system is located on the western slope of the Pariacaca snow-capped mountain, within the Nor Yauyos Cocha Landscape Reserve. Each wetland has particular characteristics, however, they develop on a common calcareous sediment base. Environmental factors affect the hydrological and hydrochemical processes of the water ponds present in the wetlands, generating changes in the biological processes that in turn influence biodiversity. The present work described the diversity of phytoplankton in the Piticocha wetlands system, likewise, environmental factors such as major ions (im), depth in the water column (h), pH, electrical conductivity (EC) and temperature were evaluated. (T); and it was concluded by generating a relationship between environmental factors and phytoplankton communities based on their composition. 213 species and / or morphospecies were registered, where the Phylum Bacillariophyta was the dominant group at the spatial and temporal level. A great variability was recorded in the environmental factors evaluated, where the relationship results suggest that pH, electrical conductivity (EC) and depth in the water column (h) are the main environmental factors that influence the organization of Phytoplankton communities in the Piticocha wetlands system.

1. Introducción

En las bioregiones de páramo, jalca y puna se desarrolla un tipo particular de humedal altoandino conocido localmente como bofedal o turbera (García & Marco, 2015). Dicha formación vegetal estudiada desde una visión limnológica serían las masas de agua que se asocian y atraviesan esta compleja red vegetal (Squeo, Warner, Arabena & Espinoza, 2006). Esta formación siempre verde, de plantas suculentas idóneas para el forrajeo en las zonas altas de nuestra cordillera dependen del aporte de las aguas de diferentes fuentes tales como el deshielo de las cumbres, precipitaciones en la época húmeda, aguas subterráneas o fusión de la nieve (Gonzales, Quenta, Molina, Dangles & Jacobsen, 2014).

La clasificación de los tipos de humedales en la Convención de Ramsar de 1999 categoriza a los bofedales como turberas sin bosques (Blanco & De la Balze, 2004). Dicha formación vegetal de alta diversidad biológica alberga no solo especies del componente vegetal sino diversos taxones animales incluyendo endemismos (Maldonado, 2014). Es además, un eficaz regulador de la escorrentía en la zona alta de la cuenca evitando procesos erosivos y pérdida de calidad del agua para las partes bajas (Squeo et al., 2006), actuando a su vez como una gran esponja liberando gradualmente agua para la cuenca baja en la época seca del año. Sumando a lo anteriormente mencionado estos humedales altoandinos se encuentran almacenando carbono orgánico y capturando importantes cantidades de CO₂

atmosférico, cumpliendo así un rol ambiental global dentro del evento de cambio climático (Herrera, Meneses & Anthelme, 2015).

Es de esperar que frente a un escenario de calentamiento global los bofedales se vean amenazados por el retroceso de los glaciares, fuente importante de agua para un ecosistema sumamente dependiente de este elemento, así como las amenazas antrópicas directas de sobrepastoreo, minería, extracción de turba, canalización y desvío de agua (Squeo et al., 2006). Las amenazas anteriormente mencionadas junto con el crecimiento sumamente lento de las especies vegetales que comprenden éstos humedales altoandinos (Meneses, Loza, Lliully, Palabral & Anthelme, 2014) los ubican dentro de la categoría de ambientes frágiles por la Secretaría de la Convención de Ramsar.

Por mucho tiempo primó el monitoreo ambiental basado solamente en parámetros fisicoquímicos, el cual es insuficiente para saber el estado ecológico de un ecosistema. En el caso de los bofedales, identificar su estado ecológico sería muy provechoso ya que permite una mejor conservación y manejo de este ecosistema. Debido a las diversas prestaciones ecosistémicas que brindan los bofedales y las fuertes presiones antrópicas directas e indirectas a los que está sometido, es de vital importancia tener herramientas que nos permitan identificar de forma temprana perturbaciones en el componente acuático de este ecosistema. La medida más directa y efectiva de la integridad de un cuerpo de agua es el estado de su sistema vivo (Karr & Chu, 1997).

Las microalgas son la base de la productividad primaria y el gran número de especies proporcionan indicadores múltiples y sensibles de los cambios ambientales y las condiciones específicas de su hábitat, sin embargo, a pesar de su importancia y utilidad en ambientes acuáticos, han sido poco estudiados en los bofedales del Perú.

El presente trabajo se enfoca, además de aportar el conocimiento sobre de la diversidad de microalgas en ambientes altoandinos como son los bofedales, conocer la composición y estructura de las comunidades de fitoplancton y como estas se organizan se dentro del sistema de bofedales. También comprobar que las variaciones de las comunidades de fitoplancton están influenciadas en base a las características del hábitat físico y los factores fisicoquímicos de los cuerpos de agua.

1.1. Hipótesis

Los factores ambientales generan variaciones en la organización de las comunidades de fitoplancton.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general:

- Determinar las variaciones en la organización de las comunidades de fitoplancton generadas por factores ambientales.

1.2.2. Objetivos específicos:

- Describir la organización de las comunidades de fitoplancton del sistema de bofedales Piticocha.
- Describir los factores ambientales del sistema de bofedales Piticocha.
- Relacionar factores ambientales con las variaciones en la organización de las comunidades de fitoplancton del sistema de bofedales Piticocha.

2. Marco Teórico

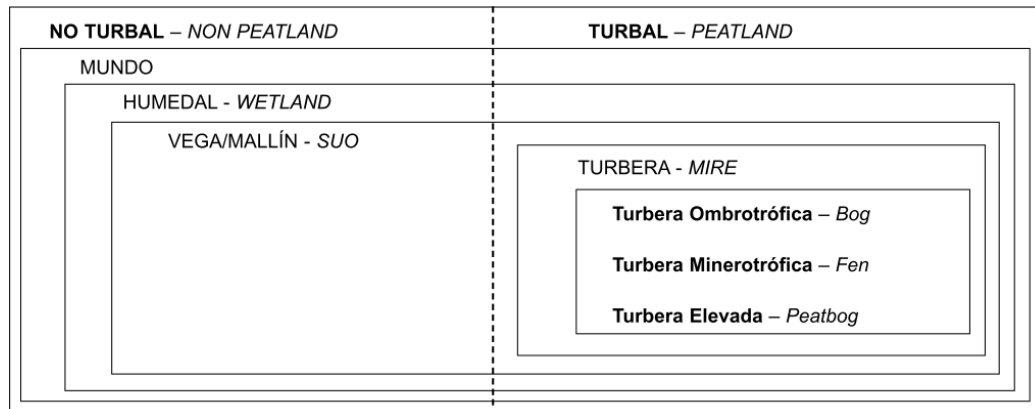
2.1. Bofedales

El bioma puna se ubica entre 3 200 y 6 000 m de elevación. Tiene una precipitación baja, por lo tanto, una mayor diferenciación entre las temporadas seca (estiaje) y húmeda (avenida). Esto es más pronunciado en el sur, donde podemos encontrar la puna xerofítica, que es mucho más seca que la puna húmeda en el resto del país (Maldonado, 2014).

Los bofedales son un tipo especial de humedal donde tienen áreas con la capacidad de almacenar turba (turberas) gracias al tipo de vegetación particular que se desarrollan en estos ecosistemas que se encuentran a más de 3800 msnm (Izurieta, 2005; Maldonado, 2014). Las turberas pueden ser ombrotróficas, minerotróficas o de transición; dependiendo de donde se originan sus nutrientes (Blanco & De la Balze, 2004). Estos ecosistemas son ecosistemas frágiles debido a que se encuentran ligados a la hidrología del ecosistema, entonces la alteración de la dinámica del agua podría ocasionar su deterioro (García & Marco, 2015).

Figura 01

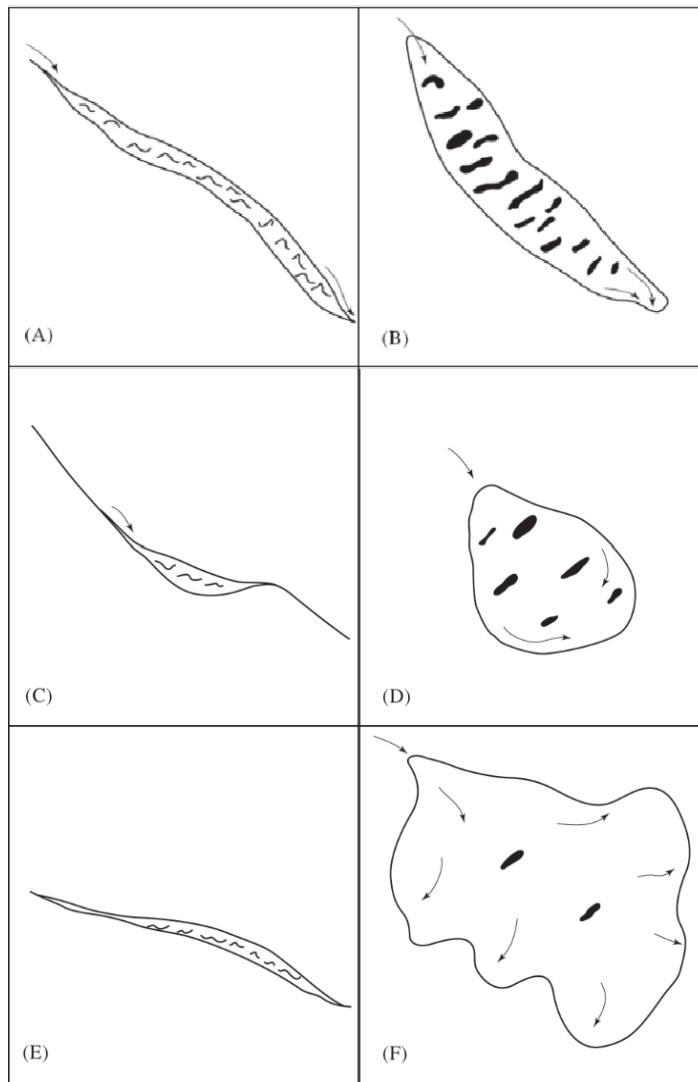
Relación entre términos y conceptos adoptados



En estos bofedales se desarrollan estanques de distintas formas y tamaños dependiendo en donde desarrollen (Squeo et al., 2006). Gracias a las variaciones de los estanques, se generan diversos microhábitats donde se desarrolla la vida acuática, principalmente: plancton, perifiton, macroinvertebrados bentónicos y peces (Onsem, Backer, & Triest, 2015; Oyague & Maldonado, 2015; Sigee, 2005).

Figura 02

Esquemas de secciones verticales (A, C, E) y vistas superficiales (B, D, F) de los tipos de bofedales presentes en los Andes altos del norte de Chile basado en la geomorfología y condiciones hidrológicas: (A, B) bofedal de ladera, (C, D) bofedal de quebrada, y (E, F) bofedal plano. Las flechas indican las direcciones del flujo del agua.



2.2. Biodiversidad en ambientes altoandinos

El concepto de diversidad es ampliamente utilizado en el ámbito de la ecología. Uno de los conceptos más simples de biodiversidad, es el que se refiere como la variedad de todas las formas de vida a todo nivel de integración de los organismos, desde moléculas de ADN hasta ecosistemas (Goodfellow & Slater, 1992). También la diversidad biológica se puede medir y observar como el número de elementos biológicos que coexisten en ciertas dimensiones de tiempo y espacio (Nieder, Engwald, & Barthlott, 1999). Solbrig (1991) menciona que la diversidad es un parámetro útil para el estudio y la descripción de las comunidades ecológicas.

Los bofedales suelen ser ricos en su biodiversidad total. La saturación prolongada de los sustratos provoca deficiencia de oxígeno (hipoxia) o su ausencia total (anoxia) en el suelo y, en consecuencia, varios cambios químicos en las características del suelo. Las variables hidrológicas y la calidad del agua regulan directa o indirectamente una serie de procesos biológicos que a su vez influyen en la biodiversidad. La morfología de las cuencas de humedales, junto con los cambios estacionales del nivel del agua, que suelen ser grandes, dan como resultado una diversificación de nichos relativamente grande y, por lo tanto, una comunidad más dinámica y diversa de plantas y animales (Goitia et al., 2007; Izurieta, 2005; Maldonado, 2014).

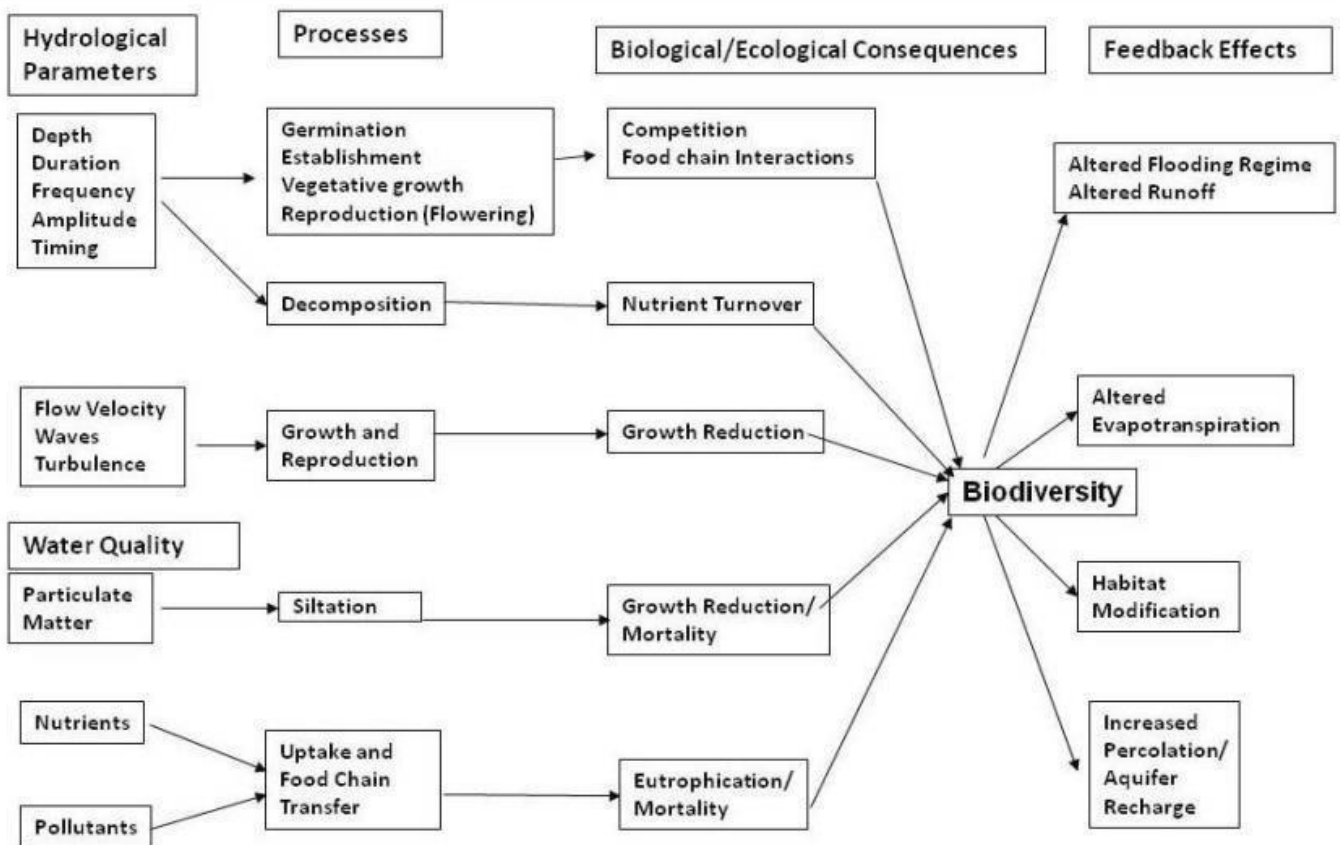
La vegetación de los bofedales incluye representantes de todos los grupos taxonómicos, desde algas unicelulares pasando por briófitas, musgos y helechos hasta angiospermas. Además de muchas plantas sumergidas o flotantes, enraizadas que ocupan diferentes nichos, en diferentes bofedales se encuentran numerosas especies de algas planctónicas y filamentosas (Gopal, 2015).

La diversidad de fauna incluye representantes de casi todas las categorías taxonómicas, desde protozoos hasta mamíferos. Numerosas especies de peces, anfibios, reptiles, aves e insectos dependen de hábitats de diferentes características hidrológicas para alimentarse, reproducirse y anidar, o en diferentes etapas en su ciclo de vida. Estos animales pueden residir en los bofedales o pueden migrar periódica o estacionalmente a bofedales desde otros ambientes (Gopal, 2015).

Magurran (2004) argumenta tres razones para mantener interés por la biodiversidad: es un tema central en ecología, las medidas de diversidad aparecen como indicadores del buen funcionamiento de los ecosistemas y que existen debates sobre la medición de la diversidad. Según Denny (1994) existen argumentos preventivos, morales, indicativos, estéticos y económicos.

Figura 03

Variables hidrológicas que afectan a los procesos biológicos y a su vez la biodiversidad



2.3. Fitoplancton en ambientes altoandinos

El fitoplancton es una comunidad de organismos microscópicos fotosintetizadores que viven suspendidos en la zona fótica de la columna de agua, algunas especies son heterotróficas por cortos periodos, e.g. dinoflagelados y euglenoideos (Oliva, Godínez, & Zuñiga, 2014).

El fitoplancton juega un papel muy importante en las redes tróficas y como indicadores de la calidad del agua. Es considerado la base de la cadena trófica y el principal receptor de energía en sistemas acuáticos (Reynolds, 2006). Además, colabora con la fijación de carbono orgánico y cumplen roles funcionales en los ciclos biogeoquímicos (Ptacnik, Andersen, Brettum, Lepisto, & Willén, 2010).

El fitoplancton se considera en su mayoría cosmopolita y por ende sin límites en su área de dispersión, salvo las dependientes de condiciones locales favorables para su crecimiento (Fenchel & Finlay, 2004), aunque existen muchas especies que tienen la capacidad de permanecer en estados latentes como quistes, durante largos períodos de tiempo. Las adaptaciones desarrolladas por estas algas bajo condiciones extremas en la región puneña, sometida a fuertes oscilaciones periódicas y cambios impredecibles en las condiciones ambientales de macro y microescala tanto en el presente como en eras pasadas, les han permitido diversificarse, con la aparición de numerosos endemismos, y especies únicas, que podrían tener ventajas ante los ajustes derivados del cambio climático (Salusso, 2011).

Los Phylum más representativos de estos ambientes son: Cyanobacteria, Euglenophyta, Bacillariophyta, Charophyta, Chlorophyta, Ochrophyta, Dinophyta. Entre estos grupos, varios autores destacan a las

diatomeas como las más abundantes, diversas, resistentes y adaptables a los ambientes extremos (Hernández, Ortega, Sánchez, Alvarado, & Aguilera, 2011; Mirande & Tracanna, 2009; Polla, Salusso, & Fernandez, 2008; Salazar & Moraes, 2012; Salusso & Moraña, 2015).

2.4. Interacción de los factores ambientales con el fitoplancton

Por mucho tiempo primó el monitoreo ambiental basado solamente en parámetros fisicoquímicos, el cual es insuficiente para saber el estado ecológico de un ecosistema. En el caso de los bofedales, identificar su estado ecológico sería muy provechoso ya que permite una mejor conservación y manejo de este ecosistema. La medida más directa y efectiva de la integridad de un cuerpo de agua es el estado de su sistema vivo (Karr & Chu, 1997).

Los bofedales suelen estar dominadas por diatomeas, clorofíceas y cianobacterias; El pH y la conductividad eléctrica han sido señalados como las variables ecológicas más importantes que influyen en estas comunidades de fitoplancton (Salazar & Moraes, 2012). El fitoplancton muestra que la mayoría de los taxones son sensibles a los incrementos de salinidad. Los aumentos de salinidad ocasionan una disminución de las diatomeas, tanto en abundancia como en riqueza (Mirande & Tracanna, 2009).

Las diatomeas al igual que algunas especies de dinoflagelados pueden sintetizar grandes compuestos capaces de absorber UV (principalmente micosporinas) después de una prolongada exposición a la radiación (Salusso, 2011). En los bofedales debido a que cuenta con un alto contenido en materia orgánica, generando el crecimiento de macrófitas y algas filamentosas, estas pueden proveer más protección a la radiación UV, generando una proliferación de otros grupos menores de algas. Además, las diatomeas han sido reconocidas como indicadoras del pH del agua, puesto que son sensibles a cuerpos de aguas acidas, haciendo que se desarrollen pobremente (Coritoma, Castro, Sánchez, Ugaz, & Pena, 2018).

La causa primaria que desencadena el pasaje de un estado oligotrófico a uno eutrófico es el aporte de una carga de fósforo y/o nitrógeno en una tasa mayor a la que el sistema acuático puede procesar. La presencia de cianobacterias capaces de fijar nitrógeno atmosférico y/o de regular su flotabilidad mediante vacuolas de gas es una característica común en ambientes eutróficos. Ambas capacidades brindan a este grupo ventajas para dominar el fitoplancton y, potencialmente, desplazar a las algas eucariotas (UNESCO, 2009).

La temperatura, es un factor evidente para el desarrollo de la mayoría de los organismos. Influye en el metabolismo biológico, en la disolución de oxígeno, precipitación de compuestos, entre otros (Roldán & Ramírez,

2008). Los cambios sustanciales en temperatura y régimen hidrológico en ambientes vulnerables, causaría extinciones locales de especies, debido al estrés fisiológico o interacciones con otras especies. Las comunidades con alta biodiversidad amortiguan los efectos de las variaciones ambientales porque pueden retener mayor número de especies tolerantes y por ende la diversidad es fundamental para la biología de la conservación (Salusso, 2011).

La composición de los iones en el agua varía con la naturaleza del terreno. Los elementos químicos no se encuentran aislados en el medio natural, sino combinados, formando ácidos, sales y bases, los cuales se disocian en iones cuando se disuelven en el agua. Los aniones más importantes que se encuentran en las aguas naturales son los carbonatos, cloruros, sulfatos, fosfatos y nitratos. Ellos se encuentran en combinación con cationes como el calcio, el sodio, el potasio, el magnesio y el hierro, formando sales ionizables. A causa de la solubilidad del ácido carbónico en el agua, los carbonatos son, a menudo, las sales más abundantes en las aguas dulces (Roldán & Ramírez, 2008).

2.5. Vocabulario

Avenida: Es la elevación del nivel de un curso de agua significativamente mayor que el flujo medio de este (Reynolds, 2006).

Bofedal: Ecosistema saturado por agua, caracterizado por una vegetación hidrofílica con capacidad de almacenar turba y con la presencia de estanques de agua (Maldonado, 2014).

Estiaje: Es el nivel de caudal mínimo que alcanza un río o laguna en algunas épocas del año, debido principalmente a la sequía (Reynolds, 2006).

Eutrofización: Proceso por el cual un cuerpo de agua se recarga de nutrientes (Reynolds, 2006).

Fitoplancton: Comunidad de microalgas y cianobacterias fotosintéticos que viven suspendidos en la masa de agua (Oliva, Godínez, & Zuñiga, 2014).

