

00345  
S  
i Ley



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

ALGAS DE DESECHOS MINEROS  
DE GUANAJUATO

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE  
MAESTRA EN CIENCIAS  
(BIOLOGIA VEGETAL)  
P R E S E N T A :  
JESSICA VIRIDIANA GARCIA MEZA

DIRECTOR (A) DE TESIS: DOCTOR EBERTO NOVELO MALDONADO

MEXICO, D. F.

274620

1999

TESIS CON  
ALLA DE ORICEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## AGRADECIMIENTOS

Dr. Eberto Novelo, por lo fundamental: brindarme conocimientos, participar en mi formación, propiciar el "descenso de las ideas" y apoyar mis inquietudes. Muchas gracias por lo otorgado durante todo este tiempo, por aceptar dirigir esta aventura y vivirla como tal, cual si incansable Gulliver.

Un profundo agradecimiento a cada uno de los sinodales e integrantes del jurado, dinámicos críticos revisores y coautores de este escrito.

Dr. Luis Sosa Luna, quien vislumbró y compartió una posible solución para restaurar los desechos mineros mediante el uso de microorganismos.

Dra. Rosa Luz Tavera, por formar parte del comité tutorial y por sus observaciones integrales, que permitieron enriquecer la discusión de los problemas planteados.

M. en C. Lourdes Flores, por su dirección y supervisión en la elaboración de los análisis físicos y químicos de los jales, tras largas horas de trabajo, manteniendo un ánimo responsable y cordial, francamente contagiosos; por las valiosas observaciones y aportaciones. Gracias Maestra.

Dra Gloria Vilaclara, por aceptar ser miembro del comité tutorial y su participación como tal.

Dra. Irma Rosas, quien propiciara la reflexión en cada una de las entrevistas para discutir el contenido del presente escrito, sin tregua y con un sensible deseo de enriquecerlo.

Bióloga Maribel Trejo, por su valioso apoyo en la realización de los análisis de jales.

M. en C. Edelmira Manzano por tan preciadas correcciones que minuciosamente elaboró.

Las M. en C. Claudia Ibarra y Dalila Fragoso, por la grata ayuda brindada durante las colectas.

Los M. en C. Genaro Hrdz. y Gerardo Rivas, por sus sugerencias metodológicas.

Dr. Jorge González-González, coordinador del laboratorio de Ficología, y quien ha inspirado a muchos investigadores y académicos bajo una concepción epistemológica integrativa, ética y humanista, dejando un estigma en ellos y en mi. Gracias Dr. Jorge por alterar mi proceso de aprendizaje, también.

Muy especialmente a la Dra. Deni Rodriguez, por su ayuda, solidaridad y generosidad antes, durante y después de mis estudios; sobre todo por su acompañamiento y colaboración irremplazables durante la elaboración del presente. Gracias Deni por tu ser docente, investigadora y amiga; gracias por recordarnos a cada instante que existen en nuestra especie un noble potencial, que ha de florecer si trabajamos colectivamente; gracias, sobre todo por lo que compartes: conocimiento y compañerismo, perfecta aleación. Y también, por el cariño que brindas.

A mis compañeros del Laboratorio de Ficología; en especial a Laura, Aida, Carlos, Daniel, Enrique, Fabian, Francisco, Gustavo, Hilda, Javier, Michelle, Normita, Valentina y Victoria.

A los Doctores Carmen Durán y Zenón Cano.

Final y necesariamente, a los estudiantes de la UNAM, "*jardin de nuestras alegrías...*" (Violeta Parra) y al personal administrativo de la Facultad de Ciencias.

*Con todo mi ser, a Manuel Medina Acosta, el poeta, el músico y mi  
pareja; con quien he emprendido la búsqueda de formas, colores,  
sonidos y texturas de Vida en los desechos antropogénicos de ésta,  
nuestra civilización al borde del siglo XXI, en el ala antigua de la  
claridad.*

También a mi familia: Abuelo, Pilar y John, Myrna y Jorge, Martha y Toño, Vero y Octavio,  
Ana y José, Marcela y Andrés, Gaby, Jav, Fer y Lorena.  
Ana, Artemio, Olivia, Teosha, Jetza, Enrique e Ivette  
Manuemonti, Rocío y Nacho,  
y con gran cariño y adoración a Lupe  
y Sergio

---

## RESUMEN

---

Los jales son desechos mineros heterogéneos, sólidos o en solución acuosa, conformados por partículas muy finas que incluyen metales pesados, cianuros y otros constituyentes. Estos remanentes han sido catalogados como desechos peligrosos dadas sus características físicas y composición. Entre las propuestas de restauración de los jales se sugiere el uso de algas, entre otros microorganismos, ya que algunas especies son tolerantes a metales pesados, capaces de absorber dichos elementos y, particularmente, porque juegan un papel fundamental en la formación y estabilización de suelos.

En este trabajo se realizó una caracterización física y química de cuatro tipos de jales del municipio minero de Guanajuato, incluyendo la concentración de 6 metales pesados. En relación a los resultados, destacan: bajos porcentajes de materia orgánica en todos los jales, así como concentraciones relativamente altas de Cd, Cr, Pb totales y Zn, Cu y Pb disponibles.

Así mismo, se aislaron e identificaron 73 especies de algas de las clases Cyanophyceae (6 especies), Chlorophyceae (17) y Bacillariophyceae (50) en cultivos con muestras de los jales. Algunas de las especies se manifestaron sólo en cultivos de un tipo de jal, y otras especies fueron comunes a cultivos de dos, tres o los cuatro desechos.

Se analizó la composición algal en relación a las características de los jales. Los resultados de los análisis físicos y químicos permiten sugerir que la ausencia de algas manifestadas en los desechos puede deberse a las bajas concentraciones de materia orgánica y los bajos valores de la capacidad de intercambio catiónico, más que a la presencia de metales tóxicos. Sólo en el jal líquido de Las Torres podría plantearse que los metales son el factor limitante. Por otra parte, se sugiere que las algas están presentes en los desechos mineros en estadios de resistencia, que les permiten tolerar las condiciones de los desechos. Tomando en consideración estos resultados y observaciones, se discuten algunas hipótesis para resolver en futuros trabajos cuya finalidad sea abordar la restauración de las zonas afectadas por jales mineros.

---

## ÍNDICE

---

Consideraciones preliminares	1
Objetivos	7
I. Introducción	8
II. Zona de estudio	
2.1. Ubicación geográfica	21
2.2. Características fisiográficas generales	24
2.3. Criterios para la selección de las zonas de estudio	31
III. Método	
3.1. En campo	35
3.2. En laboratorio	36
3.3. En gabinete	38
IV. Caracterización de los jales	
4.1. Resultados de análisis físico-químicos	41
4.2. Interpretación y discusión	42
4.3. Relaciones entre jales	59
4.4. Conclusiones	61
V. Análisis ficoflorístico	
5.1. Resultados	65
5.2. Composición algal y condiciones de cultivo	69
5.3. Composición algal en cultivos de jales	70
5.4. Discusiones y conclusiones	73
VI. Especies algales y jales	
6.1. Especies manifestadas en un jal	77
6.2. Especies comunes a los jales	81
6.3. Clases algales y los jales	85
6.4. Conclusiones	89

---

VII. Integración	
7.1. Discusiones	91
7.2. Conclusiones	98
Consideraciones finales	101
Descripciones	105
Apéndice 1: Técnicas empleadas	
Medios de cultivo	151
Limpieza de diatomeas	152
Análisis físico-químicos de jales	153
Estadísticos	159
Apéndice 2: Breve reseña histórica de la minería en Guanajuato	161
Legislación y normatividad en materia minera y ambiental (extractos)	168
Bibliografía consultada	171

---

**Índice de mapas**

1: Ubicación del estado y municipio de Guanajuato	21
2: Localización de la ciudad de Guanajuato	23
3: Principales presas y rios de Guanajuato	25
4: Principales elevaciones montañosas de Guanajuato	26
5: Climas del municipio de Guanajuato	28

**Índice de figuras**

1: Trabajos de operación minera	10
2: Montículo del jal Pozuelos	33
3: Presa de jales Valenciana (zona húmeda)	33
4: Presa jalera Las Torres	33
5: Dendograma de distancia entre jales sólidos	60
6: Diagrama de distancia entre jales sólidos	60
7: Total de especies de algas reportadas por clase	65
8: Número de especies algales para cada medio de cultivo	69
9: Número de especies algales por fase del medio de cultivo	70
10: Total de especies algales reportadas por jal	70
11: Porcentaje de especies algales por clase para los diferentes jales	71
12: Dendograma de distancia entre jales según su composición algal	71
13: Algas de los tres jales de Guanajuato	72
14: Total de diatomeas para cada espectro de variables ambientales	87



---

Índice de tablas	
1: Diatomeas del jal Pozuelos	19
2: Principales características fisiográficas y de procedencia de los jales	32
3: Resultados de análisis fisico-químicos de jales y suelos control	41
4: Límites máximos permisibles en México para metales pesados en efluentes industriales y lixiviados	48
5: Análisis de correlación entre parámetros físicos y químicos	58
6: Especies para las diferentes condiciones de cultivo	67
7: Especies asociadas a un sólo jal	80
8: Relación de especies comunes a jales sólidos	83
9: Relación de especies comunes a Las Torres y jales sólidos	83
10: Especies comunes a todos los jales	84
11: Términos de parámetros ambientales para diatomeas	87
12: Intervalos de parámetros ambientales reportados para diatomeas descritas	88
13: Resumen	97

## CONSIDERACIONES PRELIMINARES

*Arrumbar tonos cetrinos, vadear con tersos cristales...*

*Es la roca despostillada por torrentes oxigenados*

*Y un corazón palpitante de magnesio clorofílico.*

*Es la parvada de tortugas milenarias*

*Y caparazones henchidos de nobles augurios.*

*Qué se derrita el verde,*

*Qué se disuelva el azul,*

*Sumergirse en estelas cian.*

*Qué resplandezca el ocre,*

*Qué centelle el terracota,*

*Navegar por alhajas planetarias.*

jvgn

## A MANERA DE PRÓLOGO

No hace muchos días, acepté la cordial invitación de la Biol. Victoria Cuellar al confinamiento de basura de la ciudad de México, "El Bordo de Xiochaca". Bajo nuestros pies: basura; en torno largas mesetas: basura; terrenos invadidos por plásticos: basura que se alzaba a la menor provocación del viento, dispersándose cual si esporas y, repentinamente, una polietilénica boa de amarillo chillante pretendiendo volar... cae ruinosa, frustrada: el viento se ha burlado de ella. Estábamos al poniente de la metrópoli más habitada del país, quedaron en ésta antenas de televisión, diversos y contrastantes barrios, luminosos anuncios "espectaculares" y la basura no confinada, que en conjunto contribuyen a edificar el nuevo Babel. Y en el Bordo, ¿dónde fijar la mirada para enfrentar los hedores?. La Biol. Cuellar nos mostró las canaletas construidas en torno a cada meseta de basura, de las que brotaban líquidos y a las que caían líquidos desde lo alto de las colinas. "En los lixiviados de desechos sólidos se han encontrado microorganismos", dijo. Basura, "trash", desechos, "müll", desperdicios, "ordure", residuos... Existen. Años atrás lo supe al conocer los desechos mineros en la Ciudad de Guanajuato. En aquel entonces también supe de la residencia de microorganismos en este particular tipo tipo de "basura".

Los desechos del beneficio de minerales, llamados jales, son confinados en planicies extensas o "presas de jales", aparentemente inocuas. Hacia 1980 iniciaron una serie de investigaciones que permitieron caracterizar a los jales como una mezcla de diversos compuestos y elementos tales como metales pesados. Pocos años después, los jales fueron catalogados dentro del grupo de desechos industriales peligrosos. El Dr. Luis Sosa no sólo tubo en sus manos esta información si no que constató, día tras día<sup>1</sup>, la presencia de cianofíceas sobre ciertas zonas del jal "La Luz" de Guanajuato. El Dr. Sosa sospechó que la estancia de microorganismos sobre los jales podría ser el inicio de un procesos de restauración o remediación natural de los mismos. Posteriormente, una entrevista con el Dr. Novelo ayudó a concretar la manera de abordar esta problemática desde una perspectiva ficológica: "hemos de comenzar por verificar la presencia de algas, identificarlas y conocer un poco más las características de los jales".

He aquí el primer *pinino* en este acometido.

<sup>1</sup> vivía cerca de un depósito antiguo de jales

---

## CONSIDERACIONES PRELIMINARES

---

Al sugerir la restauración de desechos mineros empleando algas se partió de ciertos supuestos biológicos; supuestos que se originaron al tratar de responder y argumentar el por qué se eligieron a las algas. La respuesta más inmediata es que "del universo de microorganismos, son particularmente atractivas las microalgas" (basta con verlas al microscopio, reconocer su papel ecológico pasado y presente y rastrear su historia evolutiva); pero la respuesta apropiada, que afortunadamente no entra en conflicto con la primera, implica tres hechos biológicos: (a) las microalgas promueven y participan en la transformación de la materia y la energía, transformando a su vez el ambiente; (b) las microalgas son organismos autótrofos oxigénicos, colonizadores y pioneros en la sucesión vegetal y, (c) algunas especies de microalgas han sido indicadas como tolerantes a metales pesados en concentraciones tóxicas.

Los incisos "a" y "b" permiten construir el primer supuesto biológico: el reconocimiento de las algas como seres vivos que interactúan y transforman su medio, con la particularidad de ser organismos autótrofos capaces de modificar el ambiente en el que se desarrollan de manera tal que propician y sostienen las etapas iniciales y subsecuentes de la sucesión vegetal. Concretémonos en "y en el inicio" para exponer la primera tesis de trabajo. En los jales, ambiente de condiciones extremas y cual si paisaje lunar, en los que no existe una capa edáfica, *las algas pueden ser inóculos que "inicien" la invasión y transformación de los jales*, ésto es que "inicien" el proceso de restauración de dichos desechos. Más estos remanentes presentan metales tóxicos, entre otras características. Dicho lo anterior volvamos a lo indicado en el inciso "c" para cimentar el segundo supuesto: *ciertas especies algales pueden crecer sobre jales dada su tolerancia a metales pesados*<sup>2</sup>.

Una vez expuestos los supuestos biológicos de los que hemos partido, el trabajo a desarrollarse obligaba a concentrarse en el jal, un ambiente particular que, teóricamente, debe poseer una ficoflora asociada.

---

<sup>2</sup> Todo las características de los jales que no han sido consideradas (porosidad, textura, presencia de compuestos y otros elementos químicos que podrían estimular o inhibir a las algas, etc.), no se incluyen en las tesis expuestas por razones tales como falta de información y, de tenerse, una franca incomprensión de lo que éstos implican. Además, siempre es necesario acotar ante el vasto universo.

Hacer la ficoflora de los jales de Guanajuato, no significa dar un listado de las especies que en estos ambientes se encuentran. Hacerlo así se traduciría en crear un inventario de especies presentes en el momento de la colecta, asumiendo que las entidades son seres estáticos sin capacidades intrínsecas de respuesta ante las características del medio; y aunque una flora tal se emplee para estimar la diversidad algal en la región, lo cierto es que no la explica como lo que es: el producto de una historia evolutiva. Las algas, como todo ser vivo, son la expresión de su potencial diferencial de manifestación modulado por el siempre cambiante ambiente y traducido en capacidades realizadas en diferentes tiempos y espacios, en virtud de su identidad genética, durante su desarrollo ontogénico y ante las heterogeneidades y discontinuidades espaciales y temporales. Dicho en otras palabras: los seres vivos son manifestaciones de una forma compleja de organización de la materia y la energía y, como tal, poseen la capacidad de expresarse de maneras distintas en su devenir espacio-temporal a través de sus cualidades de alterar, alterarse y ser alterados (González-González, 1992)<sup>3</sup>. Al aceptarlo así, al reconocer *que toda heterogeneidad o discontinuidad florística de una región explica y es explicada por la heterogeneidad ambiental*, es decir, que la *flora es dinámica (sensu González-González)*, nos vemos comprometidos a realizar investigaciones florísticas que posibiliten describir eventos de diversidad, que se traduzcan en la búsqueda de explicaciones propias a las cualidades de la capacidad de manifestación diferencial de los organismos como son la distribución, abundancia, variaciones de desarrollo o morfológicas, etc., documentando y analizando la correlación que existe entre factores ambientales (combinación de los mismos) con la expresión (global o puntual) de los seres vivos.

