



Universidad de Chile
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Escuela de Geografía

Memoria para optar al título profesional de geógrafo

Acercamiento Geo-arqueológico con diatomeas fósiles en el contexto agro-arqueológico de Pampa Iluga, Quebrada de Tarapacá.

Luciano Duhalde Correa

Profesor Guía:

Pablo Sarricolea Espinoza

Profesionales Co-Guía:

Antonio Maldonado Castro

Santiago, agosto de 2020

Agradecimientos

La realización de esta memoria fue posible gracias al docente y arqueólogo Mauricio Uribe, quien me dio la posibilidad de participar en el proyecto FONDECYT n° 1181829, lo que ha significado un mundo de cosas nuevas en mi vida y mis intereses a futuro. Así también, al biólogo Antonio Maldonado, quien me guió y aterrizó cada vez que yo andaba en las nubes y cada vez que pedí su consejo durante este proceso, además de darme su apoyo en introducirme en el mundo de las diatomeas. Así mismo, a Leonardo Villacis por ayudarme con sus conocimientos en esta materia y por sus recomendaciones.

A Carolina Díaz por permitirme procesar muestras de suelo en el laboratorio de la consultora ambiental Amakaik y por sobre todo a Damaris Méndez, quien con mucha paciencia y buena voluntad me ayudó con el procesamiento químico de mis muestras.

A la gente que conocí a lo largo de mi proceso universitario, en especial a quienes fueron mis compañerxs de generación, a la hermosa gente del Rayo Vayacaño y por sobre todo a mis queridxs Claudio Valenzuela, Joaquín Rojas, Mauricio Arenas y Ruth Acuña.

A mi papá Ariel y mi mamá Eugenia, a quienes les estaré eternamente agradecido por todo lo que han hecho por mí y mis hermanes. A mi hermano Nicolás y mi hermana Catalina, por todo su apoyo. Y por supuesto que a mi hermanito y amigo Lucas, por su compañía y alegrarme la vida cada día y noche que hemos vivido juntos. A Constanza, por su compañía en los últimos años y por alentarme a seguir este camino.

A mis amistades del colegio. Gracias.

A la revuelta de octubre de 2019, a la gente que lucha por un Chile más justo y a todxs los compañeros y compañeras que perdieron la vida a manos del estado de Chile desde el 18 de octubre, así como a sus familiares y amistades, quienes hoy sufren su ausencia. A ellxs.

“Qué hambre tener, que Libertad Os una.

Os una en la memoria del ultraje.

Os rememore y os despierte al vuelo.

Os calce el corazón con los corajes.

Os arremeta sin parar la estancia,

oscura en que bebéis la injuria y su brebaje.”

Palimpsesto

P. Manns, H.Salinas

Tabla de contenido

Capítulo I - Presentación	5
Resumen	5
Introducción.....	5
Planteamiento del problema.....	7
Objetivos	8
Objetivo general.....	8
Objetivos específicos	8
Estado del asunto	9
Las diatomeas	9
Ecología de las diatomeas.....	12
Las diatomeas y su uso como bioindicador.....	14
Otras aplicaciones	16
Geoarqueología.....	18
Geografía y diatomeas.....	21
Estudios diatomológicos	23
Justificación del Área de estudio	25
Capitulo II - Metodología.....	27
Pasos metodológicos	27
Muestreo e identificación de diatomeas fósiles.....	28
Clasificación y caracterización de diatomeas	30
Capitulo III - Resultados.....	31
Resultados I objetivo	31
Descripción de los puntos de muestreo	32
Clasificación de los géneros hallados según el punto y nivel de muestreo.....	36
Resultados II objetivo	38
Características y especificaciones de cada género hallado	38
Fotos de los géneros hallados y referenciales para su comparación	43
Resultados III objetivo	58
Discusión	61
Conclusiones.....	62
Bibliografía.....	63

Índice de figuras

Figura 1: Eras geológicas y origen de las diatomeas.....	10
Figura 2: Estructura típica de una diatomea.....	11
Figura 3: Cartografía del área de estudio.....	25
Figura 4: Primer método de extracción de muestras (pedón).....	29
Figura 5: Segundo método de extracción de muestras (Calicata).....	29
Figura 6: Vista general del sitio.....	31
Figura 7: Cartografía con puntos de muestreo.....	31
Figura 8: Tabla de clasificación de los géneros hallados, según punto y nivel de muestreo.....	38
Figura 9: Achnanthes.....	43
Figura 10: Referencias Achnanthes.....	43
Figura 11: Achnanthidium.....	44
Figura 12: Referencias Achnanthidium.....	44
Figura 13: Amphora.....	44
Figura 14: Referencias Amphora.....	45
Figura 15: Cocconeis.....	45
Figura 16: Referencias Cocconeis.....	46
Figura 17: Craticula.....	46
Figura 18: Referencias Craticula.....	47
Figura 19: Cyclotella.....	47
Figura 20: Referencias Cyclotella.....	48
Figura 21: Cymbella.....	48
Figura 22: Referencias Cymbella.....	48
Figura 23: Denticula.....	49
Figura 24: Referencias Denticula.....	49
Figura 25: Epithemia.....	50
Figura 26: Referencias Epithemia.....	50
Figura 27: Referencias Fragilaria.....	51
Figura 28: Navicula.....	51
Figura 29: Referencias Navicula.....	51
Figura 30: Nitzschia.....	52
Figura 31: Referencias Nitzschia.....	52
Figura 32: Planothidium.....	53
Figura 33: Referencias Planothidium.....	53
Figura 34: Rhopalodia.....	54
Figura 35: Referencias Rhopalodia.....	54
Figura 36: Stenopterobia.....	55
Figura 37: Referencias Stenopterobia.....	55
Figura 38: Surirella.....	56
Figura 39: Referencias Surirella.....	56
Figura 40: Synedra.....	57
Figura 41: Referencias Synedra.....	57

Capítulo I - Presentación

Resumen

Se busca reconstruir las prácticas antrópicas del Sitio de Pampa Iluga, así como de fluctuaciones del clima y el comportamiento medioambiental de un territorio agreste y árido, enmarcado en la Pampa del Tamarugal y aledaño a una serie de quebradas que agrietan el panorama general de esta zona. El que además, se constituye como un enorme asentamiento humano que logró desarrollarse durante el pasado en este sector de la Pampa, aparentemente a expensas de los cursos de agua que bajaban desde la Quebrada de Tarapacá, logrando consagrar un complejo sistema agrícola de gran escala del que actualmente solo quedan vestigios que pueden ser de gran importancia para reconstruir la historia (o prehistoria) indígena del norte del país. De esta manera, se propone un trabajo exploratorio con el fin de estudiar los géneros de diatomeas fósiles presentes en las estructuras antrópicas que aparentan uso agrícola en el sitio de Pampa Iluga, entendiendo que la presencia, biodiversidad y ecología propia de cada género, entregarían información respecto a la existencia de agua durante algún tiempo pasado y condiciones más específicas respecto del tipo de agua, como si fue de flujo o estancada, o si poseía algún nivel de disponibilidad de nutrientes. Dando resultados positivos para confirmar la presencia de agua durante el pasado en distintos ambientes del sitio, evidenciando diferentes dinámicas para los diversos ambientes muestreados a lo largo del sitio.

Introducción

El proyecto FONDECYT REGULAR 1181829: “Monumentos arqueológicos y memorias materiales: historias andinas de larga duración en Pampa Iluga, Tarapacá (900 AC-1600 DC)”, estudia detalladamente un enorme sitio arqueológico, enmarcado en el sector de Pampa Iluga (también conocida como Pampa O'Brien), el que se constituye como uno de los descubrimientos arqueológicos más grandes del último tiempo en el Norte Grande de Chile. Un asentamiento enmarcado en un área de 32 hectáreas aproximadamente, las que corresponden a un extenso complejo productivo-ceremonial al Este del poblado de Huara, Región de Tarapacá. El interés principal del proyecto se basa en reconstruir su larga historia ocupacional, la cual comprende una ocupación de aproximadamente 2.000 años, así como entender elementos como la complejidad y monumentalidad presente en el sitio, sus continuidades o discontinuidades a nivel social y ambiental. Su aporte a la comprensión del pasado pampino, así como también explicar de qué manera se ha visto afectada la memoria colectiva local respecto a la gran cantidad de sitios arqueológicos repartidos a lo largo de la región.

La inclusión de aristas relacionadas al medioambiente en estudios arqueológicos se conforma como un complemento para comprender cómo el territorio pudo haber condicionado y posibilitado el desarrollo de culturas en un paisaje que actualmente carece de asentamientos y actividades humanas. Por lo que es de suma importancia llevar a cabo un análisis interdisciplinario en este tipo de investigaciones, ya que de esta

manera es posible comprender de mejor manera la historia social y ambiental de un territorio.

Ramas de las ciencias de la tierra que asoman como complemento a los estudios arqueológicos son, por ejemplo, la biología, paleoclimatología, paleolimnología, palinología, zooarqueología, geología y una serie de ciencias y disciplinas relacionadas. Estas, en su conjunto, podrían llevar a cabo estudios relacionados a las condiciones ambientales del pasado (o paleoambientales) en un territorio determinado, inferir acerca, por ejemplo, de los tipos de dietas alimenticias de los pueblos originarios e identificar prácticas agrícolas y ganaderas.

Para esto, en el ámbito interdisciplinario de la arqueología se utilizan distintos proxies a investigar, los que en su conjunto al ser contrastados permiten graficar y elaborar modelos descriptivos sobre las condiciones paleoambientales de un área en específico. Algunos de estos proxies pueden ser el polen (Belmar et al. 2016), diatomeas (Lynch et al. 2015), fitolitos (Carrasco et al. 2017), ostrácodos (Martínez-García et al. 2015), gastrópodos (Navarro et al. 2012), coprolitos (Velázquez et al. 2010), los que tanto en su conjunto como por separado pueden colaborar con la labor interdisciplinaria de la arqueología (Grana et al. 2016; Tchilinguirian et al. 2018), incluyendo también análisis sedimentológicos de las respectivas áreas de estudio.

En zonas áridas se han llevado a cabo estudios complementados con análisis de microalgas como las diatomeas, que han investigado las condiciones paleoambientales, por ejemplo, en ambientes lacustres (Chungará en 2008 (Hernández et al. 2008), Antofagasta de la Sierra en 2014 (Grana et al. 2014)), también en cuevas y sitios al estudiar las alteraciones en piezas arqueológicas como lascas y núcleos, producto de las variaciones de humedad (Cueva Maripe en 2015 (Lynch et al. 2015)). Constituyéndose como un eficaz bioindicador de las condiciones actuales del medioambiente y que puede ser utilizado como proxy en los estudios paleoambientales gracias a los vestigios físicos (fósiles) que este tipo de microalgas deja en lugares que pudieron ser su hábitat en un determinado momento.

Con base en lo anterior, el estudio paleoambiental de sitios arqueológicos y sus alrededores a través de este grupo de microalgas, se puede constituir como un aporte a la reconstrucción social y ambiental del lugar, ya que las variaciones climáticas expresadas hacia mayor humedad o sequía pudieron condicionar la vida y el desarrollo de quienes habitaron este territorio, ya que son muy relevantes bajo las condiciones ambientales del Desierto. Así como a la contribución de un campo investigativo poco desarrollado en geografía para fomentar la labor interdisciplinaria de la rama de geoarqueología, o bien de la biogeografía, enfocándose también en la indagación de maneras (o posibles patrones) de distribución espacial de diatomeas en un territorio determinado como el Desierto de Atacama.

Planteamiento del problema

El proyecto en el cual se enmarca este trabajo tiene como objeto reconstruir la historia del sitio de Pampa Iluga, para este objeto es necesario indagar en el ámbito de las actividades humanas que se lograron desarrollar en el territorio desértico de la pampa. Así también, se vuelve vital intentar entender o aproximarse a entender de qué manera el medio ambiente pudo condicionar la existencia de asentamientos humanos en esta zona. Sin embargo, ante la falta de información paleoambiental / paleoclimatológica disponible para esta zona en específico y con motivo de aportar al propósito del proyecto, es necesario generar información relevante sobre las dinámicas medioambientales de este territorio durante su ocupación. En ese sentido, el uso de bioindicadores (o indicadores biológicos) puede constituirse como una buena herramienta para comprender las condiciones medioambientales de un territorio como, por ejemplo, pueden ser la flora y la fauna, y sus restos fosilizados, tanto a nivel macro como microscópico (Grana, 2018).

Uno de los tantos bioindicadores utilizados en las ciencias de la tierra son las diatomeas (Bacillariophyceae), las que presentan una alta efectividad en estudios ambientales debido a la alta sensibilidad de éstas al percibir cambios en el medioambiente y a la especificidad de las condiciones necesarias para el desarrollo de cada especie de diatomea. Además, debido a la composición anatómica de las diatomeas con la presencia de una pared celular única compuesta de sílice y conocida como frústula, este grupo de microalgas posee la cualidad de dejar rastro fósil en el sedimento o superficie en que se hallan adheridas. Posibilitando la extracción de muestras y posterior identificación y análisis de especies que habitaron un área de estudio en específico.

En ese sentido, teniendo en cuenta la sensibilidad de las diatomeas antes los cambios medioambientales, la presencia o ausencia de éstas, además de las características propias de los géneros existentes para este tipo de microalgas, podrían ayudar a inferir acerca de las actividades o del uso del suelo en los distintos puntos muestreados a lo largo del sitio.

De esta manera, se plantea un estudio exploratorio de diatomeas fósiles dentro del área de ocupación humana en Pampa Iluga. El cual consiste en reconocer la presencia (o ausencia) de diatomeas en sedimentos muestreados en distintas estructuras antrópicas repartidas dentro del sitio. Además de la identificación de los individuos enfrascados en las muestras al nivel taxonómico de género.

La diversidad de géneros será descrita a nivel singular de cada género, caracterizando las condiciones o requerimientos ambientales de los individuos muestreados, como también el conjunto de los distintos géneros de diatomeas presentes dentro de un mismo punto y nivel de muestreo.

Luego, tomando en cuenta los diferentes ambientes en los que estaban situados los individuos fósiles y la diversidad de éstos en cada sector analizado, intentaremos vincular la presencia de los distintos géneros con el ambiente en que fueron encontrados. Lo cual, podría darnos información acerca de si hubo o no presencia de agua en el punto muestreado y si éstas pertenecían a aguas de escorrentía o a una

acumulación de agua. Aquello, teniendo en cuenta que existen géneros de diatomeas que se desarrollan exclusivamente tanto en ambientes lénticos como lóticos. De esta manera, desde la aseveración del tipo de cuerpo de agua al que corresponde la muestra, podremos inferir o al menos a tener un acercamiento sobre el tipo de uso que pudo haber tenido el lugar (estructura antrópica) de donde fue extraída la muestra.

La intención exploratoria de este trabajo radica en que existe una escasez de estudios llevados a cabo en estudios arqueológicos y particularmente en sistemas agrícolas, por lo que gran parte de los pasos metodológicos desarrollados para esta investigación fueron experimentales. Además de no hallar estudios previos desarrollados desde la geografía ni la geoarqueología para el trabajo con diatomeas en el norte de Chile como un indicador de paleoambiente para inferir acerca de los usos de suelo de lugares específicos del territorio.

También se intentará desarrollar una labor multidisciplinaria al describir elementos biológicos contextualizados en un sitio arqueológico. Teniendo en cuenta que estas microalgas son, junto a otros *proxies*, muy utilizadas en estudios paleo-limnológicos, paleo-climatológicos y paleo-ambientales a lo largo del planeta, los que pueden ser elementos importantes a conocer para los estudios arqueológicos. De esta manera, es posible tener una mirada más holística de un territorio en cuanto a sus condiciones ambientales pasadas debido a la buena fuente de información que significa analizar diatomeas. Así también, fomentar (intrínsecamente) la idea de que las diatomeas pueden ser una herramienta útil para ayudar a comprobar de manera empírica la ocurrencia de fenómenos naturales y actividades antrópicas que puedan ser parte de una problemática geográfica.

Objetivos

Objetivo general

- Aportar conocimiento acerca de las diatomeas fósiles que en un tiempo pasado habitaron el sitio de Pampa Iluga, como contribución a la reconstrucción general de las dinámicas antrópicas y medioambientales del sitio.

Objetivos específicos

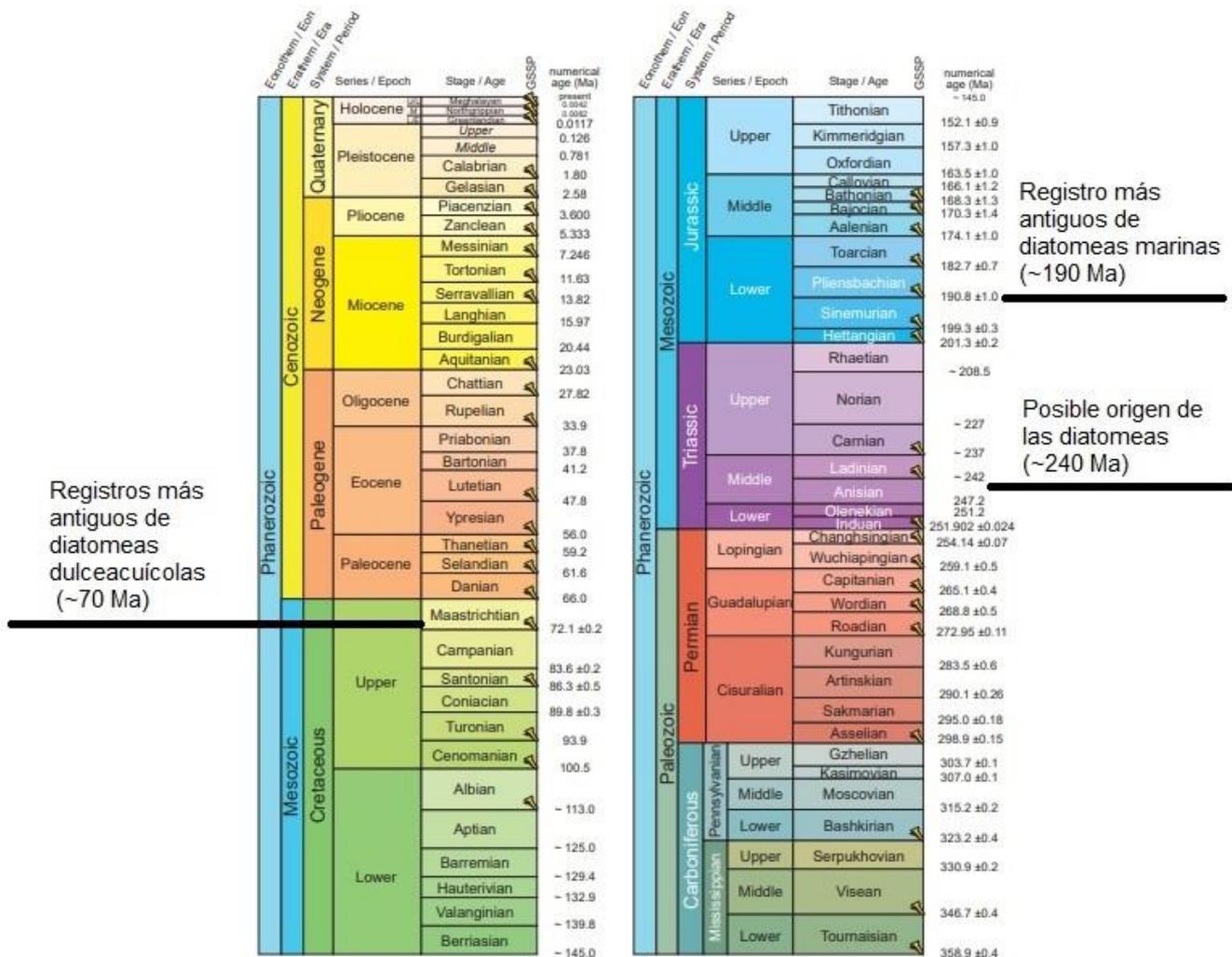
- Describir los puntos muestreados a lo largo del sitio y reconocer la presencia o ausencia de diatomeas en cada uno de estos.
- Clasificar los ejemplares de diatomeas registrados en cada punto y nivel de muestreo y caracterizar cada uno de los diversos géneros hallados en el sitio.
- Relacionar la diversidad de diatomeas en cada punto, teniendo en cuenta los rasgos ecológicos principales de cada género, con la presencia de estos individuos en las diferentes estructuras muestreadas y el posible uso que éstas hayan tenido en el pasado.

Estado del asunto

Las diatomeas

Las Bacillariophyta, más comúnmente conocidas por el nombre de diatomeas, son organismos microscópicos Eucariontes y unicelulares de amplia diversidad biológica, fisiológica y de gran abundancia a lo largo y ancho del planeta (Werner, 1977). Su tamaño puede variar entre más o menos 10 y 800 μm (0.01 a 0.8 mm). Por lo que, considerando su tamaño y el hecho de que son organismos acuáticos y fotosintéticos, son generalmente consideradas como microalgas.

Las diatomeas son importantes productores primarios (sobre todo marinos) y tienen un amplio registro fósil desde el Cretácico inferior (Harwood & Gersonde, 1990), aunque muchas veces su origen se remonta al Jurásico ya que los fósiles más antiguos generalmente aceptados como diatomeas son de ~190 Ma. Incluso, se ha investigado su existencia desde mucho antes, llegando incluso al Triásico, ya que por métodos moleculares, como el reloj molecular (que deduce el tiempo pasado a través del ADN) se estima hasta un máximo probable, para el origen de este grupo, de 240 Ma (Medlin et al., 1997).



Fuente: Elaboración propia, basado en la cronoestratigrafía internacional (Cohen et al. 2013)

Figura 1: Eras geológicas y origen de las diatomeas.

Estas microalgas tienen su origen en el mar, las especies dulceacuícolas comienzan a desarrollarse de manera tardía, aproximadamente desde el Cretácico superior (~70 Ma). Las evidencias más antiguas de diatomeas dulceacuícolas se encuentran en los sedimentos de la Formación Tarahumara, en Sonora (México) (Beraldi-Campesi & Cevallos-Ferriz, 2005). Posteriormente, entre el Eoceno y el Mioceno (55 Ma – 23 Ma), se diversificaron y nacieron gran parte de las especies dulceacuícolas estudiadas actualmente. Evidencia cercana de estas microalgas son las halladas en Río Negro, en la zona Austral-Patagónica de Argentina, pertenecientes al Eoceno medio (González et al., 2012).

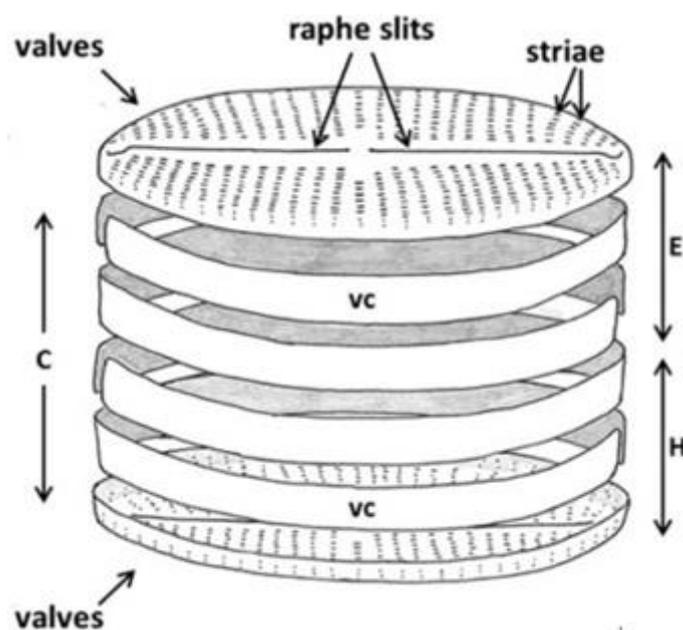


Figura 2: Estructura típica de una diatomea.

Como ya se mencionó anteriormente, las diatomeas poseen un rasgo distintivo al resto de microalgas, ya que sus células poseen una cubierta silíceo (sílice (SiO_2); componente básico de las rocas ígneas (Tarbuck & Lutgens, 2005)) resistente a los procesos de degradación llamado frústulo, que está compuesto por dos valvas y una serie de “bandas o estrías” que unen ambas valvas que hacen conexión entre ambas valvas. Además, algunas de estas especies poseen un rafe, por el que liberan un mucílago (viscosidad) que les permite adherirse a una superficie y en algunos casos y producto también de las condiciones del medio (como flujos de agua), desplazarse por ésta.

Las diferentes formas y ornamentaciones de ambas valvas permiten diferenciar a la amplia diversidad de especies que posee cada género y las variaciones de cada especie de diatomeas, ya que éstas son muy específicas en cuanto a las condiciones que propician su hábitat como nivel de pH, modo de vida (o life-form), nivel eutrófico, metales pesados presentes en el medio, entre otros. De esta manera, la presencia y abundancia de las especies permite utilizarlas como bioindicadores, asociándose a las secuencias estratigráficas y a otros elementos biológicos, tanto en ambientes continentales como costeros (o marinos), para lograr estimar sobre las condiciones ambientales del pasado (Battarbee, 1986; Stoermer & Smol, 2010).