Frústulo: Cubierta celular silícico de las diatomeas, formada por dos valvas unidas (Reynolds, 2006).

Humedal: Conjunto de ambientes muy diversos que integran áreas que son inundadas o saturadas por aguas superficiales o subterráneas, vegetación predominantemente adaptada a una vida en condiciones de suelos saturados (Blanco & De la Balze, 2004).

Micosporina: pequeños metabolitos secundarios producidos por organismos

que viven en ambientes con alta radiación solar (Salusso, 2011). minerotróficos y ombrotróficos (Blanco & De la Balze, 2004).

Turba: acumulación de materia orgánica que no ha sido transportada después de su muerte (acumulación sedentaria) (Blanco & De la Balze, 2004).

Turberas ombrotróficas: aquellos cuya única fuente de nutrientes es arrastrada desde la atmósfera por el agua de precipitación (Blanco & De la Balze, 2004).

Turberas minerotróficas: aquellos poseen aporte por aguas superficiales, subterráneas o ambas (Blanco & De la Balze, 2004).

Turberas de transición: turberas que poseen características compartidas entre

3. Metodología

3.1. Área de estudio

El sistema de bofedales Piticocha (figura 04) se encuentran dentro de la Reserva Paisajística Nor Yauyos-Cochas, ubicados en la vertiente occidental del nevado Pariacaca. La base de la columna estratigráfica está constituida por rocas antiguas (neoproterozoicas). La secuencia sedimentaria continúa con lutitas, areniscas, conglomerados y algunos horizontes volcánicos de naturaleza explosiva de edad Misisipiana y Permiana, mayormente de ambientes continentales. La inestabilidad de la corteza terrestre ocasionó la invasión marina en el Mesozoico, permitiendo así la acumulación con ligeras discordancias de sedimentos calcáreos durante el Triásico-Jurásico. Tales sedimentos calcáreos influyen en los procesos hidrológicos e hidroquímicos del sistema de bofedales Piticocha (Megard, Caldas, Paredes, & De La Cruz, 1996).

El bofedal “Piticocha 1” (PIT1-s y PIT1-h), ubicado más al oeste no presentó perturbación humana, siendo solo afectado por las presiones del cambio climático. El siguiente bofedal “Piticocha 2” (PIT2-s y PIT2-h), se encontró colindando, con la laguna perenne Piticocha, este bofedal no presenta una estacionalidad muy marcada debido a que se encuentra subsidiado con el agua de la laguna. Por último, el bofedal “Piticocha 3”

(PIT3-s y PIT3-h), se encontró adyacente y al este de los anteriores, presentó presión antrópica debido a que la población ejerce manejo sobre él, han construido canales de irrigación que lo proveen de agua y lo mantiene regado artificialmente.

Figura 04

Sistema de bofedales Piticocha



3.1.1. Estaciones de muestreo

El sistema de bofedales Piticocha se divide en tres áreas diferenciadas: Piticocha 1, Piticocha 2 y Piticocha 3. Entonces por cada bofedal se seleccionó al azar 6 estaciones de muestreo, siendo en total 18 estaciones de muestreo por temporada.

Tabla 01*Estaciones de muestreo del Sistema de Bofedales Piticocha*

Bofedales	Estación	Coordenadas	
		X	Y
Piticocha 1: Bofedal Aislada	PIT1-A	-76.066054	-12.038243
	PIT1-B	-76.066749	-12.038873
	PIT1-C	-76.064745	-12.039452
	PIT1-D	-76.065292	-12.039969
	PIT1-E	-76.066108	-12.040601
	PIT1-F	-76.065772	-12.042699
Piticocha 2: Bofedal conectada a una laguna	PIT2-A	-76.031967	-12.067898
	PIT2-B	-76.031291	-12.068206
	PIT2-C	-76.032662	-12.066452
	PIT2-D	-76.032003	-12.065403
	PIT2-E	-76.033075	-12.064987
	PIT2-F	-76.033425	-12.065375
Piticocha 3: Bofedal con canales de irrigación artificiales	PIT3-A	-76.021347	-12.07183
	PIT3-B	-76.021121	-12.071478
	PIT3-C	-76.020746	-12.071801
	PIT3-D	-76.020259	-12.072232
	PIT3-E	-76.020107	-12.071869
	PIT3-F	-76.018918	-12.071288

3.1.2. Temporadas (estacionalidad)

Los muestreos fueron realizados en 2 campañas, con la finalidad de obtener una diferencia temporal en las comunidades de fitoplancton.

Tabla 02

Temporadas y fechas de muestreo

Temporada	Bofedal	Fecha
Húmeda	Piticocha 1	15/03/2018
	Piticocha 2	16/03/2018
	Piticocha 3	17/03/2018
Seca	Piticocha 1	21/09/2018
	Piticocha 2	22/09/2018
	Piticocha 3	23/09/2018

3.2. Colecta de las comunidades de fitoplancton

El fitoplancton se colectó mediante un filtrado de 30 – 50 litros de agua con una red de fitoplancton de 20 micras y un aro de entrada de 15 cm. El preservante que se utilizó, es la solución de Lugol (0,3 ml/100 ml de muestra) (APHA, AWWA, & WEF, 2012). Una vez colectada la muestra, ésta se pasó a un frasco de 250 ml, el cual se llenó con la muestra hasta las $\frac{3}{4}$ partes. Posteriormente, se añadió el preservante hasta completar el volumen total, se agitó la muestra y se homogenizó,

finalizando con su debida rotulación (Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Museo de Historia Natural, 2014).

3.3. Factores fisicoquímicos

Para la medición de la profundidad de la columna de agua, se establecieron estaciones hidrológicas en cada turbera de estudio. Todas las estaciones incluyeron un pozo de monitoreo de agua subterránea. El pozo de monitoreo se construyó con una tubería de PVC de 5,08 cm de diámetro interior, ranurada cada 5 cm en toda su longitud. Los pozos se instalaron utilizando una barrena manual que abrió un pozo de 1,5 a 2,0 metros de profundidad (Cardenas & Zlotnik, 2003). Se instalaron un total de 16 estaciones hidrológicas en todo el sistema de bofedales Piticocha.

Los iones (aniones y cationes) mayoritarios, permitió diferenciar hidroquímicamente el tipo de agua predominante en un lugar determinado, su origen, y algunas desviaciones de parámetros normales (Worch, 2015). Previamente a las actividades del muestreo hidrobiológico, se colectó una muestra de agua en una botella estéril, la cual se envió al laboratorio de agua, suelo y medio ambiente de la Universidad Nacional Agraria la Molina, para el análisis de componentes iónicos.

Donde se colectaron las muestras biológicas, inmediatamente se midió las siguientes variables fisicoquímicas: temperatura, pH, y

conductividad eléctrica, *in situ* con el uso de un multiparámetro *HACH HQ40d*.

3.4. Identificación del fitoplancton

La actividad de laboratorio se realizó en dos aspectos (análisis de las muestras de agua colectadas y la ubicación taxonómica de los organismos acuáticos). La ubicación taxonómica de los especímenes colectados se realizó con el auxilio de las claves adecuadas y contando con el material óptico necesario. Se contó con el apoyo del Blgo. Leonardo Mendoza Carbajal, especialista en cianobacterias. Para el reconocimiento taxonómico se utilizó una base de datos virtuales en taxonomía y clasificación de algas tales como: Algaebase (<http://www.algaebase.org/>), Desmidsias (<http://www.desmids.nl>), entre otras. Además, se tomó en cuenta libros y guías de identificación, según referencias bibliográficas recomendadas para grupos específicos de algas como: Felisberto & Rodrigues (2010); Fucikova, Hall, Johansen, & Lowe (2008); KOSSINSKAJA, 1952; Lenzenweger (1996); Loaiza (2013); Manguin (1964); Peixoto, De Matos, Góes, & Do Nascimento (2012); Šťastný (2010); Tremarin, Moreira, & Veiga (2010); UNESCO (2009); Zalocar (2004).

3.4.1. Limpieza de frústulos

Metodología según Schrader & Gersonde (1978):

- En un tubo de ensayo se agregó agua destilada (1 ml) a la muestra a observar (3 ml).
- Se agregó HCl al 10% (1 ml) y H₂O₂ al 30% en una cuarta parte del tubo de ensayo, cuidando que la efervescencia no desborde del tubo de vidrio.
- Se aceleró la reacción, calentando el tubo en baño maría.
- Se enjuagó con agua destilada, se decantó el sobrenadante. Repetir la operación cinco veces cada 24 horas hasta dejar la muestra libre de ácido y peróxido.
- Se colocó la muestra lavada en un vial de 20 ml.

3.5. Cuantificación del fitoplancton

La observación se realizó con un microscopio binocular compuesto a 20X y 40X de magnificación. La evaluación cuantitativa se realizó mediante el uso de una cámara de Sedgwick Rafter (Figura 2), colocando una alícuota de 1ml. Los resultados se expresaron en Organismos/ml (APHA et al., 2012).

$$Org./mL = \frac{C \times 1000mm^3}{L \times D \times W \times S}$$

Donde:

N = número de organismos contados

L = longitud de cada transecto (largo de la cámara S-R), mm

D = profundidad de un transecto (profundidad de la cámara S-R), mm

W = ancho del transecto, mm

S = número de transectos contados

3.6. Análisis del fitoplancton y factores ambientales

Se usó la estadística descriptiva para evidenciar la distribución de la data. Tales como gráficas, histogramas y diagramas de cajas.

3.7. Diversidad

La gran mayoría de métodos propuestos para evaluar la diversidad de especies se refieren a la diversidad dentro de las comunidades (alfa). Se consideró como diversidad alfa, la riqueza específica y la estructura en base a la dominancia de la comunidad (Moreno, 2001).

3.7.1. Índice de Dominancia de Simpson

$$\lambda = \Sigma (P_i)^2$$

Donde:

P_i = Abundancia proporcional de la especie i , es decir, el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra.

Manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie. Está fuertemente influido por la importancia de las especies más dominantes. Como su valor es inverso a la equidad, la diversidad puede calcularse como $1 - \lambda$. Nos ayudó a entender si dentro de cada comunidad de fitoplancton existe dominancia de especies, además estableció la estructura de la comunidad en base a la dominancia (Moreno, 2001).

3.7.2. Índice de Riqueza de Margalef

$$d = (S - 1)/\ln N$$

Donde:

S = número de especies

N = número total de individuos

Entre los índices de riqueza es uno de los más usados, ya que proporcionan una expresión comprensible e instantánea de la diversidad. Este índice permitió estimar la riqueza de especies con base en la distribución numérica de los individuos de las diferentes especies en función del número de individuos existentes en la muestra analizada. Se utilizó para caracterizar la riqueza de especies de cada comunidad o punto de muestreo (Moreno, 2001).

3.7.3. Equidad de Pielou

$$J = H / H'_{\max}$$

donde $H'_{\max} = \ln(S)$

Midió la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Su valor va de 0 a 0.1, de forma que 0.1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes (Moreno, 2001).

3.8. Métodos Multivariados

Los métodos multivariados sirvieron para poder comparar gráficamente las diferentes comunidades en términos de diversidad beta (Magurran, 2004). Organizó a partir de matrices la semejanza en composición o estructura de varias comunidades de fitoplancton.

3.8.1. Escala Multidimensional No Métrica (NMDS)

Para visualizar la interrelación entre las estaciones de muestreos y las especies más importantes dentro de estas, se realizó un análisis de ordenación con el método NMDS (Non-Metric Dimensional Scaling), el cual es un método utilizado para evaluar la dimensionalidad de los datos (McCune & Grace, 2014), ordenando las muestras en base a rangos de similitud entre ellas.

Con el análisis del resultado se obtuvo un diagrama que representa de una manera gráfica la relación entre las estaciones de muestreo y las especies. En el diagrama las estaciones de muestreo más similares tienden a agruparse a su vez con las especies más importantes en ellas.

3.8.2. Correlación de los factores ambientales con los ejes del análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS)

Existen formas de superponer información adicional en gráficos de ordenación NMDS para ayudar a visualizar las tendencias subyacentes que afectan a las comunidades biológicas. En este caso, los factores ambientales subyacentes que covarían con la organización de las comunidades de fitoplancton y, por lo tanto, pueden impulsar variaciones en las comunidades de fitoplancton.

4. Resultados

4.1. Descripción de la organización de las comunidades de fitoplancton dentro del sistema de Bofedales Piticocha – Temporada Húmeda y Seca

En las 18 estaciones de muestreo evaluadas durante la temporada húmeda, se registraron (tabla 4) un total de 5795 microalgas, de las cuales, según el Phylum, 271 (6.3%) son Cianobacteria, 4820 (77.6%) Bacillariophyta, 463 (10.3%) Charophyta, 210 (5.2%) Chlorophyta, 7 (0.1%) Euglenophyta, 11 (0.2%) Miozoa y 13 (0.3%) Ochrophyta. Dentro de la temporada húmeda, en los tres bofedales se registró a 164 especies y/o morfoespecies distribuidas en 85 géneros y 56 familias.

Mientras en la temporada seca se registraron (tabla 4) un total de 14021 microalgas, de las cuales, según el Phylum, 307 (2.2%) son Cianobacteria, 11384 (81.2%) Bacillariophyta, 1243 (8.9%) Charophyta, 313 (2.2%) Chlorophyta, 190 (1.4%) Euglenophyta, 118 (0.8%) Ochrophyta y 443 (3.2%) Cryptophyta. Dentro de la temporada seca, en los tres bofedales se registró a 155 especies y/o morfoespecies distribuidas en 77 géneros y 48 familias.

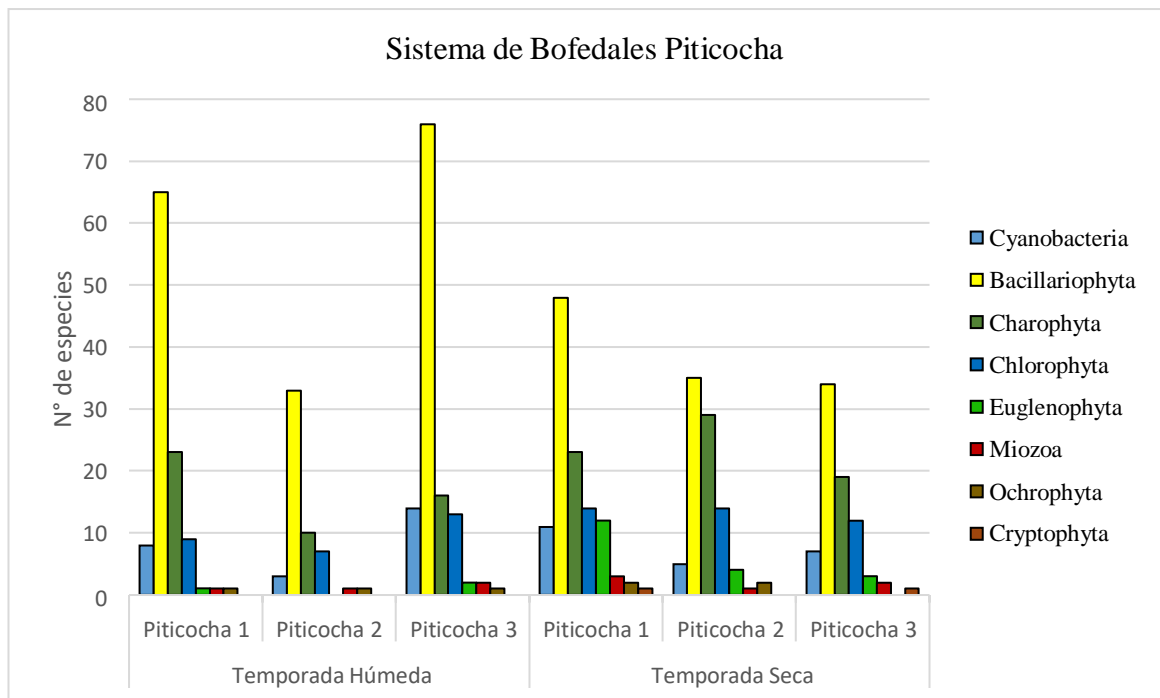
Tabla 03

Composición y abundancia de individuos del sistema de Bofedales Piticocha en las temporadas húmeda y seca.

Phylum	Temporada Húmeda						Temporada Seca					
	Piticocha 1		Piticocha 2		Piticocha 3		Piticocha 1		Piticocha 2		Piticocha 3	
	N° indiv	N° sp	N° indiv	N° sp	N° indiv	N° sp	N° indiv	N° sp	N° indiv	N° sp	N° indiv	N° sp
Cyanobacteria	67	8	49	3	155	14	130	11	44	5	133	7
Bacillariophyta	3 015	65	379	33	1 426	76	7 762	48	711	35	2 911	34
Charophyta	152	23	80	10	231	16	691	23	404	29	148	19
Chlorophyta	69	9	49	7	92	13	117	14	108	14	88	12
Euglenophyta	3	1	0	0	4	2	160	12	21	4	9	3
Miozoa	4	1	2	1	5	2	105	3	7	1	6	2
Ochrophyta	7	1	3	1	3	1	11	2	12	2	0	0
Cryptophyta	0	0	0	0	0	0	427	1	0	0	16	1

Figura 05

Composición del fitoplancton en el sistema de bofedales Piticocha en las temporadas húmeda y seca.



Se encontraron especies y/o morfoespecies de los Phylum Cianobacteria, Bacillariophyta, Charophyta, Chlorophyta, Euglenophyta, Miozoa, Ochrophyta y Cryptophyta.

En la temporada húmeda del sistema de bofedales de Piticocha se observó mayor número de especies y/o morfoespecies a comparación de la temporada seca, es el Phylum Bacillariophyta quien hace esta diferencia. De hecho, el Phylum Bacillariophyta fue quien presento mayor riqueza y abundancia en ambas temporadas, seguido del Phylum Charophyta. Mientras los Phylum con menor riqueza fueron Euglenophyta, Miozoa, Ochrophyta y Cryptophyta.

En la temporada seca, en Piticocha 1 se observó el mayor número de Phylum. El Phylum Cryptofita se presentó solamente en esta temporada (Piticocha 1 y 3). Antagónicamente, fue Piticocha 2 durante la temporada húmeda en presentar el menor número de Phylum. Sin embargo, todos los bofedales presentaron un número no menor a 6 Phylum.

En la figura 5, se muestran las 56 familias en términos de géneros y especies y/o morfoespecies que se encuentran en el sistema de bofedales Piticocha durante la temporada húmeda. Las familias más importantes fueron: Desmidiaceae, Pinnulariaceae, Gomphonemataceae, Bacillariaceae y Scenedesmaceae.

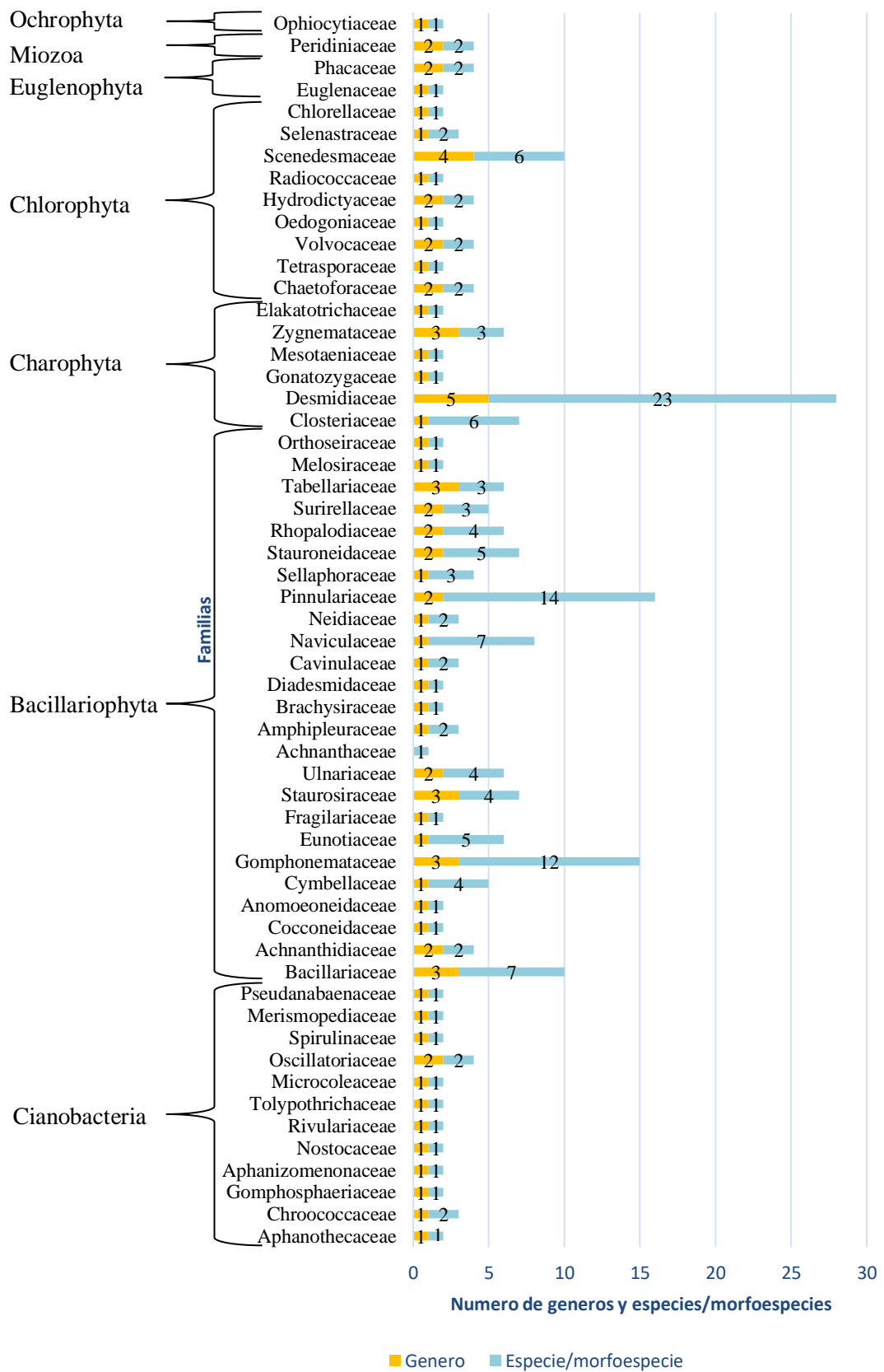
La familia desmidiaceae pertenece al Phylum Charophyta (desmidias), esta familia estuvo representada por 23 especies y/o morfoespecies.

Las familias Pinnulariaceae, Gomphonemataceae y Bacillariaceae pertenecen al Phylum Bacillariophyta (diatomeas), estas familias estuvieron representadas por 14, 12 y 7 especies y/o morfoespecies respectivamente.

La familia Scenedesmaceae pertenece al Phylum Chlorophyta, esta familia estuvo representada por 6 especies y/o morfoespecies.