Al realizar una colecta hoy, en una región delimitada, describir el ambiente, determinar los organismos presentes en la muestra y repetir este procedimiento en un mañana, se pueden generar resultados tan sencillos y significativos como: no todas las especies que encontré son las mismas para los dos momentos de colecta, la composición varía con el tiempo, así como tales y tales rasgos del ambiente. Desglosemos:

a) Primera observación: las especies se *manifestaron* diferencialmente en el tiempo durante el cual las condiciones ambientales variaron y sabemos, no lo hemos olvidado, que los organismos se presentan o no según la conjunción de características del ambiente, por lo que no sólo bastará el describir y determinar a los seres para documentar las expresiones de la diversidad inter- e intraespecífica, también es necesario *tipificar* al ambiente, sus variaciones, y analizar los factores determinantes para la presencia y el desarrollo de los seres. De esta manera, estaremos

<sup>3</sup> Fundamentos ontológicos de la Teoría de los Procesos Alterados.

construyendo la *flora típica*, de la región: la expresión manifiesta de las diferentes capacidades y posibilidades de las especies, en determinadas condiciones (González-González, 1992).

b) Segunda observación: las especies no presentes en un momento, poseen la *potencialidad* de expresarse en el otro; y si existe una flora típica manifiesta, existe también una flora potencial, la *flora tónica*, en tanto que las algas pueden o no estar presentes en el momento de la colecta, como lo indicarán los registros de especies reportadas para la región.

Flora manifiesta y flora potencial son componentes de la *Flora Dinámica* (González-González, 1992). *Por qué* las algas se manifiestan diferencialmente, es la pregunta que explica la diversidad, y se documenta en la ficoflora.

Pero... ¿es manifiesto sólo lo que se ve a simple vista?. Al hacer la colecta se decide por lo que distingue, por "el crecimiento visible" (dimensión que varía según la experiencia). Esta expresión puede ayudar a interpretar cuáles son las condiciones que posibilitan una *manifestación conspicua*; las especies presentes en ese momento están ahí por que existen las condiciones mínimas para su desarrollo vegetativo (Novelo, 1985). Pero las limitaciones "ópticas" no son sinónimo de "ausencia"; las algas pueden estar presentes en crecimientos inconspicuos o bien, no estar expresadas vegetativa o reproductivamente; si se afirma lo anterior, se asume que las especies poseen la capacidad de manifestarse cuando las condiciones del ambiente sean las apropiadas; y, continuando sobre esta línea, se concluye que la flora que no se ve es susceptible de ser observada (manifestarse de manera conspicua) gracias a un manejo experimental; a esta flora se le designa *flora paratípica*: la flora potencial manifestada por la manipulación *in vitro* de ciertas condiciones ambientales (*Sensu* González-González, *com. pers.*). Un ejemplo muy notable de la flora paratípica son las algas de suelo y las algas aéreas, ficoflora que generalmente debe inducirse con la utilización de cultivos (Novelo, 1985; Rosas, 1989).

La flora típica permite responder preguntas tales como cuándo, bajo qué condiciones, en relación a qué factores, etc., se manifiestan las especies; mientras que la flora paratípica permite detectar las condiciones que posibilitan y favorecen la expresión de los organismos. Y antes de proseguir, es necesario aclarar que la utilización de cultivos podrían reproducir la diversidad del ambiente de manera parcial, pues, como dice la *vox populi*: "ni son todas las que están, ni están todas las que son", es decir, en los cultivos podrían no desarrollarse todas las especies que están en el ambiente. Así como la flora manifiesta puede no expresarse, la flora potencial puede no ser conocida.

Por último, la flora típica, la que *tipifica* al ambiente, es particularmente útil para la definición de especies indicadoras; esto es, las especies estenotípicas cuya presencia en el medio se explica en términos de una respuesta a una variable o conjunto de variables (Cantoral-Urza,

1997). La flora paratípica, motivará la expresión de especies resistentes a ambientes con condiciones inhibitorias o inapropiadas. Al conocer las particularidades de estos ambientes y correlacionarlas con la flora, podemos detectar a las especies indicativas de la calidad del medio y, eventualmente, aquellas capaces de participar en un proceso de restauración.

## OBJETIVOS

---

Asumiendo la existencia de una ficoflora no expresada y susceptible a manifestarse en crecimientos visibles, en concordancia con sus capacidades biológicas y mediante el empleo de cultivos, el objetivo del presente trabajo es reconocer la ficoflora paratípica de cuatro tipos de desechos mineros o jales del Municipio de Guanajuato y asociar la heterogeneidad algal con las características de los mismos, con el fin de generar información y elementos de discusión para abordar el estudio biológico del proceso de restauración de los jales.

### Objetivos Particulares:

- Caracterizar físico-químicamente a los jaleros
- Inducir la manifestación de algas en cultivos de jales y describir las especies
- Analizar la heterogeneidad algal en cultivos de jales
- Correlacionar la heterogeneidad algal con las características de los jales
- Contribuir al conocimiento de las algas asociadas a tales desechos
- Contribuir a la ficoflora del estado de Guanajuato



---

## INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

---

La Minería ha desempeñado por largo tiempo parte vital en la economía nacional, representando una de las industrias más lucrativas, en particular la extracción de oro (Au) y de plata (Ag). Así, veintiocho de 32 entidades federativas del país se dedican a la minería (Vizcaino, 1975), y en términos económicos, hasta el 50% de las exportaciones de materiales no combustibles se debe a la Ag (Williams y Sims, 1993). En esta trama, Guanajuato (del purepecha, *Quanaxhuato*: lugar montañoso de ranas) se inserta como uno de los centros mineros aurífero y argentífero más antiguo y productivo del país<sup>1</sup>, con una historia de 450 años prácticamente ininterrumpida (1548-1998), manteniendo en la actualidad su liderazgo en la producción de Ag (con el 26% de la producción nacional) y ocupando el tercer puesto en la extracción de Au (SEDESOL-INE, 1994; INEGI, 1998).

Sin embargo, consecuencias de otra índole impiden ver con buenos ojos el desarrollo de esta industria, en términos humanos (ver apéndice A2) y ecológicos: en todas las fases de la actividad minera (exploración, construcción de la mina, extracción, *beneficio*, industrialización, comercialización e, incluso, abandono) se producen desechos y contaminantes de agua superficial y subterránea, suelo y aire, así como alteraciones al medio (deforestación, erosión, desplome de tierras, abatimiento de recursos hídricos, principalmente). Durante el *beneficio* de minerales se generan residuos conocidos en el ambiente minero como *jales*, a los que podemos definir como la fracción no aprovechable, residual y de desecho procedente de cualquier proceso de beneficio de minerales (las "colas")<sup>2</sup>, mismas que se vierten en una hondonada extensa (natural o artificial), conocida como *la presa de jales* o *jalero* (fig. 1). Debido a su procedencia y composición química, Ortiz-Monasterio *et al.* (1987) incluyen a los jales en la categoría de Desechos Industriales Peligrosos (DIP)<sup>3</sup>, por lo que se precisa de investigaciones encaminadas a la generación de propuestas para la restauración ecológica de las presas de jales.

---

<sup>1</sup> Ramos (1995) indica que se han extraído más de 112 872 toneladas de Ag y 108 toneladas de Au.

<sup>2</sup> que representan hasta el 95% del material procesado (Ramos, 1995)

<sup>3</sup> Los DIP son residuos aislados, mezclados en solución, sólidos, líquidos o en forma de lodos generados como subproductos de procesos industriales, de extracción, producción de materia prima, comercialización o transporte, y que por sus características físico químicas y toxicológicas, representan un peligro para la vida y la salud (Ortiz-Monasterio *et al.*, 1987).

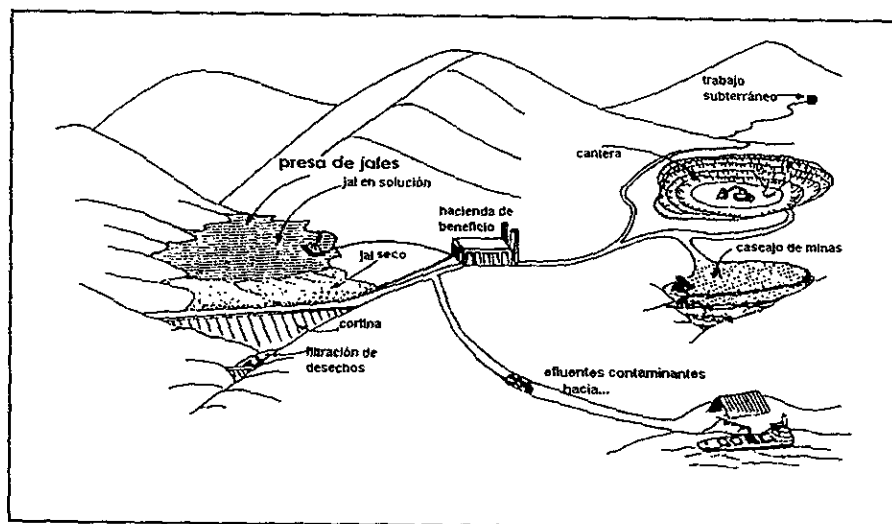


Fig. 1: Trabajos de operación minera (Según Ferguson y Erickson, 1988)

La restauración ambiental implica recrear la estructura y función de un ecosistema dañado y alterado, con el propósito de restablecer los procesos sucesionales naturales sin que ello sea sinónimo de regeneración o “vuelta” a las condiciones previas al disturbio; por lo que todos los esfuerzos de restauración, son ejercicios de aproximación. En medios alterados por efecto de contaminantes, la restauración perseguirá: minimizar el efecto de los contaminantes, evitar que éstos se escapen, servir de centinela para prevenir la exportación de materiales deletéreos a ecosistemas aledaños y estimular la biotransformación de sustancias peligrosas, entre otros objetivos (Cairns, 1992; Atkinson y Cairns, 1994).

El ecosistema es un sistema abierto, dinámico y complejo, que responde a factores multivariados y siempre cambiantes, conformado por elementos que interactúan en complejas tramas de diversa naturaleza: ciclos biogeoquímicos, interacciones entre elementos bióticos y abióticos, redes tróficas, etc.; dichas tramas son enlaces que interconectan a las partes constituyentes y son, a su vez, mecanismos estabilizadores del sistema que posibilitan su devenir en el tiempo, en tanto su integridad se mantenga intacta. Por consiguiente, el principal fundamento de la restauración es el de lograr restablecer estos mecanismos, propiciando la sucesión (primaria o secundaria) gracias a la presencia de los elementos que lo posibiliten (Bradshaw y Chadwick, 1980; Cairns, 1992; Atkinson y Cairns, 1994). De esta manera, se evitara una restauración “cosmética” en favor de una natural.

Así, la restauración de los ambientes donde se han establecido presas de jales es una tarea monumental (pero no imposible) ya que, por un lado, éstos son desechos ricos en diversos tóxicos (metales pesados, metaloides, cianuro y reactivos químicos diversos como detergentes y espumantes) y, por otro, se trata de zonas alteradas de manera drástica e inexorable: completa deforestación y desaparición del suelo, en principio. Por lo tanto, el primer paso en este cometido será lo concerniente a la presencia de tóxicos y la restauración del suelo o, más específicamente, el re-establecimiento de una capa edáfica (sucesión primaria). Ambos intentos pueden ser atendidos concomitantemente con el empleo de organismos capaces de tolerar las características del medio en cuestión y que jueguen un papel determinante en la formación de suelos, tales como bacterias, algas, hongos y líquenes. En particular, las algas son importantes formadoras de suelos y biomasa, productores primarios y algunas especies toleran la presencia de diversos tóxicos en el medio, tales como metales pesados<sup>4</sup>. En otras palabras: *las algas son agentes potenciales en el proceso de restauración de jales mineros. Pero... ¿Cuáles?*

Una presa de jales no siempre representa un cuerpo de agua tal y como lo sugiere la palabra "presa"; éstas pueden ser espejos de agua (profundidad no mayor de 50 cm), lodos o, finalmente, montículos secos. Las diferencias se deben a factores diversos, tales como la antigüedad y el tipo de desecho generado, en principio. En jaleros inactivos y montículos secos, durante el período de sequía, la "presa" es más cercana a un ambiente de tipo edáfico, sin ser un suelo en su acepción biogeoquímica<sup>5</sup>, que además presentan severos problemas de erosión y desecación, lo que recuerda a los suelos desérticos o semiáridos (en los que las algas tienden a formar costras durante los períodos de estiaje); en dichas presas jaleras, se esperaría la presencia de algas resistentes a la sequía tanto como a los tóxicos. Por su parte, en los jales activos, con una elevada proporción de agua y que difícilmente se desecan, se presupone la presencia de algas acuáticas tolerantes a los elementos tóxicos.

Retomando lo anterior y enlazándolo a la restauración, cabe describir la importancia ecológica de las costras algales en suelos desérticos. Las algas se asientan en el sustrato gracias al mucilago que agrupa y consolida partículas del suelo, formándose una costra mono- o multiespecífica, la cual posee la capacidad de absorber grandes cantidades de agua, ofreciendo cierta estabilidad hídrica que protege a los microorganismos de la desecación; además, las costras evitan la infiltración, retardan la erosión, aminoran las temperaturas extremas del suelo, contribuyen en la fijación de nitrógeno (si hay cianofíceas), proporcionan oxígeno, y son una

<sup>4</sup> Definimos a un metal pesado como aquel con peso específico mayor que 5

<sup>5</sup> Suelo: Cuerpo material, dinámico en espacio y tiempo, producto de fuerzas destructivas y constructivas, que forma la capa superior de la corteza terrestre, constituido por un esqueleto mineral básico, compuestos inorgánicos como sales y minerales, compuestos orgánicos, aire, agua y seres vivos, en proporciones que varían (Flores, *com. pers.*).

fueron importantes fuentes de materia orgánica y minerales. Así, las costras algales son un sustrato ideal para el desarrollo de diversos organismos con los que establecen importantes relaciones y asociaciones ecológicas: bacterias, myxomycetes, actinomycetes, líquenes, protozoarios, nemátodos y musgos; además promueven la colonización de plantas vasculares; (Boot, 1941; Lund, 1962; Cameron y Blank, 1966; Campbell, 1977; Novelo, 1978). A la larga, la comunidad de microorganismos presentes en las costras permiten la re-estabilización de suelos áridos, erosionados y perturbados (Boot, 1941; St. Clair *et al.*, 1964; Novelo, 1978). Se han observado costras algales en jales inactivos y secos, lo que sugiere su empleo en proyectos de restauración.

En respuesta a la pregunta "¿Cuáles?" vemos que, pese a ser ambientes inestables y cambiantes en tiempo y espacio, los jales podrían presentar algas acuáticas y/o edáficas. Así, el presente trabajo busca responder a esta pregunta al tratar de identificar las algas presentes manifiesta o potencialmente en los desechos mineros.

## La minería, el beneficio y los jales

El beneficio o aprovechamiento implica operaciones de preparación mecánica y procesamiento químico del mineral crudo con el fin de "arrancar" o extraer del mismo los metales deseados (*vr. gr.* oro, plata). Originalmente, el beneficio se realizaba fundiendo los minerales con óxidos de plomo (Pb), mercurio (Hg), sales de cobre (Cu) y tequesquite, una combinación de cloruro, hidróxido y carbonato de sodio (Ramos, 1991); este procedimiento fue común durante los siglos XVI a XIX, y era conocido como *patio* o amalgamación el cual, en términos generales y desatendiendo particularidades, consistía en mezclar el mineral con los compuestos citados; esta mezcla era pisoteada por personas, mulas o burros hasta formar una amalgama de Ag y Hg que se dejaba escurrir dentro de sacos para que se concentrara una mixtura rica en Ag dentro de los costales, a la vez que caían gotitas de Hg residual. Después de la guerra de independencia, el *patio* se convirtió en una práctica cada vez más costosa e inoperante conforme incrementaba el precio del Hg y se agotaban los minerales de alta ley. Esto último es importante atenderlo, pues conforme se deprecia la ley del mineral, se precisan de manejos cada vez más drásticos para el beneficio del mismo. Hacia 1905 las mineras adoptaron un nuevo sistema de beneficio: la *cianuración*<sup>6</sup>. Esta técnica implica separar los metales preciosos mezclando el mineral con soluciones de cianuro. Muy pronto se mejoró este sistema derivando en otros tales como la *flotación selectiva*, método aún más drástico que reforzó la tendencia a la explotación de minerales de baja ley (Ramos, 1993). La flotación se fundamenta en la química

<sup>6</sup> Lo que permitió a las empresas explotar yacimientos con minerales de baja ley, abaratándose, a su vez, el costo de la producción total (Krantz, 1978).

interfacial de las partículas minerales en solución: se logra una interacción de reactivos químicos con partículas minerales, que da lugar a un producto selectivamente hidrofóbico (Kelly y Spottiswood, 1990). El proceso inicia con la molienda del mineral en partículas finas para después combinarlo con agua e introducirlo en las celdas de flotación, donde se agita y mezcla con aires, aceites y reactivos químicos como espumantes (sustancias heteropolares, alcoholes, éteres de glicol, alcoholes aromáticos) y colectores (de la familia de los xantatos, ácidos débiles, bases o sales tales como ditiofosfatos, éter-aminas). Las partículas metálicas se adhieren a aceites y burbujas de aire, provocando que asciendan a la superficie y formen una espuma que se remueve junto con el metal útil rescatable; el mineral estéril se va al fondo desde donde se desecha a la par que todas las sustancias químicas empleadas en la operación. La implementación de diversos aceites y reactivos, posibilita separar diferentes metales a partir de un mineral complejo (en su composición química)<sup>7</sup>. No obstante, para beneficiar minerales argentíferos y auríferos continua siendo indispensable el empleo de soluciones de cianuro (Rodríguez y Vergil, 1989)<sup>8</sup>.