Las formas de clasificación de diatomeas, como han establecido Round y colaboradores (1990), dividen estos microorganismos en grupos basándose en características como los rasgos de cada especie, la fisiología y morfología, así como la simetría de ornamentación de las valvas y la presencia o ausencia de rafe. Este último rasgo distintivo significa una gran utilidad para el conteo y clasificación de acuerdo con la escala evolutiva de especies y géneros de diatomeas.

Sin embargo, debido a la abundante cantidad de especies de diatomeas existentes en todo el planeta, tanto marinas como continentales, se hace muy complejo reconocer muchas veces una especie de otra por lo que es necesario tener un vasto conocimiento sobre ellas, tanto a nivel global como local, para poder ser capaces de analizar y diferenciar, desde la taxonomía propia de cada especie, las condiciones ambientales del pasado de un territorio. Aparte de las herramientas necesarias para desarrollar una correcta identificación y posterior análisis de los individuos muestreados.

Ecología de las diatomeas

Las diatomeas pueden desarrollarse tanto en aguas dulces como marinas, estancadas o de corriente, conformándose como un tipo de microalga que logra adaptarse a diferentes condiciones del medio. Son muy abundantes a nivel mundial, alcanzando posiblemente entre 30.000 y 100.000 especies (Mann & Vanormelingen, 2013), 200.000 según Mann & Droop (1996), y con unas 12.000 a 24.000 especies descritas (Stoermer & Smol, 2010). Consagrándose como un tipo de productor primario en la cadena trófica de muchos ecosistemas.

Éstas se presentan como organismos bentónicos (que se generan en el fondo de los ecosistemas acuáticos), planctónicos (organismos que flotan o viven en suspensión en aguas saladas o dulces), epífitos (que se desarrollan en plantas u otras algas) y epizoicos (que se desarrollan en animales, como el zooplancton) (Bellinger & Sigee, 2010). Para el caso de esta investigación y debido a la ubicación geográfica del área de estudio, los géneros hallados pertenecen a microalgas de tipo continentales.

De esta manera, Bellinger & Sigee (2010) establecen que las algas que habitan aguas dulces proporcionan dos tipos de información sobre la calidad de agua del medio en que se desarrollan:

- a) Información situacional del medio o status quo: Por ejemplo, en un lago templado la detección de un determinado tipo de alga como *Microcystis*, género perteneciente a las cianobacterias, lo que indica un alto contenido de nutrientes preexistente en este ambiente. Esto representa una manera de comprobar la calidad hídrica del cuerpo de agua, debido a que la presencia de estas cianobacterias contamina el agua potable y es un riesgo para la salud de la fauna en general, incluyendo al ser humano (Watanabe et. al, 1996). En diatomeas, la proliferación de biomasa algal del género *Pseudo-Nitzschia*, junto a otras algas como los dinoflagelados, son causantes del fenómeno de Marea Roja en las costas de Chile (Comisión Marea Roja, Gobierno de Chile, 2016) y también en otros países como Costa Rica (Vargas-Montero & Freer, 2004).
- b) Información de cambios ambientales: la detección de la variación de especies dominantes durante varios años, las cuales aumentan también la biomasa de algas, puede también indicar un cambio eutrófico en el agua. En el caso de lagos

que se han visto afectados por la actividad humana, la detección de ciertas especies puede ser utilizado como bioindicador del estado de salud de este lago. Para el caso de diatomeas, por ejemplo, hallar presencia de la especie *Didymosphenia germinata* en ambientes fluviales de los territorios australes y patagónicos de Argentina y Chile, significa un gran peligro para los microorganismos de los ecosistemas en que esta especie logre desarrollarse. Esto, debido a su carácter invasivo expresado en el aumento de biomasa algal, lo cual genera un estancamiento del flujo de sedimentos en ambientes fluviales, variando el pH y la disposición de nutrientes. Afectando a otras algas, insectos y microfauna en general y, por ende, a los peces que habiten el lugar donde ha llegado a desarrollarse el *Didymo* como especie introducida (Betancurt et. al, 2017).

Ejemplos como el anterior se ven marcados por un cambio en el nivel de nutrientes producido por la llegada de una especie introducida a un territorio determinado o porque su llegada generó algún cambio en la estructura, composición o cadena trófica del medio. Causando alteraciones en otras comunidades de microalgas, las que son precedidas por cambios bioquímicos y fisiológicos que son denominados “biomarcadores” (Bellinger & Sigee, 2010). Éstos se generan como una serie de respuestas que incluyen un daño en el ADN de estas especies y que son causadas como efecto de cambios en la biodiversidad, altas radiaciones UV, exposición a metales pesados, aumentos en la salinidad (shock osmótico); así también cambios en la estimulación de nitratos y nitrito reductasa, estimulación de transportadores de fosfatos y la reducción de la secreción de fosfatasa alcalina, afectando directamente en la secreción de proteínas de los microorganismos (Bellinger & Sigee, 2010). Debido a la rápida respuesta de los biomarcadores de estos organismos, es posible monitorear cambios ambientales, como la calidad de agua y la contaminación del agua o aire, constituyéndose el uso de estos biomarcadores como una ventaja de alta relevancia para la ecología de los ecosistemas. De esta manera, proporcionan una alternativa de evaluación tan precisa como las especies macrófitas, invertebrados (moluscos y crustáceos) y peces, e incluso son más sensibles que otros vegetales a factores de estrés más que a la presencia de otros organismos (Raju & Perumal, 2015).

Por otro lado, una cualidad de las diatomeas es que los medios con alta cantidad de nutrientes disponibles favorecen la proliferación de diferentes taxas, aumentando la biomasa de las comunidades algales. Actualmente, podemos asociar que muchas veces el aumento de nutrientes en ambientes hídricos posiblemente se deba a algún tipo de actividad antrópica (Stevenson, 2014), pero también por la ocurrencia de fenómenos naturales que generen modificaciones en el ámbito eutrófico del cuerpo de agua, como aluviones y erupciones volcánicas. Así también, el constante aumento de las temperaturas a nivel mundial puede favorecer el crecimiento de los ensambles de microorganismos (Rühland et. al, 2015).

Otra característica muy relevante de las diatomeas es su capacidad de generar oxígeno, alcanzando entre 20% al 25% de la producción primaria de oxígeno del planeta (Werner, 1977). Además, pese a ser un grupo de microalgas ubicua y muchas veces

cosmopolitas, éstas más bien desarrollan un rol pasivo en cuanto a su forma de dispersión espacial. Sin embargo, la cualidad microscópica de estos organismos facilita el transporte de los individuos por acción de los flujos de agua, el viento, a través del pelaje y las extremidades de los animales y mediante las actividades humanas, como la introducción de animales exóticos y el traslado de materias primas o simplemente el tráfico humano a lo largo del planeta (Kristiansen, 1996). Lo cual puede desatar situaciones como la dispersión de especies como la *Didymosphenia germinata*, especie que hoy se encuentra repartida a lo largo de todo el planeta, pero que originalmente pertenece a ambientes tanto costeros como continentales del hemisferio norte (Betancurt et. al, 2017).

Las diatomeas y su uso como bioindicador

Estas microalgas se han constituido en un claro indicador biológico, prueba evidente del medioambiente y de las condiciones químico-biológicas del cuerpo de agua que habitan (o habitaron), ya que su presencia provee de información del entorno físico y/o del estado eutrófico del medio ambiente relacionado un lugar en particular (Bellinger & Sigeo, 2010). Entendiendo el concepto bioindicador (o indicador biológico) como a las especies seleccionadas por su sensibilidad o tolerancia frente a una serie de parámetros. Odum (1973), define a los indicadores biológicos como la presencia de especies particulares debido a las condiciones de medios específicos. Por el contrario, la posterior ausencia de estas especies puede significar la alteración de las condiciones del medio. Es así como se propone el uso de bioindicadores como una herramienta para el estudio del medio y de los vestigios del medio en el pasado.

Para el caso de los estudios medioambientales cercanos al presente, las diatomeas se constituyen como una buena herramienta para el monitoreo de ecosistemas acuáticos. De hecho, en países del hemisferio norte, como EE. UU., se ha incluido a las diatomeas como parte de los elementos de monitoreo, junto a peces y especies de macroinvertebrados. También en países de Europa se utilizan, donde el monitoreo de aguas continentales incluye el análisis de fitoplancton, fitobentos y especies macrófitas (Kelly et al. 2016). La utilidad de estas microalgas radica en la manera en que las especies responden ante los cambios en el medio en que se desarrollan, entendiendo que dicha respuesta puede traducirse tanto de manera favorable como adversa. Por lo que existen mayormente dos posibles reacciones de estos microorganismos ante las alteraciones en su ecosistema (Stoermer & Smol, 2010):

- a) La sensibilidad ante éstos, marcada por la desaparición de ciertas taxas y la dificultad de reproducción por el aumento de algún factor de estrés. Así como alteraciones en la morfología de las valvas y la fisiología de las especies.

- b) La tolerancia frente a alteraciones, donde el incremento de factores de estrés en un medio no significa una afectación apreciable para la abundancia de alguna especie en específico.

De esta manera, las diatomeas no solo pueden jugar un rol importante en el análisis de variaciones climáticas recientes en áreas determinadas, sino también en la verificación de la respuesta de estas diatomeas a cambios generados por fenómenos naturales y actividades antrópicas en los diferentes medios en que puedan generarse, como erupciones volcánicas (Cruces et al. 2006), derrames de petróleo (De Faria et al. 2019), introducción de alguna especie exótica (Urrutia et al. 2000; Betancurt et al. 2017), contaminación de aguas por metales pesados (Chen et al. 2014; Morin et al. 2012; Pandey & Bergey, 2016; Tolotti et al. 2018), drenaje ácido de la minería (Luís et al. 2008; Schowe, 2012), contaminación por aguas residuales (Bahls, 1973; Tornés et al. 2018), uso de productos agrícolas (Bayona et al. 2014), etc.

También se consideran un buen indicador de las condiciones paleoambientales en los entornos que se desarrollan, ya que, debido a su cubierta silíceas que le permite resistir los procesos de disolución y, por tanto, preservarse por miles e incluso millones de años, constituyéndose como una evidencia biológica del pasado. Su distribución y variabilidad de especies depende de las variables medioambientales en que logran subsistir, tales como el nivel de humedad o sequía en el ambiente, salinidad del medio, pH, temperatura y composición iónica de una muestra de suelo o agua (Barron, 1993; Stoermer et al., 1995).

Lo anterior no descarta los análisis fisicoquímicos en los diferentes medios a estudiar, pero posiblemente el uso de bioindicadores puede simplificar (al menos en costo económico) los estudios medioambientales, en este sentido de que la prueba biológica es tangible y puede ser procesada y analizada desde el momento en que fue extraída, ya que la aplicación de las metodologías para los bioindicadores requiere principalmente de la identificación y cuantificación de los organismos, así también la abundancia y fenología de cada género o especie en cuestión. Conformándose como una herramienta bastante conveniente para el estudio ambiental en varios sentidos. Además, el análisis de diatomeas se utiliza como un proxy, dentro de un conjunto de elementos a estudiar con el fin de inferir sobre aspectos medioambientales.

Entendiendo proxy como: *“cualquier registro paleoambiental utilizado en la inferencia de eventos pasados y cuyo valor indicador se infiere a partir de una herramienta metódica basada en el análisis de relaciones observables en la actualidad. Así, la extracción de la señal paleoecológica de un proxy data requiere de una calibración en función del análogo moderno”* (Bates & Jackson, 1984)

Generalmente, los proxys son seleccionados por su sensibilidad a los cambios medioambientales y por su capacidad de mantenerse o conservarse a través del tiempo sin que su estructura taxonómica se muestre con alteraciones notables (Sánchez-Rojas et al., 2011). Éstos pueden ser tanto elementos biológicos, químicos y físicos, tales como mineralogía de organismos estructuras sedimentarias, elementos orgánicos (diatomeas y polen fósiles, anillos de árboles y en general los organismos, tanto de flora

y fauna que puedan dejar un registro fósil) e inorgánicos (carbón, tefra) entre los sedimentos, así como la variedad de elementos que se preservan en los hielos glaciares (cianobacterias, entre otros) (Sánchez-Rojas et al., 2011).

De esta manera, las diatomeas no sólo evidencian condiciones medioambientales durante su existencia como organismo vivo, sino que al poseer una estructura silíceo que permite mantener los rastros de su existencia entre los sedimentos de suelo, da también la posibilidad de estudiarlas y, por lo tanto, inferir a partir de sus restos fosilizados, acerca de las características climáticas y ambientales del momento y lugar en que cada especie presente logró desarrollarse (Smol & Stoermer, 2010). En ese sentido, es posible el uso de este bioindicador como un proxy para los estudios paleoambientales y paleoclimáticos, al igual que una serie de elementos presentes en diferentes ambientes de depósitos sedimentarios, como agentes químicos y físicos u otros agentes biológicos como el polen, fitolitos, anfíbénidos, diatomeas, entre otros.

Otras aplicaciones

Diatomita o tierra de diatomeas

El término diatomita, comúnmente conocida como tierra de diatomeas, se atribuye a un tipo de acumulación sedimentaria de frústulas de diatomeas fosilizadas, que pertenece a la pared celular de este tipo de microalgas. Este es un tipo de sedimento biogénico altamente silíceo y en grandes acumulaciones suele aprovecharse con fines comerciales. A lo largo del globo existen grandes depósitos de diatomita, repartidos principalmente en áreas que en el pasado se encontraban bajo el agua y también bordeando las costas de todos los continentes. Muchas veces también está compuesta en menor cantidad por otras microfloras en forma fósil como silicoflagelados y cocolitofóridos (algas utilizadas para reconstrucciones paleo oceanográficas), y restos de microfauna, como espículas de esponjas, compuestas de material calcáreo o silíceo, y esqueletos de radiolarias que generalmente son de sílice (Kogel et al. 2006; Lyle, 2014).

Según Ghobara & Mohamed (2019), su proceso de formación se reduce a cuatro etapas:

- a) La primera consta de la capacidad de las diatomeas de sintetizar sus frústulas, alcanzando la biomineralización de éstas, obteniendo ácido silícico del medio ambiente para transformarlo en diferentes partes de la estructura de su pared celular.
- b) Luego, para alcanzar cierta madurez, estas microalgas dependen en general de las condiciones del medio en que se desarrollan, como los niveles de nutrientes del medio, pH, salinidad y la temperatura.
- c) Posteriormente, ocurren las diferentes formas en que comienza a formarse esta capa de sedimentos, las que pueden ser mediante la acumulación de fósiles de diatomeas y fragmentos de sus frústulas en el fondo marino, pero sobre todo a

través de la digestión y posterior defecación de estos sedimentos, generada por ciertas especies de zooplancton, en forma de “pellet”.

- d) Finalmente, los restos de frústulas junto a la materia fecal compuesta de diatomeas se van acumulando en capas, formando a largo plazo estratas de sedimentos compactados (diagénesis).

Dado que este grupo de microalgas poseen larga datación (o de antigua datación) y que se desarrollan en gran parte del globo, existe una gran cantidad de depósitos de diatomita a lo largo del planeta. Siendo algunos de gran extensión como el desierto del Sahara y una serie de territorios que alguna vez fueron grandes cuerpos de agua o se hallaban bajo el mar (Ghobara & Mohamed, 2019). Así mismo, los autores argumentan que desde tiempos remotos que se han utilizado los sedimentos de diatomita, como por ejemplo para materiales de construcción en Egipto, Grecia y Turquía. En la actualidad, se utiliza para los procesos de filtración de aguas contaminadas, demostrando ser eficientes en la remoción de metales pesados, así también para la filtración de impurezas en la cerveza y la elaboración de materiales de gran absorción térmica.

Por otro lado, en la industria agrícola se está utilizando como insecticida y como materia prima para la elaboración de éstos (Jumbo, 2019; Korunic, 2013), así también para enriquecer de sílice los suelos (Sandhya et al. 2018) y la elaboración de rellenos antimicrobianos a base de sílice (Fernández & Bellotti, 2017).

Investigaciones forenses

Durante el siglo pasado se fue demostrando la utilidad de analizar diatomeas en casos de muertes por sumersión en agua o ahogamiento, con el fin de complementar este tipo de investigaciones mediante la presencia de diatomeas en partes específicas del cuerpo humano (Smol & Stoermer, 2010; Vinayak & Gautam, 2019). Así también, se ha testeado y estudiado de manera similar en animales como perros y gatos (Piegari et al., 2020) y ratas (Xu et al., 2011).

Dado que la presencia de diatomeas en un individuo sin vida no es prueba suficiente, los estudios se han enfocado en esclarecer de qué manera estas microalgas puedan ser prueba complementaria en la investigación de una muerte por ahogamiento. En ese sentido, Peabody (1980) argumenta que la sola presencia de diatomeas en los pulmones no es suficiente indicio de una muerte por ahogo, sino que también es necesario detectar la entrada de éstas en los alvéolos de los pulmones, dando cuenta que hubo inhalación de agua. Esto podría confirmar la muerte por ahogo, sin embargo, esto debe ser constatado con la presencia de diatomeas dentro del sistema circulatorio. Para ello, Pollanen (1997, 1998) afirma que hallar diatomeas en la médula ósea femoral es un indicador de que una persona se encontraba viva en el agua y que su muerte fue por ahogamiento. Debido a que posterior a la entrada de diatomeas en el torrente sanguíneo, estas se almacenan en la médula de huesos como el fémur y órganos como

los pulmones, el hígado y el cerebro, además del corazón y la sangre (Maidana, 2013; Peabody, 1980; Pollanen, 1997).

Luego, para concluir respecto a si hubo o no muerte por sumersión o ahogamiento, se deben comparar las especies halladas en los distintos tejidos del cuerpo con los del lugar en que fue encontrado el cuerpo. Las que en caso de ser las mismas especies ayudarían a confirmar dicha causa de muerte.

Geoarqueología

La Geo-arqueología consiste en la aplicación de métodos y técnicas de las Ciencias de la tierra dentro de una investigación arqueológica (Butzer, 1989; Renfrew, 1976 en Zárate 1994). Lo cual tiene por finalidad brindar información empírica para estudiar las condiciones medioambientales pasadas y actuales en un territorio, así como los procesos de formación de un sitio en específico. De esta manera, podemos incluir a una serie de ciencias y disciplinas que aportan con metodologías propias en los estudios arqueológicos contemporáneos (Butzer, 1989). Dentro de estas podemos mencionar: la biología, edafología, geografía, geología, geomorfología, limnología, paleoclimatología, entre otras.

La arqueología estudia el comportamiento de las sociedades pasadas (Zárate, 1994), lo cual, en un sentido muy amplio, puede incluir las eventualidades climatológicas y geofísicas que pudieron condicionar la ocupación de un territorio y la economía local de cada asentamiento (arqueología medioambiental), así como la manera en que las sociedades modelaron el espacio geográfico para la explotación de recursos naturales disponibles. En ese sentido, la arqueología debe tener en cuenta una serie de conceptos que puede aplicar para comprender de mejor manera las dimensiones espaciales y temporales al estudiar un sitio, entre éstos: complejidad, escala, espacio, estado de equilibrio e interacción. Los cuales provienen principalmente de la biología y la geografía y pueden ayudar a llevar un análisis espacio-contextual más profundo en el estudio arqueológico (Butzer, 1989).

Es así como la geo-arqueología toma un carácter interdisciplinario, aplanando los límites establecidos entre las distintas áreas disciplinarias, con el fin de estudiar al ser humano y sus actividades para interpretarlas desde diferentes ángulos del conocimiento científico. Buscando puntos comunes entre los procesos y rasgos culturales y las diversas perspectivas en que es posible analizar las actividades humanas, entendiendo a los individuos no sólo como agentes modificadores del paisaje, sino también como un elemento que participa en los procesos de formación de suelos (Zárate, 1994). Por ende, la geo-arqueología tiene como objetivo integrar, en un modelo geo-medioambiental, a los diferentes factores desde los que podemos inferir acerca del asentamiento y desarrollo de las culturas (Butzer, 1989).

Entendiendo que ciencias como la biología y en menor medida la geología, toman como parte de sus elementos de estudio a las diatomeas y éstas pueden ligarse a los estudios arqueológicos debido a lo relevante que puede ser el conocimiento paleoambiental de un área en la que se emplaza un sitio de interés arqueológico. Así también, éstas se han utilizado con el fin de interpretar el uso que pudieron haber tenido ciertas estructuras antrópicas. Por ejemplo, en el sitio de Peñas Coloradas (Grana et al. 2014) se propone una metodología para determinar canales de irrigación en sitios arqueológicos, aunque si bien esta metodología no resultó del todo lo esperado por las investigadoras (ya que buscaban encontrar mayores diferencias en los distintos niveles de muestreo dentro de un cauce), si comprueba que anteriormente fluyó agua por dicha estructura, la cual además se encontraba anexada a un área de cultivos.

Otros estudios como los llevado a cabo por Olivera, Tchilinguirian y Grana a lo largo de la Puna Argentina (2014), han utilizado diatomeas como proxy para inferir acerca de las fluctuaciones en los aportes hídricos que recibieron ciertos ambientes durante el pasado (2600~ años AP), esto con el fin de interpretar el paleoambiente de esta zona (la Puna Argentina) que posee un alto valor arqueológico. Así mismo, la mayoría de los estudios desarrollados con diatomeas ligados a contextos arqueológicos, se relacionan con la reconstrucción y evaluación paleoambiental mediante el análisis de perfiles estratigráficos en depósitos sedimentarios superficiales y lacustres (Grana, 2007)

Kociolek & Spaulding (2000) también ejemplifican sobre el estudio de la composición de comunidades de diatomeas en canales de regadío y de qué manera las especies responden a los cambios de concentración de nutrientes como consecuencia de los cambios de uso de suelo. Lo cual podría relacionarse al área de estudio en que se enmarca este marco teórico, debido a la abundancia de canales y estructuras de cultivo; que, si bien no son utilizados actualmente, sí presentan una evidencia fósil de las microalgas que habitaron durante la ocupación de este territorio.

Por otro lado, la necesidad de una labor interdisciplinaria en los estudios arqueológicos se refleja, por ejemplo, en análisis de tipo paleoambientales y paleoclimáticos, donde a través de la correlación de una serie de proxys biológicos (Kligmann 2009) y geológicos (Dulinsky & Glazek, 1993.), es posible tener nociones de las variaciones del clima en el pasado. Y posiblemente, de esta manera inferir en qué manera las condiciones ambientales pudieron influir o determinar el desarrollo de diferentes actividades antrópicas en este territorio a lo largo del tiempo. En este caso, para reconstruir con mayor exactitud las actividades humanas del pasado es de vital importancia entender los procesos de formación que tuvo cada sitio arqueológico al estudiar los sedimentos que son parte del sitio y formas de ocupación humana del territorio (Grana, 2007). En ese sentido, el análisis de paleoambientes puede ser de gran utilidad para los estudios arqueológicos, ya que éstos pueden brindar información medioambiental de territorios naturales; dando señales de cómo fueron las condiciones hídricas, vegetacionales y químicas de un territorio, incluso antes de la existencia humana y durante su existencia y ocupación de ciertos territorios.

Sin embargo, para el estudio de paleoambientes y en general para la paleoclimatología, ciencia que estudia el clima desde antes que el ser humano comenzase a tener registro del clima (Bradley, 2015), los expertos no trabajan con datos medidos instrumentalmente, sino que a partir del análisis de “proxies” extraídos de medios no antropizados, bajo los que infieren sobre las condiciones climáticas y ambientales del pasado (Masés-Solís, 2016).

De esta manera, también podemos relacionar la biogeografía con los estudios de paleoambiente o paleoclimatología, ya que posiblemente los cambios de las condiciones climáticas en el pasado, como los periodos glaciares e interglaciares, hayan afectado en la distribución de las especies de flora y fauna fosilizados, así como de los sedimentos en las diferentes geoformas que estudia la geomorfología.

Volviendo a la vinculación de las diatomeas con los estudios arqueológicos, entendiendo que estas microalgas poseen una gran capacidad de supervivencia en prácticamente todos los ambientes o entornos acuáticos y que las condiciones fisicoquímicas determinan la variedad de especies (Round et al., 1990), las diatomeas se constituyen como un elemento de gran utilidad para la asociación de factores paleoambientales en áreas determinadas.

Este tipo de análisis puede aplicarse a una amplia gama de escalas espaciales y temporales, las que permiten contextualizar la materialidad arqueológica con el aspecto ambiental, volviéndose una herramienta de gran utilidad para los estudios arqueológicos.