Figura 06

Agrupación de las comunidades de fitoplancton a nivel de familias durante la temporada húmeda



En la figura 5 se muestran las 49 familias en términos de géneros y especies/morfoespecies que se encuentran en el sistema de bofedales Piticocha durante la temporada seca. Las familias más importantes fueron: Desmidiaceae, Pinnulariaceae, Gomphonemataceae, Euglenaceae, Bacillariaceae y Scenedesmaceae.

La familia desmidiaceae pertenece al phylum Charophyta (desmidias), esta familia estuvo representada por 29 especies/morfoespecies.

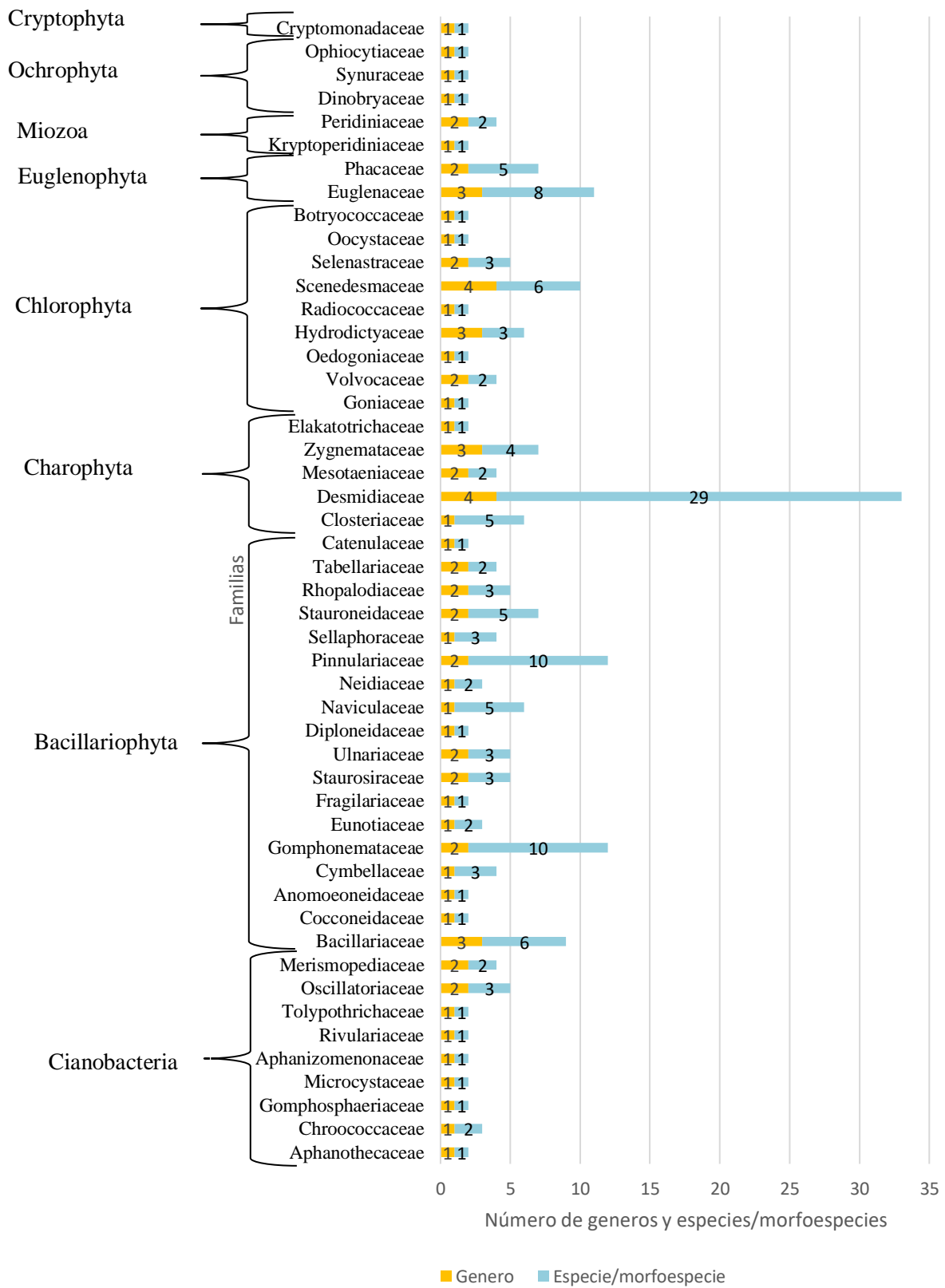
Las familias Pinnulariaceae, Gomphonemataceae y Bacillariaceae pertenecen al phylum Bacillariophyta (diatomeas), estas familias estuvieron representadas por 10, 10 y 6 especies/morfoespecies respectivamente.

La familia Euglenaceae pertenece al phylum Euglenophyta, esta familia estuvo representada por 8 especies/morfoespecies. Es en esta temporada donde la familia aumenta el número de géneros y especies/morfoespecies.

La familia Scenedesmaceae pertenece al phylum Chlorophyta, esta familia estuvo representada por 6 especies/morfoespecies.

Figura 07

Agrupación de las comunidades de fitoplancton a nivel de familias durante la temporada húmeda



Entonces, se ha podido observar en ambas temporadas a nivel de familias basada en el número de géneros y especies/morfoespecies, la familia Desmidiaceae es la que sobresale ante otras, seguido de las familias Pinnulariaceae y Gomphonemataceae.

Por otro lado, phylum bacillariophyta obtuvo un mayor número de familias representantes (25 familias en temporada húmeda y 18 en temporada seca).

4.1.1. Diversidad

La diversidad fue estudiada en dos diferentes niveles, a nivel de Bofedales y a nivel de estaciones de muestreo en las temporadas húmeda y seca.

4.1.1.1. Diversidad a nivel de Bofedales

El índice de Simpson (1-D) nos muestra que todos los bofedales presentan valores mayores a 0,5, lo que indica que los bofedales presentan una diversidad representativa. Entre las cuales el bofedal con mayor diversidad según este índice fue PIT3-h, seguido de PIT2-h. El bofedal que obtuvo el menor valor fue PIT1-s.

Para el índice de Margalef, el bofedal con mayor riqueza específica fue PIT1-h. El bofedal que obtuvo el menor valor fue PIT3-s.

Según los valores obtenidos del índice de Pielou, todos los presentan valores mayores a 0,5 a excepción de PIT-1s (J=0,445), lo que indica una equidad significativa. El bofedal que presenta un mayor valor de equidad fue PIT-2h seguido de PIT2-s. El bofedal que presenta la menor equidad fue PIT1-s.

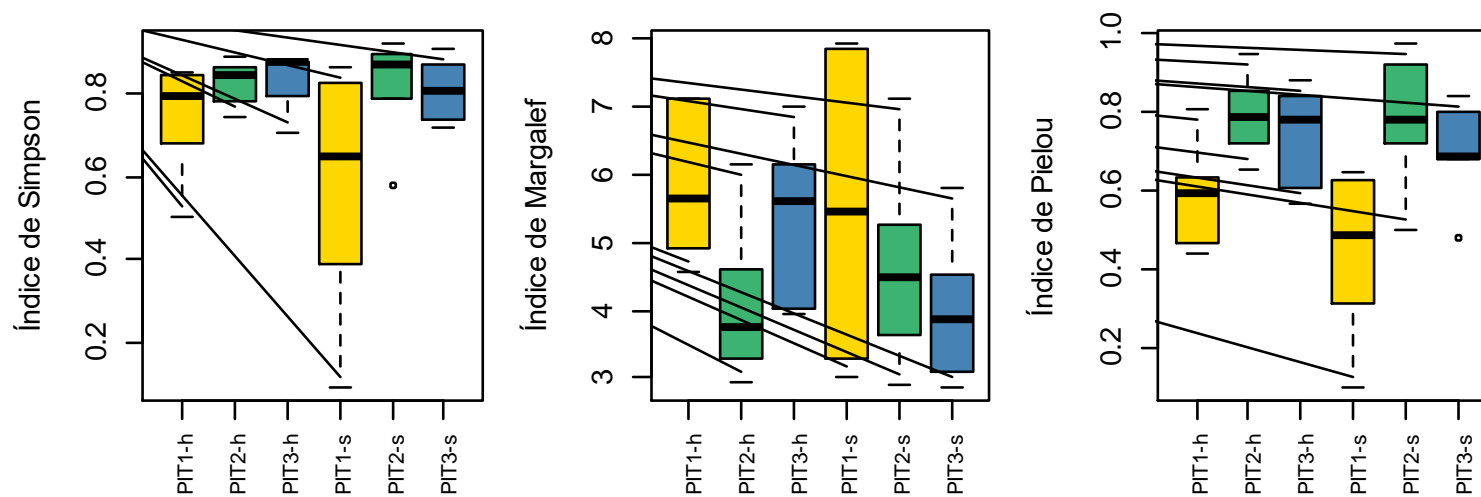
Tabla 04

Índices de diversidad utilizados para el estudio de la diversidad a nivel de bofedales

Bofedal	Simpson (1-D)	Margalef	Pielou (J)
PIT1-h	0,744	5,825	0,590
PIT2-h	0,827	4,078	0,791
PIT3-h	0,834	5,386	0,741
PIT1-s	0,576	5,486	0,445
PIT2-s	0,820	4,648	0,778
PIT3-s	0,808	4,002	0,695

Figura 08

Estimación de la diversidad a nivel de Bofedales por el método de diagrama de caja. Se muestra análisis para los índices de Simpson, Margalef y Pielou. La línea horizontal en el diagrama de caja indica la mediana, el margen superior e inferior del diagrama indican los percentiles 25 y 75 respectivamente, la barra superior e inferior indican los percentiles 10 y 90. Los círculos abiertos representan especies con valores extremos



4.1.1.2. Diversidad a nivel de estaciones de muestreo

El índice de Simpson (1-D) nos muestra que todas las estaciones de muestreo presentan valores mayores a 0,5, lo que indica que los bofedales presentan una diversidad representativa, las únicas estaciones que presentan un valor menor a 0,5 son las estaciones PIT1-Es y PIT1-Fs. La estación de muestreo que presentó el mayor valor de diversidad fue la estación PIT2-Ds. El bofedal que obtuvo el menor valor fue la estación PIT1-Es.

Para el índice de Margalef, las estaciones de muestreo presentaron valores dispersos, que van desde 7,91 (PIT1-Bs) a 2,85 (PIT3-Cs).

Para el índice de Pielou, las estaciones de muestreo también presentaron valores dispersos. Las que presentaron una distribución más equitativa son la estaciones PIT2-Ds ($J'=0,97$) y PIT2-Bh ($J'=0,95$). Las que presentaron una menor equitatividad fueron las estaciones PIT1-Es y PIT1-Fs.

Tabla 05

Índices de diversidad utilizados para el estudio de la diversidad a nivel de estaciones de muestreo

Estaciones	Temporada Húmeda			Temporada Seca		
	Simpson "1-D"	Margalef "R"	Equidad "J"	Simpson "1-D"	Margalef "R"	Equidad "J"
PIT1-Ah	0,85	7,10	0,63	0,86	7,83	0,65
PIT1-Bh	0,68	4,94	0,47	0,83	7,91	0,52
PIT1-Ch	0,85	4,93	0,81	0,73	4,98	0,63
PIT1-Dh	0,83	7,10	0,64	0,56	3,29	0,45
PIT1-Eh	0,50	4,56	0,44	0,09	3,00	0,10
PIT1-Fh	0,76	6,32	0,55	0,39	5,90	0,32
PIT2-Ah	0,78	4,60	0,65	0,89	7,11	0,75
PIT2-Bh	0,86	2,95	0,95	0,58	4,99	0,50
PIT2-Ch	0,75	3,27	0,72	0,89	3,63	0,81
PIT2-Dh	0,86	3,48	0,85	0,92	3,99	0,97
PIT2-Eh	0,83	4,02	0,79	0,86	2,91	0,92
PIT2-Fh	0,89	6,15	0,79	0,78	5,26	0,72
PIT3-Ah	0,88	6,11	0,78	0,91	5,80	0,84
PIT3-Bh	0,88	5,11	0,77	0,72	4,51	0,48
PIT3-Ch	0,71	6,99	0,57	0,74	2,85	0,68
PIT3-Dh	0,79	6,16	0,61	0,81	3,82	0,69
PIT3-Eh	0,88	4,02	0,84	0,80	3,92	0,68
PIT3-Fh	0,87	3,94	0,88	0,87	3,10	0,80

Figura 09
Índice de Simpson de cada estación de muestreo del sistema de bofedales
Piticocha

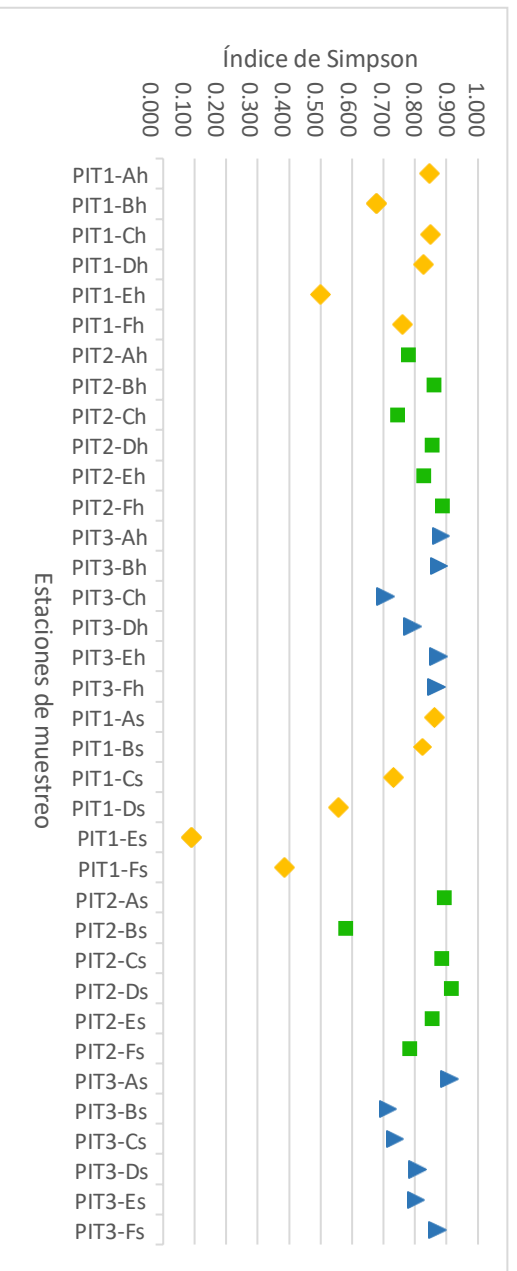


Figura 10
Índice de Margalef de cada estación de muestreo del sistema de bofedales
Piticocha

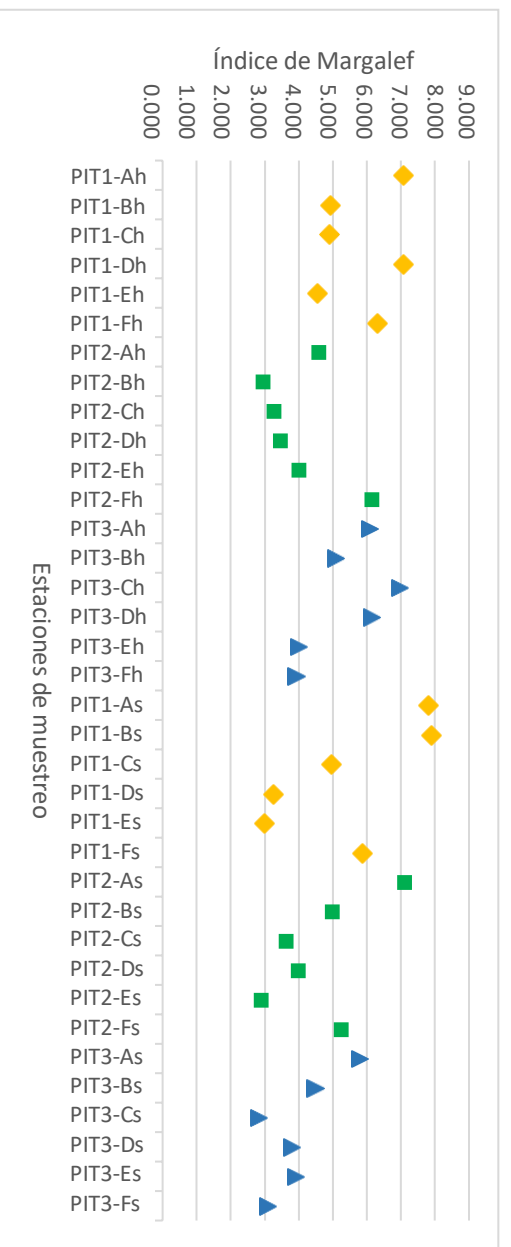
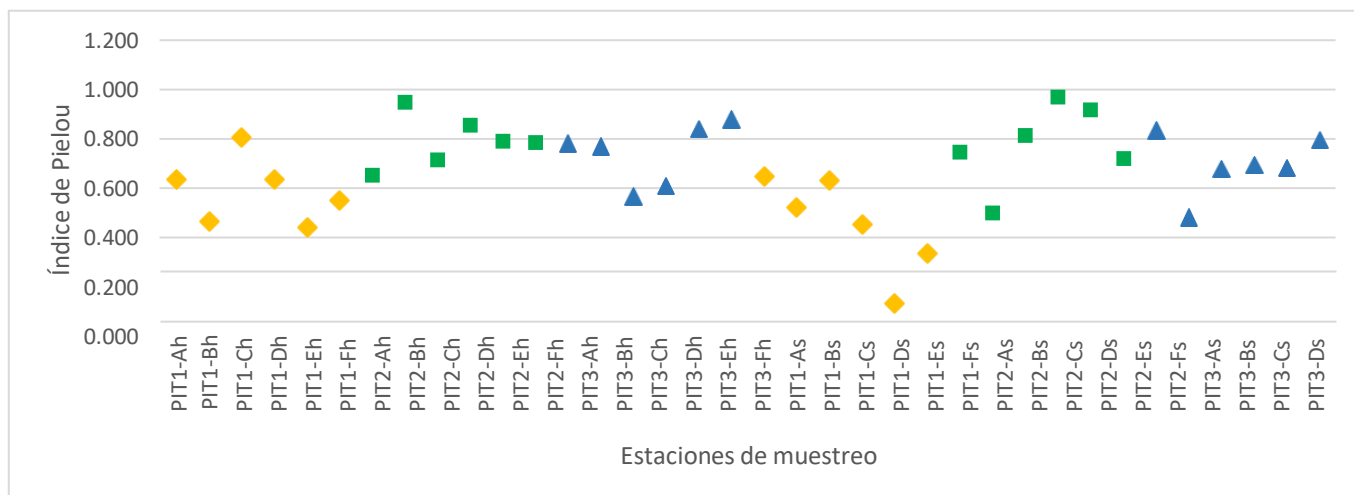


Figura 11

Índice de Pielou de cada estación de muestreo del sistema de bofedales Piticocha



4.2. Factores ambientales que influyen sobre el sistema de bofedales Piticocha en las temporadas húmeda y seca.

Los factores ambientales que fueron evaluados son el pH, conductividad eléctrica, temperatura, iones mayoritarios, y profundidad en la columna de agua al momento de realizar el muestreo. Además, una caracterización física del hábitat.

Según la figura 08, el rango de pH de va desde ligeramente ácido a básico, donde los valores más altos de pH se encontraron en PIT-2s y los valores más bajos se encontraron en PIT3-s.

En la figura 09, se puede observar que los valores más altos de conductividad eléctrica se presentaron durante la temporada seca. Siendo

más específico, los valores más altos se presentaron en PIT2-s y los valores más bajos en PIT1-h.

En la figura 10, las temperaturas más altas se encontraron en PIT1-h, mientras que las temperaturas más bajas se encontraron en PIT3-s.

Según las profundidades de la columna de agua en el momento que fueron tomadas las muestras (figura 11), los valores más altos se registraron durante la temporada húmeda y los valores más bajos durante la temporada seca.

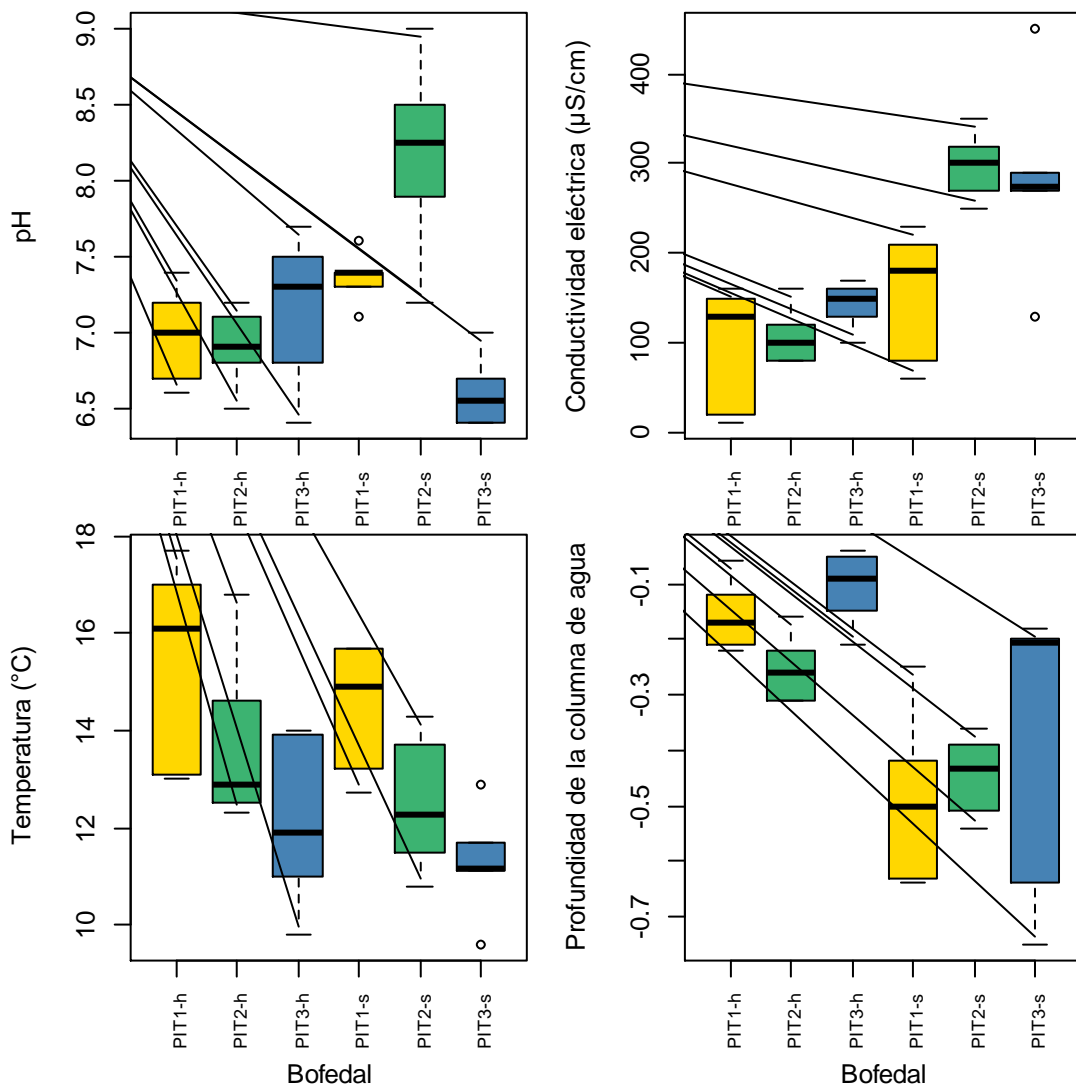
Según los datos obtenidos del análisis de las muestras de agua para iones mayoritarios, son 31 estaciones muestreadas que se encuentran dentro de la categoría 1: carbonatado cálcico, y solamente 5 estaciones están dentro de la categoría 3: Bicarbonatado cálcico.