El incremento de los volúmenes extraídos de minerales, debido a la mayor demanda y a la predominancia de minerales de baja ley, se ha traducido en la producción de más "colas" que van a dar a las presas de jales (Rodríguez y Vergil, 1989; Kelly y Spottiswood, 1990). En México, se desechan más de 232 mil toneladas al día de desechos industriales peligrosos, de las cuales el 64 % es de procedencia minera (Ortiz-Monasterio *et al.*, 1987); en Guanajuato los jales se han creado desde el inicio mismo de la minería en la región y se estima que superan los 4 millones de toneladas, pues ya entre 1935 y 1945 por ejemplo, sumaban 2 500 000 toneladas y, en la actualidad, se producen a un ritmo de 3 mil toneladas al día (Guiza, 1949; Cervantes y Parra, 1985 en Ramos, 1991).

Dada su procedencia y origen, se deduce la presencia de cianuro, Hg, Pb, reactivos químicos tóxicos, Au y Ag en los desechos del beneficio mineral. Para Basulto (1984) lo anterior es razón suficiente para asignar el calificativo "contaminantes peligrosos" a los jales. Paradójicamente, hay quienes opinan de manera diferente, los aprecian como un recurso natural potencial por contener cantidades respetables de minerales útiles para la industria cerámica (cuarzo y feldespato); no obstante, de los diversos técnicas o tratamientos propuestos para su

<sup>7</sup> Aprovechándose diversos minerales, además de posibilitar la extracción de otros metales diferentes a la Ag, lo cual era prácticamente imposible empleando las técnicas de patio y cianuración.

<sup>8</sup> Ciertas bacteria anaeróbicas (como *Chromobacterium violaceum*) producen cianuros, que provocan la precipitación del oro en partículas discretas (Margulis y Sagan, 1986). Finalmente, cabe señalar que la flotación se emplea para casi todos los metales sulfurosos, minerales metálicos no sulfurosos, minerales industriales y carbón mineral. Se aplica a minerales de baja ley y a los que requieren molienda fina.

aprovechamiento, no se ha logrado implementar aquél que evite la presencia de impurezas y sea costeable (Betanzos y Buchanan, 1977; Basulto, 1984; Ramos 1991)<sup>9</sup>.

En el presente trabajo se asume que los remanentes mineros representan un problema real para el ecosistema y de salud pública. Justifican esta postura los datos bibliográficos que hacen referencia a origen, características físicas, composición química y ubicación de los jales:

- Análisis químicos muestran que los jales del distrito minero de Guanajuato contienen óxidos de Si, Al, Mg, Fe y Ti; metales libres como Pb, Hg, Cd, Cu, Zn, Ni, Mg, Fe, Ti, Mo, Ru y Sr, y elevadas cantidades de cianuro, amalgamas de Ag y Au<sup>10,11</sup> (Basulto, 1984; Ramos, 1991; Ramos, 1993)
- Los jales son polvos con partículas de diámetro entre 0.045 y 0.246 mm; las presas de jales se construyen preferencialmente en depresiones naturales, descubiertas, por lo que al *desecharse*, estas fracciones son fácilmente desprendidas por acción del viento (Vizcaino, 1975); por ser lo suficientemente pequeñas, las partículas del jal ingresan a organismos (como mamíferos) y suscitan desde una irritación leve hasta, en caso extremo, la muerte. La penetración de sílice (Si) al interior del cuerpo humano via la inhalación, por ejemplo, provoca la enfermedad pulmonar "*pnemocoses*", mejor conocida como *silicosis*, la principal causa de muerte de los mineros (*vox populi*)
- Este tipo de desechos son contaminantes atmosféricos de fácil dispersión y ricos en metales pesados (Ortiz-Monasterio *et al.*, 1987; Bradshaw y Chadwick, 1980)
- Los metales pesados en solución acidifican el agua (Bradshaw y Chadwick, 1980)
- No se han evaluado los efectos potenciales que sobre el ambiente ejercen los jales y, específicamente, los metales pesados presentes en éstos (Gómez, 1989 en: Mendoza, 1993); sin embargo, se han realizado numerosas investigaciones a nivel mundial, que permiten

<sup>9</sup> Además, las técnicas propuestas resultan tan contaminantes como el beneficio mismo (disociación de minerales y componentes metálicos por flotación, técnica de masas concentradas, purificación química seguida de procesos de lixiviación ácida).

<sup>10</sup> La composición química varía mucho en función del material parental explotado, el método de beneficio y el o los metales extraídos, entre otros factores.

<sup>11</sup> El cianuro forma complejos con Au y silicatos, que son muy móviles, por lo que las plantas cianogénicas pueden acumular hasta 10 ppm de Au (Kabata-Pendias y Pendias, 1992).

caracterizar a los metales pesados como altamente tóxicos para la biota en general, en concentraciones por encima de los niveles traza o "naturales"<sup>12</sup>

- El empleo de soluciones de cianuro durante la lixiviación requiere de medidas preventivas especiales con el fin de evitar, en lo posible, la contaminación del agua del subsuelo, de lo contrario las consecuencias pueden traducirse en la enajenación de todo un sistema hídrico, afectando zonas agrícolas (Kelly y Spottiswood, 1990)
- La peligrosidad de los jales ha sido reconocida por la legislación mexicana en materia ambiental e, incluso, por el mismo sector minero<sup>13</sup>. En la primera, se establecen los parámetros que habrán de ser observados para determinar la localización de una presa jalera, así como los controles a los que deberán sujetarse la construcción y operación de la misma, hasta garantizar su estabilidad, evitar la contaminación de mantos friáticos y proteger a las poblaciones de posibles tolveneras (SEDESOL-INE, 1994) (ver apéndice A2)

## Las algas y el ambiente

"El término alga es el nombre común, sin valor taxonómico, empleado para designar a un conjunto extremadamente variable, heterogéneo y complejo de organismos fotoautótrofos oxigénicos, con niveles de organización comparables, producto de evoluciones paralelas, ya que las algas son un grupo polifilético; es decir, a partir de ancestros diferentes han manifestado respuestas similares a presiones de selección semejantes, resultando caminos evolutivos paralelos entre los descendientes de los diversos grupos ancestrales. El grupo de las algas comprende aproximadamente 30 000<sup>14</sup> especies que difieren notablemente en su forma, tamaño, metabolismo, tipo de ciclo de vida, estructura celular, composición bioquímica y hábitat" (González-González, 1987, 1992).

Independientemente de sus relaciones filogenéticas, existen otros criterios que hacen de las algas un grupo funcional relacionado fenéticamente *vr. gr* sus similitudes morfológicas y fisiológicas. Así, a la par de los avances de investigación en la sistemática de los grupos algales, el estudio de

<sup>12</sup> Estas investigaciones varían desde aquellas encaminadas a describir las propiedades químicas del medio que determinan el aumento o la disminución de la biodisponibilidad de los metales, hasta las que estudian el efecto tóxico que éstos tienen sobre los organismos. Se investiga también la razón por la cual algunos organismos (básicamente microorganismos) son capaces de desarrollarse en ambientes donde se presentan uno o más de dichos metales (mecanismos de resistencia, especies adaptadas o resistentes). De estas últimas, ya se incluyen aquellas que se adentran en la biología celular y molecular del organismo; es decir, se comienzan a entender los mecanismos moleculares que confieren resistencia a metales pesados.

<sup>13</sup> Aunque se minimizan las consecuencias de los depósitos mineros, la Subsecretaría de Minas de la otrora Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal (SEMIF) indica que los jales "pueden" generar escurrimientos y arrastres de residuos minero-metalúrgicos peligrosos, de *alto impacto ambiental*, así como la descarga de aguas residuales en cuerpos receptores y, en algunos casos, emisiones atmosféricas (SEDUE-INE, 1995).

<sup>14</sup> Novelo (1998) estima que la diversidad de algas oscila entre 22 y 26 000 especies.

las algas puede perfectamente plantearse considerándolas como una unidad ecológica (González-González, 1987, 1992).

Las algas son grupos típicamente acuáticos en una gran diversidad de ambientes: marinas, salobres o dulceacuícolas, en cuerpos de agua estancada o cuerpos lénticos (lagos), lóticos (ríos, arroyos), perennes (lagos, océanos) o periódicos (charcos, piletas), ambientes donde las podemos encontrar formando parte sustancial del plancton (fitopláncton) o en el bentos, suspendidas en la superficie del agua (euplánticas) o sobre sustratos sumergidos (perifíticas). Sin embargo, no se restringen al agua, hay algas presentes en ambientes tan disímiles como: sobre estructuras de plantas o macroalgas (epífitas), sobre animales (epizoicas) o dentro de los mismos (endozoicas), en o sobre rocas (epilíticas o endolíticas, respectivamente), en o sobre el suelo (edáficas), sobre lodo y barro (epipélicas) o nieve (criófilas) y también las hay subaéreas. Su ubicuidad se explica por causas tales como antigüedad, mecanismos de dispersión, capacidad de formar estructuras de resistencia ante condiciones desfavorables, pasar por un periodo de latencia de varios años y a sus adaptaciones morfológicas, principalmente (González-González, 1987).

En su ambiente particular, las algas se manifiestan en respuesta a factores climáticos, físicos, químicos y biológicos; cada uno de éstos factores abarca un amplio espectro de posibilidades y conjunciones. Así por ejemplo, hay especies restringidas o tolerantes a ciertos parámetros ambientales: baja concentración de nutrientes (especies oligotróficas) o de sal (oligohalobias) o bien, pH menor a 5 (acidobiónticas) o mayor de 10 (alcalibiónticas), etc. Por último, y como consecuencia del nivel de deterioro y contaminación ambiental en el que nos encontramos hoy en día, también se tiene cuenta de algas resistentes a la presencia de contaminantes de diversa calidad y cantidad, y/o presentes en ambientes severamente afectados (*vr. gr.*, efluentes industriales y urbanos).

## La restauración de los jales empleando algas

La residencia de algas en zonas y ambientes afectados por la presencia de metales pesados ha sido reportada ampliamente en la literatura; de hecho, algunas especies tolerantes son empleadas como indicadores de estos elementos; tal es el caso de *Chladophora glomerata* (Kenney *et al.*, 1976). En los últimos años, se han intensificado las investigaciones en torno a los mecanismos que les permiten tolerar estos contaminantes y prevenir la toxicidad, que afectaría su metabolismo o dañaría sensiblemente sus estructuras celulares. Así, Brierley y colaboradores (1989) listan cinco procesos mediante los cuales los microorganismos remueven los metales en solución:



1. acumulación intracelular
2. precipitación extracelular por producción de compuestos metabólicos que se excretan y transforman químicamente a los iones metálicos, provocando su precipitación
3. formación extracelular de agentes quelantes acumuladores
4. adsorción, o la unión de metales en la superficie celular por la presencia de sitios cargados negativamente que atraen los cationes metálicos
5. volatilización (por dimetilación)

La acumulación intracelular de los metales está asociada con la capacidad que tienen las algas tolerantes de atraparlos y reducirlos; por ejemplo, se detectó la formación de proteínas tipo metalotioninas que atrapan Cu en el citoplasma en *Nitzschia obtusa* (Gowrinathan y Rao, 1990) y la formación de inclusiones intranucleares de Cu en una cepa de *Scenedesmus* sp. tolerante a este metal (Silverberg *et al.*, 1976). Otras especies de algas dulceacuicolas pueden acumular Mo sin que se altere su desarrollo: *Chlamydomonas angulosa*, *C. reinhardtii*, *Scenedesmus bijuga*, *S. chlorelloides* y *S. obliquus*, como lo han reportado Sakaguchi *et al.* (1981). Estos autores también han observado la acumulación de grandes cantidades de metales pesados como U, Cu, Mn, Mo y Cd en otras microalgas de sistemas acuáticos, así como la capacidad que muestra *Chlorella regularis* de reducir intracelularmente el molibdeno (Mo) en estado de oxidación VI a Mo (V) o (III).

Por su parte, la adsorción sucede por la presencia de polipéptidos y polisacáridos en la superficie celular, que provocan la formación de enlaces covalentes entre los grupos amino y carboxilo de los polímeros y los iones metálicos (Nalewajko, 1977; Crist *et al.*, 1981; Laegreid *et al.*, 1983; Margalef, 1983; Less y Walker, 1984; Darnall *et al.*, 1986; Greene *et al.*, 1986; Kaplan *et al.*, 1987; Collins y Stotzky, 1989; Gowrinathan y Rao, 1990; Maeda *et al.*, 1990a y 1990b; Harris y Ramelow, 1990; Vymazal, 1990; Da Costa y Gomes-Ferreira, 1991; Karamushka *et al.*, 1991; Mallik y Rai, 1993). Inclusive, Greene *et al.* (1986) encontraron que las células liofilizadas de *Chlorella vulgaris* reducen el oro (III) a oro (I), además de que lo absorbe. Al asociarse con la materia orgánica, se altera el estado químico y la disponibilidad del metal y, por lo tanto, su toxicidad (Shuman y Cromer, 1979; Kaplan *et al.*, 1987; Huang, 1993). La capacidad de las algas para formar estos complejos metalorgánicos que acumulen, precipiten e inmovilicen los metales pesados depende de la concentración y composición de sustancias orgánicas e inorgánicas, así como de otros factores ambientales, de los que resulta especialmente importante el pH y las condiciones óxido-reducción (redox) del medio (Babich y Stotzky, 1980; Laegreid *et al.*, 1983; Stark *et al.*, 1996).

Estas respuestas de tolerancia a metales pesados por parte de las algas, han estimulado la formulación reiterada de propuestas para su empleo en el tratamiento biológico de ambientes afectados por los mismos (Kenney *et al.*, 1976; Harris y Ramelow, 1990; Vymazal, 1990; Da Costa y Gomes-Ferreira, 1991; Gowrinathan y Rao, 1990; Karamushka *et al.*, 1991). De las sugerencias formuladas, cabe destacar la de Jackson (en: Brierley *et al.*, 1989): al visitar un lago donde se descargaban desechos mineros con cantidades significativas de Zn, Cd, Cu, Hg y Fe, por un lado, y aguas negras, por el otro, Jackson observó la presencia de algas, cuyo desarrollo era estimulado por las aguas residuales; en vista de ello, recomendó promover el crecimiento de algas en presas de jales mediante su irrigación con aguas negras. Ésta sugerencia representa, para más, un mecanismo de bajo costo para remover los metales pesados presentes<sup>15</sup>.

Recomendaciones como las anteriores deben ser consideradas con seriedad ante la necesidad de implementar nuevas tecnologías para el tratamiento de zonas contaminadas por metales pesados, que estén basadas en procesos poco agresivos para el ambiente y prevengan cambios en la estabilidad del ecosistema (Da costa y Gomes-Ferreira, 1991). Considerando que los microorganismos resistentes a metales pesados mantienen el ciclo biogeoquímico de los mismos y provocan su biotransformación a formas químicas menos tóxicas (detoxificación), resulta plausible su empleo en proyectos de biorremediación y/o restauración de zonas contaminadas por metales (Brierley *et al.*, 1989; Barkay y Liebert, 1992).

Existen trabajos pioneros encaminados a conocer los organismos presentes en diversos tipos de presas jaleras de Guanajuato; de los mismos, se tiene cuenta de la presencia de cianofíceas de los géneros *Nostoc*, *Phormidium* y *Anabaena* (García-Meza *et al.*, 1997); Ramos (1993) reportó tres géneros de clorofíceas (*Cladophora*, *Ulothrix*, y *Chlorella*); mientras que, García-Meza *et al.* (1997) agregan al listado a los géneros *Ankistrodesmus*, *Chaetophora*, *Oedogonium* y *Selenastrum*. En cuanto a las bacillariofíceas o diatomeas, se han determinado 52 especies procedentes del jal Pozuelo (García-Meza, 1997) (tabla 1). Entre otros protistas, se ha reportado al euglenido *Euglena gracilis* y se ha indicado la presencia de cilióforos, zoomastigóforos y rizópodos (García-Meza *et al.*, 1995). En estudios de la microflore aislada de jales, se reportan especies resistentes a la Ag tales como los deuteromicetos *Cryptococcus*, *Penicillium* y *Fusarium* y los zigomicetos *Rhizopus* y *Mucor*. Entre las plantas superiores, destacan por su abundancia y cercanía a las presas de desechos mineros: el chichicastle (*Lemna* sp) en presas con agua, tules (*Typha* sp) durante la estación de lluvias, pirules (*Schinus mole*) que al ser alcanzados por los desechos comienzan a fenecer, algunos arbustos de tabacote (*Nicotiana glauca*), ejemplares de

<sup>15</sup> Atkinson y Cairns Jr. (1994) han considerado el desarrollo de microorganismos como el inicio de un proceso (natural o dirigido) de restauración ecológica.

mala mujer (*Wigandia* sp) dispersos por las laderas, robustos girasoles (*Helianthus annuus*) y *Mirabilis multiflora*, principalmente (García-Meza *et al.*, 1997; Rodríguez *et al.*, 1997; Vega *et al.*, 1997). Cabe destacar que la flora vascular señalada es común a los jales antiguos.