De esta manera, estudiar diatomeas bajo contextos arqueológicos o ligados a éstos, permiten desarrollar temas como:

- a) Reconstrucciones paleoambientales: Que pueden ser tanto a escala local (Fernández y Salemme, 2010) como regional (Grana et al. 2014), para contextualizar y comprender mejor los procesos culturales dentro de un paisaje arqueológico, ya que las condiciones medioambientales pudieron haber condicionado o posibilitado el asentamiento humano en zonas que, como el área de estudio de esta memoria, hoy no se encuentran habitadas. De esta manera, también es posible llegar a comprender el impacto que pudieron haber generado ciertos fenómenos climáticos en el ámbito agrícola en sitios que contengan dentro de su asentamiento un área o una red de cultivos.
- b) Procesos de formación de sitios: Se puede estudiar los sedimentos de un sitio para identificar diferentes áreas de actividad humana (Kligmann, 2009). Por otro lado, en Islandia (Barthurst et al. 2010) se han estudiado las diatomeas fósiles presentes en los céspedes que se utilizaron durante la era vikinga para la construcción de estructuras que delimitaban el asentamiento, consideradas como bioindicadores de las condiciones hídricas y ambientales del área de estudio (sitio arqueológico de Hrísbú).
- c) Registros arqueológicos: Por lo general, el análisis de diatomeas fósiles en sitios arqueológicos va de la mano con otros análisis de fósiles, como de fitolitos (biomineralizaciones de origen vegetal), coprolitos (fecas fósiles, puede ser humano

y no humano) y polen fósil, así como de restos vegetales y de artefactos; los que en conjunto pueden proporcionar información relevante sobre la ocupación de un sitio, incluso tipos de dietas de sus habitantes y las condiciones paleoambientales de los territorios en que se enmarcan. Ejemplos de éstos son los análisis de dietas llevados a través del análisis en conjunto de fitolitos y polen para inferir sobre los tipos de maíces que se cultivaron en las quebradas del norte de Chile (García et al., 2014). También se ha utilizado el análisis de diatomeas para dar con la procedencia de arcillas utilizadas para crear cerámicas (Jansma, 1990), calculando también la distancia entre los sitios arqueológicos y las fuentes de materia prima. Pese a que este tipo de estudios aún mantiene una discusión latente sobre la efectividad de sus metodologías.

Tomando en cuenta los trabajos mencionados en este marco teórico, ya tenemos una base para experimentar, ya sea desde la distribución espacial de microalgas o el análisis paleoambiental a partir de estas mismas, reconociendo y caracterizando las condiciones que propician o imposibilitan el desarrollo de una u otra especie. De esta manera, se abre el campo investigativo interdisciplinario de estos organismos, dando una gran posibilidad de estudio para la geografía hacia un campo escasamente trabajado en nuestro país y en menor medida, desde una mirada geográfica. Esto fomenta también la mirada holística que debe tener un geógrafo o geógrafa al momento de plantear problemáticas y tópicos de estudio que puedan abarcar, desde un aspecto social una problemática territorial, hasta sustentar el análisis de este tipo de microalgas, por ejemplo.

Geografía y diatomeas

Teniendo en cuenta que este tipo de microalgas es un efectivo indicador medioambiental, debido a la especificidad de condiciones que necesita cada especie, es posible suponer que este grupo de algas unicelulares puede constituirse como una herramienta para el estudio del territorio y los problemas geográficos que en éste se originan. Cabe destacar la variedad de aplicaciones posibles con diatomeas para las ciencias de la tierra, muchas de éstas fácilmente pueden complementar el análisis geográfico, sustentando con evidencia biológica la ocurrencia de ciertos fenómenos causados por el ser humano, así como de eventos naturales en un territorio específico (o determinado).

Teniendo en cuenta la utilidad de este grupo de microalgas para la ciencia y la tecnología, además de sus cualidades de ubicuidad y sensibilidad ambiental, podemos suponer a las diatomeas como una herramienta para complementar el análisis geográfico. Algunos ejemplos de esto son:

- a) Como indicadores de paleoambiente costero y relativo a los cambios de nivel del mar. Favoreciendo a reconstruir la historia medioambiental en ambientes litorales al estudiar la biodiversidad de especies halladas en sedimentos y el potencial de preservación de las microalgas fosilizadas (Stoermer & Smol, 2010).

- b) Evaluación de niveles de eutrofización en lagos. Teniendo en cuenta que la disposición de nutrientes en un ambiente lacustre puede condicionar el desarrollo de microflora y microfauna, por ende, también de macroflora y macrofauna de los variados ecosistemas que interactúan en un cuerpo de agua (Margalef, 1968). Los niveles de eutrofización pueden verse afectados tanto por actividades antrópicas como por fenómenos naturales.
- c) Como indicadores de los cambios de nivel de agua en lagos de agua dulce. Favorece el estudio de ambientes lacustres analizando los porcentajes de forma de vida (o life-form) de diatomeas (bentónicas y planctónicas) a distintos niveles de un lago que pudo verse afectado por variaciones climáticas, así como por la disposición de químicos (como metales) pesados en el medio y la presencia de otros individuos biológicos que puedan afectar en la disposición de nutrientes en el cuerpo de agua (Digerfeldt, 1986).
- d) Evaluación de las condiciones medioambientales en canales y ríos a través de diatomeas. Debido a que estas responden directa y sensiblemente a los cambios físicos, químicos y biológicos en los ecosistemas de canales y ríos, como la temperatura, concentración de nutrientes y la contaminación ambiental (Lange-Bertalot H., 1979a, 1979b; Stoermer & Smol, 2010). Siendo una herramienta eficiente al estimar la tolerancia de las especies frente a la polución del aire, contaminación por desechos mineros y aguas residuales.

Posiblemente, este último pueda ser uno de los usos de mayor provecho para los estudios geográficos debido a la directa relación que tienen los flujos hídricos con las actividades antrópicas; con una clara dependencia del humano por el recurso hídrico como un bien básico para la vida, así como para el desarrollo de una basta cantidad de actividades antrópicas como la generación de energía eléctrica, riego de cultivos agrícolas y forestales, industria ganadera y un sin número de posibilidades en que este recurso puede ser utilizado. Así también, el agua como un bien básico de consumo para todas las especies que habitan ecosistemas lóticos, lénticos o lacustres y los territorios aledaños a diferentes cuerpos de agua puede verse afectado en su naturaleza por actividades antrópicas, modificando la calidad del agua en cuanto a sus características físicas y químicas; y, por ende, los niveles eutróficos de los cuerpos de agua, afectando directamente a la flora de estos ecosistemas. Dentro de los grupos de algas que afecta, podemos encontrar a las diatomeas (Bacillariophyceae).

Por otro lado, la biogeografía es una rama del estudio geográfico que trata del estudio de los patrones de distribución de los seres vivos tanto del pasado como del presente, incluyendo los procesos y factores que inciden en los patrones de distribución (Luna-Vega, 2001). En ese sentido, la distribución de especies de microalgas también se constituye como una posibilidad de estudio para la biogeografía, tomando en cuenta no sólo la presencia de especies, sino también la evolución, dispersión y la “desaparición” de ciertas taxas al estudiar las interacciones entre estos organismos y el medioambiente que habitan (Kocielek & Spaulding, 2000). De esta manera, la biogeografía se constituye como una rama interdisciplinaria de la geografía, ya que también abarca aspectos de la ecología, paleontología, limnología, geología, entre otras. Por lo que entender los patrones de distribución de diatomeas de aguas dulces y los diferentes procesos que

afectan en estos puede ser de gran relevancia para diferentes áreas de investigación de diatomeas (Kociolek & Spaulding, 2000). Así también, una minuciosa determinación de la distribución geográfica de las diferentes taxas de diatomeas puede ser un buen punto de investigación para la biogeografía.

La extensa variedad de taxas y su distribución probablemente se relacione con el impacto antrópico en la naturaleza, ya que los humanos no sólo transportan especies, sino que también crean ecosistemas con alta cantidad de nutrientes y condiciones que aumentan la diversidad de diatomeas (Kociolek & Spaulding, 2000). En ecosistemas prístinos que no han sufrido las consecuencias de la acción humana suelen poseer floras únicas (generándose así también el fenómeno de endemismo), a diferencia de las aguas que han sido influenciadas por el ser humano, que poseen una mayor variedad de especies comunes.

Los cambios generados por acción antrópica, tales como la introducción de especies, eutroficación (adición de nutrientes a un ecosistema) y acidificación, son los factores que más afectan la composición taxonómica de estas microalgas (Lange-Bertalot, 1979; Stoermer et al., 1991). Estos cambios pueden incluir la extinción de una especie nativa en un territorio determinado, el incremento de la diversidad de especies como producto de la eutroficación de un cuerpo de agua; aumentando la cantidad de taxas que toleren condiciones de mayor cantidad de nutrientes y la disminución de especies que suelen asociarse a condiciones oligotróficas (Stoermer, 1991).

De esta manera, es posible abordar el desarrollo de ciertos tipos de especies en contextos específicos desde una mirada geográfica inclinada hacia la distribución espacial de las especies, tanto en contextos antrópicos como naturales.

Estudios diatomológicos

En Chile

Siguiendo los antecedentes recopilados por Patricio Rivera (2006) y de acuerdo con la bibliografía disponible, aparentemente los primeros estudios diatomológicos desarrollados en el territorio nacional fueron llevados a cabo por Joaquín Frenguelli, quien catastró por primera vez las diatomeas de Tierra del Fuego (1922); y Friedrich Hustedt recolectando fósiles de diatomeas a lo largo de la cuenca del Loa (1927), dando pie de inicio a las investigaciones con microalgas en el Desierto de Atacama. Sin embargo, el paleontólogo Joaquín Frenguelli continuó con la recopilación de especies, incluso en estado fósil y llevó a cabo investigaciones de gran relevancia para el conocimiento de estas microalgas en distintas partes del país. Aunque si bien, otros investigadores como Kützing, Gay y Cleve ya habían hecho mención con anterioridad a géneros y especies muestreados en Chile, Frenguelli fue quien desarrolló más conocimiento en diatomeas en este territorio.

De manera más contemporánea, fue el mismo Patricio Rivera quien se enfocó en describir parte de la flora de diatomeas en distintas partes del territorio nacional, enfocándose principalmente en las regiones del Bio-bio, Araucanía, Los Ríos y Los

Lagos. Como el mismo Rivera afirma, gran parte de los estudios diatomológicos en Chile se han focalizado en la zona centro sur del país y mayoritariamente en organismos vivos.

Por otro lado, pero en menor cantidad, también se han desarrollado estudios de diatomeas en la zona norte del país. Los primeros de Hustedt y Frenguelli, posteriormente Patrick describió floras en la zona de Antofagasta (1961), Dingman & Lohman (1963) describieron floras fósiles recolectadas en la zona de Arica; el investigador Luis Rodríguez (U. Antofagasta) quien desde 1976 monitorear las especies causantes de marea roja en el norte de Chile, específicamente en la bahía de San Jorge, Antofagasta. Así también con análisis de la biomasa y composición fitoplanctónica de las bahías de Mejillones y Antofagasta (1996).

Posteriormente, la Dra. Matilde López, quien ya había descrito a los géneros de diatomeas presentes en el lago Vichuquén (1971), halló un nuevo subgénero de *Surirella* en el salar de Carcote (1980), región de Antofagasta. Más tarde, Hermann Muhlhauser junto a otros investigadores publicaron acerca de la calidad de agua y las características limnológicas del Lago Chungará en 1995, donde también se utilizaron diatomeas para calcular los niveles de clorofila a través de la biomasa de fitoplancton disponible en el lago.

Ya más recientemente, la Dra. Nora Maidana y la Bióloga Carolina Díaz describieron las especies de diatomeas presentes en los salares de Atacama y Punta Negra (2005), llevando a cabo un estudio taxonómico en dichas áreas. Y ya en la última década, la Dra. Fabiola Cruces en conjunto con Rivera, han desarrollado una serie de avances en el conocimiento de las especies presentes a lo largo de la cordillera de los Andes, así como en los salares del Huasco y Aguas Calientes (2015).

Si bien, lo anterior es un acercamiento a una revisión general de los trabajos investigativos enfocados en diatomeas o en los que se les ha incluido como un parámetro de investigación, existen más trabajos no mencionados en estas referencias pero que pueden ser encontrados en los artículos bibliográficos de Rivera (2000, 2006).

En general, los trabajos diatomológicos generados en el territorio nacional están ligados a la taxonomía y distribución de especies, dentro de una amplia variedad de taxas halladas en Chile. Así también, se ha estudiado a especies tóxicas causantes de marea roja y como parámetro indicador de las variaciones ambientales recientes (Fiordo Puyuhuapi (Rebolledo et al 2005) y desde el Holoceno tardío (Fiordo Reloncaví (Rebolledo et al. 2015). También, ya en menor cantidad, se han hecho trabajos ligados a investigaciones arqueológicas como es el caso del hallazgo de Monte Verde en Pilauco (Jarpa, 2008 en Pino (2008)).

En estructuras antrópicas arqueológicas

Como mencioné anteriormente, ya se han llevado a cabo estudios con diatomeas enfocados directamente en las microalgas presentes en estructuras de uso antrópico en la búsqueda de intentar confirmar el posible uso que hayan tenido las estructuras en

discusión, además del supuesto (o de la mirada) antropológica/arqueológica del uso de dicha estructura. Lo cual no desestima la labor de otras disciplinas, sino que llega a reforzar la posibilidad de llegar a respuestas concretas.

Estudios como el llevado a cabo por Grana, Cohen y Maidana (2014) en Antofagasta de la Sierra, al sur de la Puna Argentina, en el cual proponen una metodología para inferir acerca del uso de un supuesto canal de irrigación con fines agrícolas. Ha sido útil en parte por incentivar el desarrollo de esta memoria ya que de cierta forma ambas investigaciones buscan dar, mediante diatomeas, un significado a la presencia de ciertas estructuras de origen antrópico. Claro que, para el caso de esta memoria, la idea es aportar con la identificación de estos individuos para el fin común del proyecto que es entender la dinámica que existió en el sitio de Pampa Iluga durante su asentamiento.

Justificación del Área de estudio

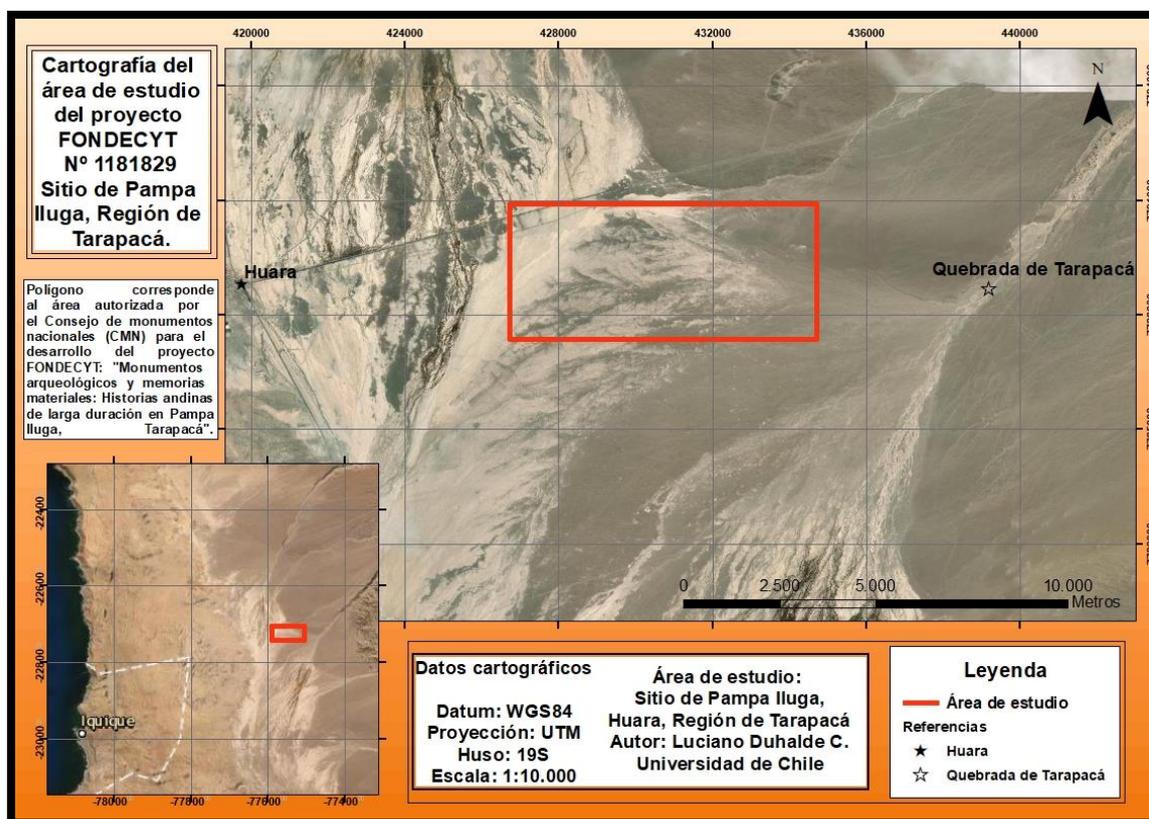


Figura 3: Cartografía del área de estudio.

Este sector de Pampa Iluga (también conocida como Pampa O'Brien) se ubica dentro de una zona mucho más extensa denominada Pampa del Tamarugal, que corresponde a gran parte de la Depresión Intermedia de esta región. En este caso, el sitio arqueológico que tiene como objeto de estudio el proyecto se halla desde la desembocadura de la quebrada del Tarapacá hacia el Este (E) y Noroeste (NW), a lo largo de la pampa.

Pampa Iluga limita con la Ruta 15 que une Huara con el poblado de Tarapacá. Así mismo, de E a W limita con la cordillera de los Andes y la cordillera de la Costa, respectivamente. Se ubica aproximadamente entre los paralelos 20° latitud Sur y los 20° 10' lat. S. Esta área se halla sobre un gran cono aluvial (o una gran área de depósitos aluviales) compuesto principalmente por sedimentos Cuaternarios generados a partir de la acción fluvial, los cuales provienen de las quebradas de Aroma, Tarapacá y Quipisca y, en menor medida, de Quebrada Seca (Veloza, 2014). Además de la inclinación descendente en dirección E a W, también existe una pendiente dirección N a S, la cual es posible notar (o divisar) levemente in situ. Sin embargo, este hecho queda expresado en la morfología de los cursos hídricos de la región, que en general poseen una dirección NE - SW.

La altitud del área de estudio bordea los 1.100 m. El clima de este sector pertenece a desértico interior, el cual no posee influencia oceánica y se caracteriza por su extrema aridez. Las precipitaciones anuales marcan 0 mm y las temperaturas medias anuales alcanzan los 18°C; sin embargo, en general el territorio de la pampa se caracteriza por un régimen pluviométrico esporádico, en el que la venida de grandes lluvias ocurre de manera eventual con periodos de retorno irregulares.

Como ya mencioné anteriormente, la dinámica morfológica actual de Pampa Iluga y de gran parte de la Pampa del Tamarugal, está influenciada principalmente por dos fenómenos geomorfológicos (Veloza, 1974; Bergoeing, 1979):

- Los grandes eventos pluviométricos, que ocurren de manera eventual cada cierta cantidad de años en época estival, con periodos de retorno que han variado con un máximo de 20 años entre eventos. Ahora bien, los eventos pluviométricos de gran magnitud suelen desencadenar procesos aluvionales en las quebradas que han aportado material sedimentario a esta región de la pampa, siendo este fenómeno el mayor causante del modelado actual. Prueba de esto es la abundancia de cauces secos a lo largo de Pampa Iluga, tanto alrededor del sitio como a través de éste.
- La acción eólica, la que en general recubre el territorio de sedimentos de fácil transporte para el viento, formando dunas de tipo: a) nebkas, las cuales se forman a partir de pequeños matorrales o especies xerófitas en las que se acumulan los sedimentos, y b) barjanas, que corresponden a dunas solitarias y migratorias, adquiriendo forma de medialuna, escaso volumen y suelen formarse en superficies relativamente planas (Tarbuck & Lutgens, 2005).

Además, en el área de emplazamiento del sitio, también es posible percatarse de los fenómenos geomorfológicos que influyen en este territorio debido a la erosión fluvial y eólica que con el paso del tiempo ha deteriorado las estructuras elaboradas por quienes habitaron Pampa Iluga.

Desde una perspectiva antrópica, el sitio está compuesto por una serie de diferentes estructuras y formas que en la actualidad es posible reconocer e inferir acerca del uso que le dieron sus pobladores. Sin embargo, dichos usos aún se encuentran en evaluación por parte de investigadores e investigadoras que participan en el proyecto. Pese a lo anterior, los términos utilizados en esta memoria para nombrar y diferenciar

un ambiente u estructura antrópica de otra han sido de acuerdo con la mirada de las demás ciencias y disciplinas que componen el proyecto. Además de complementarlos desde un sentido geográfico, basado en la morfología del sitio y sus estructuras internas y en la observación satelital del área de estudio.

Un componente principal de este sitio es un sistema agrícola compuesto por una gran extensión de “canchones” de cultivo, divididas por una compleja red de canales de regadío. Este sistema ocupa un área de aproximadamente 32 hectáreas, por lo que comprende una gran parte de Pampa Iluga.

Por otro lado, el sitio también contiene un sector de carácter ceremonial (religioso), el cual supone un conjunto de Túmulos funerarios y ceremoniales. Así también, el equipo de investigadores supone la existencia de otros sectores relacionados a habitación o vivienda netamente y de actividad pública.

Todo esto es parte de la investigación general del proyecto en curso y los supuestos de lo que pudo haber sido cada lugar o estructura en este sitio se basa en la experiencia previa de quienes están llevando a cabo este proyecto en sus distintas líneas de investigación, con el fin de lograr aproximarse a entender los procesos antrópicos y naturales que allí sucedieron hasta momentos históricos recientes.

Capítulo II - Metodología

Pasos metodológicos

- Terreno: Se llevaron a cabo actividades de terreno como el reconocimiento del territorio que comprende el área de estudio y la extracción de muestras en puntos de muestreo específicos determinados
- Procesamiento de muestras: Realizado en laboratorio, en las instalaciones de la consultora ambiental Amakaik. Para esto se utilizaron compuestos químicos como, por ejemplo: ácido sulfúrico (H₂SO₄), peróxido de hidrógeno (H₂O₂) y agua destilada (H₂O).
- Comprobar la presencia de diatomeas fósiles, para lo cual se utilizó un microscopio ZEISS, modelo: Axiostar , con Cámara Canon modelo Eos Rebel XS.
- Identificación de individuos, diferenciando a nivel de género. Para esto se utilizó el microscopio antes mencionado y bibliografía acorde.
- Para describir las características y condiciones específicas necesarias para el desarrollo de cada género identificado también se utilizó bibliografía pertinente al tema.

Muestreo e identificación de diatomeas fósiles

Si bien no se ha establecido una metodología clara para la extracción de muestras en los distintos ambientes que se generan dentro de un contexto arqueológico, en Grana y colaboradores (2014) se propone una manera de extraer muestras, específicamente, para canales hídricos de origen antrópico en un sitio de desarrollo cultural prehispánico en Antofagasta de la Sierra, con el fin de evaluar la variabilidad de especies en las distintas secciones de un corte transversal del canal. Se propone a las diatomeas como un bioindicador de las condiciones ambientales durante la utilización de dichos canales y del tipo de uso que se le dio a la estructura.

Sin embargo, al no encontrar metodologías para la extracción de muestras en los 'canchones' de cultivo, ni para las áreas que aparentan acumulación de agua dentro del sitio arqueológico, el muestreo se lleva a cabo siguiendo la idea de que "por donde hubo agua, hay o hubo diatomeas", las que se encontrarían en estado fósil. En ese sentido, la selección de puntos de muestreo se desarrolló en terreno, ante una mayor claridad de las condiciones de las distintas áreas que abarca el sitio, para así distinguir puntos que puedan tener evidencias fósiles de estas microalgas.

Luego, se procede con la extracción de muestras, la cual se llevó a cabo de dos maneras diferentes:

- 1) La primera, y más utilizada, fue la excavación de un pequeño "pedón" en cada punto utilizando una espátula, el que consistió en extraer un "cubo" de suelo, de dimensiones 10 cm x 10 cm x 10 cm, aproximadamente. Este "cubo" fue subdividido y se procesó químicamente 1 cm³ de sedimento de los distintos subniveles de profundidad de la muestra.
- 2) La segunda, a modo experimental, consistió en la elaboración de una calicata (1 metro de largo, 50 cm de ancho y 60 cm de profundidad, aproximadamente), la que fue utilizada para observar las diferentes estratas de suelo, específicamente en la interfaz entre un canchón de cultivo y un canal de regadío. Así también, luego de limpiar el perfil expuesto, se extrajeron muestras de cada nivel sedimentario en evidencia.

Cabe destacar que para los ambientes denominados como "plazas", se procedió a establecer la clase textural de los sedimentos muestreados. Esto fue comprobado con la "Guía para determinar manualmente la clase textural de los suelos" recomendada por el SAG en la "Pauta para estudios de suelos" (2011, rectificada en 2016).