Tabla 06*Factores ambientales de cada estación de muestreo*

Estaciones	H	im	pH	CE	T
PIT1-Ah	-0,06	1	6,9	160	17,7
PIT1-Bh	-0,17	1	7,2	140	15,7
PIT1-Ch	-0,12	1	6,7	120	17
PIT1-Dh	-0,17	1	7,1	20	13
PIT1-Eh	-0,21	1	6,6	150	16,5
PIT1-Fh	-0,22	1	7,4	10	13,1
PIT2-Ah	-0,31	1	6,9	80	12,3
PIT2-Bh	-0,27	1	6,8	160	13
PIT2-Ch	-0,22	1	7,1	80	12,8
PIT2-Dh	-0,25	1	6,5	100	12,5
PIT2-Eh	-0,31	1	6,9	120	14,6
PIT2-Fh	-0,16	1	7,2	100	16,8
PIT3-Ah	-0,04	1	6,4	130	9,8
PIT3-Bh	-0,12	1	6,8	150	11
PIT3-Ch	-0,06	1	7,4	160	12,2
PIT3-Dh	-0,05	1	7,2	170	11,6
PIT3-Eh	-0,15	1	7,5	100	13,9
PIT3-Fh	-0,21	1	7,7	150	14
PIT1-As	-0,25	1	7,6	230	14,3
PIT1-Bs	-0,42	1	7,1	80	15,7
PIT1-Cs	-0,51	3	7,4	210	12,7
PIT1-Ds	-0,49	3	7,4	190	13,2
PIT1-Es	-0,63	1	7,3	170	15,7
PIT1-Fs	-0,64	1	7,4	60	15,5
PIT2-As	-0,51	1	8,1	270	14,3
PIT2-Bs	-0,45	1	7,2	280	13,7
PIT2-Cs	-0,54	1	9	250	12,8
PIT2-Ds	-0,36	1	7,9	320	11,5
PIT2-Es	-0,39	1	8,5	350	11,7
PIT2-Fs	-0,42	3	8,4	320	10,8
PIT3-As	-0,2	1	6,4	270	11,7
PIT3-Bs	-0,21	1	6,5	280	11,1
PIT3-Cs	-0,18	1	6,6	270	11,1
PIT3-Ds	-0,2	1	7	130	12,9
PIT3-Es	-0,75	3	6,7	290	11,2
PIT3-Fs	-0,64	3	6,4	450	9,6

Figura 12

Factores ambientales por el método de diagrama de caja. Se muestra el análisis para los datos de temperatura, conductividad eléctrica, profundidad en la columna de agua y pH. La línea horizontal en el diagrama de caja indica la mediana, el margen superior e inferior del diagrama indican los percentiles 25 y 75 respectivamente, la barra superior e inferior indican los percentiles 10 y 90. Los círculos abiertos representan especies con valores extremos



4.3. Relación de las variables ambientales con la organización de las comunidades de fitoplancton

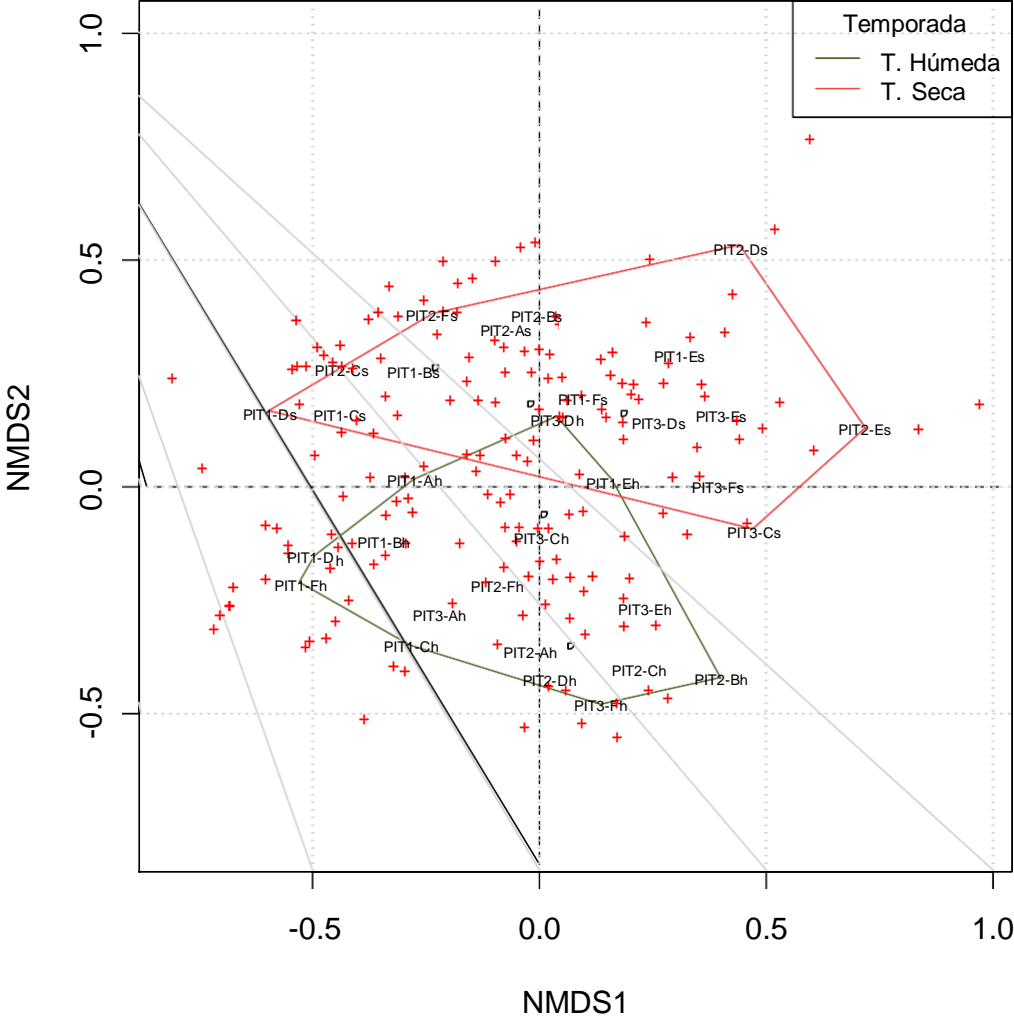
4.3.1. Variaciones en la organización de las comunidades de fitoplancton del sistema de Piticocha mediante el Escalamiento multidimensional no métrico (NMDS).

A nivel de bofedales (figura 12), el análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) se observa en base a la composición, las organizaciones de las comunidades de fitoplancton presentes en los bofedales Piticocha 1, 2 y 3 de la temporada húmeda y seca (PIT1-h, PIT2-h, PIT3-h, PIT1-s, PIT2-s, PIT3-s). Los 6 polígonos convexos formados a partir de la agrupación de los bofedales. Se puede observar que existe una superposición entre bofedales, debido a que estos presentan composición similar. El único bofedal que una organización particular en base a la composición es PIT3-s.

Según el análisis de NMDS, a nivel de temporadas (figura 13) se observó la segregación en dos grupos, aunque presentan un ligero solapamiento, se logran diferenciar claramente. Entonces, la organización de las comunidades de fitoplancton en base la composición que presentaron cambia claramente a nivel temporal.

Figura 14

Gráfico de ordenación por el análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) a nivel de temporadas



4.3.2. Correlación de los factores ambientales con la organización de las comunidades de fitoplancton expuestas en el análisis de escalamiento multidimensional no métrica (NMDS)

Se realizó una correlación entre los factores ambientales y la organización de las comunidades de fitoplancton expresados en el gráfico de ordenación de NMDS. Los valores de correlación entre las variables ambientales y el primer y segundo eje (NMDS1 y NMDS2) se pueden observar en la tabla 08. Las variables más influyentes fueron la conductividad eléctrica (CE), la profundidad en la columna de agua (h) y el pH. La CE dio valores de correlación de 0,53 y 0,84 unidades con NMDS1 y NMDS2 respectivamente, mientras h mostró la correlación más fuerte con NMDS2 ($r=-0,97$). Entonces como se ya se habían formado 2 grupos por temporadas, visto que es el gráfico de ordenación donde se muestra una segregación con mayor claridad. Como la Temporada húmeda se encuentra en el lado negativo del eje NMDS2, esta se correlaciona con h. Mientras la temporada seca se encuentra en el lado positivo del eje NMDS2, es la CE y pH quienes se correlacionan con este eje.

Tabla 07

*Correlación de los factores ambientales con los ejes NMDS1 y NMDS2. Valores de significancia, códigos: “***”=0,001, “**”=0,01, “*”=0,5 y “n.s.”=no significativo*

Variables	NMDS1	NMDS2	R2	p valor	significancia
Profundidad en la Columna de agua (h)	-0,23843	-0,97116	0,2782	0,008	**
Iones mayoritarios (im)	-0,3555	0,93467	0,085	0,223	n.s.
Ph	-0,27377	0,9618	0,1907	0,036	*
Conductividad electrica (CE)	0,53161	0,84699	0,487	0,001	***
Temperatura (T)	-0,93365	-0,35819	0,0855	0,224	n.s.

5. Discusiones

Durante la temporada seca, sobre todo en PIT1-s, se da el aumento de especies y/o morfoespecies de grupos menores (euglenophytas, charophytas, chlorophytas, miozoas, ochrophyta, cryptophytas y cianobacterias). Debido a que los estanques de agua se llegan a descargar un 60-70% de su capacidad total, haciendo que las paredes de turba del estanque de agua desprendan materia orgánica por escorrentía; generando el enriquecimiento del cuerpo de agua, aumentando la turbidez, el crecimiento de macrófitas y algas filamentosas. Estas pueden proveer una mayor protección a la alta intensidad de luz, generando mayor competencia para las diatomeas y por ende el desarrollo de otros grupos menores de las comunidades de fitoplancton. Situaciones similares se generan en estanques de agua pequeños y pocos profundos. El Phylum Cryptophyta, donde el género *Cryptomonas* es el único que se ha logrado identificar, solamente aparecen durante la temporada seca (PIT1-s y PIT3-s). Las criptofíceas generalmente aparecen y aumentan su densidad en el sistema a medida que otros grupos de algas disminuyen la suya, es decir, cuando se abre un nicho temporal para su ocupación. Este tipo de comportamiento llevó a calificar a las Cryptophytas como “oportunistas”, es decir, algas de rápido crecimiento con un ciclo de vida corto, mecanismos de dispersión eficientes (presencia de flagelos), capacidad fotoadaptativa y la formación de formas de reposo son mecanismos fisiológicos que hacen que las Cryptophytas se consideren como verdaderos estrategas (Bicudo, Ferragut, & Massagardi, 2009). Según

Reynolds (2006), el género *Cryptomonas* pertenece al grupo funcional Y, donde el ambiente ideal para este grupo son las aguas moderadamente enriquecidas (mesotróficas y eutróficas) con baja insolación y profundidad. El Phylum Bacillariophyta (diatomeas), es la predominante en las comunidades de fitoplancton en bofedales. Ya habido reportes de fitoplancton en bofedales o ambientes altoandinos, donde también hacen mención la dominancia de las diatomeas (Mirande & Tracanna, 2009; Salazar & Moraes, 2012; Salusso, 2011). Las diatomeas presentan una alta adaptabilidad a ambientes extremos, soportando factores tales como la alta intensidad de luz y las limitaciones nutricionales (Salusso & Moraña, 2015; UNESCO, 2009; Wurtsbaugh et al., 1991). Es durante la temporada húmeda donde las diatomeas presentan una mayor riqueza ante los otros grupos, debido a que los estanques de agua están cargados, aumentando la transparencia para un mayor ingreso de luz, disminuyendo nutrientes y elementos químicos necesarios para el desarrollo de otros grupos más exigentes.

Entre los factores ambientales evaluados, los iones mayoritarios y la temperatura no presentaron una correlación significativa. La Temperatura es la más arbitraria, debido a que influye mucho el momento en el que fue monitoreado, pero se puede considerar los valores extremos como indicativo del rango de temperatura el en que se desarrollan las comunidades de fitoplancton descritas. Por otro lado, los mismos iones que existen en la tierra también se encuentran en el agua, por tanto, la composición química de un cuerpo de agua refleja, en gran parte, la naturaleza

geoquímica del terreno que lo contiene (Roldán & Ramírez, 2008); los estanques de agua de los bofedales son ricos en carbonatos, debido a que estos se desarrollan sobre una base de sedimentos calcáreos ocurridos durante el Triásico-Jurásico (Megard et al., 1996), por tal homogeneidad, es que este factor ambiental no resulta significativo en la organización de las comunidades de fitoplancton. Según Salazar & Moraes (2012), el pH y la conductividad eléctrica fueron señalados como las variables ambientales más importantes que influyen en las comunidades de fitoplancton, lo cual concuerda con los resultados obtenidos, siendo la conductividad eléctrica y pH, las que presentaron una correlación significativa; el pH en Piticocha 3 se observa que cambia bruscamente a nivel temporal, siendo ligeramente alcalina en temporada húmeda y ligeramente ácida en temporada seca, esto debe que durante la temporada seca se generan ingresos de agua por canales de irrigación artificiales, donde probablemente el agua al entrar en contacto con los canales formados, adquieran un carácter ácido, haciendo que el pH de Piticocha 3 en temporada seca (PIT3-s) disminuya y se acidifique. El último factor ambiental evaluado que obtuvo una correlación significativa fue la profundidad en la columna de agua (h), este parámetro marca una diferencia notoria a nivel temporal sobre “Piticocha 1”, debido a que este bofedal recibe ingresos de agua solamente de las lluvias y del agua subterránea, por ende, presenta una estacionalidad muy marcada. En Piticocha 1, bofedal natural, aislado y sin presiones antropogénicas, donde la recarga de estanques de agua depende netamente del agua subterránea y lluvias,

hace que estas presenten una estacionalidad muy marcada, por lo tanto, es el bofedal donde la composición varía más. Los polígonos convexos en PIT1-s y PIT1-h son de tamaño semejante, lo que indica que la heterogeneidad no aumenta, lo que ocurre es un recambio en la composición de las comunidades de fitoplancton. Según la correlación realizada con las variables ambientales y los ejes NMDS1 y NMDS2, es claro observar que es la profundidad en columna de agua (h) influye fuertemente en la organización de las comunidades de fitoplancton de Piticocha 1. En Piticocha 2, bofedal que se encuentra conectado a la laguna Piticocha, por ende, no necesariamente muestre una estacionalidad muy marcada, aun así hay una variación bastante marcada en la organización de las comunidades de fitoplancton a nivel temporal. En PIT2-s, es la que presenta un polígono convexo de gran tamaño, esto se debe a que presenta una mayor heterogeneidad en la composición. En cambio, en PIT2-h el polígono convexo se reduce bastante, esto se debe probablemente a las lluvias que hacen que los estanques de agua rebalsen, generando uniones entre ellos, haciendo que las características fisicoquímicas se homogenicen, reduciendo a gran medida la heterogeneidad de la composición. Según la correlación realizada (figura 15) probablemente son el pH y la conductividad eléctrica las variables que hacen a PIT2-s muy heterogéneo. En Piticocha 3, bofedal que presenta la mayor presión antropogénica, esto se manifiesta sobre todo durante la temporada seca, donde generan canales de irrigación para mantener verde el césped de puna. A nivel temporal, es el bofedal que más similitud presenta en la organización de las comunidades de fitoplancton. En la figura 15, PIT3-s es el único bofedal que

mantuvo una composición de fitoplancton particular, probablemente esto se deba a que el agua que ingresa por los canales generados ingrese con características fisicoquímicas particulares, haciendo los estanques de agua que se encuentran en PIT3-s adquieran nuevas características fisicoquímicas. En la figura 15, la correlación entre las variables ambientales y los ejes NMDS1 y NMDS2 nos muestra que probablemente sea la conductividad eléctrica uno de los factores que hacen que tengan una composición de fitoplancton particular frente a los otros bofedales estudiados.

Los factores ambientales tienen un fuerte impacto sobre las variaciones en la organización de las comunidades de fitoplancton, sin embargo, esta no es tan marcada a nivel estacional en términos de la heterogeneidad de la composición de fitoplancton, esto se debe a una mayor homogenización de los componentes químicos de los estanques de agua, reduciendo en el número de nichos, por lo tanto, haciéndolos más similares en términos de composición. A nivel temporal, presentan una variación en la organización de comunidades de fitoplancton muy marcada. El pH, la conductividad eléctrica (CE), y la profundidad en la columna de agua (h) son las de mayor influencia en la organización de las comunidades de fitoplancton y presentan una mayor correlación con eje NMDS2, tal eje define la estacionalidad.

6. Conclusiones

Se identificó 213 especies y/o morfoespecies entre la temporada húmeda y seca. Donde por su adaptabilidad y resistencia a condiciones extremas, es el Phylum Bacillariophyta, el grupo dominante a nivel estacional y temporal. Durante la temporada seca, se da el aumento de grupos menores.

Los valores de pH están dentro de los rangos normales para ambientes naturales. Son los carbonatos los iones más abundantes en estanques de agua del sistema de bofedales Piticocha. La temperatura es un factor ambiental arbitrario, debido a que influyen el momento en el que fue evaluado.

De los factores ambientales evaluados, son la temperatura y iones mayoritarios los factores que no presentaron una correlación significativa con la composición del fitoplancton. El pH, la conductividad eléctrica y la profundidad en la columna de agua fueron las que presentaron una correlación significativa con la composición del fitoplancton

La geomorfología, características del hábitat físico (estanques de agua), las características climatológicas y las presiones antropogénicas generan una gran variabilidad en los procesos hidrológicos del sistema de bofedales Piticocha, las cuales influyen en la organización de las comunidades de

fitoplancton a nivel temporal y espacial, haciéndolo más heterogéneo o homogéneo en términos de la composición.

7. Bibliografía

- APHA, AWWA, & WEF. (2012). *Standard Methods for The Examination and Wastewater* (22 ed.). Washington D. C., U.S.A.: American Public Health Association.
- Bicudo, C., Ferragut, C., & Massagardi, M. (2009). Cryptophyceae population dynamics in an oligo-mesotrophic reservoir (Ninféias pond) in São Paulo , southeast Brazil. *Hoehnea*, 36(1), 99–111.
- Blanco, D., & De la Balze, V. (2004). Los Turbales de la Patagonia. Bases para su inventario y la conservación de su biodiversidad. *Wetlands International*, 19, 149.
- Cardenas, M. B., & Zlotnik, V. A. (2003). A Simple Constant-Head Injection Test for Streambed Hydraulic Conductivity Estimation. *Ground Water*, 46(6), 867–871.
- Coritoma, M., Castro, K., Sánchez, T., Ugaz, L., & Pena, E. (2018). Algas Fitoplanctónicas como indicadoras de la calidad de agua en las lagunas altoandinas del departamento de Pasco (Perú), 17(1).
- Denny, P. (1994). Biodiversity and wetlands. *Wetlands Ecology and Management*, 3(I), 55–61.
- Felisberto, S., & Rodrigues, L. (2010). Cosmarium (Desmidiaceae , Zygnemaphyceae) da ficoflórula perifítica do reservatório de Rosana , bacia

do rio Paranapanema ,. *Hoehnea*, 37(2), 267–292.

Fenchel, T., & Finlay, B. (2004). The ubiquity of small species: patterns of local & global diversity. *Bioscience*, 54, 777–784.

Fucikova, K., Hall, J., Johansen, J., & Lowe, R. (2008). *Desmid Flora of the Great Smoky Mountains National Park, USA*.

Garcia, E., & Marco, O. (2015). Caracterización Ecohidrológica de Humedales Altoandinos usano imágenes de saté multitemporales en la cabecera de cuenca del río Santa, Ancash, Perú. *Ecología Aplicada*, 14(2).

Goitia, E., Maldonado, M., Acosta, F., De la Barra, N., Cadima, M., Coronel, J., & Salvatierra, A. (2007). Tipificación de humedales altoandinos de Bolivia: biocenosis acuática de los bofedales. In *Congreso Internacional sobre Desarrollo, Medio Ambiente y Recursos Naturales: Sostenibilidad a Múltiples Niveles y Escalas* (Vol. 2).

Gonzales, R., Quenta, E., Molina, J., Dangles, O., & Jacobsen, D. (2014). Propuesta metodológica para estimar la heterogeneidad ambiental, diversidad y estructura de comunidades acuáticas de pozas de agua en bofedales altoandinos Method for the estimation of environmental heterogeneity , diversity and structure of aquatic comm. *Ecología En Bolivia*, 49(3), 56–72.

Goodfellow, M., & Slater, J. (1992). Biodiversity as a source of innovation in biotechnology. *Annual Review Microbiology*, 46, 219–252.

- Gopal, B. (2015). *Guidelines for Rapid Assessment of Biodiversity and Ecosystem Services of Wetlands, Version 1.0.* (B. Gopal, Ed.). New Delhi: Asia-PaciAsia-Pacific Network for Global Change Research (APN-GCR), Kobe, Japan, and National Institute of Ecology.
- Hernández, R., Ortega, M., Sánchez, J., Alvarado, R., & Aguilera, M. (2011). Distribución estacional del fitoplancton en un lago cálido monomítico en Michoacán, México. *Biológicas*, 13(2), 21–28.
- Herrera, S., Meneses, R., & Anthelme, F. (2015). Comunidades vegetales de los bofedales de la Cordillera Real (Bolivia) bajo el calentamiento global. *Ecología En Bolivia*, 50(1), 39–56.
- Honggang, Z., Baoshan, C., zhiming, Z., & Xiaoyun, F. (2012). Species diversity and distribution for zooplankton in the inter-tidal wetlands of the Pearl River estuary, China. *Procedia Environmental Sciences*, 13(December), 2383–2393. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.227>
- Izurieta, X. (2005). *Turberas altoandinas. Espacios Frágiles de vida y Cultura.* (X. Izurieta, Ed.). Quito.
- Karr, J., & Chu, E. (1997). Biological monitoring and assessment: using multimetric indexes effectively, (December), 1–149.
- KOSSINSKAJA, C. (1952). *Flora Plantarum Cryptogamarum URSS.*
- Lenzenweger, R. (1996). Desmidiaceenflora von Österreich.