Tabla No. 1: Diatomeas del Jal Pozuelos

<i>Aulacoseira granulata</i>	<i>Gomphonema affine</i>	<i>Pinnularia gibba</i>
<i>Cyclotella distinguenda</i>	<i>Gomphonema angustatum</i>	<i>Stauroneis anceps</i>
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	<i>Gomphonema minutum</i>	<i>Denticula elegans</i>
<i>Cyclotella ocellata</i>	<i>Gomphonema parvulum</i>	<i>Denticula kuetzingii</i>
<i>Cyclotella stelligera</i>	<i>Navicula angusta</i>	<i>Nitzschia acicularis</i>
<i>Asterionella formosa</i>	<i>Navicula cryptocephala</i>	<i>Nitzschia amphibia</i>
<i>Synedra ulna</i>	<i>Navicula cryptotenella</i>	<i>Nitzschia archibaldii</i>
<i>Achnanthes lanceolata</i>	<i>Navicula cuspidata</i>	<i>Nitzschia capitellata</i>
<i>Achnanthes minutissima</i>	<i>Navicula halophila</i>	<i>Nitzschia claussi</i>
<i>Cocconeis placentula</i>	<i>Navicula cfr. impexa</i>	<i>Nitzschia dissipata</i>
<i>Amphora montana</i>	<i>Navicula minuscula</i>	<i>Nitzschia frustulum</i>
<i>Amphora veneta</i>	<i>Navicula phyllepta</i>	<i>Nitzschia gracilis</i>
<i>Cymbella affinis</i>	<i>Navicula pupula</i>	<i>Nitzschia inconspicua</i>
<i>Cymbella pusilla</i>	<i>Navicula recens</i>	<i>Nitzschia cfr. liebetruithii</i>
<i>Cymbella silesiaca</i>	<i>Navicula veneta</i>	<i>Nitzschia palea</i>
	<i>Navicula viridula</i>	

## CAPÍTULO II

### ZONA DE ESTUDIO

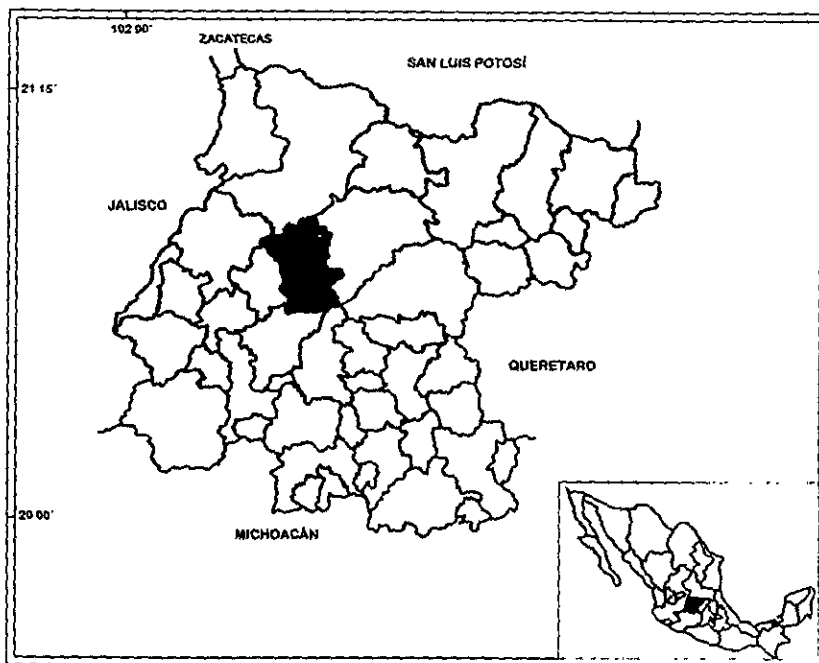
*Las plantas tropicales se estremecen  
¿que puede decirse sobre el hábitat no dicho ya?*

Fatti Smith

## 2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

### Municipio de Guanajuato

El Municipio de Guanajuato se localiza entre los paralelos  $20^{\circ}$  y  $21^{\circ} 45'$  N y los meridianos  $102^{\circ}$  y  $100^{\circ}$  O, y limita con los Municipios de San Felipe (norte), San Miguel de Allende y Salamanca e Irapuato (sur), Dolores Hidalgo (este), Silao y León (oeste). La altitud promedio municipal es de 2150 msnm y comprende un área de 1010.70 Km<sup>2</sup>, lo que equivale al 3.31% del territorio estatal (mapa 1).



Mapa 1: Ubicación del estado y municipio de Guanajuato.

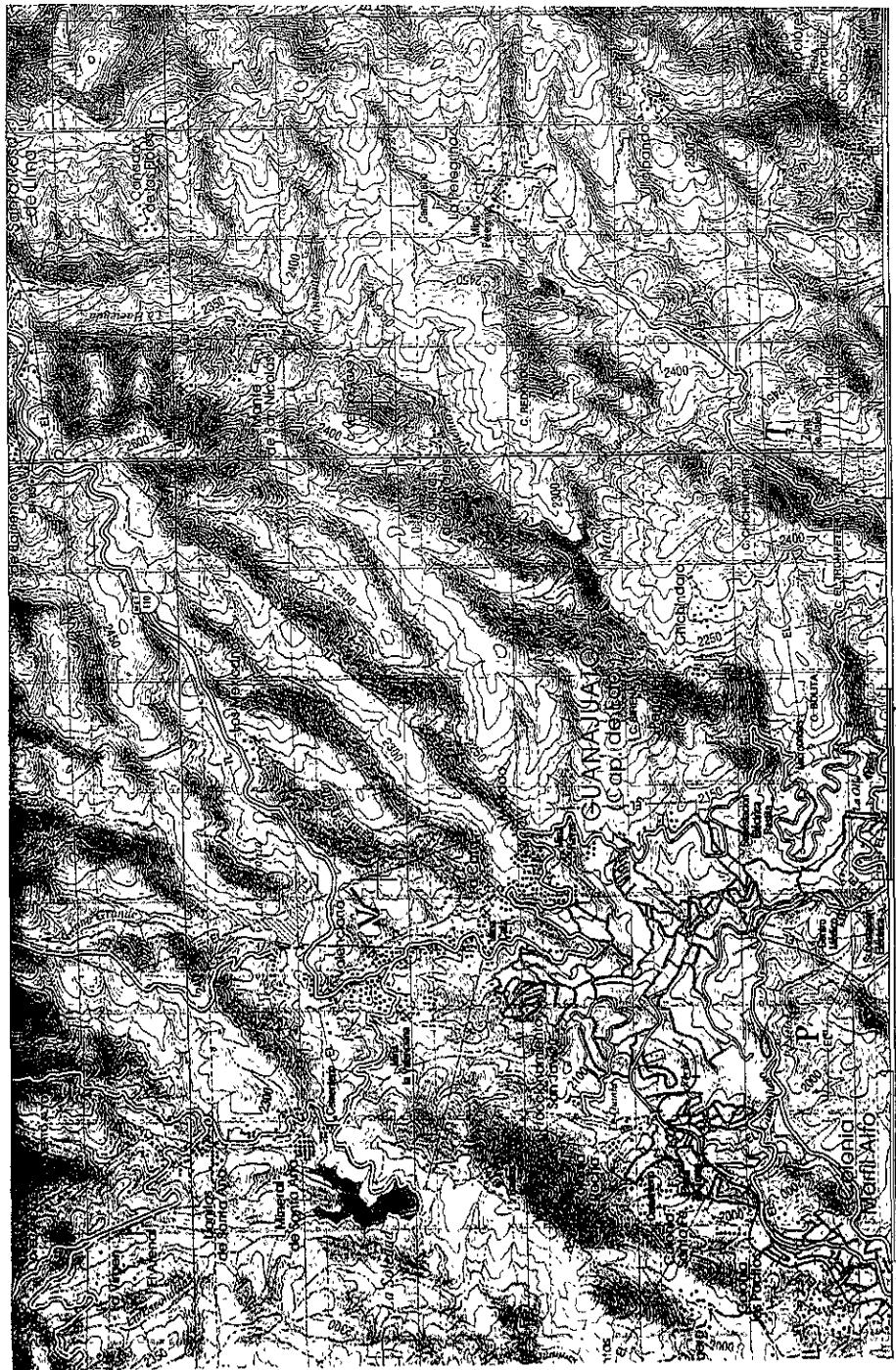
La ciudad de Guanajuato es la cabecera municipal y capital del estado; ésta se ubica entre los meridianos 101°15' y 101°26' oeste y los paralelos 21° 01" y 21° 14" N. La altitud promedio de la ciudad es 2008 msnm (mapa 2) (Izaguirre y Dominguez, 1987; INEGI-Gob. del Edo. de Gto., 1993).

Los jales bajo estudio pertenecen al municipio de Guanajuato, más o menos cercanos a la ciudad capital; para llegar a éstos se sugiere considerar los relatos siguientes (localización de cada uno de los depósitos):

- Jal Pozuelos: depósito antiguo de desechos mineros, situado al suroeste de la ciudad de Guanajuato; latitud de 2000 msnm.

Para acceder a éste es necesario ingresar a la ciudad por la carretera Silao-Guanajuato (No. 110) y tomar la desviación que lleva al complejo administrativo de Pozuelos hasta la estación de bomberos, detrás de la cual se localiza el jal (mapa 2).

- Presas de Jales de La Valenciana (Cooperativa Minera Santa Fe de Guanajuato): este conjunto de presas jaleras se encuentra al noroeste de la ciudad de Guanajuato, a 2198 msnm. Para llegar a la zona, se toma la primera brecha descendiente localizada en el Km. 4 de la carretera Guanajuato-Dolores Hidalgo (No. 110) (mapa 2).
- Presa de jales Las Torres (Compañía Minera Peñoles): situada al este de la ciudad de Guanajuato, a 2300 msnm. Se accede a la misma a partir de la Carretera Panorámica de la Ciudad, en el tramo Presa de la Olla, donde inicia la brecha que conduce a "El Cubo"; después de 30 min. de camino (aproximadamente) se aprecia la mina Las Torres-Peñoles y, pocos metros adelante, la presa jalera correspondiente (mapa 2).



Mapa 2: Localización de la Ciudad de Guanajuato. Las letras señalan la ubicación de los jales elegidos (P: Pozuelos; V: Valenciana, y T: Las Torres)

## 2.2. CARACTERÍSTICAS FISIGRÁFICAS GENERALES

### Hidrología

El Estado de Guanajuato está comprendido en las regiones hidrológicas "Lerma-Chapala-Santiago", que abarca la mayor parte del territorio (52 990 Km<sup>2</sup>) y "Alto-Río Pánuco", en la zona norte (4 872 Km<sup>2</sup>); la división entre estas dos regiones representa un tramo del parteaguas continental, ya que la primera región drena al Golfo de México y la segunda al Océano Pacífico (Guiza, 1949; INEGI-Gob. del Edo. de Gto., 1993). Por su parte, el municipio de Guanajuato queda subdividido en dos subcuencas: la del Río Guanajuato y la del Río Laja-Pañuelitos (INEGI-Gob. del Edo de Gto, 1993).

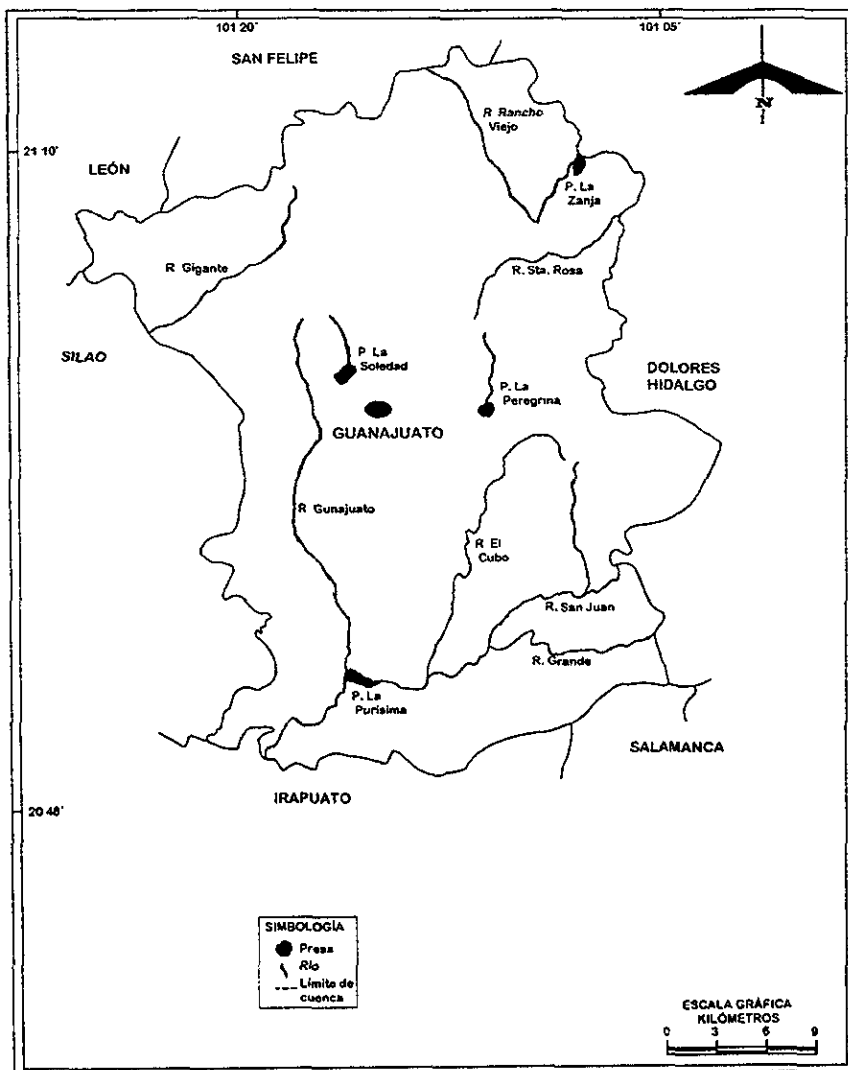
Entre los intrincados cerros de la Sierra de Guanajuato, especialmente durante la época de lluvia, se forman numerosas corrientes de agua o arroyos que escurren rápidamente hacia los valles; la mayoría de estos arroyos desembocan en el Río Guanajuato que, finalmente, desagua en el Río Lerma. Las principales corrientes del municipio son los ríos Guanajuato, El Cubo, San Juan, El Gigante, Grande, Rancho Viejo y Santa Rosa, los arroyos Ojo de Agua, La Escondida, El Chorro y Pozuelos. Los cuerpos de Agua más importantes de la región son las presas La Purísima, La Zanja, La Soledad, La Peregrina y Pozuelos (Guiza, 1949; Izaguirre & Domínguez, 1987; INEGI-Gob. del Edo. de Gto., 1993) (mapa 3)

### Fisiografía

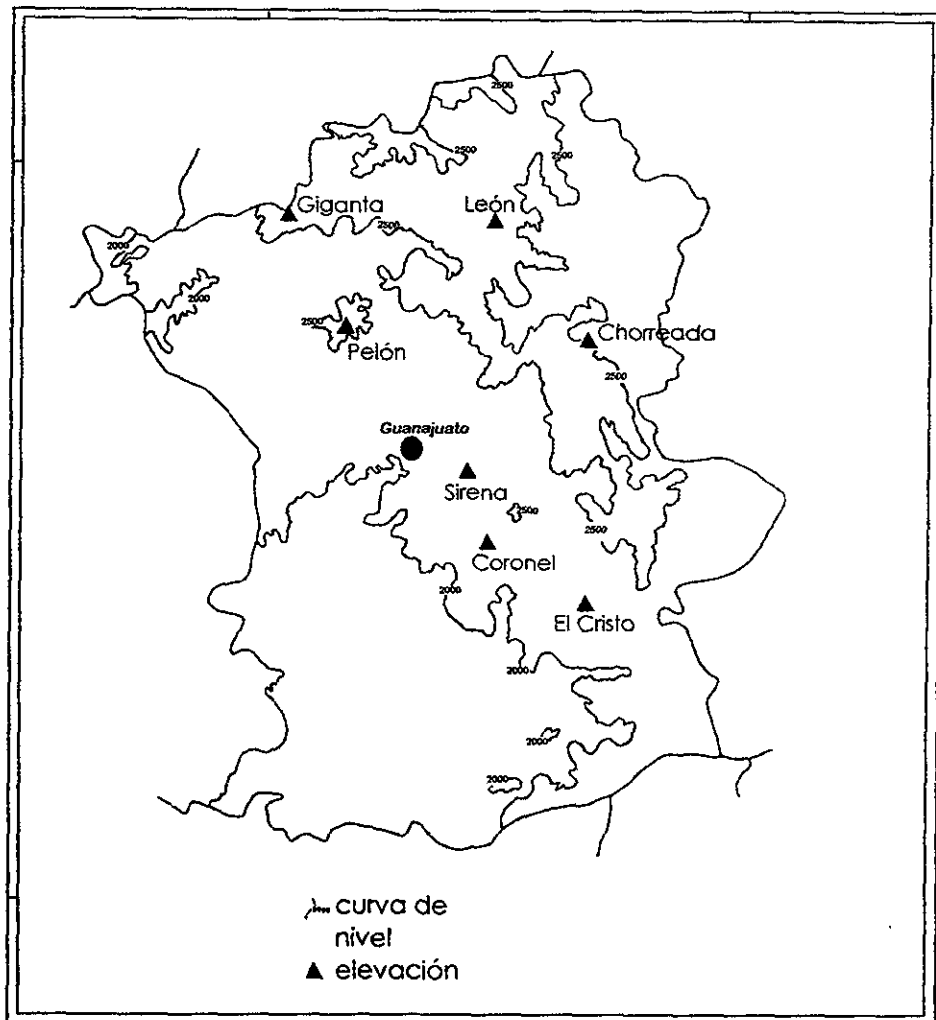
El municipio de Guanajuato queda contenido en la región fisiográfica La Mesa Central, misma que se distingue por la presencia de amplias llanuras interrumpidas por sierras diversas de naturaleza volcánica, en su mayoría. La Sierra de Guanajuato es una de las mencionadas discontinuidades, que ocupa la mayor parte del territorio del municipio de Guanajuato y colinda al sur con El Bajío, una extensa planicie de gran importancia agro-industrial.