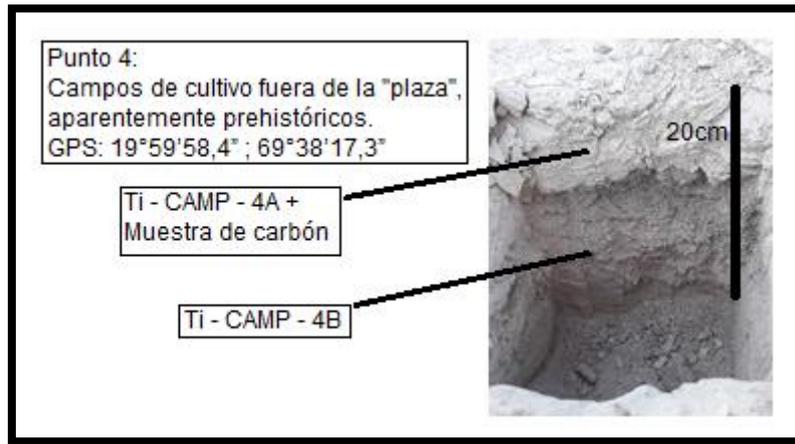


Figura 4: Primer método de extracción de muestras (pedón).

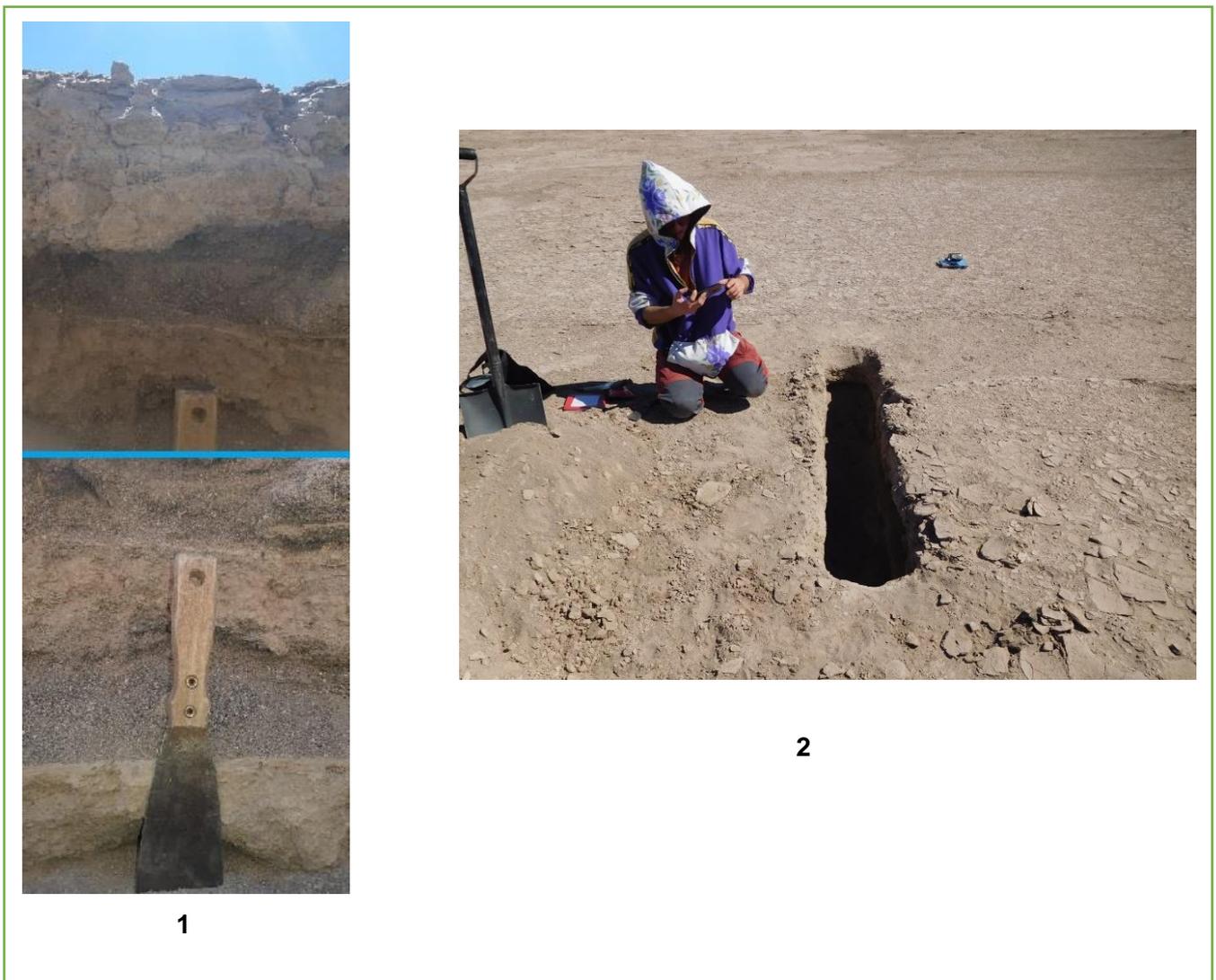


Figura 5: Segundo método de extracción de muestras (Calicata).

Para el procesamiento de muestras, el procedimiento se hizo en compañía y supervisión de Damaris Méndez, encargada del procesamiento químico en el laboratorio de Amakaik. Para esto, se siguieron los pasos metodológicos descritos por Battarbee (1986), utilizando compuestos químicos para generar diferentes reacciones en la muestra, lo cual resulta en una solución limpia de restos vegetales e inorgánicos, desde la que es posible observar los individuos microscópicos con mayor claridad y nitidez. Entre estos compuestos químicos, utilizamos ácido sulfúrico (H₂SO₄) para eliminar los restos biológicos; peróxido de hidrógeno (H₂O₂) y agua destilada (H₂O) para limpiar los restos inorgánicos de la muestra. Finalmente, la muestra es desecada en calor, en portaobjetos, para su observación microscópica. Para su observación en detalle, se utilizó aceite de inmersión tipo Immersol 518N.

Para observar los diferentes individuos de las muestras extraídas y posteriormente procesadas, se utilizó microscopía óptica mediante un microscopio trinocular, marca ZEISS, modelo AxioStar, con aumento de 1000x. También un microscopio marca Bioquímica.cl, modelo Trinocular. Para la captura de fotografías, fue utilizada una cámara fotográfica digital Canon modelo Eos Rebel XS. El uso de fotografías permite, además de fijar la imagen en un individuo en particular (sumado al zoom 100x), observar con un mayor detalle para lograr diferenciar al nivel de género.

Clasificación y caracterización de diatomeas

Previo a la identificación de especies, es necesario contabilizar la cantidad de individuos presentes de cada especie y seleccionar los que al ser observados en microscopio poseen mayor nitidez en cuanto a la estructura de las valvas. La identificación de diatomeas se llevó a cabo utilizando bibliografía para diferenciar al nivel de género observando la anatomía general de individuos representativos de cada especie. Principalmente basándose en los escritos de Round y colaboradores (1990) y Díaz & Maidana, 2005. Además de los atlas diatomológicos elaborados por Bey & Ector (2013) y Peeters & Ector (2017, 2018, 2019) para el territorio francés.

De esta misma, se procedió a describir las características propias de cada género en cuanto a las formas de vida que poseen y a las condiciones ecológicas que propician su desarrollo. Esto permitiría encontrar ciertas necesidades comunes entre los géneros que componen los ensambles de diatomeas de una misma muestra, las que, al ser contrastadas con las muestras de un mismo punto, permitirían tener cierta noción del medio en que se desarrollaron en un punto determinado.

Dicha información, al vincularse con la evidencia arqueológica que existe respecto al posible uso que haya tenido este sitio como la presencia de estructuras que son parte de un sistema agrícola a gran escala, nos permitiría inferir de manera más exacta respecto a ciertas actividades que pudieron haber desarrollado los antiguos habitantes de este lugar.



Figura 6: Vista general del sitio.

Capítulo III - Resultados

Resultados I objetivo

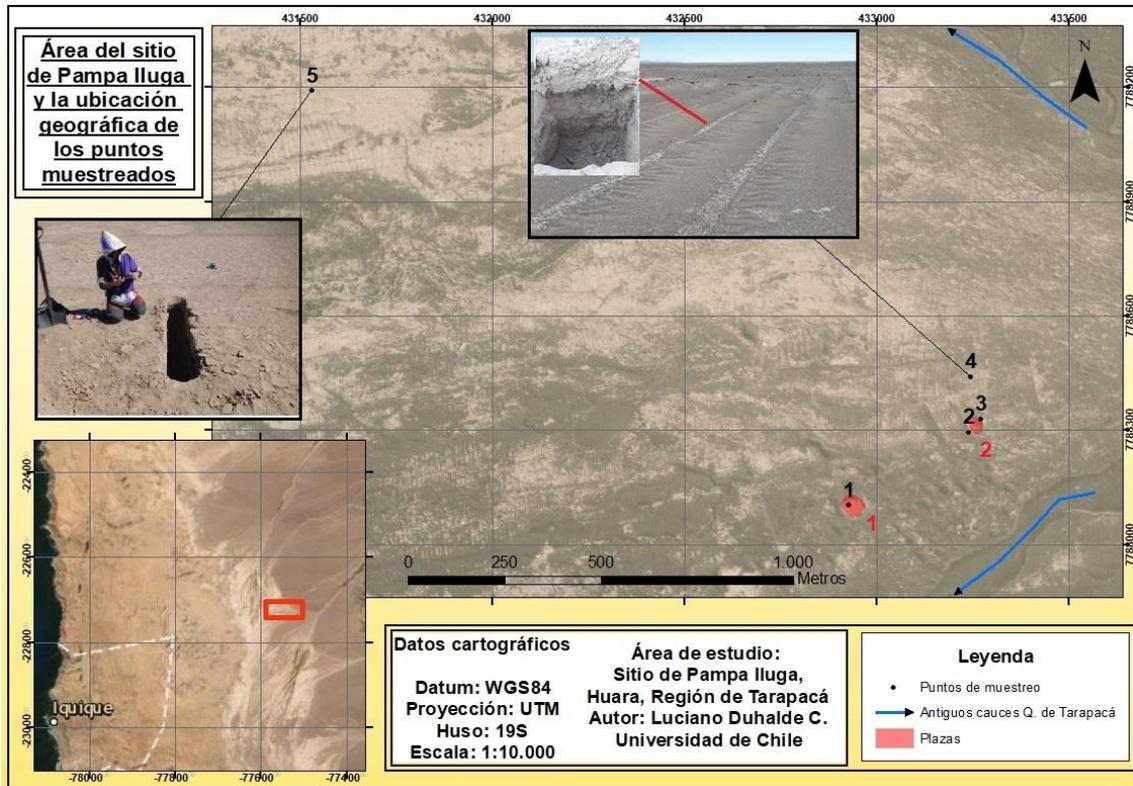


Figura 7: Cartografía con puntos de muestreo.

Descripción de los puntos de muestreo

Se contempló un total de cinco puntos de muestreo repartidos en distintos sectores del sitio que, debido a las formas que poseen ciertas estructuras antrópicas, aparentemente pudieron haber tenido algún uso con motivos hídricos. En este caso, para el riego de un enorme sistema agrícola en canchones de cultivo. De estos cinco puntos se extrajeron un total de trece muestras. Todas representan una muestra de suelo, tomadas a diferentes profundidades en cada punto sin intervenir ni dañar de manera significativa el área de estudio. Posteriormente, estas fueron procesadas y preparadas químicamente para su observación en microscopio óptico. A continuación, detallaré las características principales de cada punto de muestreo:

Sector Túmulos

Este sector contempla el área de mayor influencia, debido a la gran cantidad de material arqueológico prehispánico disponible y a la presencia de una serie de estructuras de mayor interés arqueológico para este asentamiento humano. Entre estas, destacan los túmulos, que representan una de las formas de entierro prehispánico que se ha estudiado en otros sitios del territorio nacional (Muñoz, 1980; Agüero, 2001)

Además, en este sector podemos observar estructuras similares a canales de regadío, canchones de cultivos irregulares o asimétricos y dos áreas centrales que habitualmente llamamos “plazas”. Se optó por denominar como “plaza” a dos estructuras antrópicas centrales que destacan por las diferentes dimensiones y formas que estas poseen respecto de las demás estructuras que conforman el sitio, así como en la composición general del sedimento que también destaca del resto del sitio por su coloración y estructura sedimentaria. Sin embargo, asignarles esta denominación no afirma que dichas estructuras hayan sido realmente plazas o lugares de reunión, ya que esta posibilidad aún se encuentra en evaluación por parte del equipo de investigación debido a que este lugar pudo tener variados usos en distintas épocas.

- “Plaza 1 o reservorio de agua”

Punto 1:

Este punto fue seleccionado debido a que la estructura en general posee una estructura sedimentaria diferente del resto del sitio, aparentando cierto anegamiento o acumulación de agua debido a lo compactado que este se encuentra, presentando también una textura más fina en cuanto a la granulometría general del sedimento. Esto fue comprobado con la Guía del SAG, resultando un tipo de sedimento principalmente limoso o franco limoso.

De aquí se extrajeron dos muestras de suelo dentro de un mismo punto de excavación, una a 5 cm de profundidad, la segunda a unos 12 cm de profundidad. Excluyendo los sedimentos más superficiales debido a los diferentes tipos de erosión que pudiesen

afectar a los individuos a estudiar (erosión eólica, aluvial, fluvial, radiación solar), en este caso diatomeas.

En este punto se destaca la presencia de una diatomea del género *Cyclotella*, siendo la única registrada en el total de muestras. Género que habitualmente se desarrolla de manera planctónica.

- **“Plaza 2”**

Esta segunda plaza, a diferencia de la anterior, se divide en dos “ambientes”. Por un lado tenemos lo que aparenta un área de inundación y anegamiento y por el otro lado, un área cultivos, ambos dentro de la plaza. Ambos ambientes fueron muestreados para establecer diferencias en los géneros que habiten en uno u otro sector.

○ **Área de inundación**

Punto 2:

Este punto se halla en el lado oeste (W) de la “plaza 2”. Al igual que el punto anterior, este fue escogido por hallarse en una zona donde existe una estructura sedimentaria que aparenta cierto anegamiento o acumulación de agua en algún tiempo pasado. Con una granulometría más fina y una estructura más compactada que el contexto general arenoso del sitio. Esto fue comprobado con la Guía del SAG, resultando un tipo de sedimento principalmente limoso o franco limoso.

En este punto también fueron extraídas dos muestras en total, aproximadamente a 6 cm y 14 cm de profundidad, evitando muestrear la capa más superficial de suelo, ya que esta podría estar más afectada por las características climáticas de la zona, lo cual podría incidir en la integridad de las valvas.

○ **“División de cultivos”**

Punto 3:

En este punto se encuentra en el lado este (E) de la “plaza 2”, del que fue extraída sólo una muestra que corresponde a un barro compactado seco que forma parte de una especie de estructura que aparenta dividir diferentes cultivos o separar dos surcos dentro de una misma área de cultivo. Dicha estructura se alza por sobre la superficie unos 10 cm, por lo que para extraer la muestra se procedió a remover los primeros 4 cm superficiales, para luego tomar parte del sedimento para su posterior análisis.

Sector Canchones

- “Canchón agrícola”

Punto 4:

Este punto de muestreo corresponde a un área de cultivo cercana al área de mayor influencia, lo cual puede suponer un origen más antiguo, posiblemente prehispánico (estudio en curso). Alrededor de este punto aún se pueden encontrar restos vegetales que posiblemente pertenecen a los últimos cultivos generados en esta zona, como tallos y raíces de plantas y restos de maíz.

Al igual que las muestras anteriores, éstas fueron extraídas de la manera menos invasiva posible, con pequeñas excavaciones que no superaron los 20 cm de profundidad. En este caso, fueron extraídas un total de dos muestras, aproximadamente a los 6 cm y 16 cm de profundidad, las que formaban parte de estructuras sedimentarias más compactadas, pero se encontraban, en este punto en particular, separadas por una capa de arena. La capa más superficial del sedimento fue removida previamente para no mezclarlos con sedimentos más antiguos, por la posibilidad de mayor erosión del material expuesto al medio.

Para este punto, se destaca la presencia de una diatomea del género *Planothidium*, siendo el único individuo de este género hallada en el total de muestras y que debido a ciertos aspectos morfológicos como es la presencia de una cavidad o “cavum” y la forma específica de esta cavidad (ya que varias especies de este género también poseen alguna cavidad que es diferente entre una especie y otra), además de la disposición y cantidad de costillas de la valva, existe certeza de que pertenezca a la especie *Planothidium cryptolanceolatum* o *P. lanceolatum*. Sin embargo, idealmente esto debe ser confirmado con microscopía electrónica.

Para el caso particular de este punto de muestreo y como parte de los estudios que complementan los distintos ámbitos del proyecto que estudia este sitio, se fechó una muestra de carbón hallada en la muestra más superficial (Ti – CAMP - 4A), el cual data de 366 ± 54 AP / 1584 ± 54 DC (antes del presente y después de cristo, respectivamente).

- “Calicata”

Punto 5:

Este punto representa la intervención de mayor magnitud realizada para la toma de muestras de este proyecto de memoria en específico. Sin embargo, es el más lejano en cuanto a distancia del área de mayor interés arqueológico y se enmarca en medio de una gran extensión de canchones, los que en esta zona poseen una forma más regular o simétrica respecto a los otros canchones. Esto abriría la posibilidad de que estos canchones tengan origen post hispánico (o post colonial), ya que los canchones más cercanos al área de mayor interés poseen formas irregulares y asimétricas entre un canchón y otro.

Para la toma de muestras, se procedió a la excavación de una calicata de aproximadamente 50 cm de profundidad, con un ancho de 30 cm y un largo de 1 m aprox. Ésta fue realizada entre un canal de regadío y un canchón agrícola, en sentido perpendicular al canal, abarcando unos 50 cm aprox. de cada estructura.

Para el caso de este punto, existe una codificación distinta para las muestras tomadas del lado del canchón, como para las del lado del canal. Siendo los códigos Ti-CA1-1, Ti-CA1-2 y Ti-CA1-3 para el lado del canchón y los códigos Ti-CA1-L1, Ti-CA1-L2 y Ti-CA1-L3 para el canal.

Una particularidad de este punto es la presencia de un ejemplar del género *Stenopteroberia*, siendo el único hallado en el total de puntos de muestreo y del cual ha sido complejo encontrar bibliografía que detalle la presencia de ejemplares como éste en otras zonas del territorio nacional.

Clasificación de los géneros hallados según el punto y nivel de muestreo

Punto de muestreo Nº y nombre	Ubicación geográfica en coordenadas	Código muestra	Profundidad de muestreo	Géneros hallados	Cantidad de individuos	Estado de los fósiles Enteras / Fragmentos
1. "Plaza 1"	20° 00' 09.3" S 69° 38' 28.3" W	Ti – PL1 – 1	5 cm	<i>Achnanthes</i>	3	1 / 2
				<i>Cyclotella</i>	1	1 / 0
				<i>Navicula</i>	3	1 / 0
		Ti – PL1 – 2	12 cm	<i>Achnantheidium</i>	4	3 / 0
				<i>Cocconeis</i>	3	3 / 0
				<i>Denticula</i>	2	1 / 1
				<i>Navicula</i>	3	1 / 3
<i>Nitzschia</i>	4	2 / 2				
2. "Plaza 2" (área de inundación o anegamiento)	20° 00' 03.1" S 69° 38' 17.5" W	Ti – CAMP – 3A	6 cm	<i>Achnanthes</i>	1	1 / 0
				<i>Achnantheidium</i>	1	0 / 1
				<i>Amphora</i>	1	1 / 0
				<i>Denticula</i>	1	1 / 0
				<i>Fragilaria</i>	3	1 / 2
				<i>Navicula</i>	3	2 / 1
				<i>Nitzschia</i>	4	2 / 2
		<i>Surirella</i>	2	1 / 1		
		Ti – CAMP – 3B	14 cm	<i>Denticula</i>	1	1 / 0
				<i>Navicula</i>	3	2 / 1
<i>Nitzschia</i>	2			1 / 1		
3. "Plaza 2" (divisoria de cultivos)	20° 00' 02" S 69° 38' 64" W	Ti – CAMP – 2	+6 cm	<i>Achnanthes</i>	4	4 / 0
				<i>Amphora</i>	5	2 / 3
				<i>Cocconeis</i>	5	2 / 3
				<i>Epithemia</i>	1	1 / 0
				<i>Navicula</i>	4	2 / 2
<i>Nitzschia</i>	4	3 / 1				

				<i>Rhopalodia</i>	2	2 / 0
4. "Canchón agrícola"	19° 59' 58.4" S 69° 38' 17.3" W	Ti – CAMP – 4A	6 cm	<i>Cymbella</i>	1	0 / 1
				<i>Navicula</i>	3	2 / 1
				<i>Nitzschia</i>	3	2 / 1
		Ti – CAMP – 4B	16 cm	<i>Achnanthes</i>	2	1 / 1
				<i>Achnanthidium</i>	3	2 / 1
				<i>Amphora</i>	3	2 / 1
				<i>Planothidium</i>	1	1 / 0
				<i>Rhopalodia</i>	2	1 / 1
				<i>Surirella</i>	2	0 / 2
5. Calicata	19° 59' 33.7" S 69° 39' 16.2" W	Ti – CA1 – 1	15 cm	x	x	x
		Ti – CA1 – 2	25 cm	x	x	x
		Ti – CA1 – 3	40 cm	<i>Fragilaria</i>	1	1 / 0
				<i>Nitzschia</i>	2	2 / 0
		Ti – CA1 – L1	15 cm	<i>Achnanthes</i>	9	4 / 5
				<i>Achnanthidium</i>	3	2 / 1
				<i>Denticula</i>	1	1 / 0
				<i>Epithemia</i>	1	1 / 0
				<i>Navicula</i>	4	2 / 2
				<i>Nitzschia</i>	4	1 / 3
		Ti – CA1 – L2	25 cm	<i>Synedra</i>	5	3 / 2
				<i>Achnanthidium</i>	3	1 / 2
				<i>Cocconeis</i>	4	4 / 0
				<i>Craticula</i>	1	Casi completa
				<i>Cymbella</i>	1	1 / 0
<i>Epithemia</i>	3			1 / 2		
<i>Navicula</i>	2			1 / 1		
<i>Nitzschia</i>	3			2 / 1		
<i>Rhopalodia</i>	5			1 / 4		
		<i>Stenopterobia</i>	1	Casi completa		
		<i>Synedra</i>	1	1		
Ti – CA1 – L3	40 cm	<i>Achnanthidium</i>	3	2 / 1		

				<i>Denticula</i>	1	1 / 0
				<i>Fragilaria</i>	1	1 / 0
				<i>Navicula</i>	2	1 / 1
				<i>Nitzschia</i>	3	1 / 2

Figura 8: Tabla de clasificación de los géneros hallados, según punto y nivel de muestreo.

Resultados II objetivo

Características y especificaciones de cada género hallado

Las siguientes descripciones de los géneros hallados en los diferentes puntos de muestreo fueron hechas a base de Round y colaboradores (1990), Díaz & Maidana, 2005 y Jahn y colaboradores (2017). Además de los atlas diatomológicos elaborados por Bey & Ector (2013) y Peeters & Ector (2017, 2018, 2019) para el territorio francés.

Achnanthes

Género perteneciente al grupo de las diatomeas pennadas con rafe en una valva (o heterovalvares). Células solitarias o formando colonias adheridas a algún sustrato, raramente formando cadenas. Las especies varían su tamaño entre 10 a 40 μm de largo. Se adhieren mediante la liberación de mucílago desde la valva con rafe. Género bentónico, suele desarrollarse en sustratos sólidos. Mayormente marino y con algunas especies continentales y subaéreas.

Ejemplares de este género se han hallado en los salares de Atacama y Punta Negra (Díaz & Maidana, 2005), en el Fiordo Puyuhuapi (Rebolledo et al. 2005), el sitio de Pilauco (Jarpa, 2008), en Lago Chungará (Hernández et al. 2008) y el sitio de Peñas Coloradas (Grana et al. 2014).

Achnanthidium

Corresponden a células muy pequeñas, generalmente poseen menos de 30 μm de largo y 5 μm de ancho con muchas especies que bordean las 10 μm . Pertenecen al grupo de las diatomeas pennadas con rafe en una valva o heterovalvares, lo cual consiste en que solo una de las valvas posee una fisura rafídea (o rafe). Células solitarias o formando cadenas cortas. Se adhiere a sustratos sólidos (haptobenthic) y entre ellas mediante el mucílago liberado por un extremo de la valva con rafe. Además, cada valva posee una ornamentación de estrías diferente respecto a la otra valva (asimétrica). Este género es usualmente bentónico y posee especies mayoritariamente continentales, pero también posee algunas especies marinas.

Ejemplares de este género han sido hallados en los salares de Atacama y Punta Negra (Díaz & Maidana, 2005), el sitio de Peñas Coloradas (Grana et al. 2014), en los salares de Huasco y Aguas Calientes (Rivera & Cruces, 2018).

Amphora

Género perteneciente a las diatomeas pennadas con rafe en ambas valvas (o birrafídeas). Células solitarias. Posee ejemplares que varían su tamaño entre 6 a 90 μm de largo. Valvas asimétricas respecto de su eje apical. Pueden desarrollarse sobre otras especies vegetales, rocas y sedimentos fangosos o de granulometría fina. Género mayormente marino, pero también posee especies continentales en menor cantidad.