- Loaiza, A. (2013). Família Hydrodictyaceae (Spharopleales, Chlorophyceae) no Estado de São Paulo: levantamento florístico, 164p.
- Magurran, A. (2004). *Measuring biological diversity*. Oxford, U.S.A.: Blackwell Science.
- Maldonado, M. (2014). An introduction to the bofedales of the peruvian high andes. *Mires and Peat*, 15, 1–13.
- Manguin, E. (1964). *Contribution a la connaissance des diatomées des andes du Pérou*.
- McCune, B., & Grace, J. (2014). Analysis of Ecological Communities. *MjM Software Design*, 0981.
- Megard, F., Caldas, J., Paredes, J., & De La Cruz, N. (1996). *Geología de los cuadrangulos de Tarma, la Oroya y Yauyos* (Primera Ed).
- Meneses, R., Loza, S., Lliully, A., Palabral, A., & Anthelme, F. (2014). Métodos para cuantificar diversidad y productividad vegetal de los bofedales frente al cambio climático Methods to quantify the diversity and the productivity of high-Andean wetlands under the effects of climate change. *Ecología En Bolivia*, 49(3), 42–55.
- Mirande, V., & Tracanna, B. (2009). Estructura y controles abioticos del fitoplancton en humedales de altura. *Ecologia Austral*, 19(2), 119–128.

- Moreno, C. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. *M&T - Manuales y Tesis SEA, 1*, 84.
- Nieder, J., Engwald, S., & Barthlott, W. (1999). Patterns of neotropical epiphyte diversity. *Selbyana, 20*(1), 66–75.
- Oliva, M., Godínez, J., & Zuñiga, C. (2014). Biodiversidad del fitoplancton de aguas continentales en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad, 85*, 54–61.
- Onsem, S. Van, Backer, S. De, & Triest, L. (2015). Microhabitat – zooplankton relationship in extensive macrophyte vegetations of eutrophic clear-water ponds, (November 2010).
- Oyague, E., & Maldonado, M. (2015). Relationships between aquatic invertebrates, water quality and vegetation in an Andean peatland system. *Mires and Peat, 15*, Article 14, 1-21.
- Peixoto, G., De Matos, C., Góes, A., & Do Nascimento. (2012). Monoraphidium and Ankistrodesmus (Chlorophyceae, Chlorophyta) from Pantanal dos Marimbus , Chapada Diamantina , Bahia State , Brazil. *Hoehnea, 39*(3), 421–434.
- Polla, W., Salusso, M., & Fernandez, V. (2008). Estructura del fitoplancton de un sistema fluvial de llanura (río Salado del norte , Santa Fe) en dos fases hidrológicas diferentes . *Fabacib, 12*, 11–24.

- Ptacnik, R., Andersen, T., Brettum, P., Lepisto, L., & Willén, E. (2010). Regional species pools control community saturation in lake phytoplankton. *Proc. R. Soc. B*, 277(June 2014), 3755–3764.
- Reynolds, C. (2006). *Ecology of phytoplankton*. New York, U.S.A.: Cambridge University Press.
- Roldán, G., & Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de la limnología neotropical* (2da ed.). Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia.
- Salazar, G., & Moraes, V. (2012). Microalgae community of the Huaytire wetland, an andean high-altitude wetland in Peru. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 24(3), 285–292.
- Salusso, M. (2011). Fitoplancton en ambientes de altura. *Lhawet*, 1(1), 25–28.
- Salusso, María, & Moraña, L. (2015). Estructura y composición del fitoplancton de Mina Pirquitas, Jujuy, Argentina. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(3), 711–718.
- Schrader, H., & Gersonde, R. (1978). Diatoms and Silicoflagellates. *Utrecht Micropaleontological Bulletins*, 17, 129–176.
- Sigeo, D. (2005). *Freshwater Microbiology*. West Sussex, England.
- Solbrig, O. (1991). *Biodiversity: scientific issues and collaborative research proposals*. Paris, Francia: UNESCO.

- Squeo, F., Warner, B., Arabena, R., & Espinoza, D. (2006). Bofedales: High altitude peatlands of the central Andes. *Revista Chilena de Historia Natural*, (March 2014).
- Šťastný, J. (2010). Desmids (Conjugatophyceae, Viridiplantae) from the Czech Republic; new and rare taxa, distribution, ecology. *Fottea*, 10(1), 1–74.
- Tremarin, P., Moreira, H., & Veiga, T. (2010). Pinnulariaceae (Bacillariophyceae) do rio Guaraguaçu , bacia hidrográfica litorânea paranaense , Brasil. *Acta Bot. Bras.*, 24(2), 335–353.
- UNESCO. (2009). *Cianobacterias Planctónicas del Uruguay. Manual para la identificación y medidas de gestión*. (S. Bonilla, Ed.).
- Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Museo de Historia Natural. (2014). *Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú* (1ra ed.). Lima, Perú.
- Worch, E. (2015). *Hydrochemistry: Basic Concepts and Exercises*. (W. De Gruyter, Ed.) (1st Editio).
- Wurtsbaugh, W., Vincent, W., Vincent, C., Carney, H., Richerson, P., & Lazzaro, X. (1991). Nutrientes y su limitación del crecimiento del fitoplancton. *El Lago Titicaca: Síntesis Del Conocimiento Actual*, 161–175.
- Zalocar, Y. (2004). *Nuevos aportes de Cosmarium (Desmidiaceae, Chlorophyta) para la ficoflora del Sistema Iberá*. Corrientes, Argentina.

8. Anexos

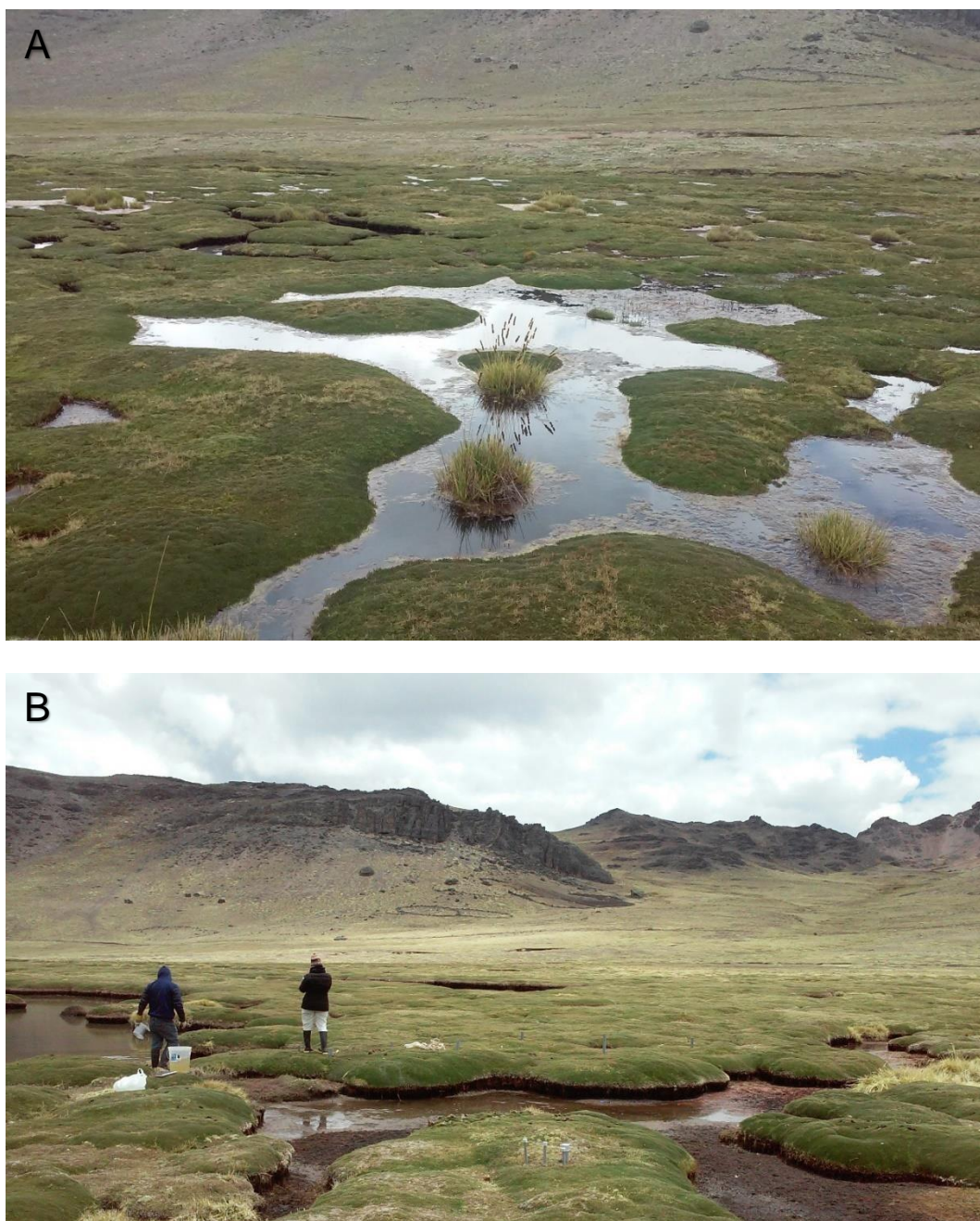


Figura 16. Bofedal “Piticocha 1”, temporada húmeda (A) y temporada seca (B)



Figura 17. Bofedal “Piticocha 2”



Figura 18. Bofedal "Piticocha 3"

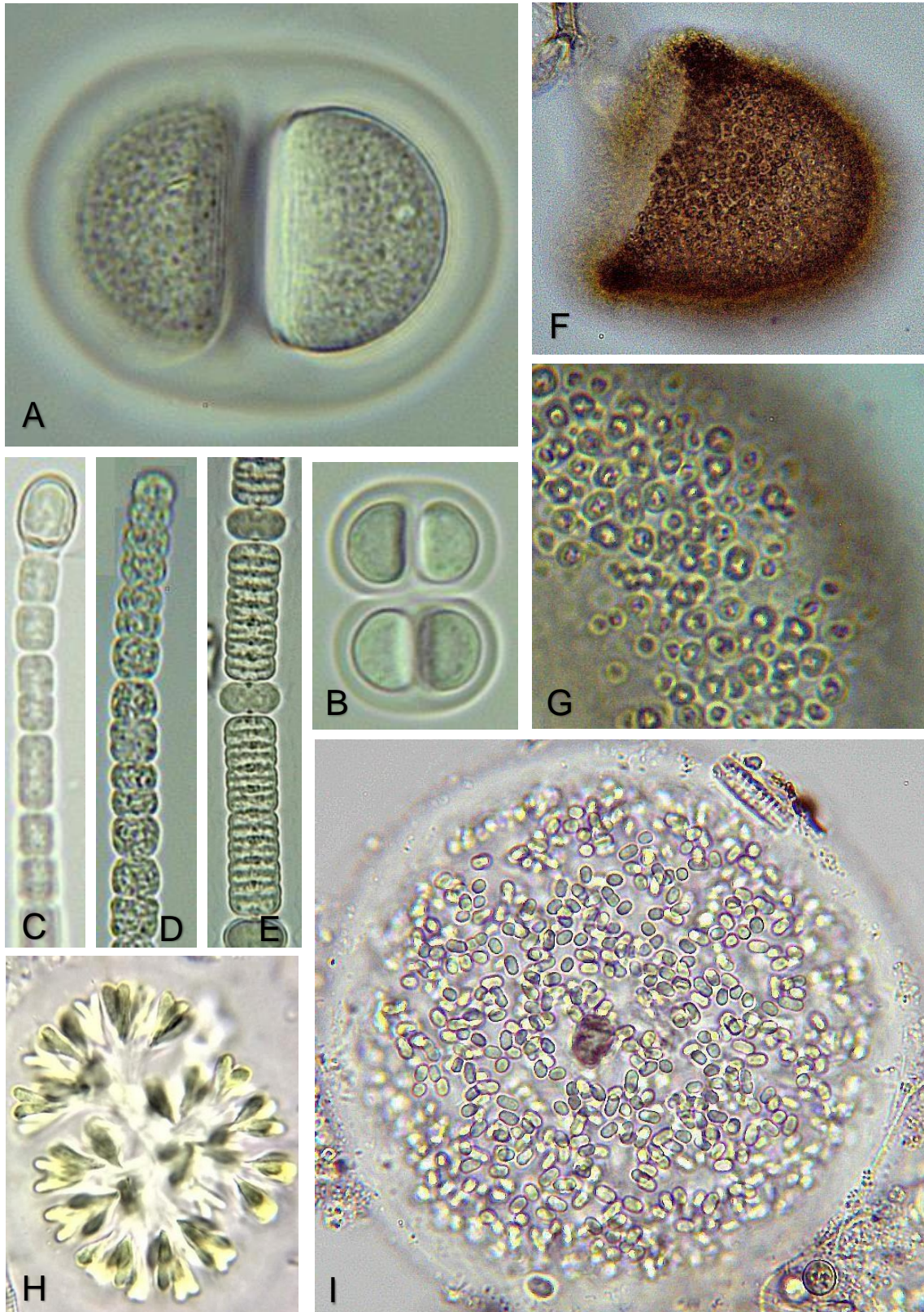


Lámina 1. **A:** *Chroococcus turgidus*; **B:** *Chroococcus* sp.; **C:** *Cylindrospermum*.; **D:** *Dolichospermum* sp.; **E:** *Nodularia* sp.; **F, G:** *Microcystis* sp.; **H:** *Gomphosphaeria aponina*; **I:** *Aphanothece* sp.

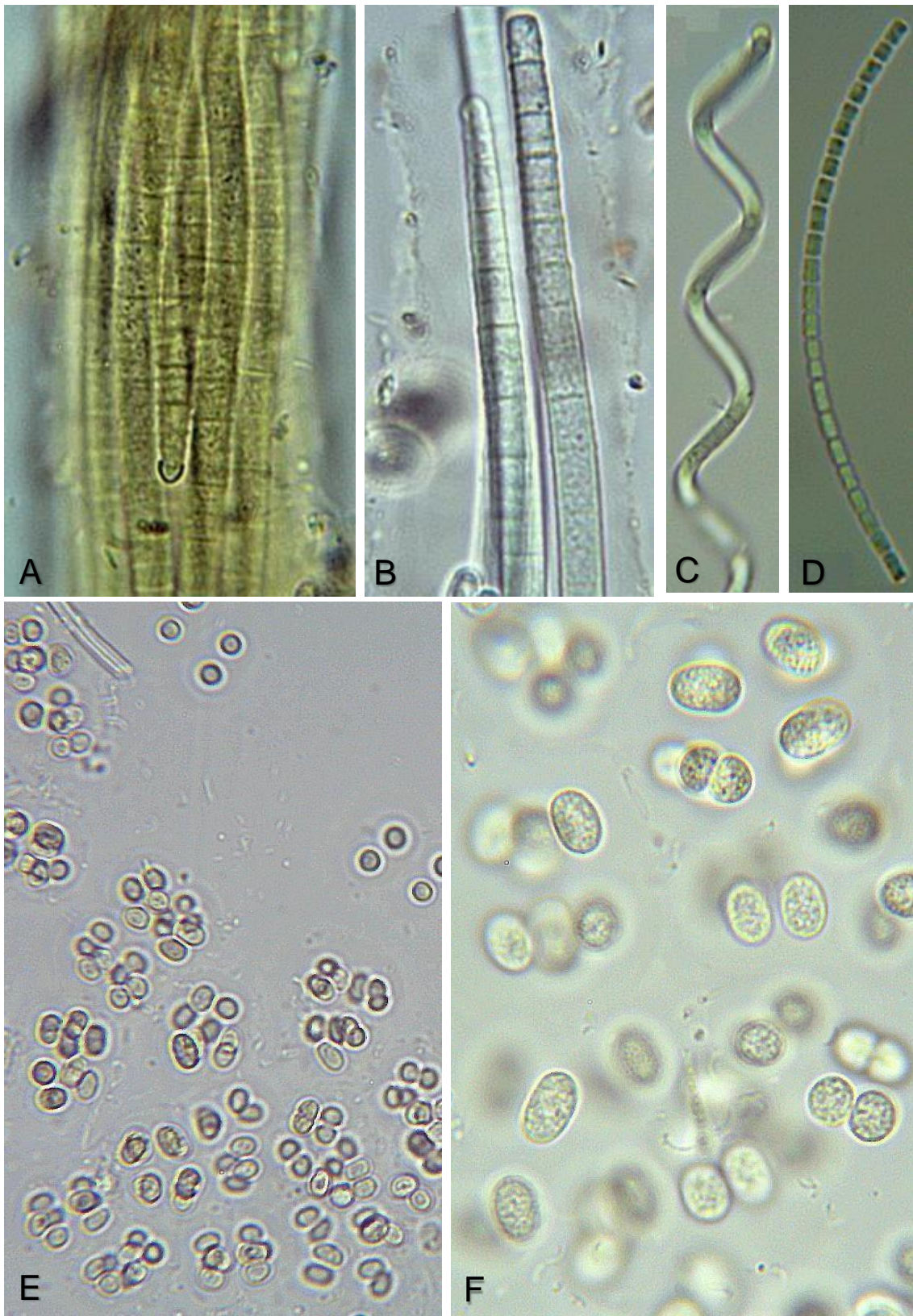


Lámina 2. A, B: *Microcoleus* sp.; C: *Spirulina* sp.; D: *Pseudanabaena* sp.; E, F: *Gloeocapsa* sp.

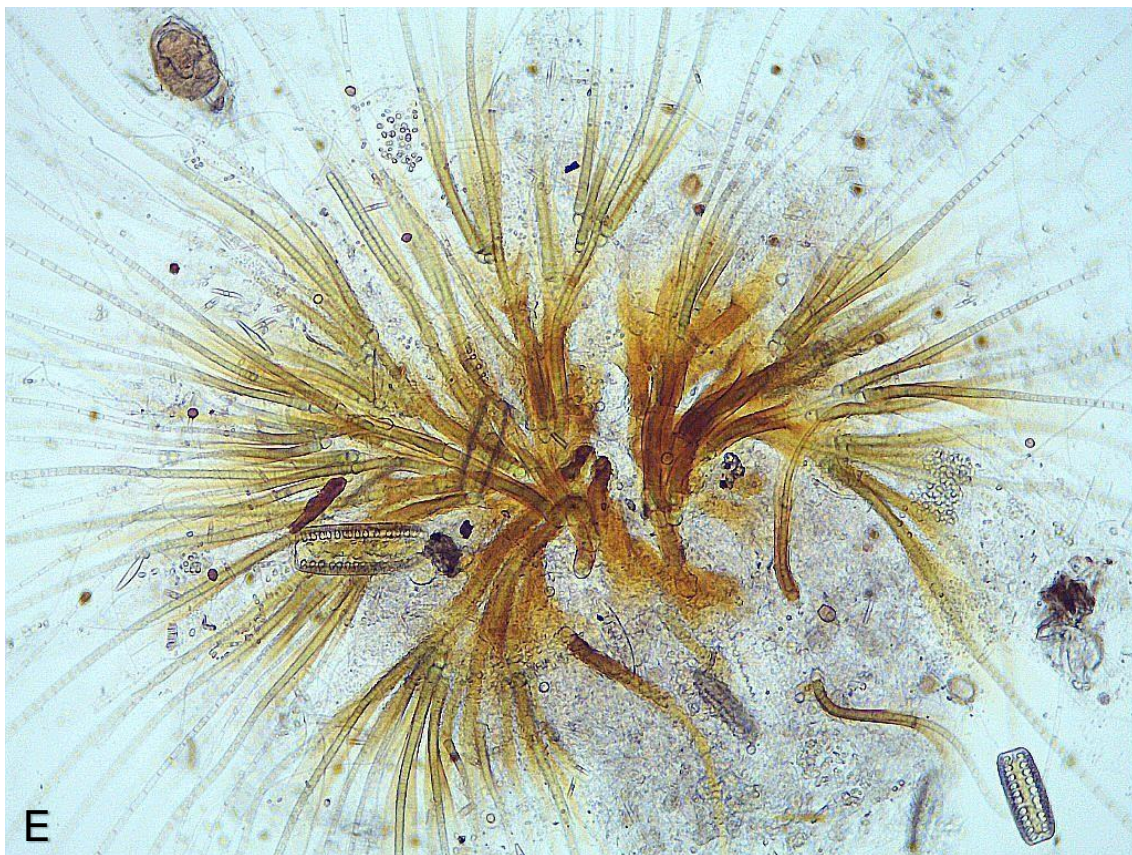


Lámina 3. A: *Phormidium* sp.; B: *Phormidium* sp.1; C: *Oscillatoria* sp.; D: *Aphanocapsa* sp.; E: *Gloeotrichia* sp.



Lámina 4. A: *Euglena* sp.; B: *Euglena* sp. 1; C: *Trachelomonas volvocina*; D: *Trachelomonas hispida*; E, F: *Monomorфина* sp.