La Sierra despliega diversas elevaciones cuyas altura media se estima en 2400 msnm y de las que destacan por sus elevaciones: La Giganta, El León, San Miguel, El Pelón, Las Chorreadas, Sirenas, Coronel y El Cristo (INEGI-Gob. del Edo. de Gto., 1993) (mapa 4)





Mapa 3: Principales presas y rios del municipio de Guanajuato



Mapa 4: Principales elevaciones montañosas del municipio de Guanajuato

## Geología

La Mesa Central se compone de las rocas más antiguas del Estado: metamórficas del Triásico-Jurásico, sedimentarias de origen marino del Cretácico-Terciario e ígneas intrusivas y extrusivas del Terciario. El período Cuaternario está representado por aluviones (en valles y llanuras de la provincia fisiográfica) y rocas sedimentarias (Guiza, 1949). De los aspectos geológicos más relevantes de la región, destacan los recursos minerales y los acuíferos subterráneos. Los minerales del estado están comprendidos dentro del llamado Distrito Minero de Guanajuato, comarca de 220 Km<sup>2</sup>, famosa y notable por la presencia de las vetas "La Luz", "Veta de las Sierras" y, la más extensa, la "Veta Madre". Los criaderos minerales están contenidos en lutitas, rocas metamórficas o en rocas efusivas. Los yacimientos minerales son metálicos y no metálicos; los primeros con minerales argentíferos y, en menor proporción, auríferos (Guiza, 1949), que han mantenido la actividad minera del Distrito por más de tres siglos.

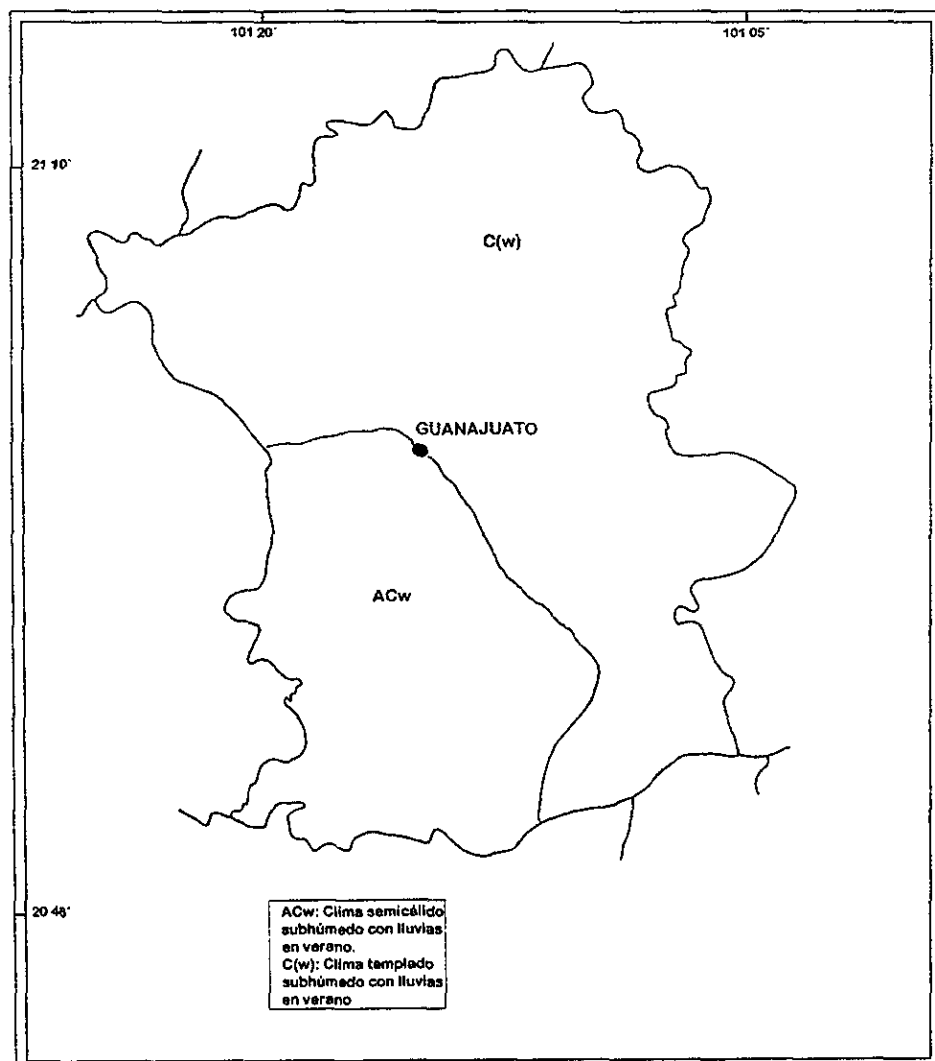
## Suelos

Los principales suelos de la región son faeozems: suelo pardo de textura media a fina, poco fértiles, de 15 a 40 cm de profundidad, casi siempre de un solo horizonte; los hay lúvicos (con acumulación de arcilla en el subsuelo) y háplicos (una sola capa oscura y suave, y carece de arcilla). En las zonas de montañas, la fase es lítica (lecho rocoso) y hacia las llanuras, la fase es dúrica (duripan a menos de 50 cm de profundidad) y son suelos más fértiles aunque más erosionados, que se emplean para agricultura de temporal (INEGI-Gob. del Edo. de Gto., 1993). Finalmente, en las sierras el suelo se caracteriza por ser de estructura blocosa angular a subangular, de consistencia friable a muy firme, la textura varía de franco-arenosa a arcillo-limosa y el pH de 6.0 a 8.9 (Izaguirre & Domínguez, 1987).

## Climas

En el municipio de Guanajuato se distinguen básicamente dos tipos de clima: el de las zonas de mayor altitud, representadas por clima templado, subhúmedo con lluvias en verano y lluvias aisladas en invierno; mientras que en la zona de altitud media, el clima es semicálido subhúmedo con lluvias en verano y esporádicas lluvias en invierno (ver mapa 5). La temperatura media anual es 17.9°C, con temperaturas máximas en verano (hasta 36°C) y temperaturas mínimas en invierno (hasta -3.0°C, en promedio). La precipitación pluvial media anual varía entre 659 mm y 691.5 mm. En el estado, los vientos dominantes poseen una velocidad media de 4.6 m/seg. y su

dirección es de este a noroeste (Guiza, 1949; Izaguirre & Domínguez, 1987; INEGI-Gob. del Edo. de Gto., 1993)



Mapa 5: Climas del municipio de Guanajuato

## Vegetación

La vegetación sobresaliente está representada por bosques de encino en la Sierra de Guanajuato, en la región sudoeste hay campos agrícolas y los tipos de vegetación predominantes son los pastizales naturales, bosque de mezquite y selva baja caducifolia. En la zona de Valenciana predomina el encinar arbustivo y, hacia la Sierra de Guanajuato, el bosque de encino; finalmente, en torno al cerro de "La Bufa" la vegetación es matorral crassicaule (Izaguirre & Domínguez, 1987; INEGI-Gob. del Edo. de Gto., 1993). Las especies vegetales sobresalientes de la región son:

a) Pastizales naturales: Formada principalmente por gramíneas, incluye especies de los siguientes géneros: *Aristida*, *Bouteloua*, *Cynodon*, *Muhlenbergia*, *Eragrostis*, *Hilaria*, *Setaria* y *Stipa*, y como elementos componentes no graminoides: *Zaluzania*, *Dalea*, *Asclepias*, *Jeatropha*, *Opuntia* y *Dasyllirion*. Algunas partes del pastizal natural se mezcla con elementos de matorral crassicaule.

b) Encinar arbustivo: *Quercus* sp., *P. cembriodes*, *Yucca* sp., *Arctostaphylos* sp. y *D. viscosa* en el estrato superior, y en el estrato inferior, *Dalea* sp. (engorda cabra o ramoncillo), *Jatropha dioica*, *Bouteloua* sp., *B. simplex* (navajita), *Aristida* sp., entre otras.

c) Bosque de Encino: *Quercus* sp (encino), *Arbutus* sp. (madroño), *Pinus cembroides* (pino piñonero), *Yuca* sp. (palma) y *Alnus* sp., como parte del estrato arbóreo; del estrato arbustivo sobresalen *Arctostaphylos* sp. (manzanita), *Dodonaea viscosa* (jara) y *Baccharis* sp. (jarilla); así como otros elementos, *Karwinskia* sp. (capulín) y *Opuntia* sp. (nopal).

d) Matorral crassicaule o nopalera, en el que se entremezclan elementos arbustivos espinosos e inermes: *Opuntia* sp., *O. leucotrichia* (nopal duraznillo), *O. cantabrigiensis* (nopal), *O. imbricata* (cardenche), *Myrtilocactus geometrízans* (garambullo), *Karwinskia humboldtiana* (coyotillo), *Schinus molle* (pirul) y *Acacia* sp. (huizache), en el estrato superior; *Acacia* sp. (garabatillo), *Zaluzania* sp. (tronadera) y otros en el estrato medio, y *Bouteloua* sp., *Eragrostis* sp., *Setaria* sp., *Asclepias* sp., *Aristida* sp. y otras graminoides y no gramíneas en el estrato inferior.

Como la mayor parte del municipio está formado de cerros y lomeríos, no hay grandes extensiones de tierra para el cultivo y la escasa que hay es de calidad insuficiente, además de ser de temporal. A pesar de lo anterior, se cultiva principalmente maíz, sorgo, trigo, frijol y cebolla (por ciclos) y, en menor escala, alfalfa (todo el año) y algunas legumbres. Por las mismas razones, hay poco desarrollo ganadero en el municipio; aún así, se crían de manera casera algunas especies caprinas, aves, bovinas y equinas (en orden decreciente), además de porcinas y ovinos (Izaguirre & Domínguez, 1987; INEGI-Gob. del Edo. de Gto., 1993). En cuanto a la producción forestal, es significativamente importante la explotación de encinos; del Municipio de Guanajuato se extrae alrededor del 70% de la madera de encinares (INEGI-Gob. del Edo. de Gto., 1993).

### Características fisiográficas particulares

Pozuelos: Es una región de menor altitud respecto a las otras zonas, por lo que el clima es semicálido subhúmedo; el sustrato está sometido a una fuerte erosión hídrica y, en menor grado, eólica; la vegetación específica consiste en pastizal natural asociado a matorral subinermes (no espinoso, cerrado), crassicaule.

La Valenciana: Clima templado subhúmedo; vegetación escasa de tipo matorral inermes. Zona inclinada, sometida a fuerte erosión eólica.

Las Torres: Clima templado subhúmedo con pastizal natural asociado a matorral subinermes a inermes.

---

### 2.3. CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LAS ZONAS DE ESTUDIO

---

Se eligieron los tres depósitos de jales por diferir en antigüedad, ubicación, grado de humedad y tipo (tabla 2):

#### Pozuelos

El jal de Pozuelos (fig. 2) forma parte de las acumulaciones denominadas "jales de Noria Alta" que, en su conjunto, son clasificadas como "jales antiguos", es decir, que se generaron hace más de 60 años. Estos montículos fueron depositados en la zona antes de que la norma obligara a las empresas a crear las presas de jales; a diferencia de los otros jales de Noria Alta, transformados por la actividad humana (se han construido caminos, casas, oficinas, jardines), el jal de Pozuelos persistía relativamente inalterado y, más interesante aún, la flora de la zona había logrado establecerse en las inmediaciones del mismo. En las paredes del jal, por ejemplo se forman costras de cianofitas y en el tramo del Arroyo Pozuelos que corre a lo largo del jal se observaron diversas algas, cuyo listado inicial de diatomeas se presenta en la tabla 1. En cuanto a su aspecto, estos jales son polvos color marrón claro (fig. 2). No se sabe con precisión el origen de este jal; se cree que los últimos depósitos provienen de la mina La Sirena (1934-1944), más es posible que también de otras minas, dada su antigüedad. Guiza (1949) asegura que estos jales derivan de las Haciendas de Beneficio que usaban Pb y Hg en el tratamiento de minerales argentíferos. Para la fecha en que se concluyó el presente escrito, esta acumulación ha quedado sepultada por la construcción de una nueva carretera.

#### Valenciana

El sistema de presas de jales de la Valenciana consiste en dos áreas escalonadas, que han sido "rellenadas" en distintos periodos. La primera, Valenciana-seco, es más antigua y superior, consiste en desechos poco consolidados, completamente secos, que tienden a formar costras de desecación muy frágiles y superficiales; dada su extensión, ha sido utilizada de manera diversa: desde depósito de cascajo, hasta cancha de fut-bol; en la misma, se aprecia la presencia de gramíneas, pirules y, en una zona deprimida, tules (*Typha* sp.); cabe destacar la presencia de una casa, cuyos habitantes aprovechan el terreno para sembrar maíz, junto con el cual, florecen girasoles; se ha observado ganado caprino y equino pastando. La segunda presa, Valenciana-húmedo, se diferencia notablemente de la anterior por el hecho de estar activa: periódicamente recibe descargas de la planta de beneficio del mineral La Valenciana, provocando se formen

espejos de agua que al evaporarse y/o infiltrarse, toma un aspecto lodoso, semejante a la de una mezcla de cemento, incluso por su color grisáceo; esta presa difícilmente se seca por completo; la vegetación se limita a las orillas de la misma (fig. 3).

### Las Torres

Se trata de un cuerpo de agua con una constante depositación de residuos en solución acuosa (presa activa), que está cercada, carece de vegetación y no ha sido alterada por actividades humanas (Fig. 4).

Tabla 2. Principales características fisiográficas y de procedencia de los jales

	POZUELOS	VALENCIANA	LAS TORRES
ALTITUD (msnm)	2 000	2 198	2300
TIPO DEPÓSITO	montículo	semipresa	presa
GRADO HUMEDAD	polvos secos	polvos secos* lodos**	solución acuosa
ANTIGÜEDAD	mas de 50 años	antiguo*/actual**	actual
VETA	Veta Madre	Veta Madre (NE)	Veta Madre (SE)
MINERAL PARENTAL	argentífero	argentífero	argentífero
METODO DE BENEFICIO	patio/ cianuración	cianuración/ flotación	flotación selectiva
VEGETACIÓN INTERNA	presente	presente*/nula**	nula

\* Valenciana-seco. \*\* Valenciana-húmedo





Fig. 2: Montículo del jal Pozuelos.

Fig. 3: Presa de jales Valenciana (zona húmeda).

Fig. 4: Presa jalera Las Torres.