Ejemplares de este género se han hallado en los salares de Atacama y Punta Negra (Díaz & Maidana, 2005), el sitio de Peñas Coloradas (Grana et al. 2014) y en Laguna Chepical (Martel-Cea et al. 2016).

Cocconeis

Género cosmopolita. Pertenece al grupo de las diatomeas pennadas con rafe en una valva o heterovalvares. Células solitarias. Posee ejemplares que varían su tamaño entre 15 y 60 μm de largo. Valva sin rafe puede confundirse con diatomeas céntricas. Algunas especies de *Cocconeis* tienen la capacidad de fijación de dióxido de carbono en el medio (*Cocconeis scutellum parva*) gracias a la presencia de un pirenoide. Posee especies en aguas continentales y marinas. Pueden desarrollarse sobre otras especies vegetales, sobre granos de arena y sobre rocas, mediante la valva con rafe que libera mucílago.

Ejemplares de este género se han hallado en los salares de Atacama y Punta Negra (Díaz & Maidana, 2005), en el Fiordo Puyuhuapi (Rebolledo et al. 2005), en Lago Budi (Basualto et al. 2006), en Lago Chungará (Hernández et al. 2008), el sitio de Peñas Coloradas (Grana et al. 2014), en Laguna Chepical (Martel-Cea et al. 2016) y en el Desierto de Atacama (Ritter et al. 2019).

Craticula

Género con pocas especies registradas. Los tamaños entre especies varían entre 7 y 170 μm de largo. Pertenece al grupo de las diatomeas pennadas con rafe en ambas valvas o birrafídeas. Sus ejemplares son células solitarias. De aguas continentales y generalmente se halla en sedimentos de todo tipo.

Ejemplares de este género se han hallado en los salares de Atacama y Punta Negra (Díaz & Maidana, 2005) y en Laguna Chepical (Martel-Cea et al. 2016).

Cyclotella

Género perteneciente a las diatomeas céntricas, las que, a diferencia del resto de las diatomeas conocidas, la formación valvar de estos ejemplares nace desde un “annulus” o anillo central, compuesto de sílice. Los tamaños entre especies varían entre 3 y 60 μm de largo. Son células cortas y pequeñas con forma cilíndrica, las que pueden hallarse libremente o formando cadenas al unirse mediante el mucílago. Mayormente son de aguas continentales, habitando el plancton. Con pocas especies halladas en ambientes costeros.

Ejemplares de este género se han hallado en los salares de Atacama y Punta Negra (Díaz & Maidana, 2005), en el Fiordo Puyuhuapi (Rebolledo et al. 2005), en Lago Budi (Basualto et al. 2006), en Lago Chungará (Hernández et al. 2008), en Laguna del Laja (Urrutia et al. 2010), en el Fiordo Reloncaví (Rebolledo et al. 2015) y en el Desierto de Atacama (Ritter et al. 2019).

Cymbella

Género perteneciente a las diatomeas pennadas con rafe en ambas valvas (o birrafídeas). Células solitarias o formando colonias. Los tamaños entre especies varían entre 16 μm y 225 μm de largo. Sus valvas son asimétricas respecto del eje apical. De aguas continentales, puede desarrollarse sobre otras especies vegetales o en sustratos húmedos o sumergidos de granulometría más fina (fango o barro), así también sobre rocas.

Ejemplares de este género se han hallado en Lago Budi (Basualto et al. 2006), el sitio de Pilauco (Jarpa, 2008) y en Laguna Chepical (Martel-Cea et al. 2016).

Denticula

Género perteneciente a las diatomeas pennadas con rafe en ambas valvas (o birrafídeas). Sus células pueden hallarse solitarias o formando pequeñas cadenas y colonias. Valvas simétricas, de tamaños medios a pequeños de entre 10 y 42 μm de largo. Género bentónico de aguas continentales y marinas.

Ejemplares de este género se han hallado en los salares de Atacama y Punta Negra (Díaz & Maidana, 2005), el sitio de Peñas Coloradas (Grana et al. 2014) y en el Desierto de Atacama (Ritter et al. 2019)

Epithemia

Género perteneciente a las diatomeas pennadas con rafe en ambas valvas (o birrafídeas). Los tamaños entre especies varían entre 8 y 150 μm de largo. Canal rafidiano posee forma de "V" sobre la valva. Posee una cianobacteria (o cianófita endosimbiótica), por la que puede fijar nitrógeno en el medio en que se desarrollan. Exclusivas de agua dulce. Puede desarrollarse sobre otras especies vegetales o en sustratos húmedos o sumergidos de granulometría más fina (fango o barro).

Ejemplares de este género se han hallado en los salares de Atacama y Punta Negra (Díaz & Maidana, 2005), en Lago Budi (Basualto et al. 2006) y en Laguna Chepical (Martel-Cea et al. 2016).

Fragilaria

Género perteneciente a las diatomeas pennadas sin rafe (arrafídeas). Los tamaños entre especies varían entre 4 y 170 μm de largo. Usualmente forman largas colonias de células en forma de cinta, unidas por sus caras valvares. De aguas continentales, generalmente en sustratos o sedimentos de cuerpos de agua.

Ejemplares de este género se han hallado en los salares de Atacama y Punta Negra (Díaz & Maidana, 2005), el sitio de Peñas Coloradas (Grana et al. 2014), en Lago Frío (Pérez et al. 2015), en el Río Lauca (Rivera & Cruces, 2008), en Lago Budi (Basualto et al. 2006), en Laguna Chepical (Martel-Cea et al. 2016) y en el Desierto de Atacama (Ritter et al. 2019).

Navicula

Género muy común. Pertenece al grupo de las diatomeas pennadas con rafe en ambas valvas (o birrafídeas). Los tamaños entre especies varían entre 9 y 220 μm de largo. Este género posee alrededor de 250 especies en aguas continentales, también posee especies marinas. Algunas especies poseen un pequeño pirenoide en cada valva por el cual fijan CO_2 en el agua que habitan. Muchas especies de este género pueden desarrollarse en aguas con altas concentración salina. Incluso a distintos niveles de pH y disposición de materia orgánica en el medio.

Ejemplares de este género se han hallado en los salares de Atacama y Punta Negra (Díaz & Maidana, 2005), en Lago Budi (Basualto et al. 2006), en el sitio de Pilauco (Jarpa, 2008), en Lago Chungará (Hernández et al. 2008), el sitio de Peñas Coloradas (Grana et al. 2014) y en el Fiordo Reloncaví (Rebolledo et al. 2015).

Nitzschia

Género perteneciente a las diatomeas pennadas con rafe en ambas valvas (birrafídeas). Solitarias. Los tamaños entre especies varían entre 6 y 500 μm de largo. Este corresponde a un género con alta diversidad de especies, además de ser cosmopolitas. De aguas marinas y continentales. Posee especies bentónicas que se desarrollan en sustratos de granulometría más fina (epipelon) y algunas especies planctónicas.

Ejemplares de este género se han hallado en los salares de Atacama y Punta Negra (Díaz & Maidana, 2005), en Lago Budi (Basualto et al. 2006), en Lago Frío (Pérez et al. 2015), el sitio de Pilauco (Jarpa, 2008), en Lago Chungará (Hernández et al. 2008) y el sitio de Peñas Coloradas (Grana et al. 2014).

Planothidium

Pertenece al grupo de las diatomeas pennadas con rafe en una valva. Género cosmopolita, con individuos relativamente pequeños (entre 4 y 30 μm de largo aprox.) Algunos individuos de este género poseen como cualidad la presencia de una depresión o "cavum" (cavidad), con forma de herradura, la cual se halla sólo a un costado del rafe en la valva arrafídea. Suele adherirse a sustratos mediante el mucílago liberado desde su valva con rafe. Son bentónicas y suelen desarrollarse en granos de arena y sobre rocas.

Ejemplares de este género se han hallado en los salares de Atacama y Punta Negra (Díaz & Maidana, 2005) y en el sitio de Peñas Coloradas (Grana et al. 2014).

Rhopalodia

Género perteneciente a las diatomeas pennadas con rafe en ambas valvas (birrafídeas). Células solitarias. Los tamaños entre especies varían entre 20 y 300 μm de largo. Canal rafidiano marginal en un lado de la valva. Al igual que las especies del género *Epithemia*, éstas poseen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico gracias a la presencia de una cianófita endosimbiótica, por lo que puede habitar ambientes con baja concentración de este químico. De aguas marinas y dulces. Pueden desarrollarse sobre otras especies vegetales y sobre diferentes sustratos, también puede hallarse libre (sin adherirse a una superficie) y en una amplia variedad de hábitats.

Ejemplares de este género se han hallado en los salares de Atacama y Punta Negra (Díaz & Maidana, 2005), el sitio de Peñas Coloradas (Grana et al. 2014) y en Lago Budi (Basualto et al. 2006).

Stenopterobia

Género perteneciente a las diatomeas pennadas con rafe en ambas valvas (birrafídeas). Células solitarias, sigmoides, alargadas y rectas. Los tamaños entre especies varían entre 10 a 200 μm . Este género es parte de la familia de las Surirellaceae, por lo que su estructura rafídea es también circunferencial. De aguas dulces, se halla habitando en sustratos húmedos de granulometría más fina. Género habitualmente restringido a lagos ácidos con alta disponibilidad de nutrientes y pantanos o turberas “ombrogénicas”.

Ejemplares de este género se han hallado en el Reservorio de agua de Jagadishpur Tal en Nepal (Rai & Paudel, 2019), Cuenca del Lago Dos Tigres, Brasil (Oliveira et al. 2012) y en las cascadas de Ntumbachushi, Zambia (Cocquyt et al. 2014).

Surirella

Género perteneciente a las diatomeas pennadas con rafe en ambas valvas (birrafídeas). Células solitarias de gran tamaño (entre 8 y 250 μm). Canal rafidiano circunferencial. Habita en sustratos húmedos o sumergidos de granulometría más fina (fango o barro). Se distribuye tanto en aguas continentales como marinas.

Ejemplares de este género se han hallado en los salares de Atacama y Punta Negra (Díaz & Maidana, 2005), en Lago Budi (Basualto et al. 2006), el sitio de Pilauco (Jarpa, 2008) y en la Cuenca del Lago Dos Tigres, Brasil (Oliveira et al. 2012).

Synedra

Género perteneciente a las diatomeas pennadas sin rafe (o arrafídeas). Células de gran tamaño (entre 37 y 750 μm) con forma de aguja, la que suele formar colonias radiales adhiriendo varios individuos mediante la liberación de mucílago por uno de sus extremos, permitiendo su unión. Habitualmente puede observarse en vista cingular, como en el caso de este trabajo. De agua dulce, puede desarrollarse sobre otras especies vegetales, así también como parte del “tychoplankton”.

Ejemplares de este género han sido hallados en Laguna del Laja (Urrutia et al. 2010).

Fotos de los géneros hallados y referenciales para su comparación

Achnanthes



Figura 9: Achnanthes

Referencias:

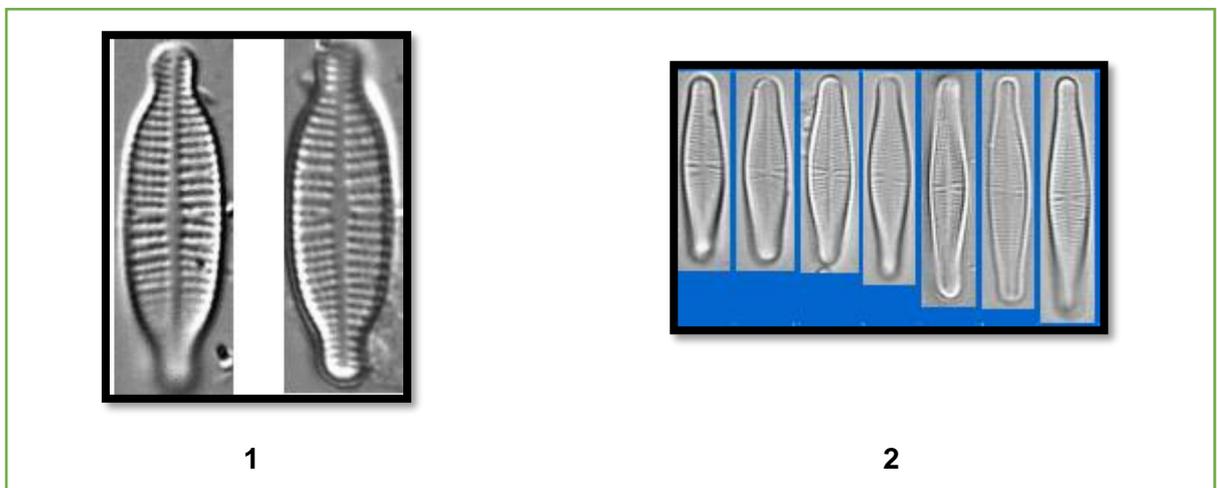


Figura 10: Referencias Achnanthes

1) *Achnanthes amphicephala* (Peeters & Ector, 2018); *Achnanthes minutissima* var. *jackii* (Bey & Ector, 2013).

Achnanthidium

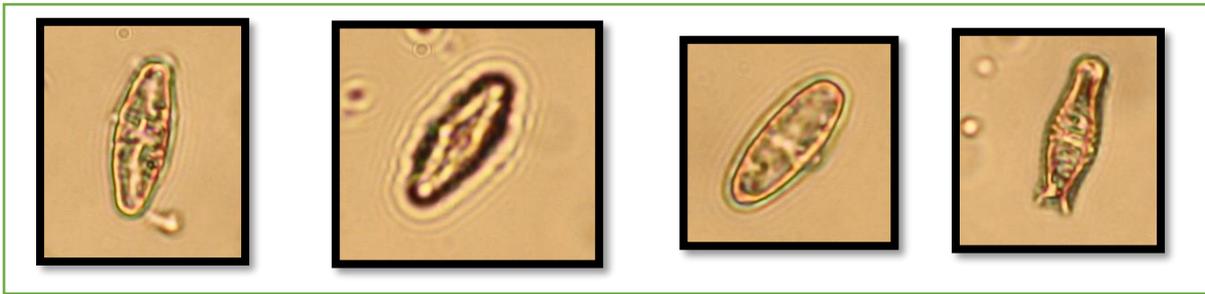


Figura 11: Achnanthidium

Referencias: Peeters & Ector (2018)

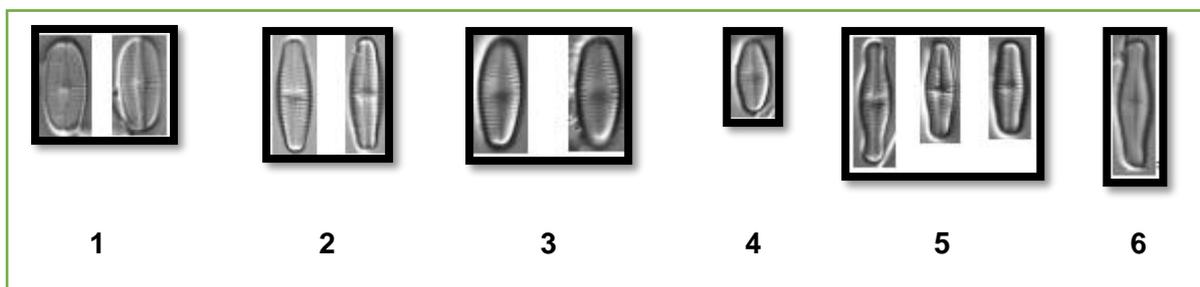


Figura 12: Referencias Achnanthidium

1) *A. rivulare*; 2) *A. microcephalum*; 3) *A. kranzii*; 4) *A. sp. 8*; 5) *A. sp. 3*; 6) *A. tropicocatenatum*.

Amphora



Figura 13: Amphora

Referencias: Bey & Ector (2013)

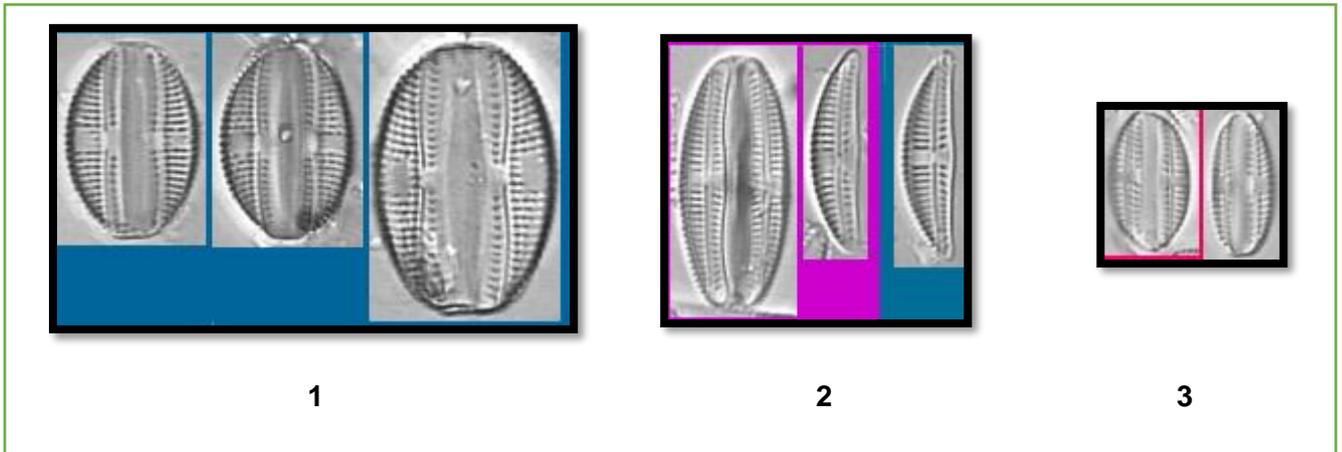


Figura 14: Referencias Amphora

1) Amphora copulata; 2) Amphora inariensis; 3) Amphora indistincta

Cocconeis

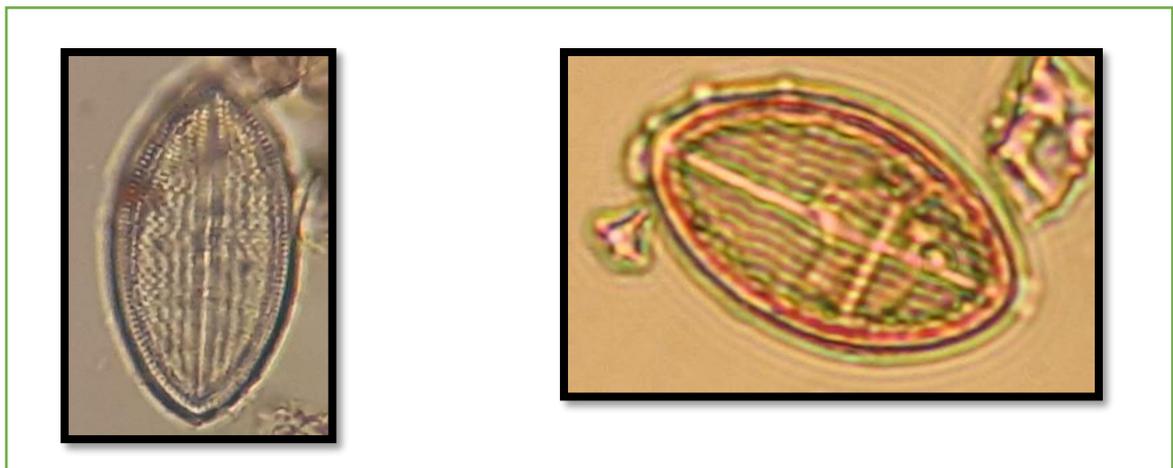


Figura 15: Cocconeis

Referencias: Peeters & Ector (2018)

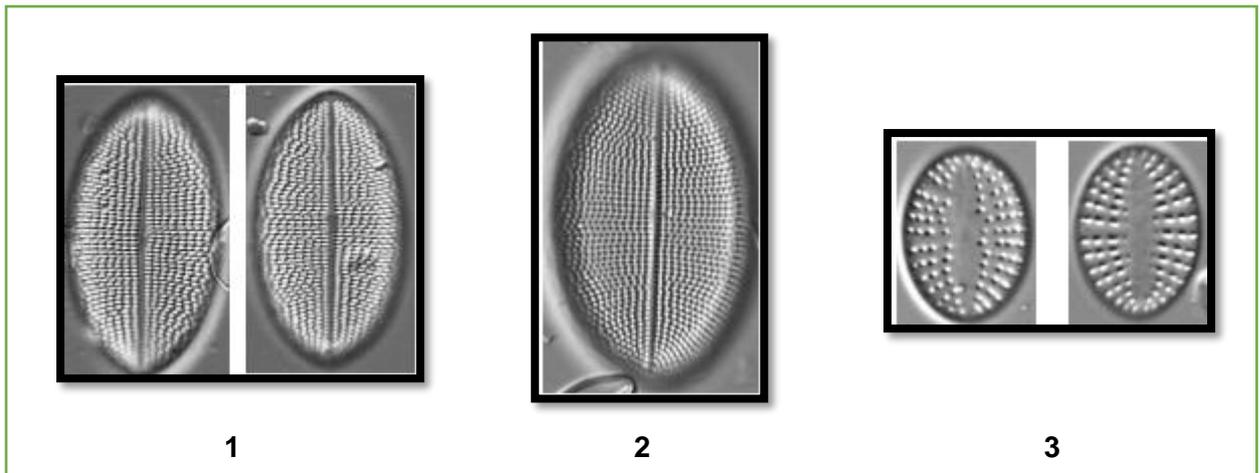


Figura 16: Referencias Cocconeis

1) *Cocconeis lineata*; 2) *Cocconeis placentula* var. *Klinoraphis*; 3) *Cocconeis pseudothumensis*

Craticula



Figura 17: Craticula

Referencias: Peeters & Ector (2019)

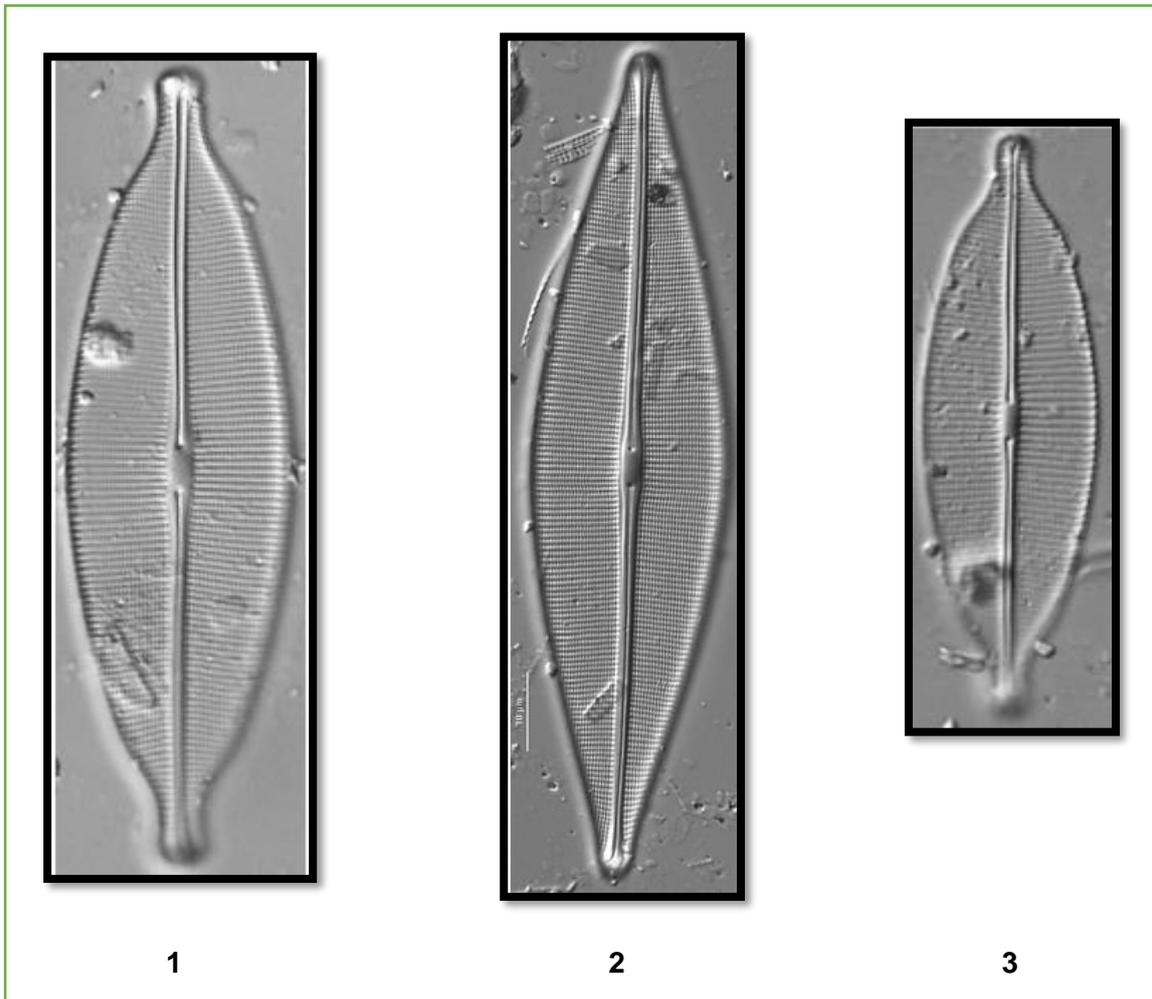


Figura 18: Referencias Craticula

1) Craticula lange-bertalotii; 2) Craticula cuspidata; 3) Craticula ambigua

Cyclotella



Figura 19: Cyclotella

Referencias: Peeters & Ector (2017)