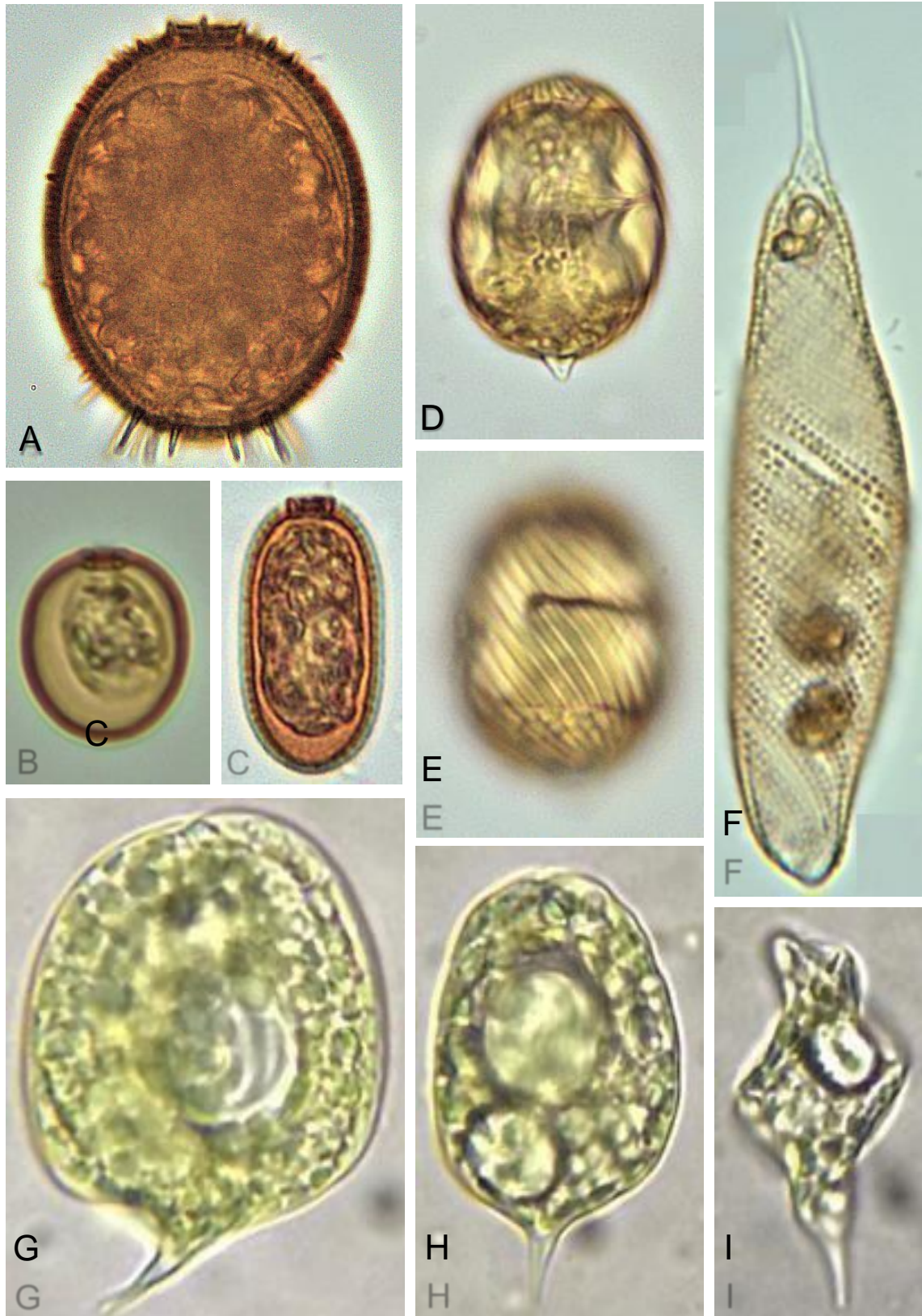


Lámina 5. **A:** *Trachelomonas armata*; **B:** *Trachelomonas oblonga*; **C:** *Trachelomonas* sp.; **D, E:** *Lepocinclis ovum*; **F:** *Lepocinclis* sp.; **G:** *Phacus* sp. 1; **H:** *Phacus* sp.; **I:** *Phacus* sp. 2

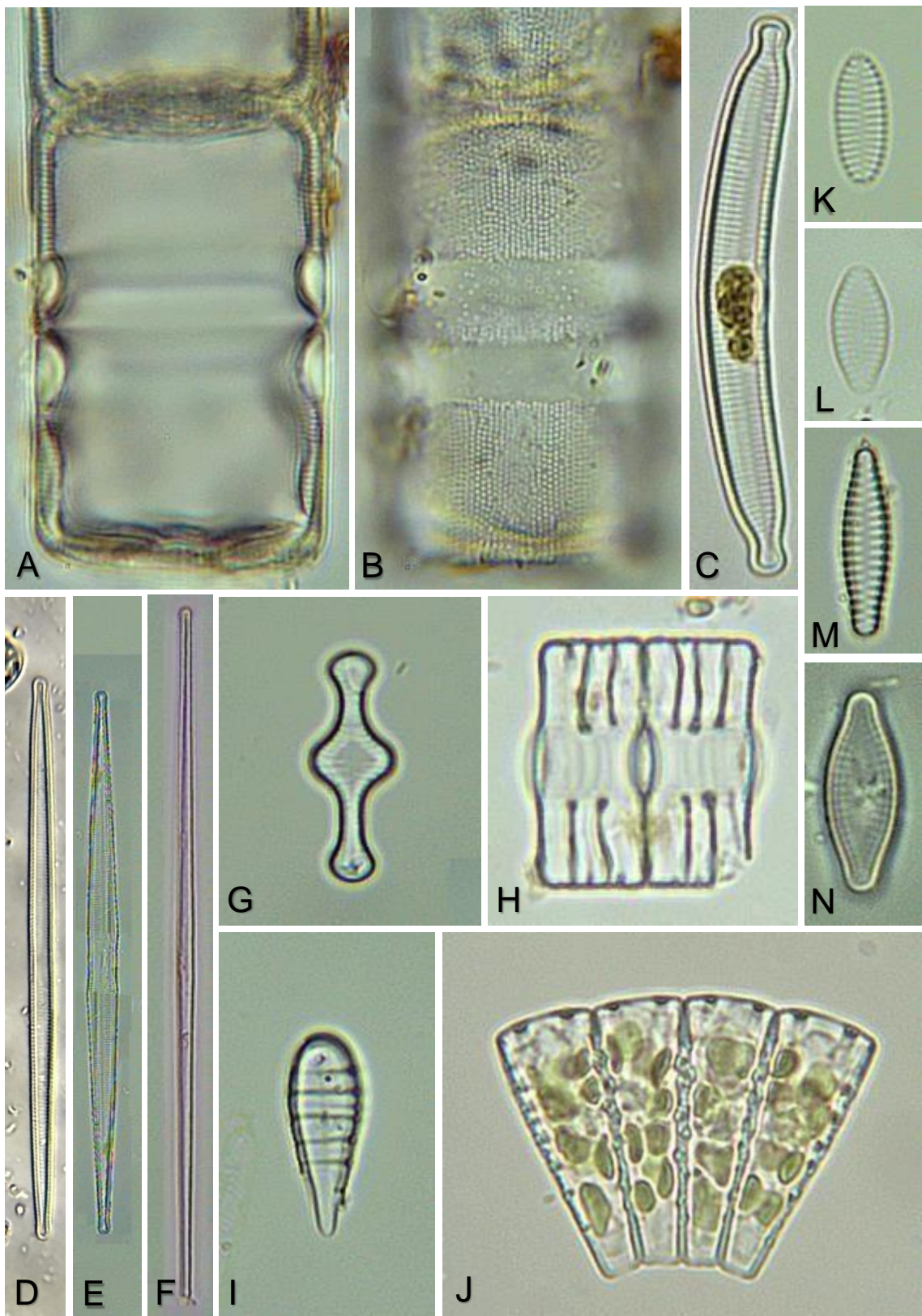


Lámina 6. A, B: *Orthoseira* sp.; C: *Hannaea arcus*; D: *Ulnaria ulna*; E: *Ulnaria* sp.; F: *Ulnaria delicatissima*; G, H: *Meridion* sp.; I, J: *Tabellaria* sp.; K: *Staurosira* sp.; L: *Staurosira* sp. 1; M: *Staurosirella* sp.; N: *Pseudostaurosira* sp.

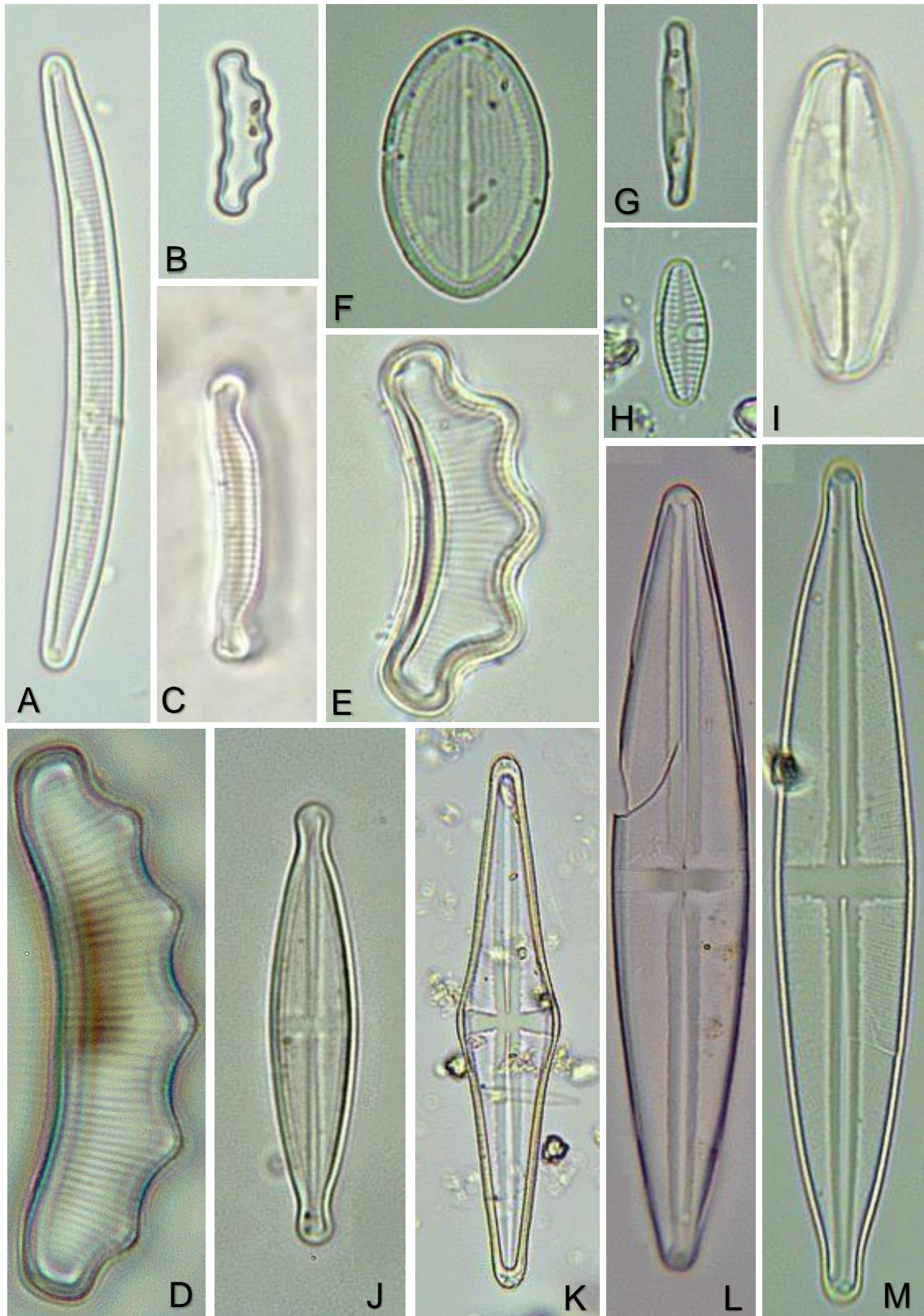


Lámina 7. **A:** *Eunotia paludosa*; **B:** *Eunotia polydentula*; **C:** *Eunotia exigua*; **D:** *Eunotia peruviana*; **E:** *Eunotia trigibba*; **F:** *Cocconeis placentula*; **G:** *Achnanthidium* sp.; **H:** *Planothidium* sp.; **I:** *Achnanthes flexella*; **J:** *Stauroneis gracilior*; **K:** *Stauroneis acuta*; **L:** *Stauroneis phoenicenteron*; **M:** *Stauroneis anceps*

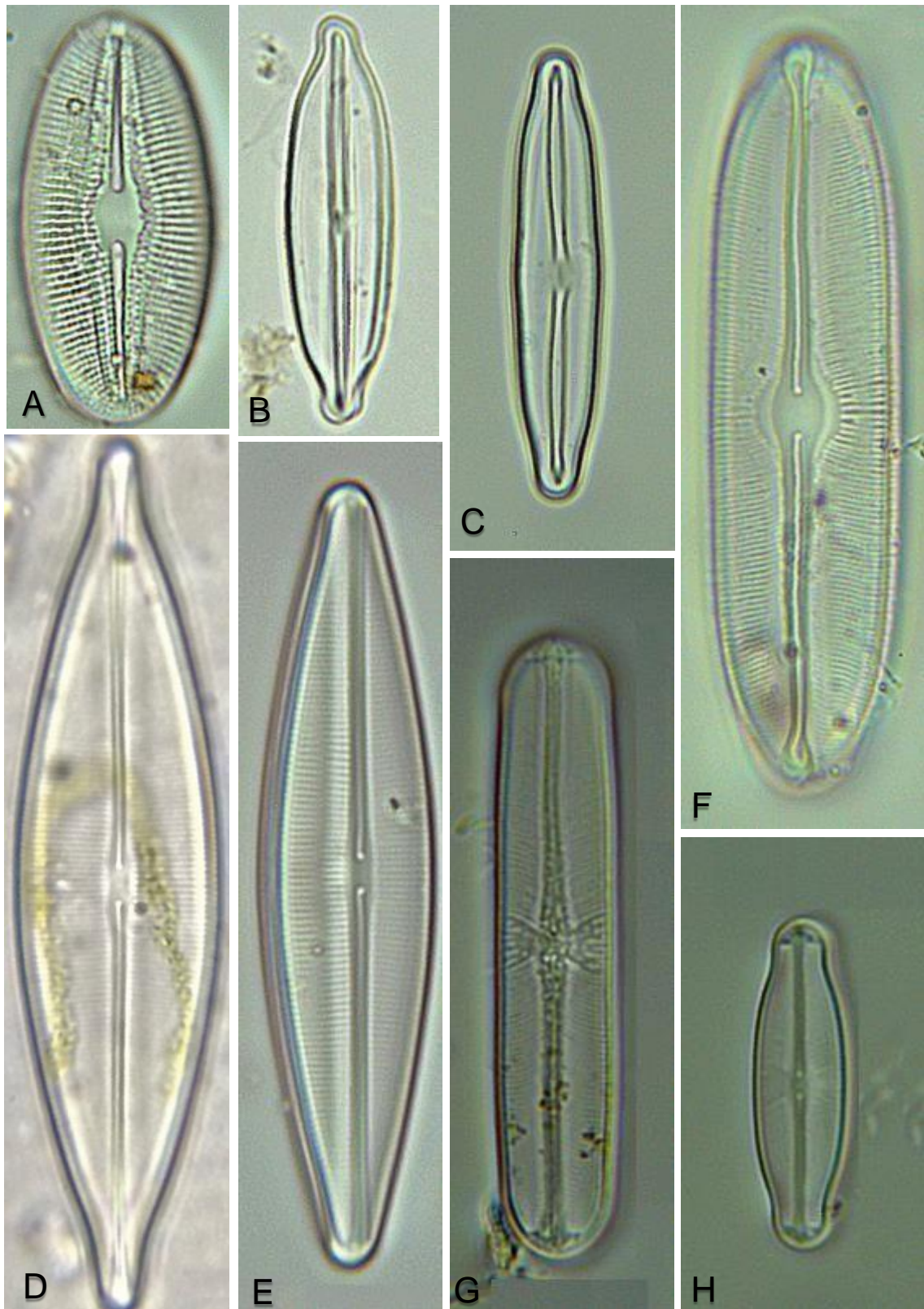


Lámina 8. **A:** *Diploneis* sp.; **B:** *Frustulia saxonica*.; **C:** *Frustulia vulgaris*.; **D:** *Craticula cuspidata*; **E:** *Craticula* sp.; **F:** *Sellaphora subdeliberata*; **G:** *Sellaphora* sp.; **H:** *Sellaphora* sp. 1

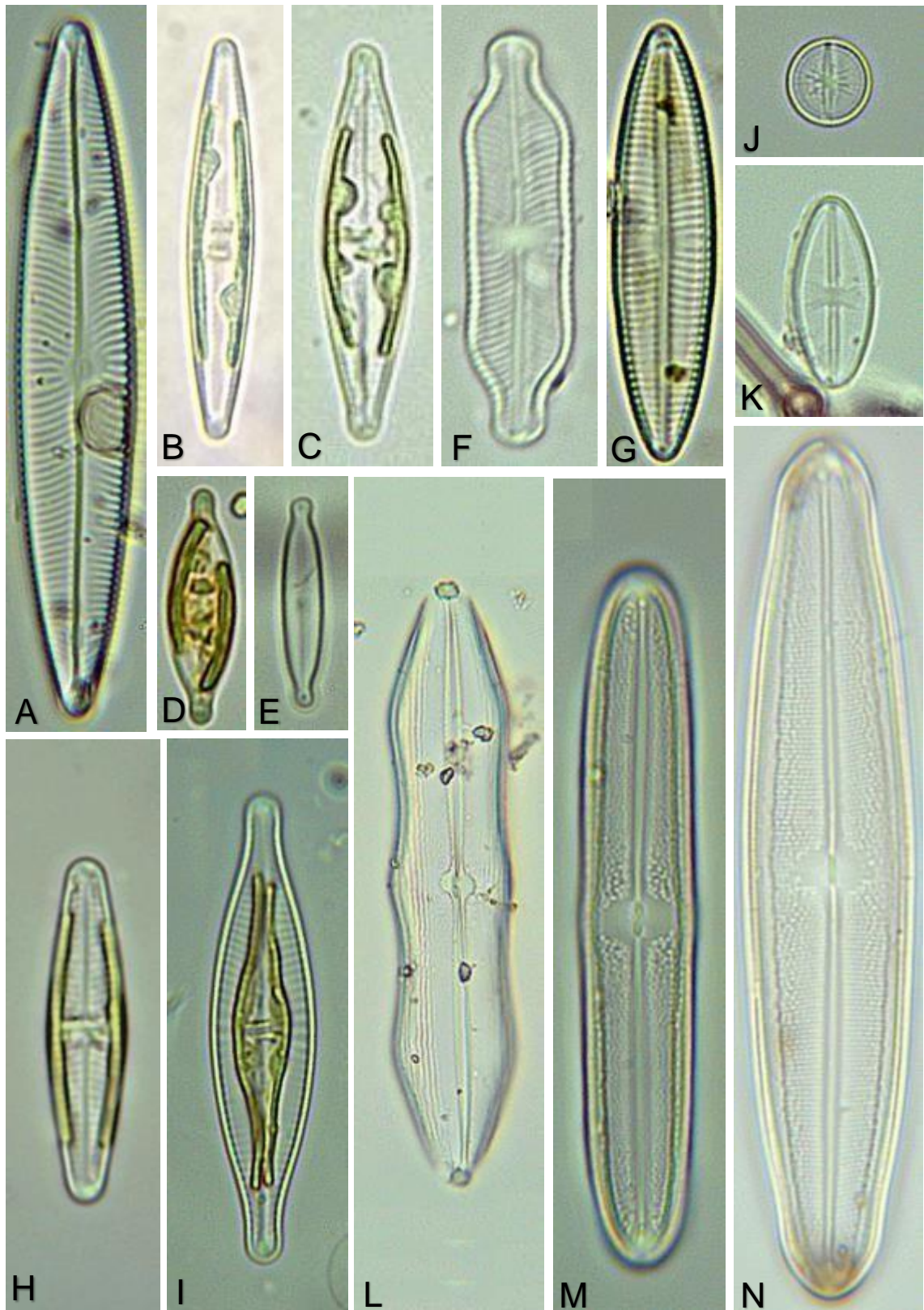


Lámina 9. **A:** *Navicula radiososa*; **B:** *Navicula lanceolata*; **C:** *Navicula dicephala*; **D:** *Navicula gregaria*; **E:** *Navicula subtilissima*; **F:** *Navicula dicephala*; **G:** *Navicula tripunctata*; **H:** *Navicula libonensis*; **I:** *Navicula rhynchocephala*; **J:** *Cavinula* sp.; **K:** *Cavinula lapidosa*; **L:** *Neidium magellanicum*; **M:** *Neidium bisulcatum*; **N:** *Neidium ampliutum*

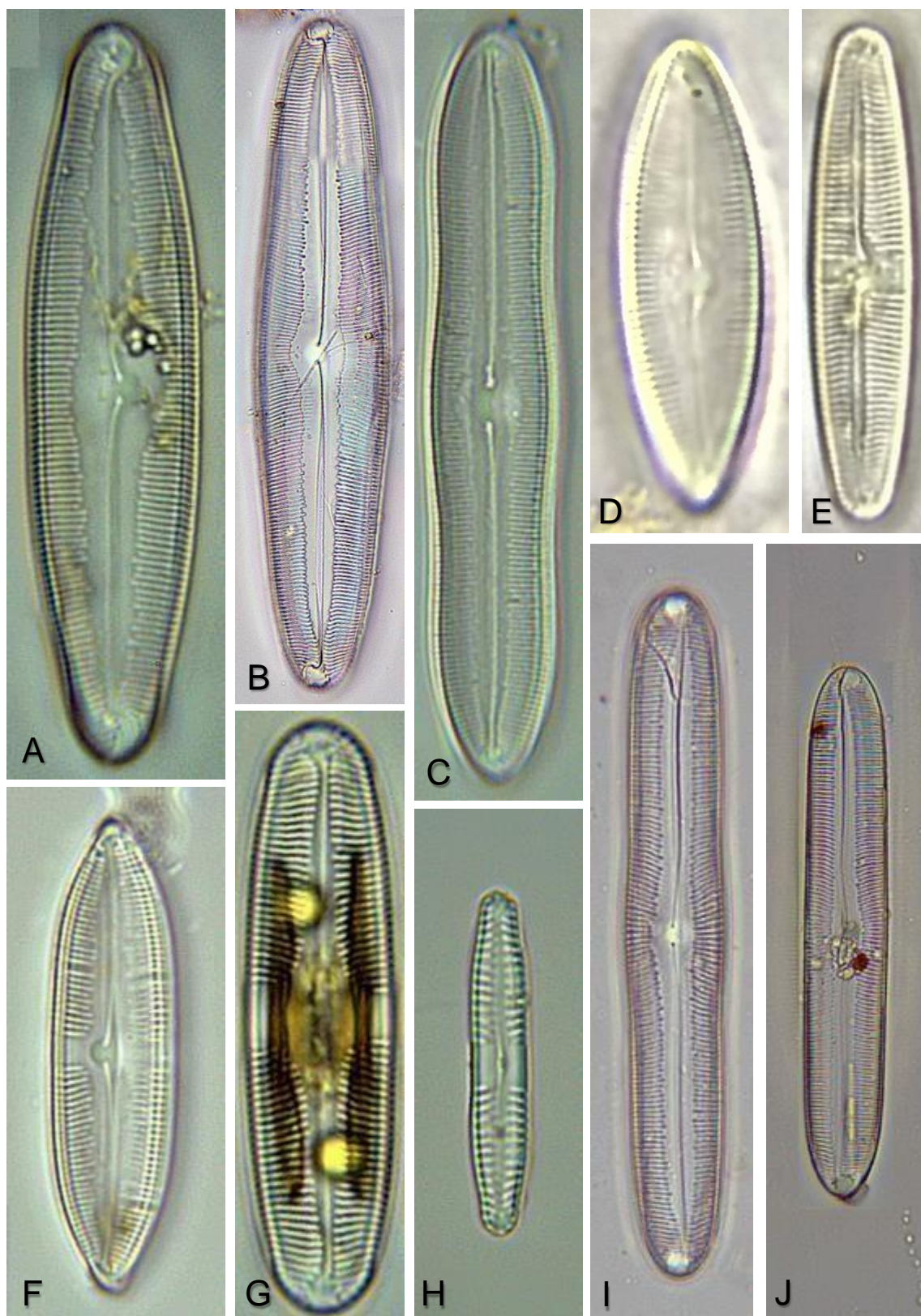


Lámina 10. **A:** *Caloneis peruviana*; **B:** *Caloneis westii*; **C:** *Caloneis silicula*; **D:** *Caloneis alpestris*; **E:** *Caloneis bacillum*; **F:** *Caloneis incógnita*; **G:** *Pinnularia divergens*; **H:** *Pinularia subcapitata*; **I:** *Pinnularia dactylus*; **J:** *Pinnularia viridis*