4

## CAPÍTULO III

### MÉTODO

*(...) No,  
lo difícil es girar en torno a él sin perder la distancia,  
como un buen satélite , un buen crítico.*

Julio Cortazar

### 3.1. EN CAMPO

---

#### Método de colecta

Se visitaron los jales de Pozuelos, Las Torres y Valenciana antes y después del periodo de lluvias (mayo y septiembre de 1997, respectivamente) para realizar la colecta de muestras de los depósitos:

#### a) Colecta para análisis fisico-químicos de jales

Se colectó 1 Kg de jal sólido en Valenciana zona seca (Vs), Valenciana zona húmeda (Vh) y Pozuelos (P), así como una muestra de suelo aledaño, en la periferia de la presa jalera (control); las muestras se tomaron de la capa superficial del sustrato, con una pala de plástico y se guardaron en bolsas de plástico. En la presa jalera de las Torres (T), se tomó un litro de agua superficial con un recipiente de plástico; esta muestra se mantuvo en refrigeración a 4°C hasta su uso posterior. La colecta se realizó en septiembre de 1997. En todos los casos se tomaron las muestras en los mismos sitios de colecta para el trabajo ficoflorístico.

#### b) Colecta para análisis ficoflorísticos

- En Pozuelos (P) y para la primera estación de colecta (seca) se tomaron muestras de jal superficial con costras algales en dos puntos. Para la segunda estación (lluvias), la zona había sufrido una alteración (remoción para la futura construcción de una carretera), por lo que sólo fue posible tomar una muestra de jal superficial en la que no habían estas costras.
- En Valenciana no se detectaron crecimientos algales visibles en ninguna de las dos estaciones, por lo que se colectaron muestras superficiales de jal en dos puntos diferentes: de la zona de jal seco, arenoso, en la presa inactiva No. 1 (Vs) y jal húmedo de la presa en uso No. 2 (Vh); en la segunda colecta, se repitieron las colectas de los sitios anteriores.
- En la presa Las Torres (T) se colectaron muestras de agua superficial mediante toma directa, en dos puntos y por duplicado en ambas estaciones; los duplicados se fijaron con formol al 3% y las muestras en fresco se mantuvieron en refrigeración hasta su uso ulterior.

### 3.2. EN LABORATORIO

Para obtención de datos físico-químicos.

Los análisis físicos y químicos de los jales se realizaron en el Laboratorio de Génesis de Suelos, Instituto de Geología, UNAM, bajo la dirección de la M. en C. Lourdes Flores Delgadillo y la asesoría de la Biol. Maribel Trejo Medina. Para los jales de Pozuelos y Valenciana (fase sólida) se determinaron los siguientes parámetros: color, densidad (real y aparente), porosidad, conductividad, pH, salinidad y carbonatos alcalino-térreos, según Richards (1974); textura por el método de Bauyoucos (Black, 1965), porcentaje de materia orgánica según Walkley (1947), capacidad de intercambio catiónico por el método de Bower (1952), determinación de la concentración de Cd, Cr, Cu, Mn, Pb y Zn totales y disponibles (extractables con DPTA) mediante espectrofotometría de absorción atómica (Lindsay y Norvell, 1978). Para el agua de la presa de jales Las Torres se obtuvieron datos de: pH, salinidad y conductividad, concentración de los metales citados, mediante las técnicas ya señaladas para cada caso, mismas que se describen en el apéndice A1.

Para obtención de datos ficoflorísticos

No se revisaron las muestras de jales para verificar la presencia de estructuras o talos algales antes de preparar los cultivos.

Se hicieron medios estériles en fase líquida y sólida (con agar) para cultivar las muestras de jales colectadas. Los cultivos se implementaron de la siguiente manera: una vez preparados los medios sólidos (en cajas de Petri) y líquidos (en matraces Erlenmeyer de 50 ó 100 mL), se espolvoreó 1 gramo (g) de muestra de jal sobre el medio, ó 1 mL de las muestras refrigeradas de agua de jales. Los cultivos se mantuvieron a  $\text{pH} \pm 7$  utilizando NaOH 0,1N ó HCL 0,1N (según se requiriera) para estabilizarlo cuando variara, excepto durante las tres últimas semanas, en las que se dejó sucediera la alcalinización natural para permitir la manifestación de cianofíceas.

Para las muestras colectadas durante la primera salida se empleó, exclusivamente, Medio Basal Bold (MBB) (Nicholson y Bold, 1965 *en*: Stein, 1973); además, se colocaron cerca de una ventana del laboratorio, sometidas a las fluctuaciones diarias de luz, temperatura y humedad. Sin embargo, se consideró pertinente probar un segundo medio de cultivo (Chu-10) (Chu, 1942 *en*: Stein, 1973) y mantener los cultivos en cámaras de ambientes controlados a 22-25 °C, con ciclos de luz/oscuridad de 16/8 hrs. Las técnicas para la elaboración de los medios de cultivo se presentan en el apéndice A1 (técnicas empleadas)

Una vez manifestados los crecimientos algales, se realizaron observaciones periódicas en microscopio de contraste de interferencia diferencial a 1000X, elaborando simultáneamente, descripciones y dibujos de los ejemplares observados.

Además, se hicieron resiembras para la obtención de cultivos monoespecíficos a partir de aquellos cultivos donde se observaron especies cuya determinación requería un mayor conocimiento y comprensión de su ciclo biológico.

Para la observación de diatomeas, se tomó una porción de los cultivos y se siguió la técnica de Johansen *et al.* (1983) para limpieza de frústulas (ver apéndice A1); se elaboraron tres preparaciones permanentes para cada caso, que se observaron en microscopio de contraste de interferencia diferencial a 630 y 1000X. También se tomaron fotos, se realizaron dibujos y se hicieron las mediciones morfométricas específicas para cada género.

La determinación de las especies se realizó con la ayuda de claves y descripciones específicas para cada caso, referidas en los textos de Desikachary (1959), Ettl y Gärtner (1988), Kómárek y Fott (1983), Krammer y Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991a y 1991b), Patrick y Reimer (1966) y Prescott *et al.* (1981). Para la lista sistemática se emplearon las propuestas de Anagnostidis y Komárek (1988) para Cyanoprokariota, Ettl y Gärtner (1988) para Clorofitas y Krammer y Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991a y 1991b) para Diatomeas, excepto para el género *Synedra*, en cuyo caso se empleó la caracterización de Patrick y Reimer (1966). No se trabajaron sinonimias.

La información referente a ambientes, formas de vida y distribución fue extraída directamente de la bibliografía consultada, señalada en cada descripción y ampliada con una base de datos de algas dulceacuicolas mantenida por Novelo. Para el caso particular de las diatomeas, se amplió la información tomada de De Wolf (1982) y Van Dam *et al.* (1994). Se indican las citas correspondientes en los casos en los que la información procede de fuentes diferentes.

En las descripciones se incluyen los datos de las condiciones de cultivo en los que se manifestó cada especie (jal, estación de colecta, composición y fase de los medios de cultivo). Estos datos fueron resumidos en una tabla de presencia de las especies determinadas para las diferentes condiciones de cultivo (capítulo V).

### 3.3. EN GABINETE

---

#### Manejo de datos fisico-químicos de jales

Los resultados de los factores físico-químicos de los jales sólidos (P, Vs y Vh) fueron analizados y discutidos independientemente de los del agua jalera de Las Torres. Se analizó el conjunto de resultados no promediados de los jales secos y húmedo mediante Análisis de Correlación Múltiple empleando el programa estadístico STATGRAPHIC (1986) para tratar de comprender el comportamiento de los diferentes factores físico-químicos entre sí; posteriormente; se elaboró un dendograma que permite comparar estos jales en relación a los parámetros calculados, para lo cual se empleó una matriz de correlación, el método de agrupación "cluster" SAHN (Aglomerative Hierarchical and Nested Clustering Methods) según Sneath y Sokal (1973) y la media aritmética no ponderada para pares de grupos (UPGMA) como técnica de ligamiento, que se refleja finalmente en el dendograma; se calculó el Índice Cofenético de Correlación (Pearson Product-Moment Correlation Coefficient) para validar los métodos empleados. La matriz de correlación también se usó para el análisis de Componentes Principales (PCA) con el objetivo de detectar los parámetros físico-químicos que determinan el arreglo de los jales en el dendograma (apéndice A1: estadísticos). Todo lo anterior se realizó mediante el programa estadístico NTSYS-PC (Rohlf, 1993). Los resultados y las discusiones se exponen en el capítulo IV.

#### Manejo de datos ficoflorísticos

Se realizaron descripciones de las especies, mismas que se condensan en una sección especial (como se indicó en el índice).

Se muestran y discuten los principales resultados relativos a los taxa. Se analizó la composición algal en cultivos, para lo cual se discriminaron veinticuatro condiciones de cultivo tomando en consideración los tratamientos de laboratorio y distribución espacio-temporal de la ficoflora de los jales. Se realizaron análisis estadísticos para evaluar los diferentes tratamientos de laboratorio (riqueza de especies manifestadas en relación al estado físico y la composición química de los medios de cultivo) y la distribución temporal de las especies. Para lo anterior, se empleó la prueba de hipótesis  $\chi^2$  para  $H_0$ : "no existen diferencias significativas en la riqueza de especies". Finalmente, se menciona la composición algal por jales.

Lo anterior se concentra en el capítulo V.

## Relaciones ficoflorísticas y condiciones fisico-químicas de los jales

Para analizar la composición algal y su relación con las características de los jales, se formaron grupos en relación a los jales a los que se asociaron las especies detectadas; de esta manera, se analizaron las especies que se presentaron en un sólo jal, discriminando los jales sólidos del líquido; posteriormente, se analizó a las especies presentes en dos jales, así como las comunes a todos los desechos. En este análisis fueron integrados los datos más relevantes de los análisis fisico-químicos de jales, además de los datos bibliográficos que refieren la distribución, los ambientes y las formas de vida en los que han sido reportadas las especies descritas.

Lo anterior se expone en el capítulo VI.

## Integración

A partir de lo analizado en los capítulos IV a VI, se realizó la discusión final de los rasgos físicos y químicos de los jales y la composición de las especies respecto a su distribución espacio-temporal y en relación a las características de los jales; es decir, de todos los elementos bajo estudio.

Lo dico se concentra en el capítulo VII.

## CAPÍTULO IV

### CARACTERIZACIÓN DE LOS JALES

*Cuando ella contempló esta obra, se sintió acobardada.  
El inmenso cono rosa de los desechos de fango argentífero y  
las máquinas de extracción (...). ¿Qué más veía? Colinas desiertas,  
ensambladas, alineadas las unas tras las otras, la nada en la nada (...)  
Y sin que nadie se molestara en levantarlo, la muerte en la muerte.*

D. H. Lawrence



#### 4.1. RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

Los datos resultantes de los análisis físico-químicos de los jales sólidos (Pozuelos, Valenciana zona húmeda y Valenciana zona seca), el agua jalera (Las Torres) y los suelos control de Pozuelos y Valenciana, se resumen en la tabla 3:

Tabla 3. Resultados de los análisis físico-químicos de jales y suelos control

	AGUA JAL Las Torres	JAL POZUELOS	VALENCIANA (Húmedo)	VALENCIANA (Seco)	CONTROL POZUELOS	CONTROL VALENCIANA
COLOR Seco Humedecido	ND	café muy pálido	Gris claro Gris	Blanco Gris claro	Café rojizo "	Café rojizo oscuro "
ARCHILLAS (%)	ND	12	24	12	16	14
ARENAS (%)	ND	50	14	50	60	54
LIMOS (%)	ND	38	62	38	24	32
TEXTURA	ND	Franco	Franco-limoso	Franco	Franco-arenoso	Franco-arenoso
δ REAL (g/cm <sup>3</sup> )	ND	2.16 ± 0.02	2.0	2.26 ± 0.02	2.11 ± 0.09	1.90 ± 0.04
δ APTE (g/cm <sup>3</sup> )	ND	1.15 ± 0.02	1.06 ± 0.07	1.28 ± 0.01	1.26 ± 0.02	1.04 ± 0.02
POROSIDAD (%)	ND	46 ± 0.1	46 ± 0.2	44	4 ± 0.2	45 ± 0.2
pH	7 ± 0.02	7.8 ± 0.05	7.9 ± 0.01	7.9 ± 0.07	6.8 ± 0.17	7.2 ± 0.05
CONDUC (µS/cm)	0.002	886.17 ± 8.7	2421 ± 21.37	952 ± 26.14	75.95 ± 1.98	133.72 ± 5.52
Salinidad (mg/L)	0.019	0.44 ± 0.04	1.19 ± 0.01	0.56 ± 0.09	0.02	0.05
-CO <sub>3</sub> (%)	ND	10.41 ± 1.25	12.25 ± 0.17	11.69 ± 0.35	0	0
C.I.C. (meq/100g)	ND	13.04 ± 0.56	9.56 ± 0.4	6.30 ± 0.52	21.26 ± 0.64	25.98 ± 0.09
M. ORGÁNICA (%)	0	0.11 ± 0.01	0.11 ± 0.1	0.33 ± 0.16	1.88 ± 0.19	4.84 ± 0.4
Cd (ppm) total	ND	2.44 ± 0.54	3.75 ± 0.84	6.28 ± 0.66	2.44 ± 0.54	5.24
disponible	0.92	0.07	0.29 ± 0.02	0.19 ± 0.02	0.04	0.62 ± 0.03
disponibilidad (%)		2.87	7.73	3.03	1.64	11.83
Cr (ppm) total	ND	31.22 ± 1.27	NL	44.32 ± 5.74	70.14 ± 10.31	32.47 ± 4.78
disponible	0.58	0.03	NL	0.04	ND	ND
disponibilidad (%)		0.10	-	0.1	-	-
Cu (ppm) total	ND	61.55 ± 1.93	116.77 ± 30	55.2 ± 3.1	42.47 ± 1.29	1057 ± 2.51
disponible	NL	1.94 ± 0.14	21.81 ± 0.73	4.54 ± 0.76	1.26 ± 0.05	3 ± 0.14
disponibilidad (%)		3.15	18.7	8.22	2.97	2.93
Mn (ppm) total	ND	883.50 ± 33	1287 ± 124	1253 ± 0.56	790.83 ± 91	3392 ± 145
disponible	0.14	2.66 ± 0.41	13.49 ± 0.51	5.09 ± 0.75	22.78 ± 1.10	26.92 ± 2.12
disponibilidad (%)		0.30	1.05	0.41	2.88	0.8
Pb (ppm) total	ND	165.22 ± 9.52	121.23 ± 14	94.68 ± 4.74	59.90 ± 3	117.87 ± 3
disponible	15.8	6.10 ± 0.19	25.55 ± 1.05	11.73 ± 0.24	1.3	1.82 ± 0.09
disponibilidad (%)		3.70	21.08	12.40	2.17	1.54
Zn (ppm) total	ND	1492 ± 80	1358.73 ± 130	2829.37 ± 40	347.75 ± 25.12	3033.33 ± 60
disponible	3.06	33 ± 5.1	103.73 ± 3.02	92.52 ± 5.42	1.87 ± 0.52	81.68 ± 2.79
disponibilidad (%)		2.21	7.63	3.27	0.54	2.65

En el agua jalera de Las Torres se determinó la cantidad de metales solubles. Claves: ND: no se determinó; NL: no hubo lectura (no detectado); δ: densidad; APTE.: aparente. C.I.C.: capacidad de intercambio catiónico.

---

## 4.2. INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN

---

En el presente apartado, se analizarán los parámetros físicos y químicos de los jales sólidos tomando como marco de referencia a los suelos, y al agua jalera en relación a cuerpos de agua dulce.

### Caracterización de los jales sólidos por sus parámetros físicos y químicos

#### a) Color

Los jales pueden diferir en color en concordancia con su procedencia: en Valenciana los colores variaron entre gris y blanco, y en Pozuelos la coloración determinada correspondió a café muy pálido (tabla 3). Los suelos grises a blancos se caracterizaron por la deficiencia de materia orgánica, baja o nula fertilidad y elevada proporción de yeso, cales y/o sales. Por su parte, los suelos café pálidos indican fertilidad media; sin embargo, en Pozuelos se registró un bajo porcentaje de materia orgánica, por lo que el tono del mismo puede deberse a otros factores, como a los minerales que constituyen ese material (menor proporción de sales y calcio, p.e.).

#### b) Textura

La textura se refiere al porcentaje relativo de partículas de arena (de diámetro entre 2 y 0.02 mm), limos (diámetro entre 0,02 y 0,002 mm) y arcillas (diámetro menor de 0.002 mm). Se ha reportado que las partículas de jales tienen un diámetro que varía entre 0.045 y 0.25 mm (Ramos, 1991), mismos que corresponderían a arenas finas y limos; aunque estos datos no dicen nada de su textura, pues no se reportan los porcentajes, sirven para darnos una noción de la misma y, en efecto, se trata de jales francos a limosos: se determinó una textura franca en los jales secos (Pozuelos y Valenciana-seco) y franco-limosa en Valenciana-húmedo (tabla 3). Las diferencias en la textura podrían vincularse con la antigüedad y las técnicas de beneficio de los minerales: Valenciana seco y Pozuelos son jales antiguos y Valenciana húmedo es un jal actual; se presupone el empleo de técnicas de beneficio más drásticas en jales nuevos, es decir, con mayor tendencia a la pulverización del material parental. En general, los suelos francos poseen cualidades deseables para la agricultura: capacidad de retención de agua, mejor aireación y drenaje, desmesurables, entre otros; en suelos franco-limosos el elevado porcentaje de limos y arcillas retarda el movimiento del agua y el aire, por lo que al estar empapado es adhesivo y al secarse se hace pesado y forma terrones (Tamhave *et al.*, 1978). Así, los jales secos son mejores para fines agrícolas en relación a su textura.