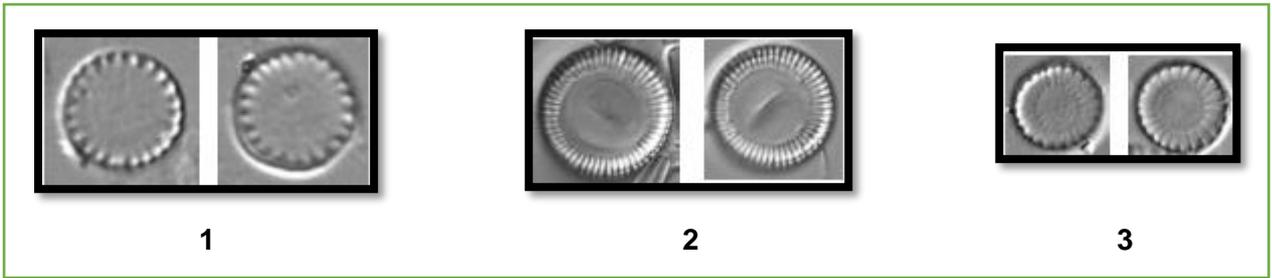


Figura 20: Referencias Cyclotella

1) *Cyclotella atomus* var. *Gracilis*; 2) *Cyclotella distinguenda*; 3) *Cyclotella meduanae*

Cymbella



Figura 21: Cymbella

Referencias: Bey & Ector (2013)

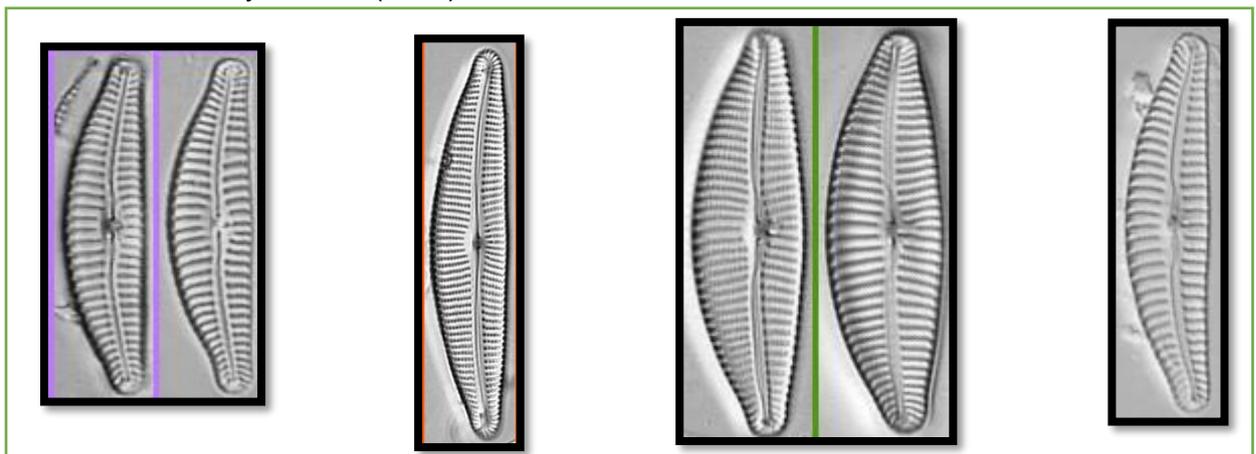


Figura 22: Referencias Cymbella

1) *Cymbella excisiformis*; 2) *Cymbella lange-bertalotii*; 3) *Cymbella tropica*; 4) *Cymbella subtruncata*

Denticula



Figura 23: Denticula

Referencias: Bey & Ector (2013)

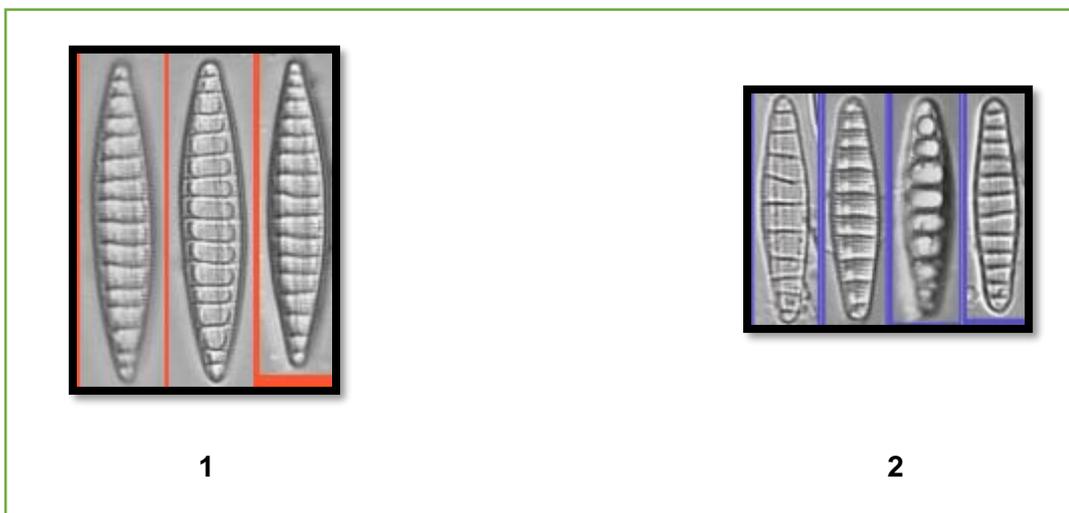


Figura 24: Referencias Denticula

1) *Denticula tenuis*; 2) *Denticula tenuis* var. *frigida*

Epithemia

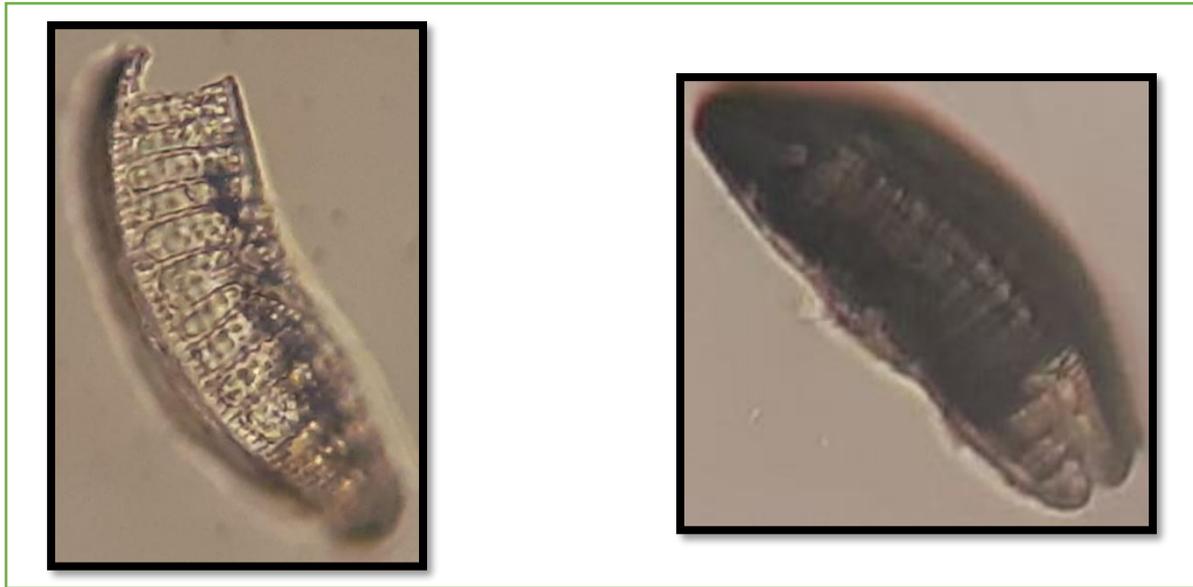


Figura 25: Epithemia

Referencias: Bey & Ector (2013)

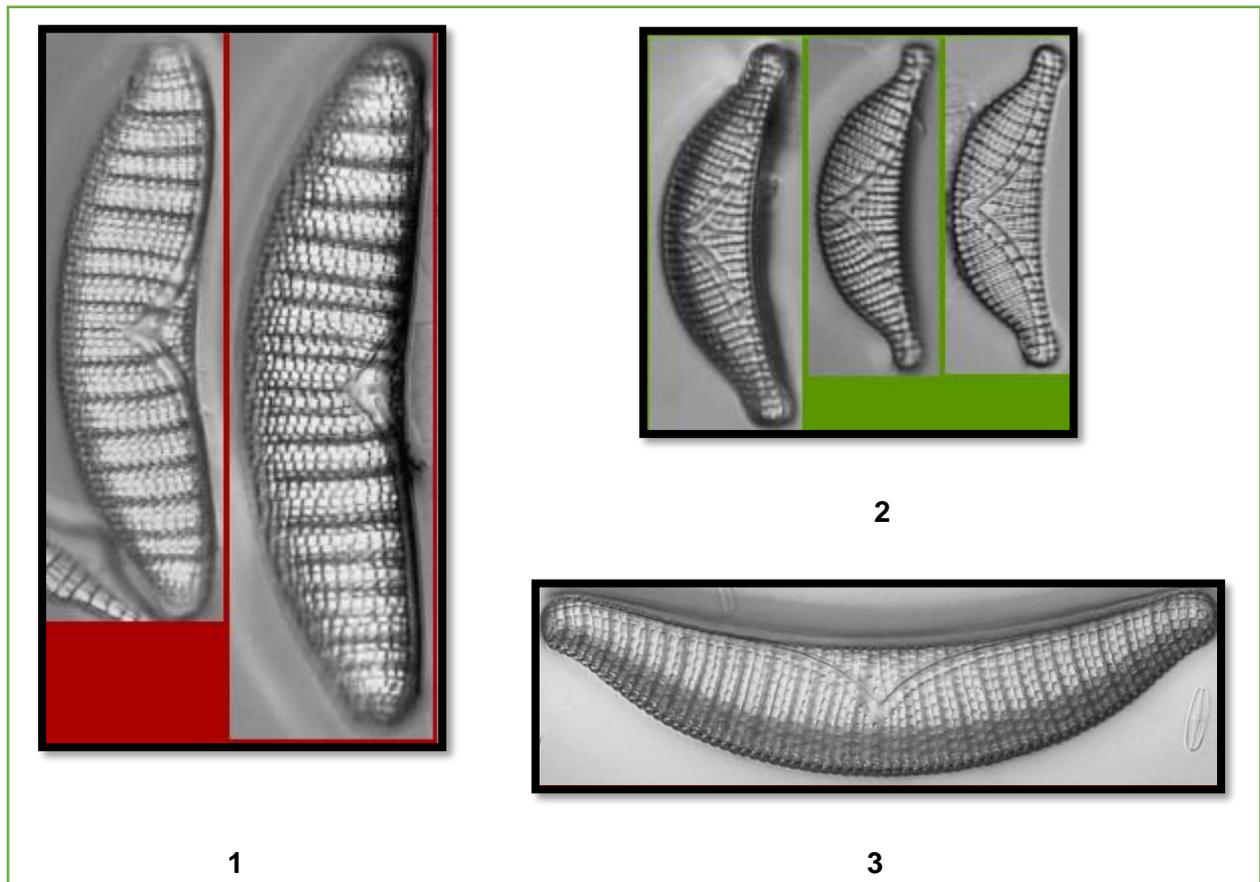


Figura 26: Referencias Epithemia

1) Epithemia adnata; 2) Epithemia sorex; 3) Epithemia westermanni

Fragilaria

Referencias: Peeters & Ector (2017)



Figura 27: Referencias Fragilaria

1) *Fragilaria canariensis*; 2) *Fragilaria candidagilae*;

Navicula



Figura 28: Navicula

Referencias: Bey & Ector (2013)

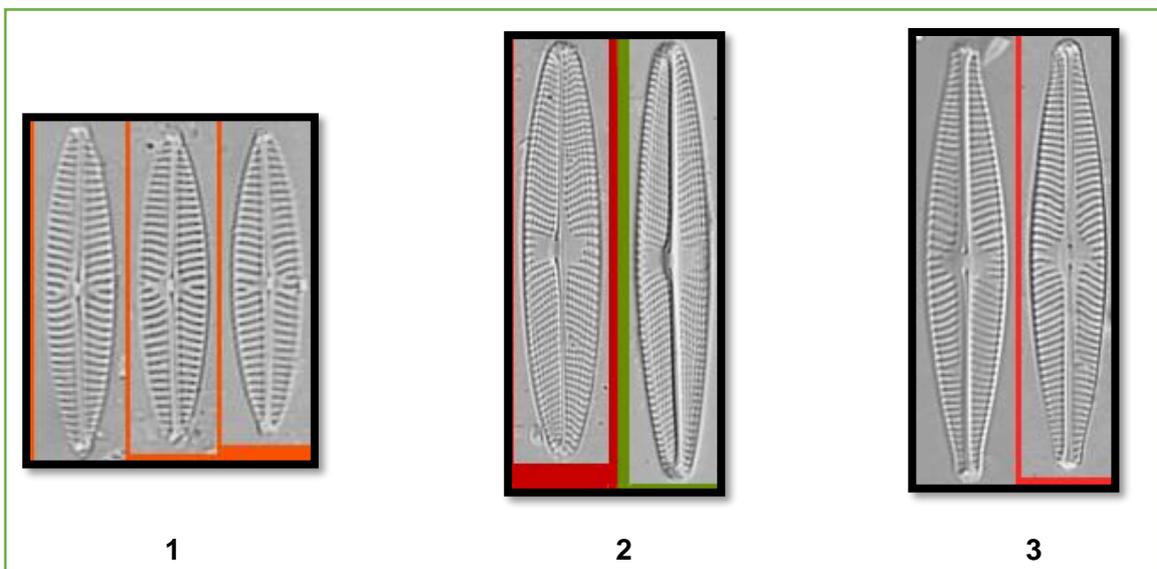


Figura 29: Referencias Navicula

1) *Navicula cryptotenella*; 2) *Navicula escambia*; 3) *Navicula exilis*

Nitzschia

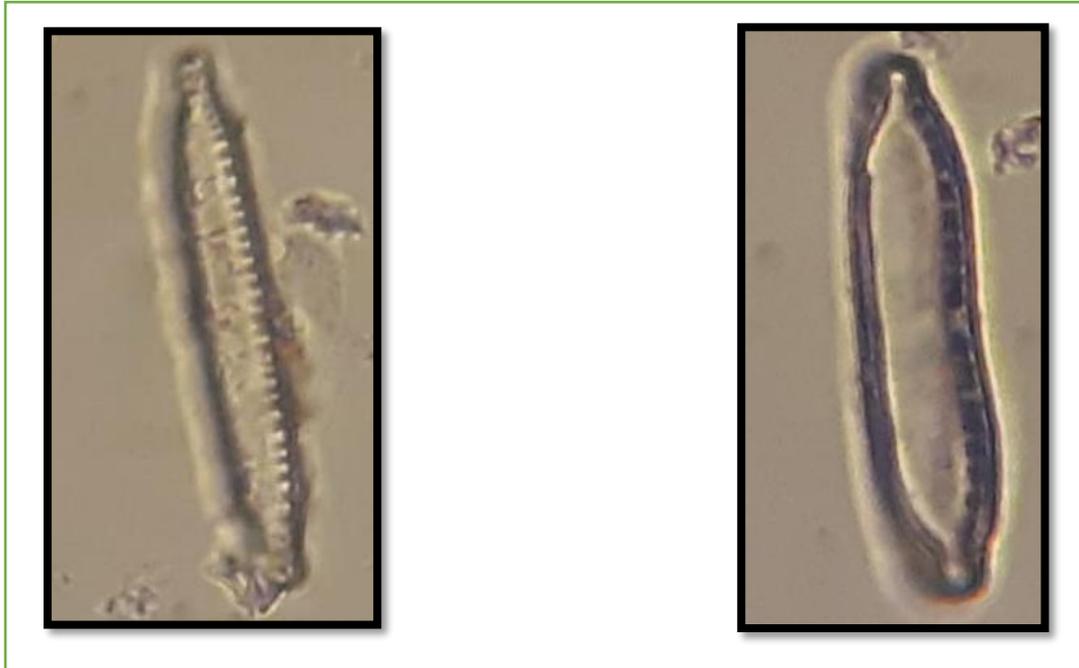


Figura 30: *Nitzschia*

Referencias: Bey & Ector (2013)

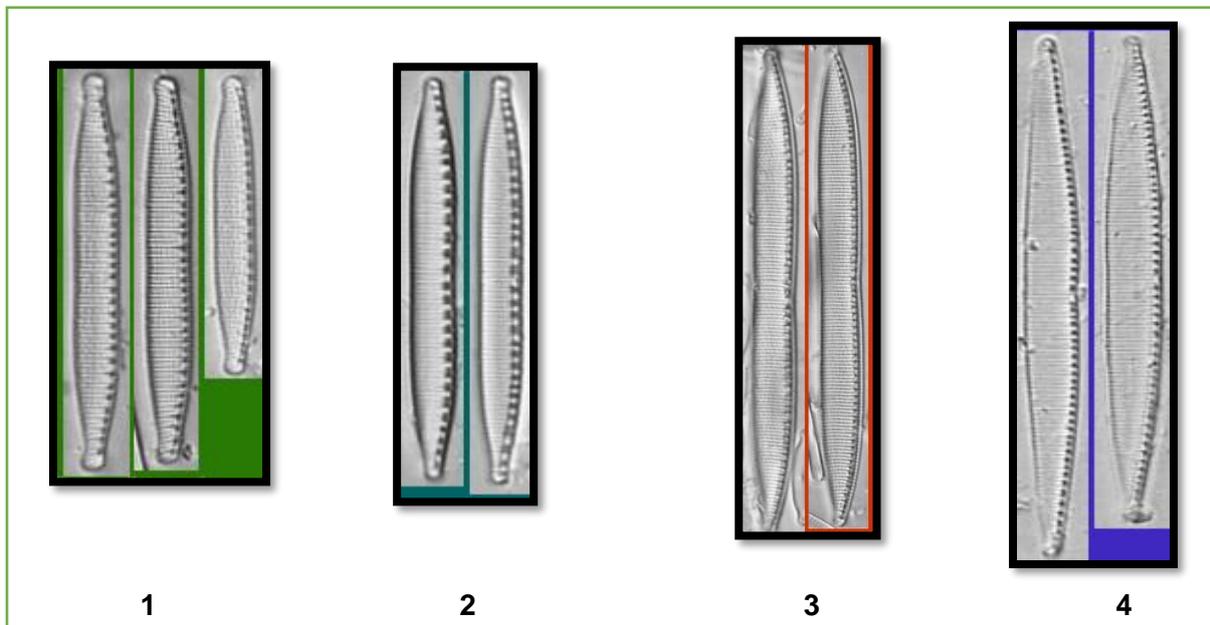


Figura 31: Referencias *Nitzschia*

1) *Nitzschia jucunda*; 2) *Nitzschia hantzschiana*; 3) *Nitzschia gisela*; 4) *Nitzschia frequens*

Planothidium



Figura 32: Planothidium

Referencias: Jahn et al. (2017)

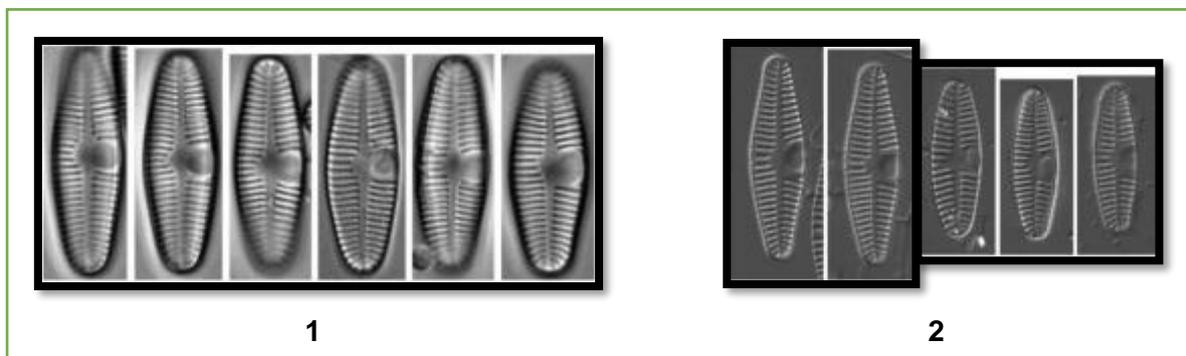


Figura 33: Referencias Planothidium

1) *Planothidium lanceolatum*; 2) *Planothidium cryptolanceolatum*

Rhopalodia



Figura 34: Rhopalodia

Referencias:

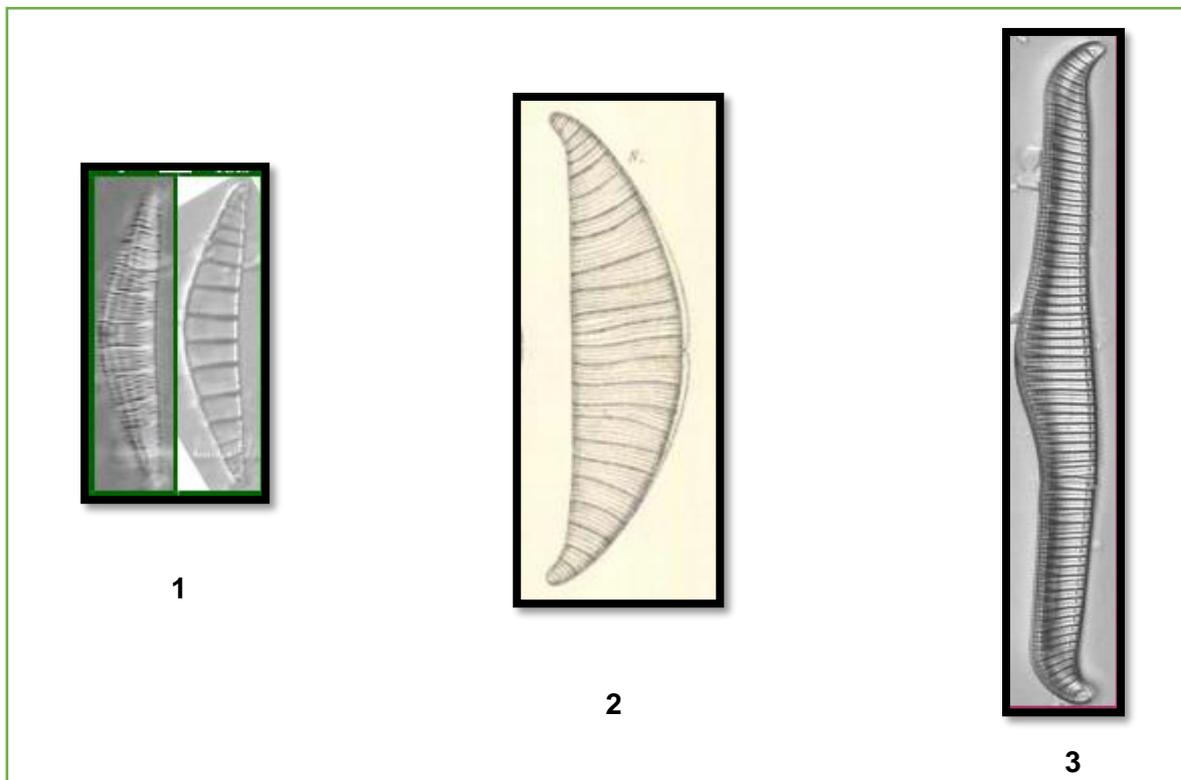


Figura 35: Referencias Rhopalodia

1) *Rhopalodia rupestris* (Bey & Ector, 2013); 2) *Rhopalodia musculus* var. *Timsahensis* (Müller, 1899); 3) *Rhopalodia gibba* (Bey & Ector, 2013).