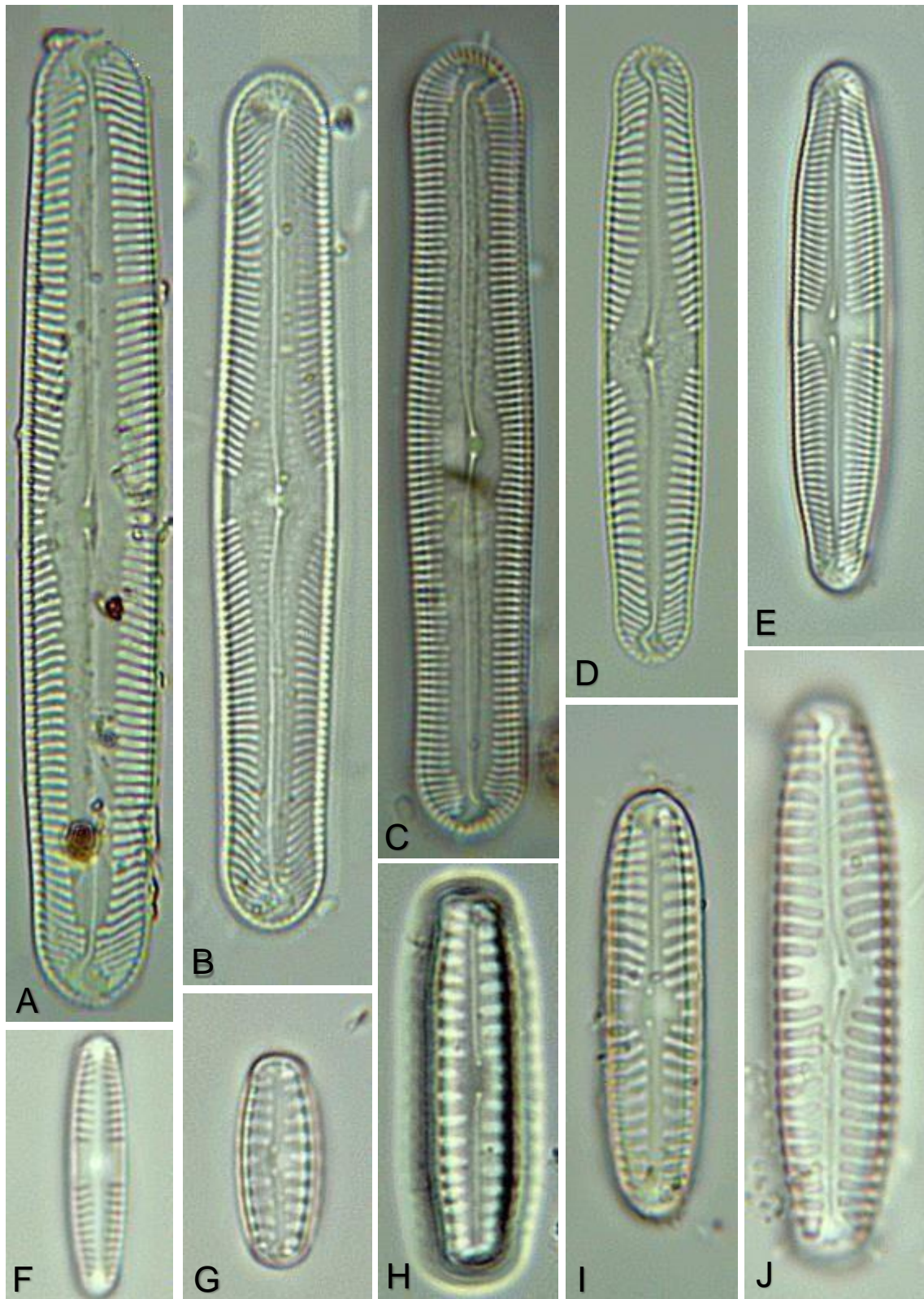


Lámina 11. **A:** *Pinnularia peruviana*; **B:** *Pinnularia gibba*; **C:** *Pinnularia acrosphaeria*; **D:** *Pinnularia subgibba*; **E:** *Pinnularia microstauron*; **F:** *Pinnularia* sp.; **G, H:** *Pinnularia borealis*; **I, J:** *Pinnularia lata*

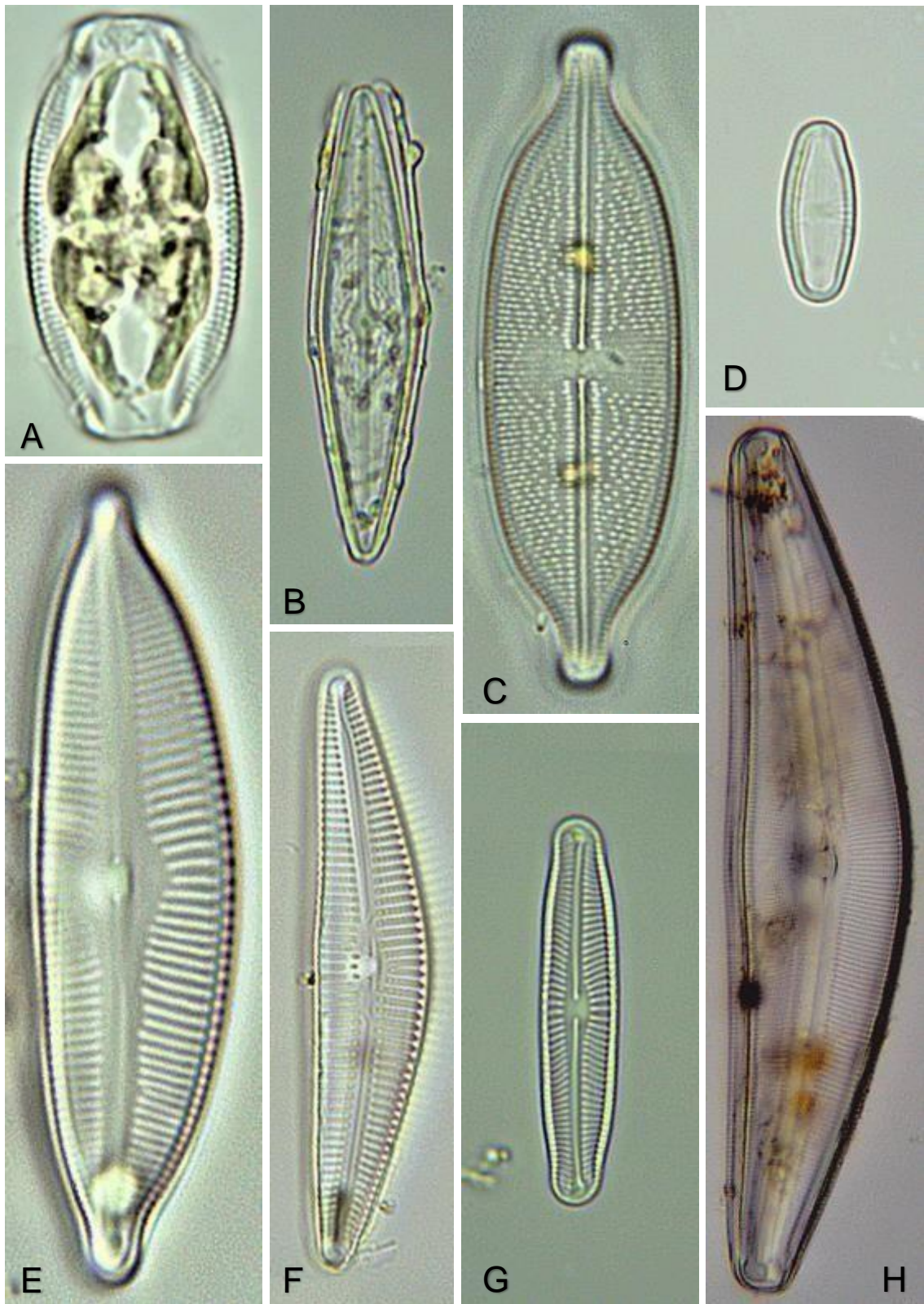


Lámina 12. **A:** *Amphora* sp.; **B:** *Brachysira* sp.; **C:** *Anomoneoneis sphaerophora*; **D:** *Luticola* sp.; **E:** *Cymbella cuspidata*; **F:** *Cymbella cistula*; **G:** *Cymbella pseudonorvegica*; **H:** *Cymbella aspera*

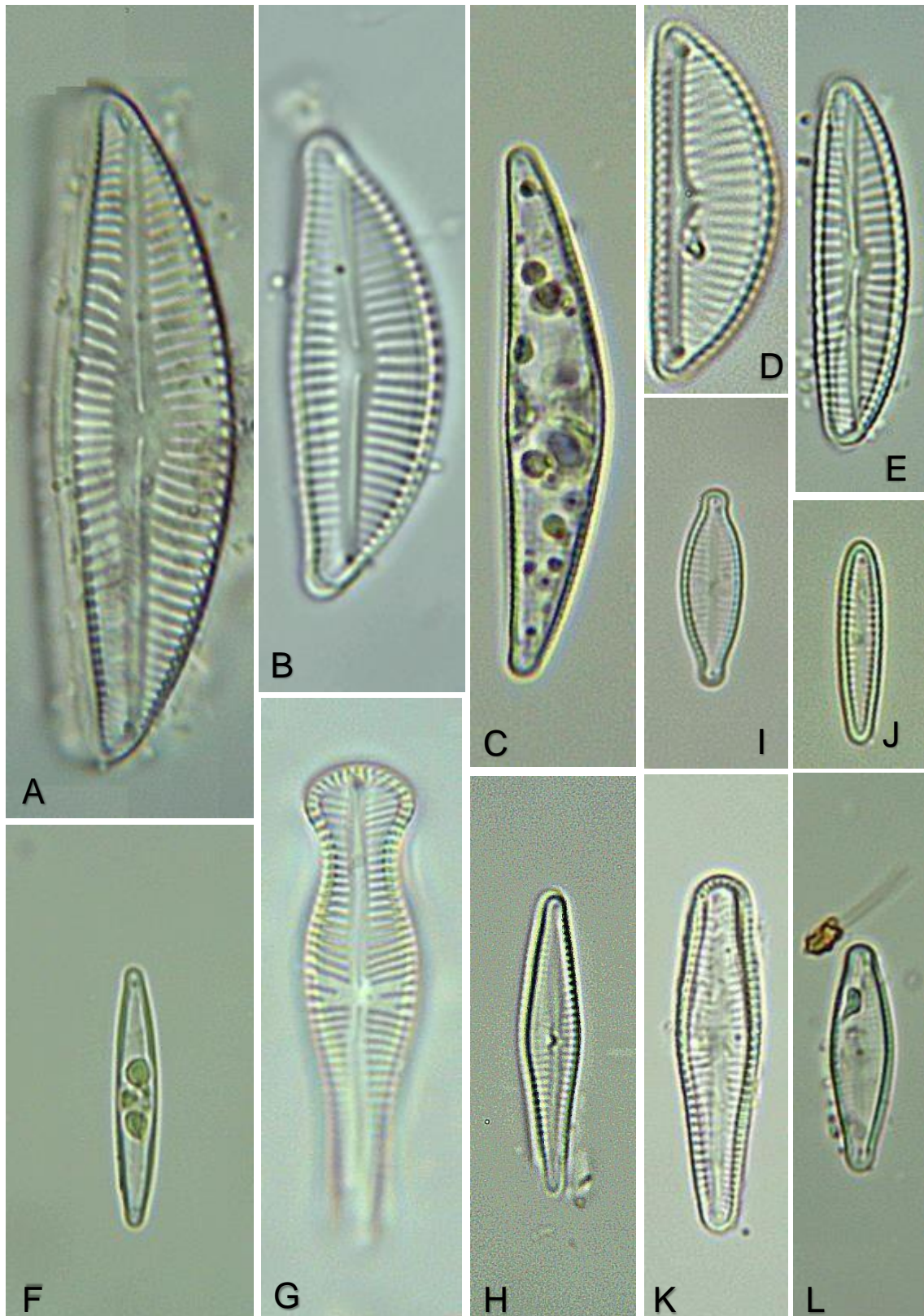


Lámina 13. **A:** *Encyonema vulgare*; **B:** *Encyonema caespitosum*; **C:** *Encyonema neogratile*; **D:** *Encyonema silesiacum*; **F:** *Encyonopsis* sp.; **G:** *Gomphonema truncatum*; **H:** *Gomphonema affine*; **I:** *Gomphonema parvulum*; **J:** *Gomphonema pumilum*; **K:** *Gomphonema clavatum*; **L:** *Gomphonema angustatum*

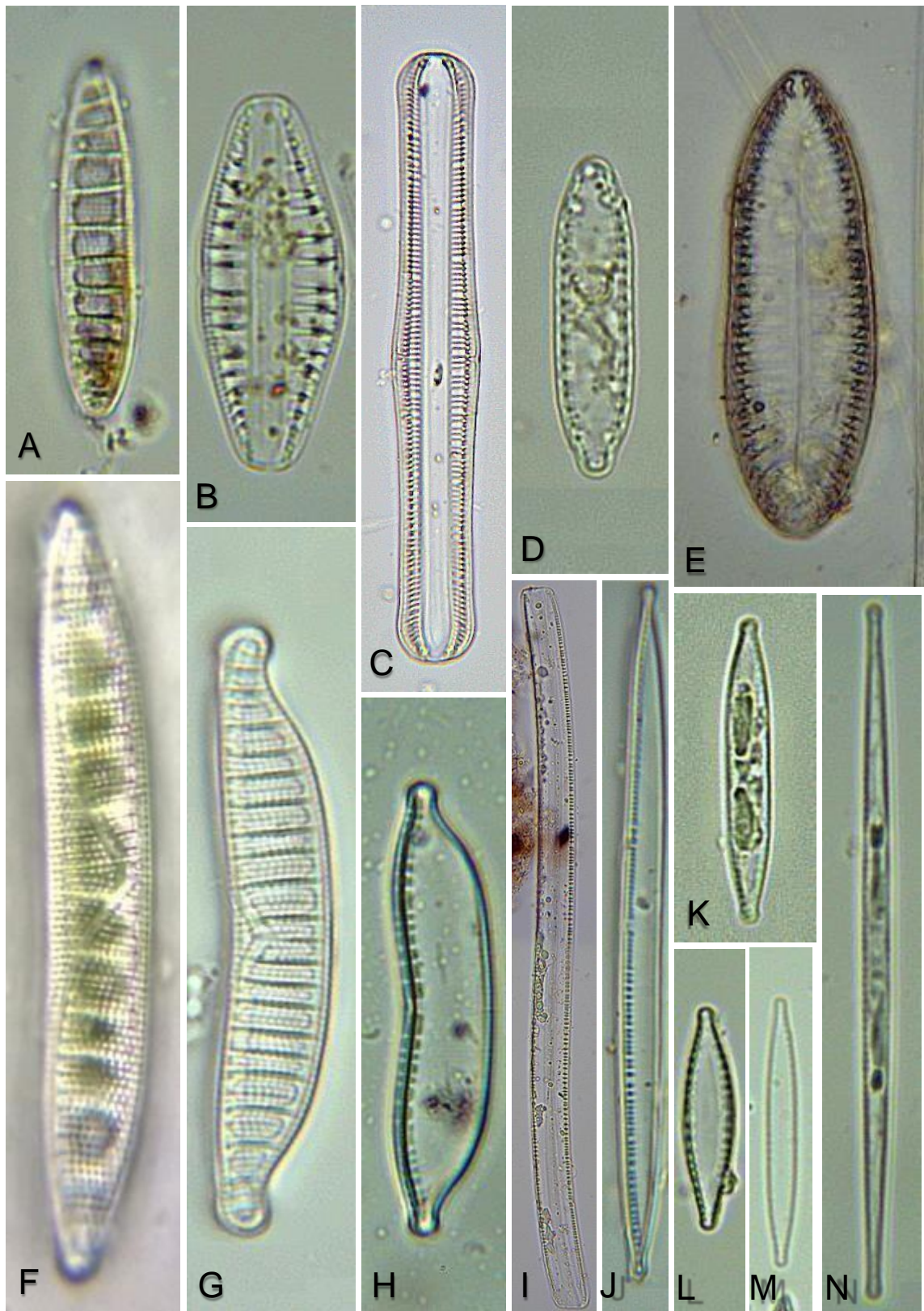


Lámina 14. **A:** *Denticula* sp.; **B:** *Rhopalodia* sp.; **C:** *Rhopalodia gibba*; **D:** *Surirella angusta*; **E:** *Surirella robusta*; **F:** *Epithemia argus*; **G:** *Epithemia turgida*; **H:** *Hantzschia amphioxys*; **I:** *Nitzschia sigmoidea*; **J:** *Nitzschia linearis*; **K:** *Nitzschia palea*; **L:** *Nitzschia fonticola*; **M:** *Nitzschia* sp.; **N:** *Nitzschia* sp. 1



Lámina 15. **A:** *Cilindrocystis* sp.; **B:** *Actinotaenium* sp.; **C:** *Netrium* sp.; **D:** *Gonatozygon* sp.; **E:** *Closterium acerosum*; **F:** *Closterium setaceum*; **G:** *Closterium leibleinii*; **H:** *Closterium praelongum*; **I:** *Closterium subulatum*; **J:** *Closterium aciculare*; **K:** *Closterium moniliferum*; **L:** *Closterium cynthia*

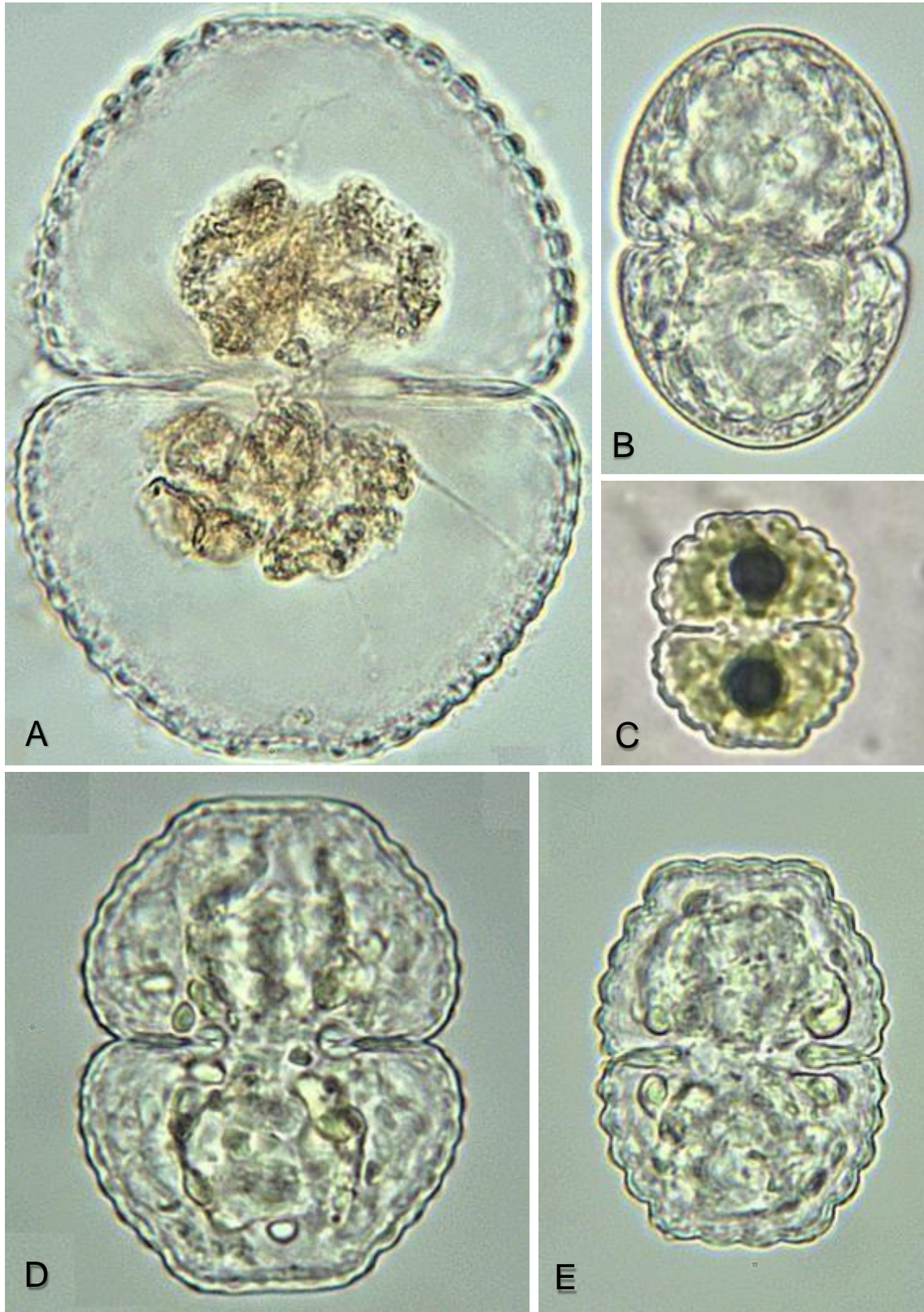


Lámina 16. **A:** *Cosmarium botrytis*; **B:** *Cosmarium microsphinctum*; **C:** *Cosmarium subprotumidum*; **D:** *Cosmarium sportella*; **E:** *Cosmarium hexalobum*



Lámina 17. **A:** *Cosmarium pachydermum*; **B:** *Cosmarium ochthodes*; **C:** *Cosmarium nymannianum*; **D:** *Cosmarium obtusatum*; **E:** *Cosmarium quadratum*