### c) Densidad y porosidad

La densidad real ( $\delta_r$ ) depende de los constituyentes del suelo (partículas) por lo que se esperan valores elevados en suelos predominantemente minerales y bajos en suelos con mayor contenido de materia orgánica; la densidad aparente ( $\delta_a$ ) se refiere al peso de suelo seco incluyendo sus espacios porosos, por lo que tiende a disminuir en suelos finos, de porosidad elevada; de la relación entre  $\delta_r$  y  $\delta_a$  se estima la porosidad del suelo, que indica el porcentaje de espacios intersticiales o poros por volumen de suelo. Una vez definido lo anterior se aprecia que en los jales: (a) la  $\delta_r$  promedio fue 2.14 g/cm<sup>3</sup>; los valores de  $\delta_r$  parecen estar determinados por las partículas minerales, dada la baja concentración de materia orgánica; (b) En promedio, la  $\delta_a$  y la porosidad determinadas fueron 1.17 g/cm<sup>3</sup> y del 45%, respectivamente (tabla 3). Los valores anteriores obedecen a lo esperado en suelos con textura media (franco a franco-limoso), e implica una velocidad de infiltración y permeabilidad moderadas, favorable para cuestiones agrícolas (Tamhove *et al.*, 1978).

### d) pH

Las muestras de jales analizados son homogéneas en cuanto a pH, cuyos valores oscilan entre 7.8 y 7.9, moderadamente alcalinos (tabla 3); se esperaban valores que indicaran acidez, como se ha caracterizado a los residuos mineros en la literatura, por el contrario, el jal tiende a ser ligeramente alcalino mientras que los suelos control mostraron un pH neutros (al igual que la muestra de agua jalera de Las Torres). El pH del suelo se refiere a la concentración de iones H<sup>+</sup> en solución presentes en los poros, y al darse una evaporación del agua en capas inferiores, el pH tiende a elevarse (Alloway, 1990), entonces, estos resultados podrían deberse a que se valoró el pH de muestras superficiales de cada jal.

### e) Cantidad de materia orgánica

El valor promedio del porcentaje de materia orgánica para las muestras de jales fue 0.29% (tabla 3), propio de suelos extremadamente pobres. Ello contrasta notablemente con los suelos control de Pozuelos y Valenciana (1.88 y 4.34 %, respectivamente), con los que se encontraron diferencias significativas ( $\tau=19.61$  entre Pozuelos y su suelo control y  $\tau=29.59$  entre los jales de Valenciana y su control, ambos para  $p=0.05$ ).

#### f) Salinidad y conductividad

Ambos parámetros están fuertemente relacionados y se refieren a la cantidad de sales en solución así como al efecto de las mismas. En los jales, la salinidad promedio fue de 0,73 mg/L y la conductividad 1420  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Valenciana-húmedo presentó los valores más elevados de ambos parámetros, debido tal vez a un mayor porcentaje de sales en disolución; cabe decir, que también manifestó el valor más alto de carbonatos alcalino-térreos (tabla 3). En suelos, valores de conductividad menores a 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  se traducen en un despreciable efecto de las sales en los cultivos agrícolas, pero si este valor fluctúa entre 2000 y 4000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , afecta a cultivos sensibles (Richards, 1974). Dicho lo previo, los jales podrían soportar cultivos.

#### g) Porcentaje de carbonatos alcalino-térreos

Los carbonatos de metales alcalino-térreos se encuentran en cantidades que varían entre las trazas hasta un 50% de la masa del suelo (Richards, 1974) y son particularmente notables en suelos de regiones tropicales. Este parámetro se refiere a carbonatos de Ca y Mg, principalmente, los compuestos carbonatados más conspicuos en la naturaleza. En jales, el valor promedio del contenido de este material fue relativamente alto: 11.45 % (tabla 3).

#### h) Capacidad de intercambio catiónico

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se refiere a los cationes retenidos o adsorbidos por cualquier superficie coloidal activa como arcillas y humus, mismas que poseen cargas negativas. La CIC de jales es baja, con un valor promedio de 9.64 meq/100g de jal (tabla 3), y desviación estándar de 2.87 meq/100g, que se traducen en diferencia significativa entre los jales de Valenciana (en conjunto) y Pozuelos ( $\tau= 6.83$ ,  $p= 0.05$ ). Los bajos valores de CIC indican poca fertilidad en suelos, favorecen la lixiviación de nutrimentos disponibles (cationes) y no propician actividades microbianas vitales para el suelo como la nitrificación y la amorificación (Tamhove, 1978).

## i) Metales pesados

### Cadmio

El Cd es un metal relativamente raro en la naturaleza (ocupa el lugar número 67 en orden de abundancia), se presenta en la corteza terrestre en una concentración promedio de 0.1 ppm<sup>1</sup> y, en suelos ésta varía según la roca parental<sup>2</sup>. En general, se esperan concentraciones de Cd por debajo de 0.1 ppm (Alloway, 1990); pero según Kabata-Pendias y Pendias (1992), la cantidad promedio de Cd oscila entre 0.06 y 6 ppm y sólo valores muy por encima de estos (hasta 10 veces) son indicativos de contaminación. El promedio de Cd total en los jales fue de 4.04 ppm con una desviación estándar de 1.72 ppm que explica las diferencias significativas para los promedios en cada jal (tabla 3); los porcentajes de disponibilidad son bajos, lo que nos indica su predominio en formas químicas estables; el porcentaje de disponibilidad más alto se registró en Valenciana-húmedo (7.73 %).

Estos resultados se circunscriben a valores esperados en un suelo normal. Algunos países europeos estipulan los límites aceptables de Cd en suelos de 3.5 a 5 ppm (Kirke, 1987). En México el límite máximo permitido en lixiviados de suelo es 1 ppm, valores superiores indican toxicidad al ambiente (tabla 4).

---

<sup>1</sup> Las unidades partes por millón (ppm) han sido reemplazadas por mg/L o mg/K, para mezclas líquidas o sólidas, respectivamente. En el presente trabajo se empleará ppm para unificar.

<sup>2</sup> Así: 0.11 a 0.60 ppm en suelos ígneos, 0.007-0.87 en suelos metamórficos y hasta 11 ppm en suelos sedimentarios.

## Cromo

El cromo es un elemento esencial e, incluso, algunos suelos para cultivos son enriquecidos con este micronutriente. El Cr ocupa el 7° lugar en abundancia, con 100 ppm en corteza terrestre (Alloway, 1990) y 54 ppm en suelos, en promedio (Shacklette y Boerngen, 1984 en: Logan y Traina, 1993); el intervalo aceptable para suelos agrícolas es de 50-120 ppm (Kabata-Pendias y Pendias, 1992). El Cr detectado en jales muestra valores bajos, de hecho en Valenciana-húmedo no se detectó; aunado a esto, se observan porcentajes de disponibilidad sumamente bajos (0.1%) o nulos. Así pues, el Cr no representa un elemento tóxico en jales, menos aún si comparamos estos resultados con los reportados por Alloway (1990), quien indica concentraciones de 540 y 750 ppm de Cr en suelos mineros del Reino Unido y EE.UU, respectivamente, y Kabata-Pendias y Pendias (1992) citan hasta 1780 ppm en desechos de industrias procesadoras de metales. El Cr está muy asociado a la explotación y manufactura de la Ag, por lo que sorprende su baja concentración, y más aún por su tendencia a permanecer en capas superiores del sustrato.

La normatividad nacional considera hasta 5 ppm de Cr como el límite máximo tolerable para lixiviados de suelo (tabla 4); en Suiza y Alemania el máximo permitido es 75 y 100 ppm, respectivamente (Kirke, 1987).

## Cobre

La concentración promedio de Cu en corteza terrestre fluctúa entre 24 y 55 ppm, en rocas tiene un intervalo de 2 a 200 ppm, mientras que en suelos, de 20 a 30 ppm (Alloway, 1990) con una concentración máxima aceptable de 100 ppm (Kabata-Pendias y Pendias, 1992). Las muestras de jales presentan Cu en una concentración promedio de 77.84 ppm con una prominente desviación estándar, 33 ppm, dada la heterogeneidad en los valores de cada jal, como se observa en la tabla 3. Para Valenciana-húmedo, así como en su suelo control<sup>3</sup>, la concentración está por encima del máximo aceptable sugerido por Kabata-Pendias y Pendias (1992); en este jal se registró el mayor porcentaje de disponibilidad, aunque apenas el 18.7%. La presencia de Cu en jales se ha explicado como consecuencia del beneficio por flotación, procedimiento que permite extraer este metal (Guiza, 1949). En México no se ha estipulado el valor máximo permitido para Cu en lixiviados de suelo (tabla 4) y algunos países europeos sitúan entre 100 y 280 ppm los límites máximos aceptados (Kirke, 1987). Cabe recordar que este es un metal fitotóxico (Alloway, 1990) y que se emplea como alguicida (Flemming y Trevors, 1988).

---

<sup>3</sup> Entre los que no hay diferencias significativas en los promedios de este metal ( $t=1.6$ ,  $p<0.05$ ).

## Manganeso

El manganeso es un elemento esencial para plantas, animales y diversos microorganismos (*vr. gr.* forma parte estructural de algunas vitaminas) e interviene en el comportamiento de muchos otros micronutrientes (Kabata-Pendias y Pendias, 1992). La corteza terrestre presenta Mn en concentraciones superiores a las de los otros metales pesados (aparte del Fe), mientras que en rocas y suelos esta concentración varía entre 200-2000 ppm y 50-4500 ppm, respectivamente (Alloway, 1990; Kabata-Pendias y Pendias, 1992). Este micronutriente no representa un tóxico en los jales, en los que se registraron 1141 ppm, en promedio, y porcentajes muy bajos de disponibilidad (del 0.3 al 1.05%).

## Plomo

El Pb es un elemento tóxico del cual no se tienen evidencias respecto a participación en el metabolismo de los seres vivos. Suele encontrarse en cantidades traza en suelos y rocas, en estas últimas, hasta entre 1 y 30 ppm. De sus principales fuentes contaminantes (minería, gases vehiculares) y por ser el metal pesado menos móvil, el Pb tiende a acumularse en el horizonte superior del suelo<sup>4</sup>, donde alcanza hasta 100 ppm; concentraciones por encima de este valor se deben exclusivamente a la contaminación (Alloway, 1990; Kabata-Pendias y Pendias, 1992). En los jales, la concentración promedio de Pb fue 127 ppm, apenas por encima de lo sugerido por los autores citados. En particular a cada desecho, se observaron diferencias significativas entre promedios: en Pozuelos se detectaron los valores más altos pero una baja disponibilidad (3.7 %), mientras que en Valenciana-húmedo, con Pb total ligeramente encima de las 100 ppm, se registró el mayor porcentaje de disponibilidad (21.08%). Estas diferencias podrían deberse a la antigüedad y textura de los jales comparados, así como a las diferencias entre los procesos de beneficio mineral empleados en el pasado y en la actualidad. La normatividad mexicana establece hasta 5 ppm de Pb en lixiviados de suelo (tabla 4).

## Zinc

El Zn se considera un metal esencial para los seres vivos y, al igual que el Cr, algunos fertilizantes incluyen cantidades traza de este elemento. En la litósfera su concentración promedio es de 80 ppm y en suelos se estima entre 10 y 300 ppm, con un máximo aceptable de 200 a 300 ppm (Alloway, 1990; Kabata-Pendias y Pendias, 1992). En promedio, la concentración de Zn en jales fue 1 893 ppm con una desviación estándar muy alta (713 ppm). Los jales y suelos analizados son potencialmente tóxicos por Zn, pues los porcentajes de disponibilidad son bajos. Al igual que el Cu, los altos niveles de Zn total son consecuencia directa del beneficio por

<sup>4</sup> Así como en capas superiores de sedimentos lacustres

flotación. Es importante resaltar que los suelos control de Valenciana y Pozuelos mostraron un elevado contenido de Zn (tabla 3).

La legislación en materia ambiental de la antigua República Federal Alemana permitía hasta 300 ppm de Zn en suelos, y la del Reino Unido, 560 ppm (Kirke, 1987). En nuestro país, hasta 5 ppm en lixiviados de suelo (tabla 4). Cabe recordar que el Zn es sumamente fitotóxico.

Tabla 4. Límites máximos permisibles en México para metales pesados en efluentes industriales y lixiviados <sup>5</sup>.

	Promedio (intervalos en ppm)	en lixiviado (ppm) <sup>5S</sup>
pH	6 - 9	
Cd	0.01 <sup>32</sup> - 0.5 <sup>31</sup>	1
Cr	0.1 <sup>32</sup> - 2 <sup>31</sup>	5 (Cr <sup>6+</sup> )
Cu	0.2 <sup>32</sup> - 1 <sup>18</sup>	-
Mn	2 <sup>17</sup>	-
Pb	0.6 <sup>11, 13, 17 y 18</sup> - 5 <sup>32</sup>	5
Zn	0.2 <sup>32</sup> - 2 <sup>1 y 18</sup>	5

Claves: Los números indican la clave de las normas NOM-CCA-001 a 032 ECOL/1993, para efluentes de diversas industrias. 1: NOM-001, efluentes de centrales termoeléctricas. 11: de industria de productos de vidrio prensado y soplado; 13: industria de Fe y aceros. 17: industria de acabados metálicos. 18: industria del Cu. 31: otras industrias, agro-industrias, tratamiento de aguas residuales urbanas y municipales. 32: de origen urbano y municipal y su disposición para riego agrícola. 5S: límites máximos que hacen peligroso a un residuo por su toxicidad al ambiente. Según el Diario Oficial de la Nación, Octubre 13 y 22 de 1993.

<sup>5</sup> En la norma mexicana, para establecer que un residuo es peligroso por su toxicidad se realiza una determinación de los constituyentes basada en el método de extracción por filtración de compuestos sólidos y digestión ácida para metales pesados; no se especifica la técnica de lectura de las concentraciones. Finalmente, la norma se aplica por igual a residuos sólidos y líquidos. (NOM-052-ECOL-1993).



## Caracterización de la presa jalera Las Torres por sus parámetros físicos y químicos

### a) Parámetros químicos

El agua jalera es neutra, como se determinó *in situ* y en laboratorio, resultado contrario a lo esperado para residuos mineros (ácidos). La conductividad y salinidad son bajas, propias de aguas suaves (tabla 3).

### b) Metales pesados

Para discutir respecto a la concentración de los metales pesados solubles se hará referencia a los máximos aceptables en Europa (Comunidad Económica Europea o CEE), Estados Unidos (EE.UU), la ex Unión de Repúblicas Soviéticas Socialistas (URSS) y México. Puesto que los límites permitidos se establecen para los diferentes tipos de agua que según su uso pueden definirse, algunas referencias se darán tan sólo para visualizar lo que nos están indicando los datos.

#### Cadmio

Según Hem (1992), los cuerpos de agua naturales presentan hasta 0.1 ppm de Cd; en este trabajo, se detectó 0.92 ppm de Cd soluble (tabla 3), concentración por encima de lo sugerido por dicho autor tanto como por lo establecido en la normatividad mexicana (tabla 4), de la CEE: 0.005 ppm de Cd total en agua potable y para riego y, en EE.UU hasta 0.47 ppm en aguas industriales residuales (Kirke, 1987).

#### Cromo

El valor de la concentración de Cr obtenida, 0.58 ppm (tabla 3), está por debajo de los límites permitidos en México para efluentes industriales, pero rebasa el máximo aceptable para aguas de riego (tabla 4); también está por encima de los límites impuestos por la CEE y EE.UU para agua de consumo humano (0.05 ppm) (Kirke, 1987). Cabe señalar que el promedio de Cr en aguas no afectadas por desechos industriales fluctúa entre 0.01 y 0.014 ppm, según Hem (1992).

#### Cobre

No se detectó. Según Flenning y Trevors (1988), la ausencia de Cu en sistemas acuáticos se debe a que este metal forma compuestos con la materia orgánica, carbonatos e hidróxidos, estos complejos precipitan rápida y fácilmente hacia los sedimentos, donde permanecen

retenidos, particularmente a pH de 7 (pH reportado para este jal). Esta puede ser la explicación de la no detección de Cu en el agua jalera.

#### Manganeso

Del Mn se detectaron 0.14 ppm (tabla 3), cantidad aceptable por la norma mexicana (tabla 4), en EE.UU para aguas de riego y en la ex-URSS para consumo humano; sin embargo, rebasa el máximo permitido por la CEE para consumo humano (0.05 ppm) (Kirke, 1987).