Stenopterobia

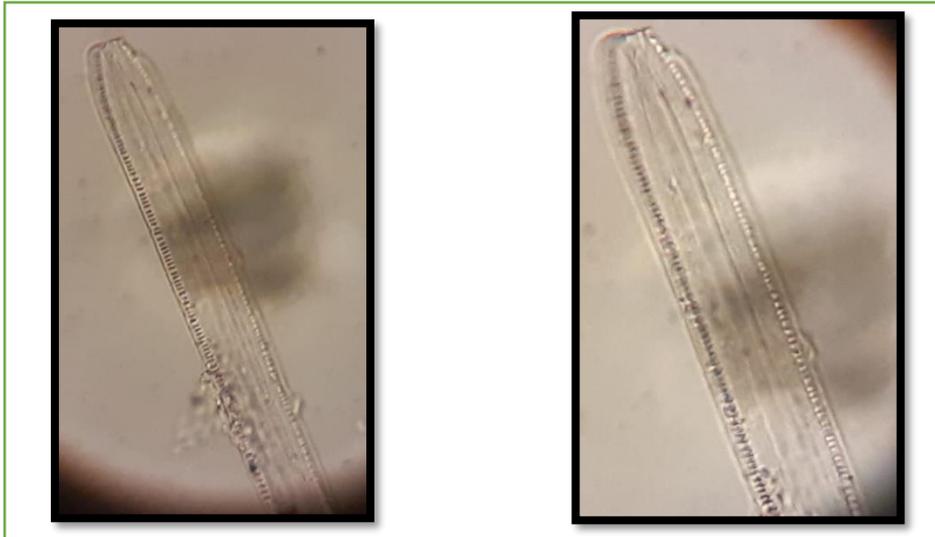


Figura 36: Stenopterobia

Referencias:

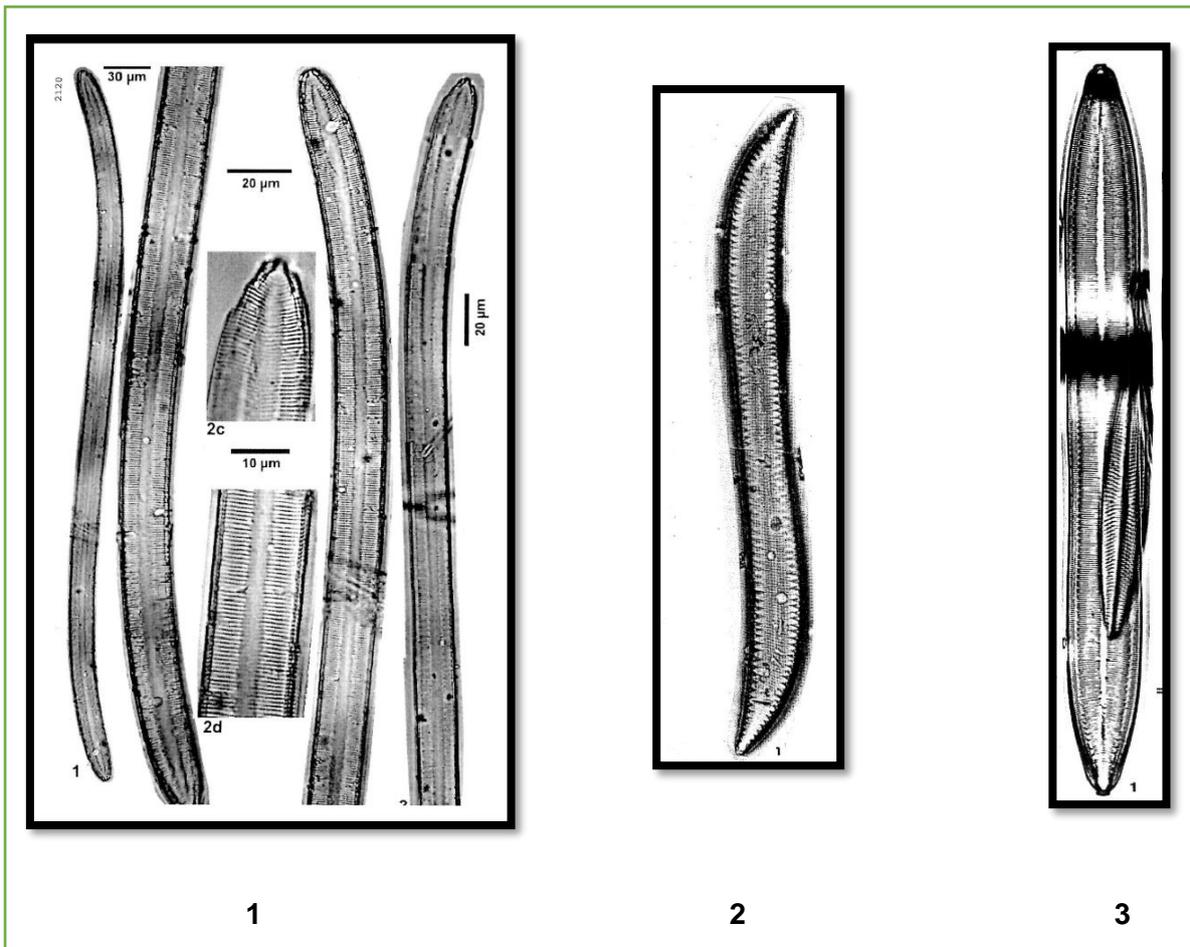


Figura 37: Referencias Stenopterobia

1) *Stenopterobia gigantea* (Metzeltin & Lange-Bertalot, 2007) ; 2) *Stenopterobia crassior* (Moser et al. 1998); 3) *Stenopterobia armata* (Moser et al. 1995)

Suirella



Figura 38: Suirella

Referencias: Bey & Ector (2013)

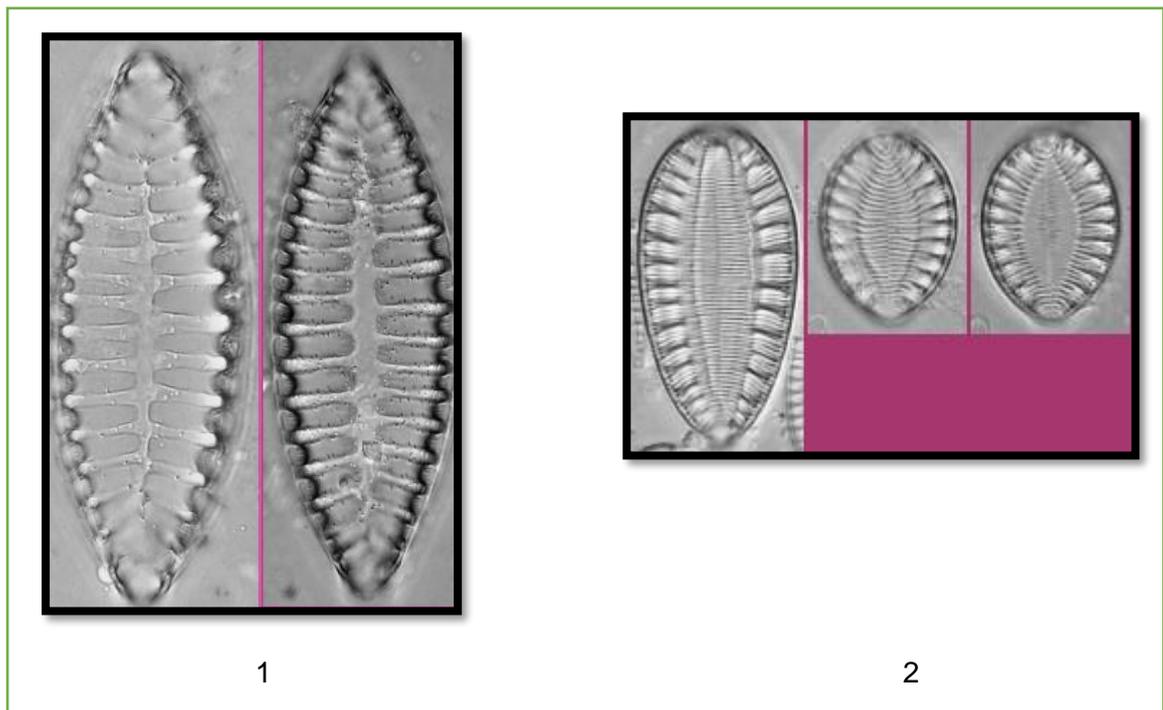


Figura 39: Referencias Suirella

1) Suirella bifrons; 2) Suirella brebissonii

Synedra



Figura 40: Synedra

Referencias: Bey & Ector (2013)

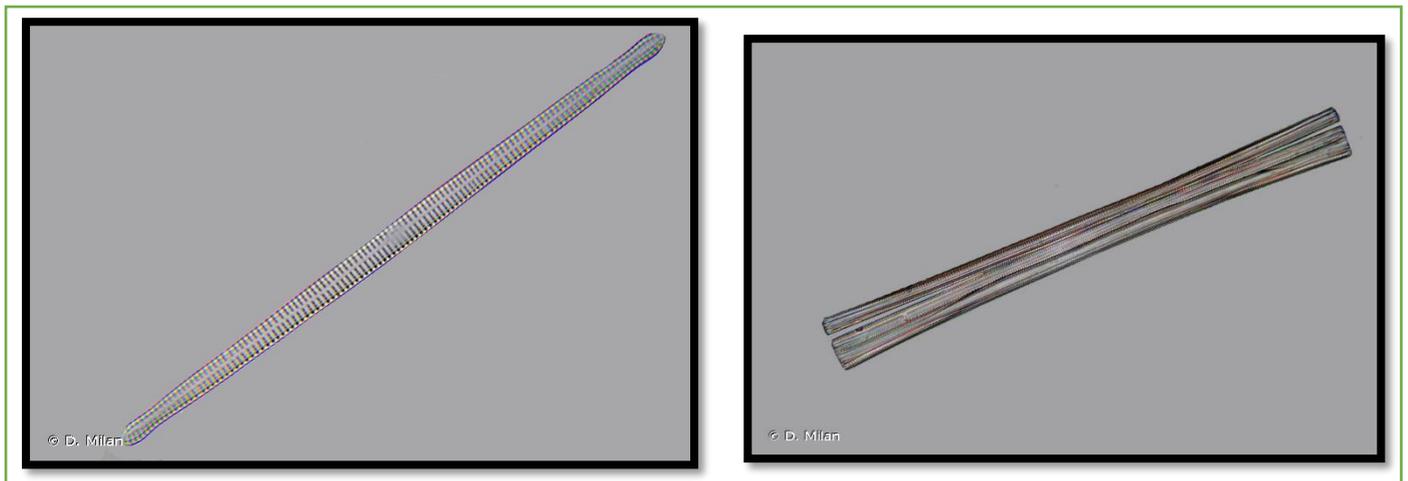


Figura 41: Referencias Synedra

Synedra ulna (Género y especie aún en discusión taxonómica)

Resultados III objetivo

Relacionar la diversidad de diatomeas en cada punto, teniendo en cuenta los rasgos ecológicos principales de cada género, con la presencia de éstos individuos en las diferentes estructuras muestreadas y el posible uso que hayan tenido en el pasado.

Sector Túmulos

- “Plaza 1 o reservorio de agua”

Punto 1:

Géneros registrados: *Achnanthes*, *Achnandithidium*, *Cocconeis*, *Cyclotella*, *Denticula*, *Navicula*, *Nitzschia*

La mayor parte de los géneros hallados son de tipo bentónicos, los que se desarrollan a distintos niveles del “bentos”, como el “epipelon” (en sustratos fangosos o sumergidos), o sobre rocas (epilíticos) y sustratos sólidos del fondo acuático (haptobenthic). El único género hallado en este punto que se desarrolla sobre otras especies vegetales, además de otros tipos de sustratos, es el tipo *Cocconeis*, lo cual puede significar la posible presencia (durante el pasado) de otras especies vegetales. Además, al igual que *Navicula*, *Cocconeis* posee la capacidad de fijar Co₂ en el medio, lo cual puede resultar en favorecer la acidificación del agua.

La única excepción a la característica general de bentónico es el género *Cyclotella*, del que solo se registró un individuo en el total de muestras extraídas. Este género se desarrolla habitualmente suspendida en los cuerpos de agua, lo que quizás podría indicar un nivel de agua considerable en este punto o en algún punto de la cuenca.

Teniendo en cuenta que el sedimento donde fue registrado este ensamble de diatomeas se presentaba muy compactado, con una disposición de los sedimentos de manera laminar, lo cual puede significar que posiblemente este haya sido un ambiente de tipo lénticos. También, debido a la cualidad bentónica de la mayor parte de los géneros registrados y solo un tipo con la capacidad de desarrollarse más libremente en el medio, además de las conexiones con el sistema de canales, es posible que haya tenido cierto nivel de flujo debido a la entrada y salida de agua.

- “Plaza 2”

Punto 2: - “área de inundación”

Géneros registrados: *Achnanthes*, *Achnandithidium*, *Amphora*, *Denticula*, *Fragilaria*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Surirella*.

Para el caso de este punto, los géneros registrados son exclusivamente de tipo bentónico, los que se desarrollan en distintos niveles del “bentos”, como el “epipelon” (en sustratos fangosos o sumergidos), sobre rocas (epilíticos) y también en sustratos sólidos del fondo acuático (haptobenthic). El único género que se distingue por su cualidad epífita, además de desarrollarse sobre rocas o sustratos sumergidos, es el tipo

Amphora, lo que podría expresarse en la presencia (durante el pasado) de otras especies vegetales en este hábitat. También destaca la presencia de *Navicula*, género caracterizado por la fijación de Co₂ en el medio en que se desarrollan. Además, este género tiene la capacidad de desarrollarse en medios de alta concentración salina y variables condiciones de pH y materia orgánica.

Al igual que en el punto anterior, los sedimentos muestreados se hallaban muy compactados, dispuestos de forma laminar. Lo que, sumado a la cualidad bentónica de los géneros de diatomeas registrados, puede hablar de un ambiente principalmente léntico, pese a que el contexto territorial de este punto pueda indicar cierto grado de conexión al sistema de regadío, la evidencia fósil de diatomeas no ha logrado verificar algún nivel del flujo de agua en este punto en específico.

Punto 3: - “Divisoria de cultivos”

Géneros registrados: *Achnanthes*, *Amphora*, *Cocconeis*, *Epithemia*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Rhopalodia*

Los géneros hallados en este punto son exclusivamente bentónicos, desarrollándose en los distintos niveles del “bentos”, como el “epipelon” (en sustratos fangosos o sumergidos), sobre rocas (epilíticos) y también en sustratos sólidos del fondo acuático (haptobenthic). Para el caso de este punto, se registraron varios géneros que poseen la cualidad de epifitas, como lo son *Amphora*, *Cocconeis*, *Epithemia* y *Rhopalodia*, evidenciando la presencia pasada de otras especies vegetales. Lo cual puede correlacionarse con el contexto territorial en que fue extraída la muestra, el que pertenece a un área de cultivos. Cabe mencionar la capacidad de los géneros *Cocconeis* y *Navicula* de fijar Co₂ en el medio.

Además, la presencia de los géneros *Epithemia* y *Rhopalodia* también habla de una posible deficiencia de nitrógeno en este punto, ya que ambos géneros tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico en el medio en que se desarrollan, siendo un aporte nutricional que es vital para el desarrollo de las especies vegetales en general.

Posiblemente los ensambles de diatomeas de este punto indiquen la presencia de otras especies vegetales en un medio caracterizado por una baja carga de nutrientes.

Sector Canchones

Punto 4: - “Canchón agrícola”

Géneros registrados: *Achnanthes*, *Achnandithidium*, *Amphora*, *Cymbella*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Planothidium*, *Rhopalodia*, *Suirella*.

Los géneros hallados en este punto son exclusivamente bentónicos, los cuales se desarrollan en los distintos niveles del “bentos”, como el “epipelon” (en sustratos fangosos o sumergidos), sobre rocas (epilíticos), sobre granos de arena (epipsammic) y también en sustratos sólidos del fondo acuático (haptobenthic). Los géneros que se desarrollan también de manera epífita son *Amphora*, *Cymbella* y *Rhopalodia*, el que además posee la cualidad fijar nitrógeno atmosférico en el medio. También destaca la

presencia de *Navicula*, género caracterizado por la fijación de Co_2 en el medio, acidificando, por ejemplo, el agua.

En el caso de confirmar que el individuo del género *Planorhynchium* pertenezca a las especies *P. cryptolanceolatum* o *P. lanceolatum*, esta indicaría que el medio acuático era altamente mineralizado, eutrofizado y cargado en materia orgánica (Peeters & Ector, 2018; Van de Vijver et al. 2013)

Teniendo en cuenta todo lo ya mencionado podemos inferir que, además de la evidencia arqueológica respecto al uso de esta estructura, el vestigio fósil también confirme el uso agrícola de este lugar ya que varios ejemplares indican cierto nivel de fertilización del suelo, debido a un posible escenario de alto contenido de nutrientes y de individuos que también están favoreciendo a la disposición de elementos vitales para el crecimiento y desarrollo de otras especies vegetales, como lo son el Co_2 y el nitrógeno.

Punto 5: - “Calicata”

Géneros registrados: *Achnanthes*, *Achnandithidium*, *Cocconeis*, *Craticula*, *Cymbella*, *Denticula*, *Epithemia*, *Fragilaria*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Rhopalodia*, *Stenopterobia*, *Surirella*, *Synedra*.

La mayor parte de los géneros registrados en este punto son de tipo bentónicos, habitando distintos niveles del “bentos” como el “epipelon” (en sustratos fangosos o sumergidos), sobre rocas (epilíticos) y también sobre sustratos sólidos del fondo acuático (haptobenthic). La única excepción que puede desarrollarse en el “tychoplankton” es el género *Synedra*.

Como este punto contempló la extracción de muestras de dos ambientes distintos (canchón y canal) pero aledaños, la cantidad y diversidad de ejemplares fue heterogénea de un lado respecto al otro. Contabilizando para el lado del canchón un total de dos géneros (*Fragilaria* y *Nitzschia*), por lo que la mayoría de los géneros fueron registrados del lado del canal. La nula presencia de ejemplares de diatomeas en los niveles superiores de la calicata en el lado del canchón, pueden deberse a que habitualmente se desarrollaban labores de limpieza de los canchones y esto haya reducido la cantidad de individuos en dicho ambiente.

En el lado del canal, se registró una amplia variedad de géneros, donde además de las características ya mencionadas, también se hallan algunos géneros con cualidades epífitas como *Cymbella*, *Cocconeis*, *Epithemia*, *Rhopalodia* y *Synedra*, acusando la posibilidad que hayan habitado otras especies vegetales en este punto. Por otro lado, *Cocconeis* y *Navicula* cumplen cierto rol nutricional al fijar Co_2 en el medio. Tarea similar desarrollan los géneros *Epithemia* y *Rhopalodia* al fijar nitrógeno captado desde la atmósfera. Otra particularidad de este lado de la calicata es la presencia de un ejemplar de *Stenopterobia*, género que se caracteriza por estar limitado a ambientes muy ácidos y con alta carga de nutrientes.

Es probable que la amplia diferencia entre cantidad de individuos y diversidad de géneros de este punto respecto a los demás muestreos, además de las diferencias entre el canchón y el canal dentro de este mismo punto, puedan deberse a que el canal tiene (o tuvo) una conexión más directa con el sistema de riego en general, teniendo en

cuenta que probablemente el agua haya recorrido cierta distancia (este es el punto más lejano a la Quebrada de Tarapacá) a través de los canales antes de llegar a este punto específico y que en ese recorrido haya arrastrado sedimentos con diatomeas y diatomeas libres. Sumado a que el canal se encuentra asociado a una red de canchones que probablemente hayan sido cultivados con más de una especie y que también pudieron haber sido fertilizados con algún elemento, lo cual puede expresarse en variaciones de la biodiversidad de diatomeas a lo largo de los puntos muestreados.

Discusión

Idealmente, llegar a definir a nivel de especie a las diferentes diatomeas halladas en el sitio permitiría hacer inferencias más específicas relacionadas a las condiciones ambientales de esta zona durante su ocupación. Tales como niveles aproximados de alcalinidad del agua y salinidad, de esta manera tendríamos mayor conocimiento de la calidad del agua y de los cultivos que allí existieron. Sin embargo, para lograr dicho objetivo y debido al tamaño microscópico de las diatomeas, se recomienda utilizar microscopio electrónico de barrido (MEB) ya que la amplia variedad de especies existentes por género dificulta poder reconocerlas con microscopio óptico a un nivel tan específico. Para el caso de esta investigación, conseguir un MEB disponible fue imposible debido a los altos costos que esto conlleva, además de las largas listas de espera para poder contratar el uso de alguno disponible. Así también, lograr identificar a nivel de especie habría favorecido al conocimiento de especies de esta zona en específico, sumándose al catastro general investigativo que existe en torno a estos microorganismos alrededor del mundo y en el territorio nacional.

Pese a lo anterior, encontrar diatomeas fósiles y distinguir 17 géneros de estas microalgas, evidencia la presencia de agua en el sitio durante diferentes momentos en el pasado, por lo que este trabajo sirve como complemento para confirmar el uso agrícola que tuvo este territorio.

Por otro lado, esta memoria busca fomentar la investigación de carácter multidisciplinaria que posibilita la arqueología, en este caso desde la geo-arqueología, rama que puede relacionarse estrechamente con la geografía debido a que tienen por objeto de estudio elementos similares al estudiar el medio físico que rodea el asentamiento humano en ciertos territorios, en este caso durante el pasado. Y aunque si bien esta investigación en particular no estudia directamente el medio ambiente, si utiliza un *proxy* medioambiental para tener evidencia empírica sobre vestigios de antiguos flujos hídricos. Proxy que es frecuentemente utilizado por las ciencias de la tierra con fines ambientales y paleoambientales, pero que en este caso fueron utilizados con fines geo-arqueológicos para comprobar el “rastros” de agua debido a cierto uso antrópico.

Conclusiones

Tomando en cuenta que existe evidencia fósil de diatomeas en las estructuras antrópicas que aparentan un antiguo uso hídrico como parte de una red de canchones de cultivo, es posible suponer que, además de la inferencia arqueológica sobre el posible uso de dichas estructuras, la presencia de diatomeas fósiles indica que en algún momento fluyó agua por la red de canales que forma parte del sitio de Pampa Iluga. Así como también la presencia de estos individuos en las áreas de cultivo y otros sectores (que aún se discute acerca de su uso), también evidencian la antigua presencia de aguas posiblemente lénticas. Agua que posiblemente era desviada desde los antiguos cauces de la quebrada de Tarapacá, fluyendo a través de una compleja red de canales que la conduciría a los canchones de cultivo que también conforman esta red, la que además posee un sentido que sigue la pendiente general de Pampa Iluga y las quebradas aledañas (SW), lo cual habría favorecido dicho flujo (o dicho drenaje). Lo que no deja de ser llamativo ya que las condiciones actuales hiper-áridas y desérticas que caracterizan al territorio de la Pampa del Tamarugal dificulta poder imaginar un escenario agrícola con las dimensiones que posee el Sitio en estudio.

Además, a partir de la presencia de géneros que habitualmente se desarrollan en ambientes altamente mineralizados y eutrofizados, podríamos inferir sobre ciertas prácticas agrícolas relacionadas al uso de fertilizantes en el suelo. Así como la presencia de géneros epífitos de diatomeas favorece la hipótesis de que existieron otras especies vegetales, tanto en canales como canchones, que pudieron estar relacionadas a la práctica agrícola en sí, como a especies silvestres que pudieron asentarse en este territorio producto de la acción fluvial o eólica.

En el Punto 5, se presenta una mayor biodiversidad de diatomeas fósiles que puede explicarse en que existe un recorrido mayor desde la Quebrada de Tarapacá hasta este punto, respecto a los demás puntos de muestreo. Teniendo en cuenta que el agua atravesó una serie de ambientes diversos en cuanto a su dinámica en el pasado, desde lo alto de la cuenca hasta el lugar en que fueron registradas las muestras, arrastrando material orgánico y sedimentario. Por otro lado, el aspecto más reciente (histórico) de las estructuras de este punto, también puede suponer el uso de fertilizantes más modernos (y quizás más cargados en nutrientes), lo que también podría tener cierta implicancia en el desarrollo de especies que están restringidas a ambientes eutrofizados. Por lo que es posible que el conjunto de actividades humanas sumado a la dinámica natural de la cuenca, hayan favorecido al desarrollo de una mayor diversidad de ejemplares en este punto.

De esta manera, damos cuenta también sobre la importancia que cumple la labor multidisciplinaria en este tipo de proyectos de investigación, ya que esta directa relación entre un territorio tan árido y agreste como la Pampa y la manera en que los antiguos habitantes lograron adecuar el desierto con motivos agrícolas, desarrollando un asentamiento complejo y a gran escala, puede involucrar a ramas del conocimiento como la Arqueología, la Geo-arqueología y la Geografía.

Bibliografía

Agüero, C., Uribe, M., Ayala, P., Cases, B. & Carrasco C. (2001). Ceremonialismo del período Formativo en Quillagua, Norte Grande de Chile. *Boletín de la Sociedad Chilena de Arqueología* 32: 24–34.

Bahls, L. (1973). Diatom Community Response to Primary Wastewater Effluent. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, Vol. 45, No. 1 (Jan., 1973), pp. 134-144.

Barron, J. A. (1993). *Diatoms. Fossil prokaryotes and Protists*. Boston. Blackwell Scientific Pubs.

Basualto, S. & Tapia, Jaime & Cruces, Fabiola & Peña-Cortés, Fernando & Enrique, Hauenstein & Bertran, Carlos & Schlatter, Roberto. (2006). The effect of physical and chemical parameters on the structure and composition of the phytoplankton community of Lake Budi (IX Region, Chile). *Journal of The Chilean Chemical Society - J CHIL CHEM SOC*. 51. 10.4067/S0717-97072006000300015.