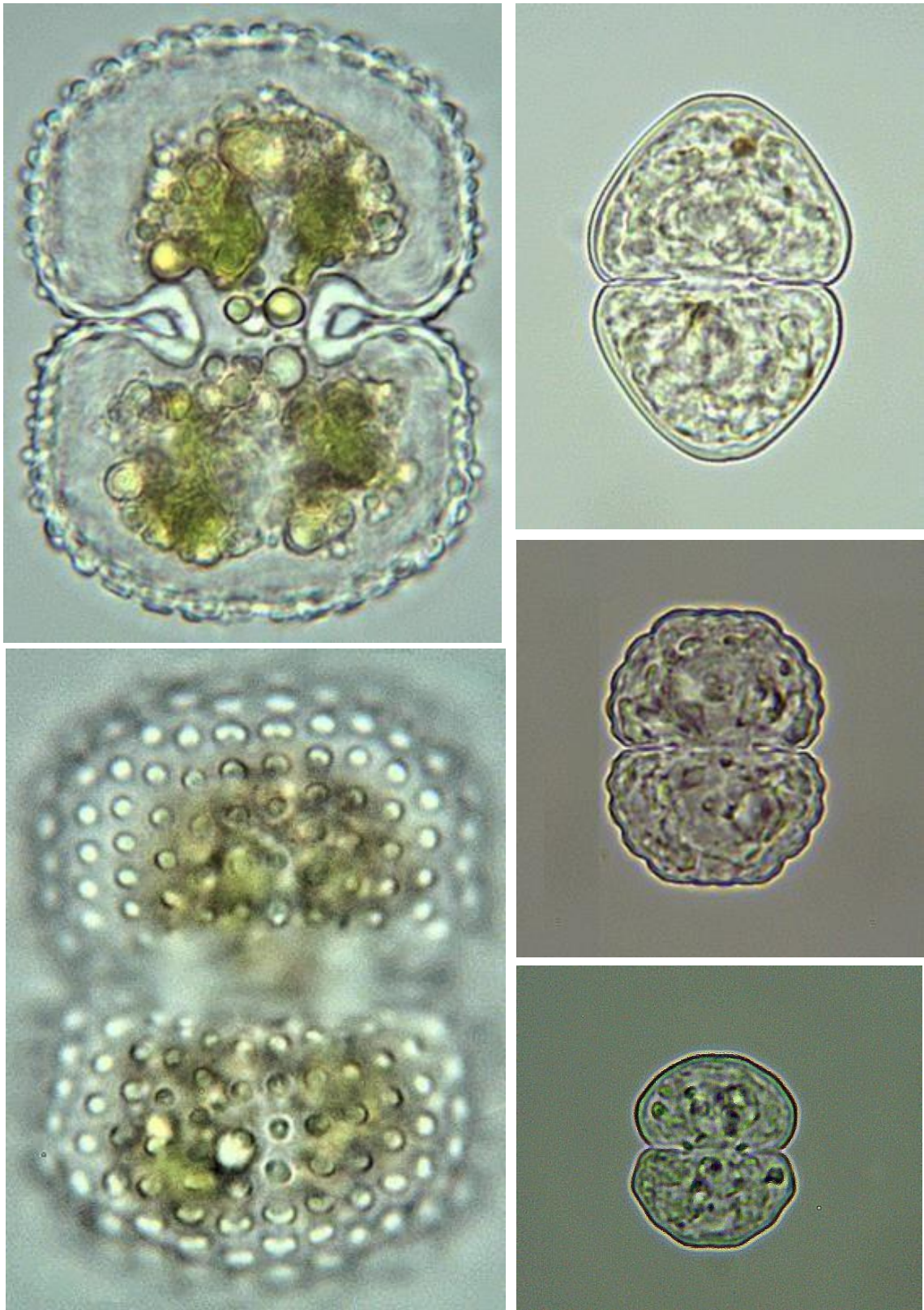


Lámina 18. A, B: *Cosmarium conspersum*; C: *Cosmarium granatum*; D: *Cosmarium subcostatum*; E: *Cosmarium* sp. 2

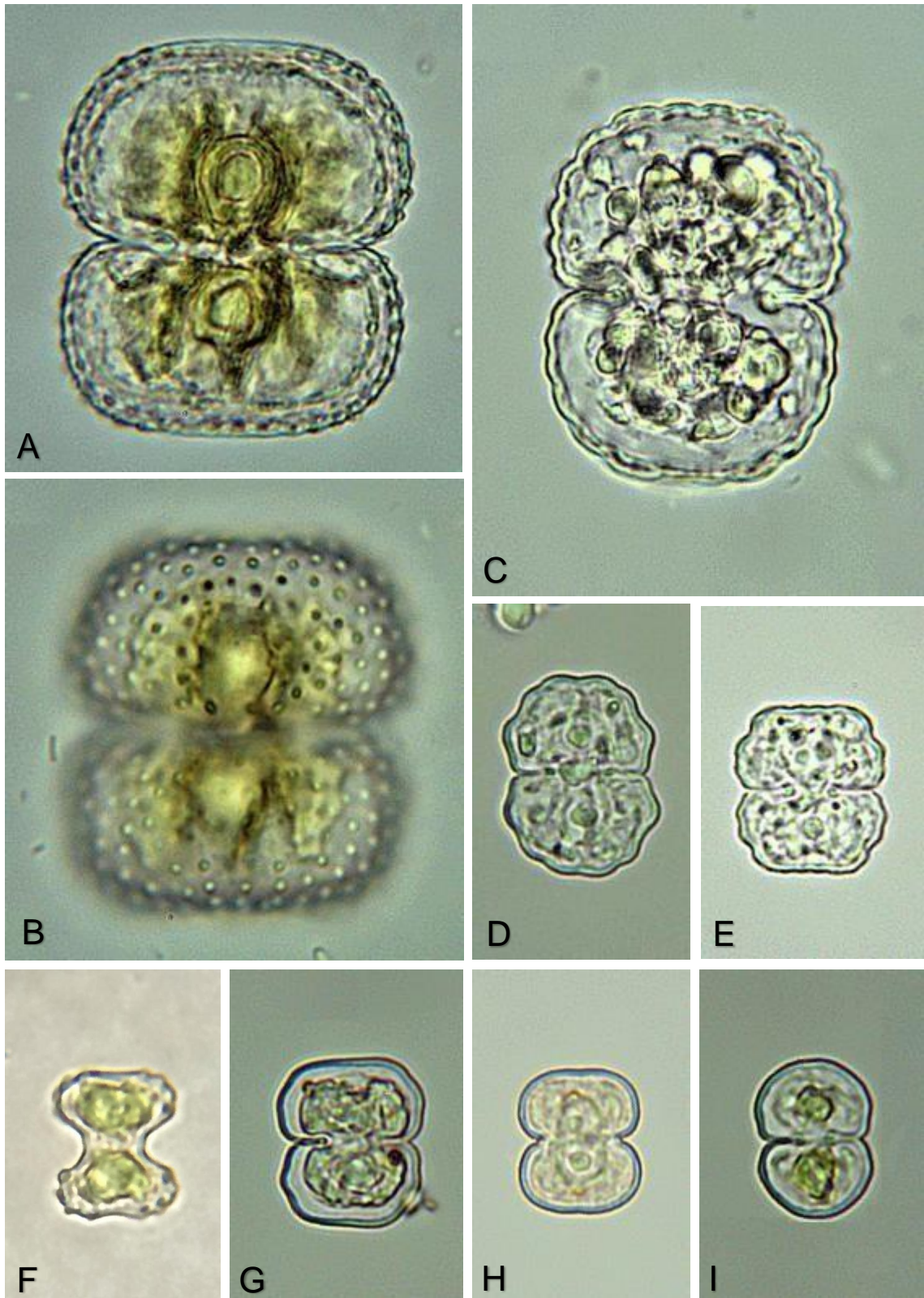


Lámina 19. **A, B:** *Cosmarium punctulatum*; **C:** *Cosmarium subcrenatum*; **D:** *Cosmarium impressulum*; **E:** *Cosmarium humile*; **F:** *Cosmarium regnesi*; **G:** *Cosmarium regnelli*; **H:** *Cosmarium* sp.; **I:** *Cosmarium* sp. 1

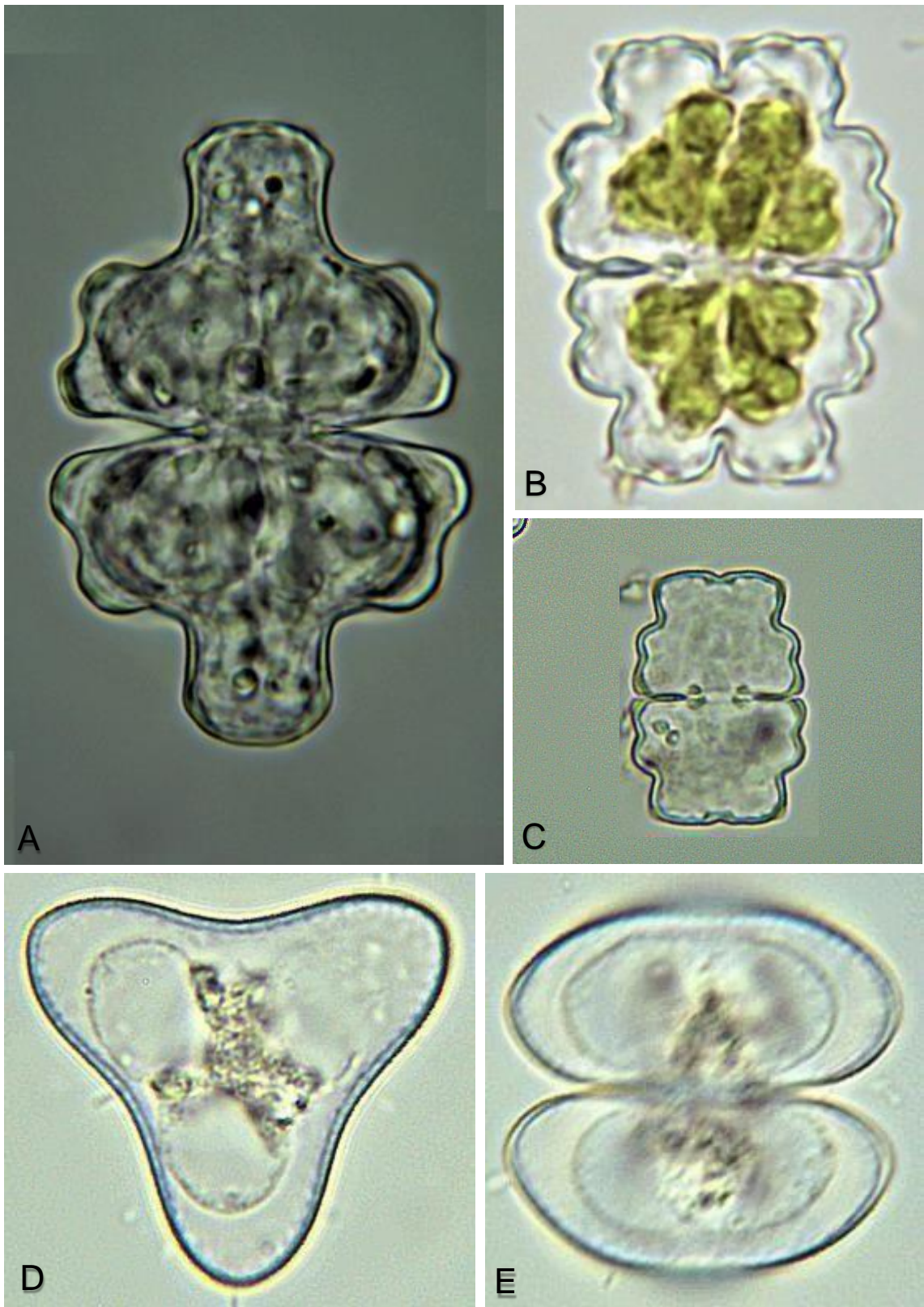


Lámina 20. **A:** *Euastrum attenuatum*; **B:** *Euastrum denticulatum*; **C:** *Euastrum lacustre*; **D, E:** *Staurastrum bieneanum*

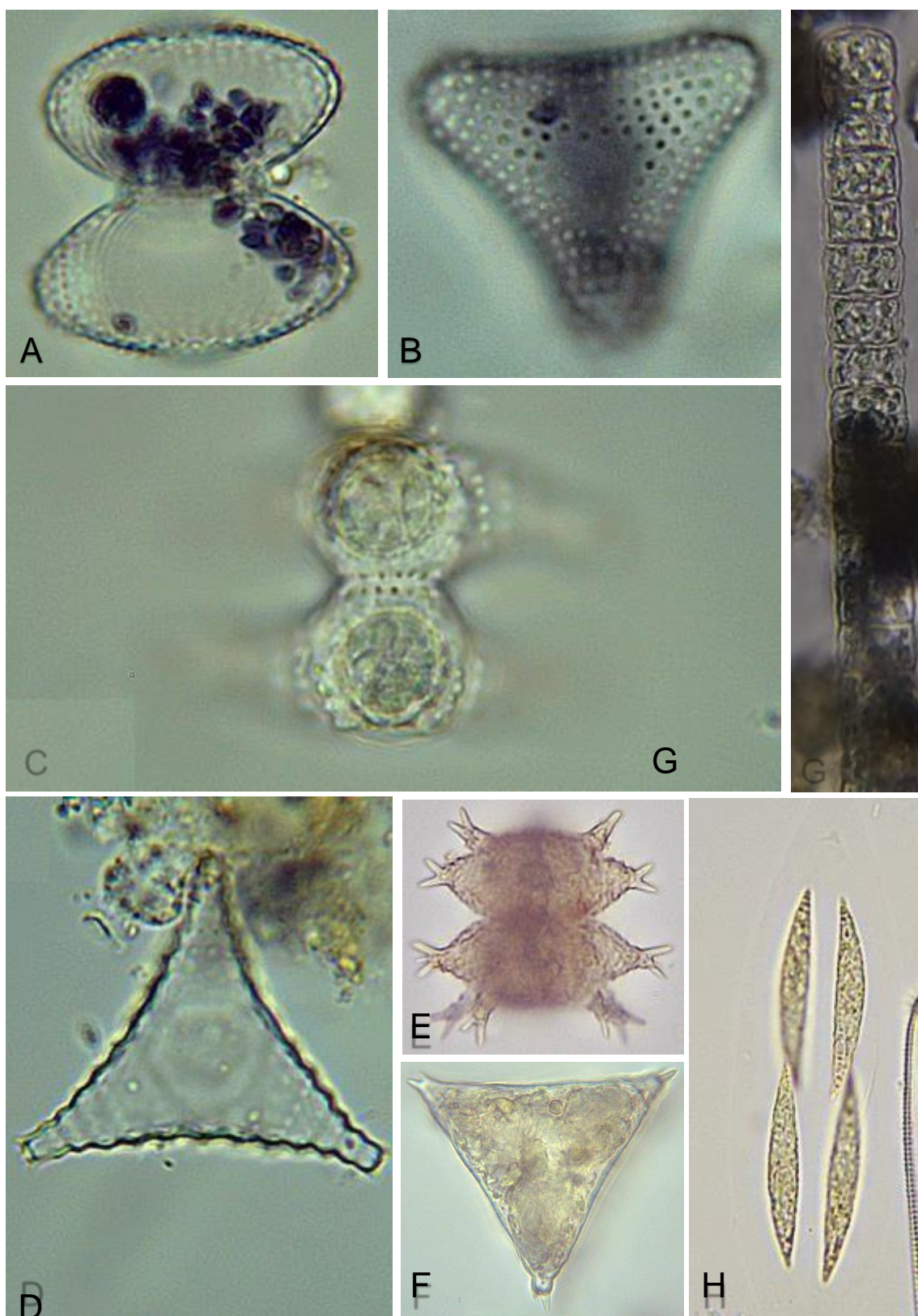


Lámina 21. **A, B:** *Staurastrum punctulatum*; **C, D:** *Staurastrum* sp.; **E, F:** *Staurastrum forcigerum*; **G:** *Hyalotheca* sp.; **H:** *Elakatothrix* sp.

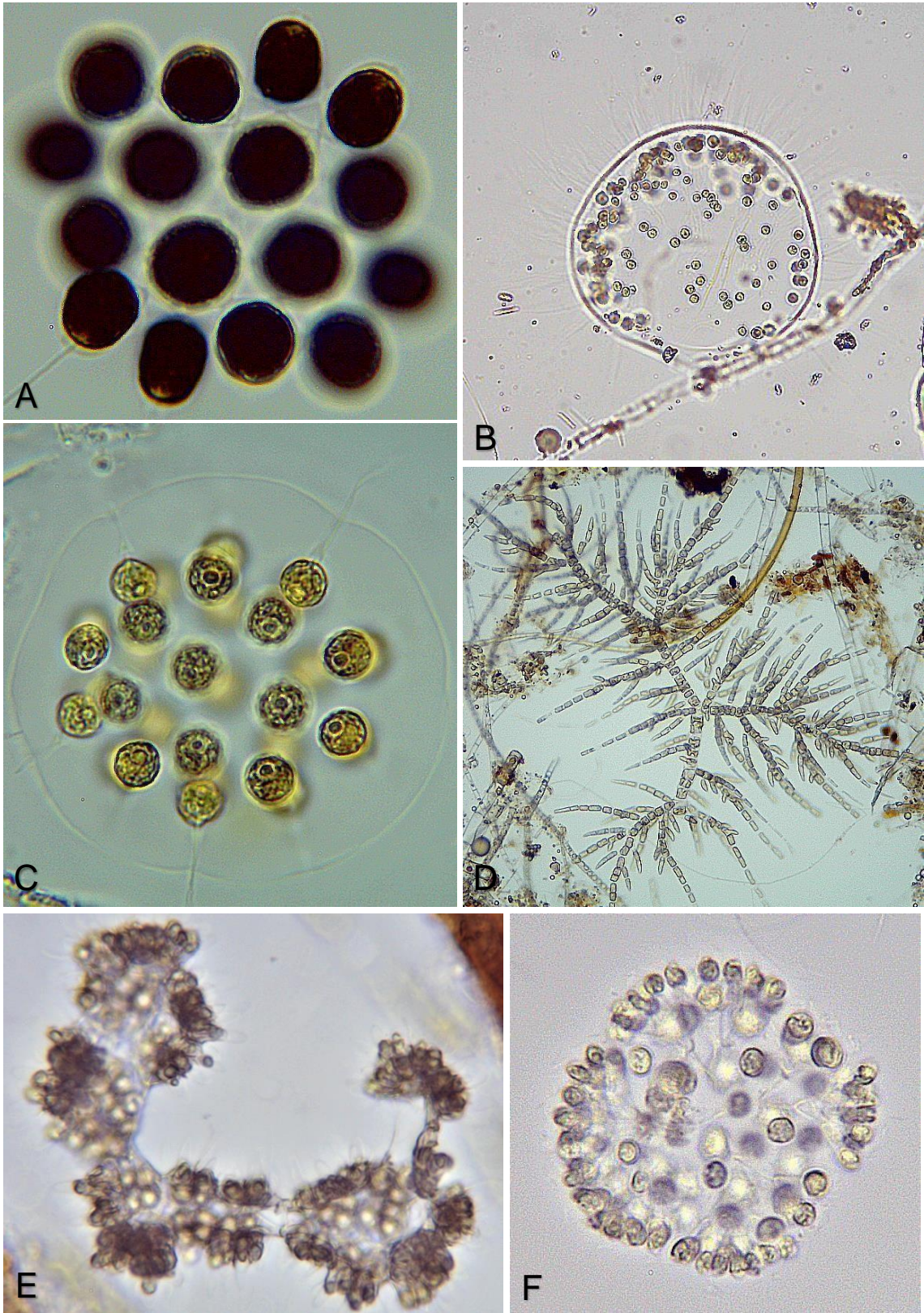


Lámina 22. **A:** *Gonium* sp.; **B:** *Apicystis* sp.; **C:** *Eudorina* sp.; **D:** *Stigeoclonium* sp.; **E:** *Botryococcus* sp.; **F:** *Dictyosphaerium* sp.

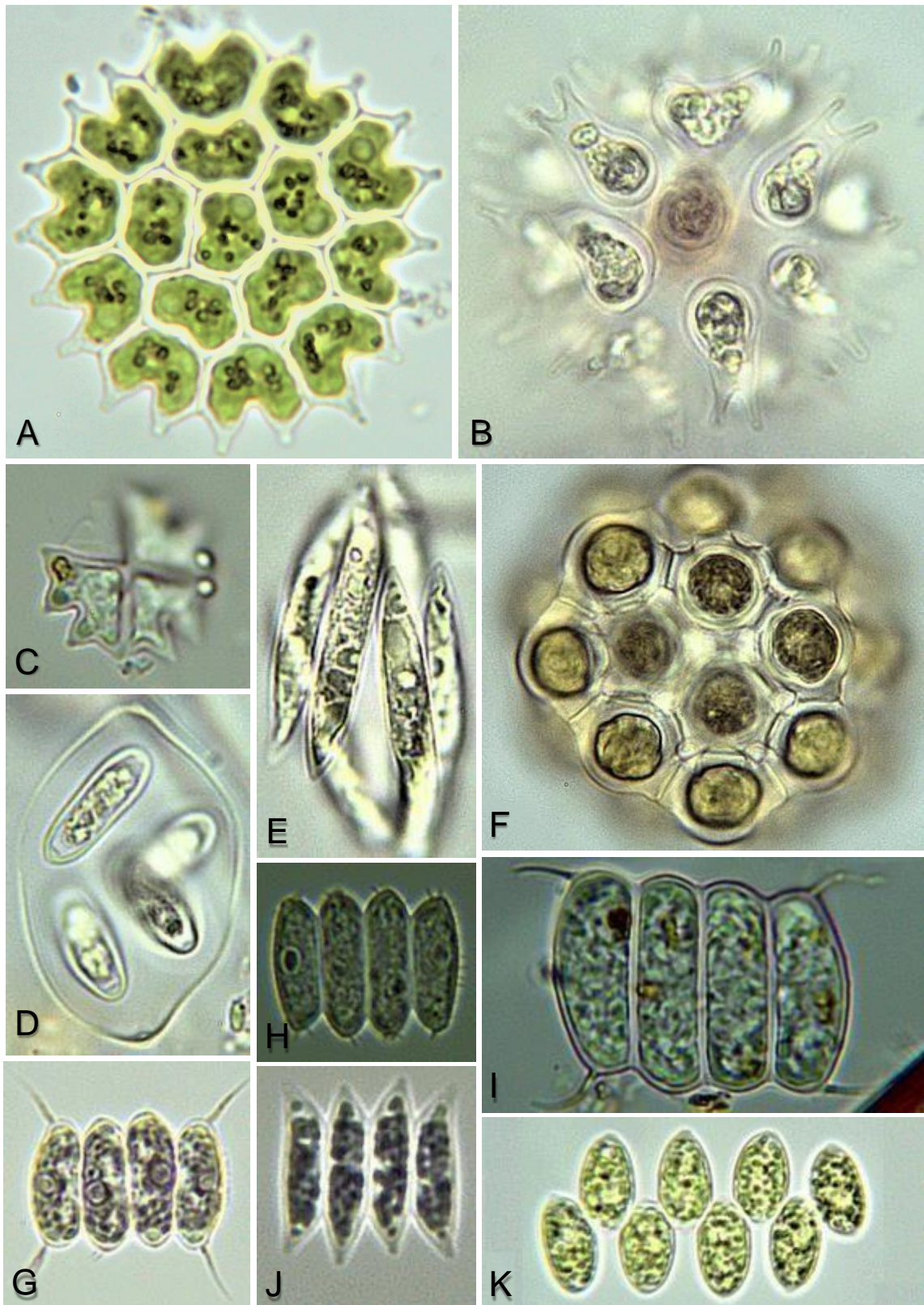


Lámina 23. **A:** *Pseudopediastrum boryanum*; **B:** *Sorastrum* sp.; **C:** *Stauridium* tetras; **D:** *Oocystis* sp.; **E:** *Quadrigula* sp.; **F:** *Coelastrum* sp.; **G:** *Desmodesmus* sp.; **H:** *Desmodesmus* sp. 1; **I:** *Desmodesmus* sp. 2; **J:** *Acutodesmus* sp.; **K:** *Scenedesmus* sp.



Lámina 24. **A, B:** *Durinskia* sp.; **C:** *Synura* sp.; **D:** *Dinobryon* sp.; **E:** *Cryptomonas* sp.; **F, G:** *Parvodinium* sp.; **H:** *Ophiocytium* sp.