Bates, R. L. & Jackson, J. A. (1984). *Dictionary of Geological Terms*. Anchor Books Edition 1984, USA.

Bathurst, R. & Zori, D. & Byock, J. (2010). Diatoms as bioindicators of site use: Locating turf structures from the Viking Age. *Journal of Archaeological Science - J ARCHAEOLOGICAL SCI*. 37. 2920-2928. 10.1016/j.jas.2010.07.002.

Battarbee, R. (1986). Diatom analysis. En: Berglund B. E. (ed.) *Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology*. John Wiley and Sons, Chichester, pp 527-570.

Bayona, Y., Roucaute, M., Cailleaud, K., Lagadic, L., Bassères, A. & Caquet, T. (2014). Structural and biological trait responses of diatom assemblages to organic chemicals in outdoor flow-through mesocosms. *Environmental Pollution*, ISSN: 0269-7491, Vol: 192, Page: 186-195.

Bellinger, G. & Sigeo, D. (2010). *Freshwater Algae: Identification and Use as Bioindicators*.

Belmar, C., X. Alborno, S. Alfaro, F. Meneses, C. Carrasco, L. Quiroz, M.P. Babot, and M.T. Planella. (2016). Reconstruyendo las prácticas fumatorias del sitio La Granja (130 a 1000 D.C, valle del río Cachapoal, VI Región, Chile central) a partir de los microfósiles. *Chungara*, 48(1):53–72.

Beraldi-Campesi, H., & Cevallos-Ferriz, S. (2005). Diversidad de microfósiles en la Formación Tarahumara, Sonora. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 22(2), 261-271.

Bergoeing, J.P. (1979). Investigaciones geomorfológicas en la Pampa del Tamarugal, Provincia de Tarapacá, Chile. *Revista Geográfica*, No. 89 (Junio 1979), pp. 99-184

Betancurt, R. & Baffico, G. & Beamud, S. (2017). Alga *Didymo*. Una pequeña gran invasora. Desde la Patagonia Difundiendo Saberes. 14. 28-34.

Bey, M. & Ector, L. (2013). *L'Atlas des diatomées des cours d'eau de la région Rhône-Alpes*. Tomos: 1 – 6. Disponible en: www.rhone-alpes.developpement-durable.gouv.fr

Bradley R.S. (2015). *Paleoclimatology. Reconstructing climates of the Quaternary*. 3a ed., Elsevier, Amherst, Massachusetts.

Butzer, K. (1989) *Arqueologia- Una Ecología Del Hombre*.

Carrasco, C., Correa, I., Belmar Pantelis, C., Ballester, B. & Gallardo, F. (2017). Cocinando relaciones interculturales: residuos adheridos en vasijas cerámicas de cazadores recolectores marinos del desierto de Atacama (período formativo, norte de Chile). Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/148490>

Chen, X., Li, C., MCGowan, S. & Yang, X. (2014). Diatom response to heavy metal pollution and nutrient enrichment in an urban lake: Evidence from paleolimnology. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology*. 50. 121-130. 10.1051/limn/2014004.

Cohen, K.M., Finney, S.C., Gibbard, P.L. & Fan, J.-X. (2013). The ICS International Chronostratigraphic Chart. *Episodes* 36: 199-204.

Cruces, F., Urrutia, R., Parra, O., Araneda, A., Treutler, H., Bertrand, S., Fagel, N., Torres, L., Barra, R. & Chirinos, L. (2006). Changes in diatom assemblages in an Andean lake in response to a recent volcanic event. *Arch. Hydrobiol.* 165. 23-35. 10.1127/0003-9136/2006/0165-0023.

De Faria, D., Cosin, J., Tremarin, P., & Ludwig, T. (2019). Temporal changes in biological traits of diatom communities in response to an oil spill in a subtropical river. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 91(2), e20170863. Epub May 23, 2019. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201920170863>

Digerfeldt, G. (1986). Studies on past lake-level fluctuations. In *Handbook of Holocene*.

Dulinsky, M. & Glazek, J. (1993). Speleothems as indicators of past climatic changes – Limitations in the interpretation of data derived from single samples. An example from the Tatra Mountains, Poland. *International Symposium on Isotope Techniques in the Study of Past and Current Environmental Changes in the Hydrosphere*. IAEA Proc. Series, Vienna, 551 - 554.

Fernández, M.A & Bellotti, N. (2017). Silica-based bioactive solids obtained from modified diatomaceous earth to be used as antimicrobial filler material. *Materials Letters*. 194. 130. 10.1016/j.matlet.2017.01.144.

Fernández, M. AND M. Salemme (2010). Resultados preliminares sobre el análisis de diatomeas en sitios de la Meseta central de Santa Cruz (Patagonia Argentina). Libro de Resúmenes del V Simposio del Hombre Temprano en América, pp. 116. La Plata.

García, M., Vidal, A., Mandakovic, V., Maldonado, A., Peña, M. P., & Belmonte, E. (2014). Alimentos, tecnologías vegetales y paleoambientes en las aldeas formativas de la Pampa del Tamarugal, Tarapacá (ca. 900 AC-BOO DC). *Estudios atacameños*, (47), 33-58.

Ghobara, M. & Mohamed, A. (2019). Diatomite in Use: Nature, Modifications, Commercial Applications and Prospective Trends. En: Seckbach, J. & Gordon, R. (2019). *Diatoms: Fundamentals and Applications*, (471–509) Scrivener Publishing LLC.

González, M., Espinosa, M. & Guerstein, G. R., Martín, Y & Raising, R. (2012). Diatomeas de la Formación Río Turbio (Eoceno Medio), Sudoeste de Santa Cruz, Argentina.

Grana, L. (2007). Diatomeas fósiles: un acercamiento a la relación entre la sociedad y el ambiente durante el Holoceno en Antofagasta de la Sierra, Puna Meridional. Unpublished Graduate Thesis, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires.

Grana, Lorena & Cohen, Maria & Maidana, Nora. (2014). Methodological proposal to identify irrigation canals using diatoms as biomarkers: Peñas Coloradas (Antofagasta de la Sierra, Puna meridional Argentina).

Grana, L., Tchilinguirian, P., Olivera, D., Laprida, C. & Maidana, N. (2016). Síntesis paleoambiental en Antofagasta de la Sierra: heterogeneidad ambiental y ocupaciones humanas en los últimos 7200 años cal AP. *Intersecciones en Antropología*. 17. 19-32.

Grana, L. (2018). La arqueología desde el microscopio. Aportes interdisciplinarios de las diatomeas a las problemáticas arqueológicas. *Revista Del Museo De Antropología*, 11(1), 35-48.

Helleren, S. (2016). The diatom *Chaetoceros* spp. as a potential contributing factor to fish mortality events in Cockburn Sound, November 2015. Dalcon Environmental.

Hernández, A., Bao, R., Giralt, S., Leng, M. J., Barker, P. A., Sáez, A., Pueyo, J. J., Moreno, A., Valero-Garcés, B. L. and Sloane, H. J. (2008). The palaeohydrological evolution of Lago Chungará (Andean Altiplano, northern Chile) during the Late glacial and early Holocene using oxygen isotopes in diatom silica. *J. Quaternary Sci.*, Vol.23pp. 351–363. ISSN 0267-8179.

Jahn, R., Abarca, N., Gemeinholzer, B., Mora, D., Skibbe, O., Kulikovskiy, M., Gusev, E., Kusber, W. & Zimmermann, J. (2017) *Planothidium lanceolatum* and *Planothidium frequentissimum* reinvestigated with molecular methods and morphology: four new species and the taxonomic importance of the sinus and cavum, *Diatom Research*, 32:1, 75-107, DOI: 10.1080/0269249X.2017.1312548

Jansma, M.J. (1990). Diatoms from Neolithic excavations on the former island of Schokland, IJsselmeerpolders. The Netherlands. *Diatom Research* 5(2): 301-309.

Jarpa, L., (2008) Las diatomeas del sitio Pilauco. En: M. Pino (Ed.). Pilauco, un sitio complejo del Pleistoceno tardío, Imprenta América, Valdivia, Chile, Universidad Austral de Chile. pp 43-48.

Jumbo, L., Pimentel, M., Oliveira, E., Toledo, P., & Faroni, L. (2019). Potential of diatomaceous earth as a management tool against *Acanthoscelides obtectus* infestations. 36. 37-46.

Kelly, M. G., et al. (2016). "RAPPER: A new method for rapid assessment of macroalgae as a complement to diatom-based assessments of ecological status." *Science of The Total Environment* 568(Supplement C): 536-545.

Kligmann, D. (2009). Procesos de formación de sitios arqueológicos: tres casos de estudio en la Puna meridional catamarqueña argentina, pp. 327. *British Archaeological Reports (BAR) International Series* 1949, Archaeopress, Oxford.

Kocielek, P. & Spaulding, S.A. (2000). Freshwater diatom biogeography. *Nova Hedwigia* 71: 223-241.. *Nova Hedwigia*. 71. 223-241.

Kogel, J.S., Trivedi, N., Barker, J. & Krukowski, S. (2006). *Industrial minerals & rocks: commodities, markets, and uses*. 7th ed.

- Korunic, Z. (2013). Diatomaceous Earths, Natural Insecticides. *Pesticidi i fitomedicina*, 28, 77-95.
- Krammer K. & Lange-Bertalot H. (1986- 1991) Bacillariophyceae. In *Süßwasserflora von Mitteleuropa* (eds. H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer). Fischer, Stuttgart.
- Kristiansen, J. (1996). Dispersal of freshwater algae — a review, *Hydrobiologia*, 336(1-3), 151–157.
- Rai, S. & Paudel, S. (2019). *Algal Flora of Jagadishpur Tal, Kapilvastu, Nepal*.
- Lange-Bertalot H., (1979a). Pollution tolerance of diatoms as a criterion for water quality estimation. *Nova Hedwig.*, 64, 285–304.
- Lange-Bertalot, H. (1979b). Toleranzgrenzen und Populationsdynamik benthischer Diatomeen bei unterschiedlich starker Abwasserbelastung. *Arch. Hydrobiol. Suppl.*, 56: 184–219.
- Luís, A., Teixeira, P., Almeida, S., Ector, L., Matos, J. & Silva, E. (2008). Impact of Acid Mine Drainage (AMD) on Water Quality, Stream Sediments and Periphytic Diatom Communities in the Surrounding Streams of Aljustrel Mining Area (Portugal). *Water, Air, and Soil Pollution*. 200. 147-167. 10.1007/s11270-008-9900-z.
- Luna-Vega, I., Morrone, J. & Medina, R. (2001). *Conceptos biogeográficos. Elementos: Ciencia y cultura*.
- Lyle, M. (2014). Deep-Sea Sediments. En *Encyclopedia of Marine Geosciences*. pp. 1–21. J. Harff, M. Meschede, S. Petersen and J. Thiede (eds.). Dordrecht: Springer.
- Lynch, V., Fernández, M. & Miotti, L. (2015). Estudio experimental sobre la dinámica postdeposicional en rastros de uso: Integridad artefactual del componente 1 de Cueva Maripe (Santa Cruz, Argentina). *Magallania (Chile)*, 2015. Vol. 43(1):211-229.
- Maidana, N. (2013). El test de diatomeas en el diagnóstico de muerte por sumersión. *Revista ActaNova*. [online]. Vol.6, n.1-2 pp. 70-81. Disponible en: http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892013000100007&lng=es&nrm=iso. ISSN 1683-0789.
- Mann, D.G. & Droop, S.J. (1996). Biodiversity, biogeography and conservation of diatoms. In *Biogeography of Freshwater Algae: Proceedings of the Workshop on Biogeography of Freshwater Algae, Developments in Hydrobiology 118*, ed. J. Kristiansen, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 19–32.
- Mann, D.G., Vanormelingen, P. (2013). An inordinate fondness? The number, distribution and origins of diatom species, *J. Eukaryot. Microbiol.*, 60(4), 414–420.
- Margalef, R. (1968). *Perspectives in Ecological Theory*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Martel-Cea, A., Maldonado, A., Grosjean, M., Alvial, I., de Jong, R., Fritz, S. & Von Gunten, L. (2016). Late Holocene environmental changes as recorded in the sediments of high Andean Laguna Chepical, Central Chile (32°S; 3050ma.s.l.), *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.palaeo.2016.08.003>
- Martínez-García, B. et al. (2015). Análisis paleoambiental de los depósitos aluviales de la sección de Cenicero a partir de las asociaciones de ostrácodos (Mioceno inferior, NO

de la Cuenca del Ebro). *Estudios Geológicos* 71(1): e024.
<http://dx.doi.org/10.3989/egeol.41729.320>.

Masés-Solís, M.G. (2016). La paleoclimatología como herramienta de la Biogeografía. *Revista Ciencia y Mar* 2014, XXII (54):53-57.

Metzeltin, D. & Lange-Bertalot, H. (2007). Tropical diatoms of South America II. Special remarks on biogeography disjunction. In: H. Lange-Bertalot (ed.), *Iconographia Diatomologica. Annotated Diatom Micrographs. Vol. 18. Diversity-Taxonomy-Biogeography*. A.R.G. Gantner Verlag K.G. 18:1-877.

Morin, S., Arielle, C., Lavoie, I., Arini, A., Blanco, S., Duong, T.T., Torne´s, E., Bonet, B., Corcoll, N., Faggiano, L., Laviale, M., Peres, F., Becares, E., Coste, M., Feurtet-Mazel, A., Fortin, C., Guasch, H., & Sabater, S. (2012). Consistency in Diatom Response to Metal-Contaminated Environments. [10.1007/978-3-642-25722-3_5](https://doi.org/10.1007/978-3-642-25722-3_5).

Moser, G., Steindorf, A. & Lange-Bertalot, H. (1995). Neukaledonien Diatomeenflora einer Tropeninsel. Revision der collection Maillard und Untersuchung neuen materials. *Bibliotheca Diatomologica* 32:340 pp.

Moser, G., Lange-Bertalot, H. and Metzeltin, D. (1998). Insel der Endemiten Geobotanisches Phänomen Neukaledonien (Island of endemics New Caledonia - a geobotanical phenomenon). *Bibliotheca Diatomologica* 38:464 pp.

Müller, O. (1899). Bacillariaceen aus den Natronthälern von El Kab (Ober-Aegypten). *Hedwigia* 38: 274-288.

Muñoz, I. (1980). Túmulos funerarios: evidencias del proceso de agriculturización en los valles bajos de Arica. Memoria de Título en Arqueología, Universidad del Norte, Antofagasta.

Navarro, D., Rojo, L., De Francesco, C., Hassan, G. (2012). Paleoecología y reconstrucciones paleoambientales en Mendoza durante el Holoceno.

Odum, E. (1973). "Ecología". Editorial Interamericana. México D. F. México.

Oliveira, B., Nogueira, I. & Souza, M. (2012). Stenopterobia e Surirella (Bacillariophyceae, Surirellaceae) do Sistema Lago dos Tigres, Britânia, Goiás. *Rodriguésia*, 63(3), 525-539. <https://doi.org/10.1590/S2175-78602012000300004>

Pandey, L.K. & Bergey, E.A. (2016). Exploring the status of motility, lipid bodies, deformities and size reduction in periphytic diatom community from chronically metal (Cu, Zn) polluted waterbodies as a biomonitoring tool, *Science of The Total Environment*, 550, 372–381.

Peabody, A. J. (1980). Diatoms and Drowning. A Review. *Medicine, Science and the Law*, 20(4), 254–261.

Peeters, V. & Ector, L. (2017). Atlas des diatomées des cours d'eau du territoire bourguignon. Volúmenes: 1: Centriques, Araphidées. Disponible en: <http://www.bourgogne-franche-comte.developpement-durable.gouv.fr/publications-r2732.html>

Peeters, V. & Ector, L. (2018). Atlas des diatomées des cours d'eau du territoire bourguignon. Volúmenes: 2: Monoraphidées, Brachyraphidées. Disponible en:

<http://www.bourgogne-franche-comte.developpement-durable.gouv.fr/publications-r2732.html>

Peeters, V. & Ector, L. (2019). Atlas des diatomées des cours d'eau du territoire bourguignon. Volúmenes: 3: Naviculacées partie 1. Disponible en: <http://www.bourgogne-franche-comte.developpement-durable.gouv.fr/publications-r2732.html>

Pérez, R., Cruces, F., Alvarez, D., Torrejón, F., Araneda, A. & Urrutia, R. (2015). Respuesta de diatomeas a eventos de incendios en las cuencas de dos lagos de Patagonia Norte, Chile: Análisis del registro sedimentario. *Limnetica*. 34. 381-396.

Piegari, G., Pelagalli, A., d'Aquino, I., De Biase, D., Prisco, F. & Paciello, O. (2020). .Diatom Test and Intrapulmonary Aquaporins Expression as New Tools for the Diagnosis of Drowning in Veterinary Forensic Pathology. Elsevier.

Pollanen, M.S. (1997). The diagnostic value of the diatom test for drowning, II. Validity: analysis of diatoms in bone marrow and drowning medium. *J Forensic Sci*. 1997;42(2):286-290.

Pollanen, M. S. (1998). Forensic Diatomology and Drowning. Elsevier.

Raju, V. & Perumal, K. (2015). Application of Diatom-Based Indices for Monitoring Environmental Quality of Riverine Ecosystems: A Review. 10.1007/978-3-319-13425-3_28.

Rebolledo, L., Lange, C., Figueroa, D., Pantoja, S., Muñoz, P., & Castro, R. (2005). 20th century fluctuations in the abundance of siliceous microorganisms preserved in the sediments of the Puyuhuapi Channel (44° S), Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. 78. 469-488.

Rebolledo, L., Lange, C., Bertrand, S., Muñoz, P., Salamanca, M., Lazo, P., Iriarte, J., Easton, G., Pantoja, S. & Dezileau, L. (2015). Late Holocene precipitation variability recorded in the sediments of Reloncaví Fjord (41°S, 72°W), Chile. 10.13140/RG.2.1.1937.6489.

Ritter, B., Wennrich, V., Medialdea, A. *et al.* (2019). "Climatic fluctuations in the hyperarid core of the Atacama Desert during the past 215 ka". *Sci Rep* 9, 5270 <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41743-8>

Rivera, P. (2006). Estado de conocimiento de las diatomeas dulceacuícolas de Chile. *Gayana (Concepción)*, 70(1), 1-7.

Rivera, P. & Cruces, F. (2008). *Fragilaria capucina* desm. Var *mesogongyla frenguelli*, una diatomea presente en la zona norte de la cordillera de los andes (Chile), con comentarios sobre la variabilidad del número de procesos labiados en algunos géneros arafidicales. *Gayana. Botánica*. 65. 10.4067/S0717-66432008000200002.

Rivera, P. & Cruces, F. (2018). *Achnantheidium exiguum* (Bacillariophyta): nuevas citas para localidades andinas del norte de Chile. *Gayana Botánica*. 75. 646-649. 10.4067/S0717-66432018000200646.

Round, F.E., Crawford R.M. & Mann D.G. (1990). *The Diatoms: Biology and Morphology of the Genera*. Cambridge University Press, Cambridge.

- Rühland, K.M., Paterson, A.M. & Smol, J.P. (2015). Lake diatom responses to warming: reviewing the evidence. *J Paleolimnol* 54, 1–35.
- SAG. (2011). Pauta para Estudio de Suelos. Servicio Agrícola y Ganadero. División de Protección de los Recursos Naturales Renovables.
- Sánchez-Rojas G., Ballesteros-Barrera, C. & Pavón, N.P. (2011). Cambio climático. Aproximaciones para el estudio de su efecto sobre la biodiversidad. Universidad Autónoma de Hidalgo. Pachuca, Hidalgo, México.
- Sandhya, K., Prakash, N.B., & Meunier, J... (2018). Diatomaceous earth as source of silicon on the growth and yield of rice in contrasted soils of Southern India. *Journal of soil science and plant nutrition*, 18(2), 344-360.
- Schowe, K., Harding, J. & Broady, P. (2012). Diatom community response to an acid mine drainage gradient. *Hydrobiologia*. 705. 10.1007/s10750-012-1391-7.
- Smol, J. & Stoermer, E. (2010). The diatoms: Applications for the environmental and Earth sciences. Cambridge. Second edition.
- Stein, J. & Farrand, W. (1985). Archaeological sediments in context. *Peopling in the Americas*. Edited series, Vol. 1.
- Stevenson, R. (2014). Ecological assessments with algae: A review and synthesis. *Journal of Phycology*. 50. 437-461.
- Stoermer, E.F., Kociolek, J.P., Schelske, C.E., & Andresen, N.A. (1991). Siliceous microfossil succession in the recent history of Green Bay, Lake Michigan. *J. Paleolimnol*. 6: 123–140.
- Stoermer, F.E., Edlund, M.B., Pilskalns, C.H. & Schelske, C.L. (1995). Siliceous microfossil distribution in the surficial sediments of Lake Baikal. *Journal of Paleolimnology* 14: 69-82.
- Tarbut E.J. & Lutgens F.K. (2005). Ciencias de la Tierra. Edit. Prentice Hall, trad. de 8ª ed.
- Tchilinguirian, P., Morales, M., Oxman, B. & Pirola, M. (2014). Paleoenvironmental Studies of the Quebrada de Lapao, Jujuy Province, Argentina (23° 22' 01" S, 66° 21' 52,8" W, 3650 M A.S.L.) for the 9400-7300 yrs B.P. span.
- Tchilinguirian, P., Grana, L., & Olivera, D. (2018). Contexto paleoambiental para la ocupación arqueológica en Corral Grande (Antofagasta de la Sierra, Catamarca, Argentina). *Chungará (Arica)*, 50(4), 605-621. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-73562018005001502>
- Tolotti, R., Consani, S., Carbone, C., Vagge, G., Capello, M. & Cutroneo, L. (2018). Benthic diatom community response to metal contamination from an abandoned Cu mine: Case study of the Gromolo Torrent (Italy).
- Tornés, E., Mor, J., Mandaric, L. & Sabater, S. (2018). Diatom responses to sewage inputs and hydrological alteration in Mediterranean streams. *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*. 238. 369-378. 10.1016/j.envpol.2018.03.037.
- Urrutia, R., Koen, S., Cruces, F., Pozo, K., Becerra, J., Araneda, A., Vyverman, W., & Parra, O. (2000). Paleolimnological studies of Laguna Chica of San Pedro (VIII Region):

Diatoms, hydrocarbons and fatty acid records. *Revista chilena de historia natural*, 73(4), 717-728. <https://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2000000400014>

Urrutia, R., Araneda, A., Torres, L., Cruces, F., Vivero, C., Torrejón, F., Barra, R., Fagel, N. & Scharf, B. (2010). Late Holocene environmental changes inferred from diatom, chironomid, and pollen assemblages in an Andean lake in Central Chile, Lake Laja (36°S). *Hydrobiologia*. 648. 207-225. 10.1007/s10750-010-0264-1.

Van de Vijver, B., Wetzel, C., Kopalova, K., Zidarova, R. & Ector, L. (2013) Analysis of the type material of *Achnanthes lanceolatum* Brébisson ex Kützing (Bacillariophyta) with the description of two new *Planorbulina* species from the Antarctic Region *Fottea*, Olomouc 13(2): 105–117

Vargas-Montero, Maribelle, & Freer, Enrique. (2004). Proliferaciones algales de la diatomea toxigénica *Pseudo-Nitzschia* (Bacillariophyceae) en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 52(Suppl. 1), 127-132.

Velázquez, N., Burry, L., Mancini, M., & Fugassa, M. (2010). Coprolitos de camélidos del Holoceno como indicadores paleoambientales. *Magallania* (Punta Arenas), 38(2), 213-229. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-22442010000200013>

Velozo, L. (1974). Características Geomorfológicas de la Pampa O'Brien, Pampa del Tamarugal, Tarapacá. Norte Grande, Inst. Geogr., Univ. Católica de Chile. Vol. I. N9 2 (diciembre 1974) Santiago, Chile.

Vinayak, V. & Gautam, S. (2019). Diatoms in Forensics: A Molecular Approach to Diatom Testing in Forensic Science. En: Seckbach, J. & Gordon, R. (2019). *Diatoms: Fundamentals and Applications*, (435–470) Scrivener Publishing LLC.

Watanabe, M. F. (1996) Production of Microcystins. En: Watanabe, M.F., Harada, H., Carmichael, W. W. & Fujiki, H. [Eds] *Toxic Microcystis*. (1996) CRC Press, London, 262 pp.

Werner, D. (1977). The biology of diatoms. Botanical monographs Vol. 13. Univ. of California Press. Berkeley-Blackwell Sc. Publ. 498 pp.

Xu, G., Hu, B., Shen, X., Pan, X. & Zhou, X. (2011). Applications for drowning identification by planktonic diatom test on rats in forensic medicine.

Zárate, M. (1994). Geoarqueología. *Jornadas de arqueología e interdisciplinas. Programa de estudios prehistóricos. CONICYT. Buenos Aires*.