#### Plomo

La concentración máxima aceptable de Pb total en aguas residuales en México es de hasta 5 ppm, y 2 ppm si se usaran para riego (tabla 4). En otros países y para riego, los límites son 2 ppm y 5 ppm en CEE y EE.UU, respectivamente (Kirke, 1987). Con base en lo anterior, la concentración de Pb en el agua de jal analizada es muy elevada: 15.8 ppm (tabla 3).

#### Zinc

De 3.06 ppm fue la cantidad de Zn soluble en el agua jalera (tabla 3), valor por encima del límite tolerado en México para efluentes industriales y aguas para riego, pero por debajo de valores que reflejen toxicidad (tabla 4); en la CEE, EE.UU y la ex-URSS se aceptan hasta 5 ppm de Zn total en agua de consumo humano (Kirke, 1987). Finalmente, en ríos no contaminados se han detectado hasta 1.0 ppm de Zn, en promedio, siendo más común a 0.45 ppm (Hems, 1992).

### Relaciones entre los principales parámetros de jales sólidos (tabla 5)

#### a) Materia orgánica, arcillas y limos

La materia orgánica se correlaciona positivamente con las arcillas (Foth, 1990). Esta correlación se detectó en los jales más, (para  $p < 0.05$ ) como se observa en la tabla 5. En los suelos, la cantidad de arcilla y materia orgánica determinan muchas de sus propiedades físicas y químicas y, si están en una proporción equilibrada, harán de éste un suelo apropiado para la agricultura. En jales esta proporción parece no ser armónica.

#### b) Materia orgánica, CIC y arcillas

Todos los constituyentes minerales de las arcillas presentan una determinada CIC, así como una gran afinidad para reaccionar con los compuestos orgánicos del suelo (Kabata-Pendias y Pendias, 1992), siempre y cuando exista la cantidad suficiente de arcillas y materia orgánica. Así, se esperan correlaciones directamente proporcionales y significativas entre los pares que resulten de este trío de parámetros. En la tabla 5 se observa que, a pesar del escaso contenido de materia orgánica y arcilla de los jales sólidos, se observó una significativa correlación entre estos dos parámetros ( $r=0.75$ ,  $p<0.05$ ). No ocurriendo lo mismo con la CIC, lo cual puede deberse a un mayor error experimental en la determinación de esta capacidad de intercambio de cationes, pues es totalmente aceptado que la CIC de los suelos está dada por el tipo y cantidad de material orgánico y arcillas, principalmente (Flores, *com. pers.*).

#### c) CIC y pH

La CIC se denota a un pH específico debido a que depende de manera directa y proporcional del pH: un suelo ácido presenta una CIC menor al máximo potencial (Foth, 1990). En el conjunto de los jales no se aprecia una correlación significativa entre ambos factores pues, como ya se mencionó, el pH es neutro y la CIC baja. Si analizamos los jales aisladamente, esta correlación se revela en Valenciana húmedo: 0.79, con  $p<0.05$ , jal con el mayor porcentaje de arcillas. Muy probablemente la CIC es baja, pese a los altos porcentajes de partículas finas, por que lo que se determinó como "arcillas" representen material primario finamente molido (via el beneficio) que no poseen las propiedades físicas de los minerales secundarios o coloides minerales.

#### d) pH y materia orgánica

Los ácidos orgánicos liberados de la materia orgánica en descomposición ayudan a reducir la alcalinidad de los suelos (Tamhove *et al.*, 1978); en los jales la baja concentración de materia orgánica no participa en la acidificación del mismo, de ahí que se trate de ambientes neutros. Estos dos parámetros se relacionan positiva y significativamente en los jales (tabla 5).

#### e) Salinidad, conductividad, carbonatos alcalino-térreos

Salinidad y Conductividad son dos parámetros estrechamente relacionados, y esta norma se respetó en los jales; los mismos se correlacionan también con los carbonatos alcalino-térreos, como era de esperarse. La correlación entre conductividad y carbonatos es apreciable, pero con  $p<0.05$  (tabla 5).

#### f) Carbonatos alcalino-térreos y CIC

Estos parámetros no se relacionaron entre sí pese a la concentración relativamente elevada de carbonatos, por lo que la CIC no está determinada por los carbonatos alcalino-térreos, al menos no significativamente.

#### g) Metales pesados y los principales parámetros físico-químicos

Algunas de las características químicas normalmente presentes en ciertos tipos de suelo son, a su vez, responsables de la asimilación y retención de metales en el mismo: pH (entre 4 y 8), complejidad de la materia orgánica (del 0.5 al 5%), CIC (5-100 meq/100g), textura del suelo (básicamente contenido de arcillas), actividad microbiana (dominada por aerobios y heterótrofos). Logan y Traina (1993) explican que estas características y en los intervalos señalados propician la presencia de metales pesados en el suelo. Fergusson (1990), por su parte, puntualiza que son particularmente determinantes el pH y las condiciones del potencial redox, pues controlan la especiación de metales pesados en ambientes edáficos. A continuación se explicará y referirá a estos parámetros en relación con la totalidad de los metales pesados para, posteriormente, discutir cuáles son determinantes en la actividad de cada uno de los metales pesados.

#### Con pH

En general, la solubilidad de los metales pesados en el suelo incrementa cuando disminuye el pH, ya que los minerales que presentan metales se vuelven menos estables. Paralelamente, la superficie de estos minerales y la materia orgánica funcionan como grupos protonados con capacidad de adsorber metales (Logan y Traina, 1993). Así, las concentraciones de elementos metálicos es menor en soluciones de suelo alcalinas a neutras que en aquellas ligeramente ácidas (Kabata-Pendias y Pendias, 1992). Los jales analizados presentan pH neutro, por lo que los porcentajes de disponibilidad son bajos. Era de esperarse una relación inversamente proporcional entre pH y metales (a menor pH, mayor cantidad de metal disponible); ésto no sucede en los resultados mostrados (tabla 3), lo que podría estar indicando que la baja disponibilidad de los metales se debe a los valores neutros o ligeramente alcalinos de los jales.

#### Con materia orgánica y arcillas

La materia orgánica y las arcillas pueden actuar como importantes reguladores de la movilidad de elementos traza en los suelos: por ser cationes, su adsorción depende de la densidad de cargas negativas en las superficies de los coloides (húmicos y arcillosos) (Alloway, 1990). En suelo con bajo porcentaje de materia orgánica (< 2% del peso total del suelo), los coloides

orgánicos no representan el principal regulador de los metales (Kabata-Pendias y Pendias, 1992). En los jales analizados la concentración de materia orgánica está por debajo de este porcentaje (tabla 3); sin embargo, y como se observa en la tabla 5, se encontraron correlaciones directamente proporcionales entre materia orgánica y tres metales totales (Cr, Cu y Mn) y todos los disponibles, excepto Cr (presente en concentraciones muy bajas, como se observa en la tabla 3) e inversamente proporcional con el Pb total (-0.53,  $p < 0.01$ ). Aunque los coeficientes de correlación difieran, las arcillas se correlacionan positiva y notablemente con los metales mencionados, no así con Pb. Todo lo anterior es obvio si se recuerda que arcillas y materia orgánica están correlacionados.

La arcilla y la baja cantidad de materia orgánica intervienen de manera importante en la dinámica y disponibilidad de los metales pesados de jales a pH neutro, rol que, como ya se indicó, debió ser significativo en relación a las CIC.

Con la CIC

Anteriormente se mencionó que la CIC de los jales se deriva de la materia orgánica y las arcillas, principalmente, y se sugiere atender otros factores tales como la concentración de metales pesados, pues conforme incrementa la concentración de cationes en la solución del suelo, aumenta la posibilidad de que sean intercambiados (Foth, 1990). Todos los metales pesados estudiados existen en forma de cationes, pero no solubles o disponibles sino adsorbidos. La CIC en jales se correlacionó significativa y directamente proporcional sólo con Pb total (0.95,  $p < 0.01$ ) y Cd; esto es preocupante si recordamos que el Pb está presente en concentraciones considerables. También se dieron correlaciones pero inversas con Cd total (-0.84  $p < 0.01$ ) y Zn total y disponible (-0.76,  $p < 0.01$ , en ambos casos). Las cantidades de los elementos metálicos en forma total es tan elevada respecto a la disponible (como lo demuestran los porcentajes de disponibilidad; tabla 3), que además de estar adsorbidos en las pocas arcillas y carbonatos, también podrán estar formando compuestos como sulfuros y silicatos.

En párrafos anteriores se mencionó que la CIC del jal Valenciana húmedo, de textura franco limosa (tabla 3), mostraba una correlación significativa con el pH, entonces, es de esperarse correlaciones importantes entre la CIC y metales en dicho jal; de hecho, así sucede y particularmente para las fracciones totales de Cu, Zn, Mn y Pb (con  $p < 0.01$  los dos primeros y  $p < 0.05$ , en los segundos); estos elementos mostraron las concentraciones más altas en el desecho minero en cuestión. Cabe adelantar que la textura y grado de humedad de este jal podrían estar condicionando características peculiares.

### Con carbonatos alcalino-térreos

Los carbonatos actúan reteniendo elementos de carga positiva, especialmente divalentes, como algunos metales pesados. Las correlaciones fueron significativas entre todas las formas disponibles de metales pesados y 4 metales totales (Cr, Cu, Mn y Pb).

### Con salinidad y conductividad

Los metales de jales parecen ser más determinantes en la salinidad y en la conductividad que los carbonatos, pues prácticamente todos se correlacionaron positiva y significativamente con estos parámetros<sup>6</sup> (tabla 5); los metales que no manifestaron correlación, se presentaron en altas o bajas concentraciones (Pb total y Cd total y Cr disponible, respectivamente) y, más notable aún, fuertes asociaciones con otros componentes.

### Fraciones totales y disponibles de metales pesados

La relación que exista entre ambas fracciones permite dilucidar el comportamiento de los metales pesados en suelo, como se verá prontamente. Se esperan resultados significativos y positivos al correlacionar ambos parámetros, de lo contrario, la disponibilidad o no de los metales debe explicarse por fuertes asociaciones con otros componentes (como silicatos, fosfatos, sales, óxidos de Al, Fe, Hidróxidos de Fe, etc.)<sup>7</sup>. En los jales, sólo se obtuvieron los resultados esperados para Cu y Mn; con Cr, la correlación fue elevada pero inversa (-0.82,  $p < 0.01$ ).

Es importante decir que todas las fracciones disponibles están correlacionadas positivamente entre sí; ésto se interpreta como resultado de la acción de los mismos factores que gobiernan en mayor o menor grado la disponibilidad o retención de los metales, siendo notables: (1) la baja CIC, que no se correlacionó con metal disponible alguno, (2) el pH neutro a alcalino, que no favorece la disponibilidad y no correlaciona con estas fracciones, y (3) arcillas, limos, salinidad y conductividad, Cr total y Cu total (excepto Zn disponible) y, en menor grado, materia orgánica, carbonatos y Mn total, entre otros, factores con los que los elementos disponibles se correlacionaron fuertemente.

Las formas disponibles de los metales, son más comunes en solución de suelo, lo que explicaría por qué en Valenciana-húmedo se exhibió una mayor concentración de estas fracciones libres (excepto para Cr, metal no detectado siquiera en su forma total). Otra interpretación de este hecho es la preponderancia de arcillas y limos en este jal.

<sup>6</sup> Mientras que las correlaciones de carbonatos con salinidad y conductividad son menos notables e, incluso, la correlación entre carbonatos y conductividad es significativa para  $p < 0.05$

<sup>7</sup> Se han reportado diversos compuestos en diferentes jales mineros de Guanajuato, de los que interesan:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CuO}$ , listados en orden decreciente de concentración.

## h) Desarrollo de los metales pesados en los jales

### Cadmio

En los jales analizados, los datos más notables asociados al Cd, además de su baja concentración, son: (a) los promedios de Cd de los tres jales difieren de manera marcada, siendo mayor en Pozuelos (Cd total) y en Valenciana-húmedo (Cd disponible); (b) no se correlaciona con su fracción disponible, por lo que, (c) las fracciones totales y disponibles no muestran un patrón uniforme en las correlaciones que establecen con los demás parámetros, y (d) la porción total se vincula con Mn, Pb y Zn<sup>8</sup>, exclusivamente, mientras que la disponible lo hace con prácticamente todos los parámetros (exceptuando pH y Zn total)<sup>9</sup>. Una posible explicación a lo anterior, aunado a los porcentajes de disponibilidad (tabla 3), podría ser el elevado número de sitios de adsorción con preferencias por el Cd, tales como óxidos de Fe, carbonatos, fosfatos y cloruros (Haan y Zwerman, 1976; Kabata-Pendias y Pendias, 1992).

### Cromo

De su comportamiento, lo más notable del Cr fue: (a) no se detectó en Valenciana-húmedo, (b) en Valenciana-seco y Pozuelos, los promedios no exhiben diferencias significativas ( $r = 0.38$ ,  $p < 0.05$ ), y (c) el Cr disponible sólo se correlaciona con el Cr total, y de manera opuesta ( $-0.82$ ,  $p < 0.01$ ), dada la tendencia a presentarse en formas totales, no extractables. Al parecer la no detección o bajos valores del Cr disponible se debe a que predomina como Cr<sup>3+</sup> (Cr III)<sup>10</sup>, fuertemente asociado a componentes tales como las formas disponibles de los metales y Cu total. Tal vez las bajas cantidades y la no detección de Cr se deba a que el material beneficiado no lo contiene; de hecho, no se ha reportado Cr en jales de Guanajuato (Basulto, 1984; Ramos, 1991, Ramos, 1993). Ahora, de la correlación negativa entre las formas total y disponible del Cr, se puede inferir una mayor influencia de los parámetros físico-químicos de los jales en la disponibilidad.

### Cobre

Un aspecto interesante del Cu en jales, es que la fracción total está correlacionada con su forma disponible (tabla 5); es factible que este hecho se deba a su concentración: la

<sup>8</sup> Es común encontrar Cd y Zn, en especial en residuos de minas de Zn.

<sup>9</sup> Dados los valores del Cr disponible, este parámetro será excluido de la presente discusión.

<sup>10</sup> El Cr posee dos estados de oxidación más comunes: Cr<sup>3+</sup> y Cr<sup>6+</sup> de propiedades químicas contrastantes: el primero es poco móvil, absorbido con mayor fuerza, precipita a pH > 5.5 y es menos tóxico; el segundo se extrae con mayor facilidad, está más disponible, es más tóxico, móvil y estable. La reducción de Cr<sup>6+</sup> a Cr<sup>3+</sup> se ve favorecida por pH ácidos y elevada concentración de materia orgánica (lo cual, no es propio de los jales).

disponibilidad se ve favorecida por la concentración del elemento, más que por las características de los jales (Flores, *com. pers.*)<sup>11</sup>. Lo anterior, por otro lado, explica que se manifestara relacionado tanto como metal total como disponible, con varios de los parámetros de interés; las excepciones son: Cd total, Pb total y Zn total y disponible. Del Pb hablaré en su sección; respecto al Zn, se presuponía que se diera una correlación, pues ambos son desechados en procesos de beneficio por flotación. Sin embargo, y atendiendo los valores de las correlaciones, el Zn disponible muestra una fuerte correlación con Mn (total), misma que no es significativa con el Cu, mientras que, el Cu parece preferir asociarse con arcillas, humus, Cr total y disponible (tabla 5). Es interesante resaltar cómo las concentraciones disponibles de Cu y Mn son muy similares<sup>12</sup>, no así las fracciones totales (tabla 3), pese a que la concentración de Mn en la naturaleza tiende a ser mayor; ello podría ser consecuencia del beneficio, favoreciendo la depositación de Cu, particularmente las formas disponibles.

### Manganeso

Este elemento se correlaciona con todos los metales, tanto en su forma total como disponible; pero con Pb total la relación es inversa (ver apartado del Pb). Las características físicas de los óxidos e hidróxidos de Mn (pequeños cristales y gran área de superficie), aparentemente, son responsables del alto grado de asociación del metal con otros, primordialmente con Co (con el que los óxidos de Mn establecen una fuerte asociación), Cu y Ni (Haan y Zwerman, 1976; Kabata-Pendias y Pendias, 1992). Además, es un metal muy activo (posee 5 valencias).

### Plomo

Tres aspectos destacan de la presencia de Pb en jales: (a) concentraciones significativamente disímiles en los tres jales (para  $p < 0.05$ ), (b) las fracciones total y disponible expresan correlación opuestas con los elementos a los que se encuentran vinculados: Pb total de manera inversa y la fracción disponible directamente proporcional, y (c) el Pb total fue el único elemento que manifestó una fuerte asociación, directamente proporcional, con la CIC. La CIC y el pH son determinantes en la movilidad del Pb, de manera tal que a mayor pH, predomina en forma de hidróxidos, carbonatos y fosfatos (Alloway, 1990; Kabata-Pendias, 1992), lo que explica las correlaciones positivas de las formas disponibles, presentes como iones intercambiables. Por último, la cantidad disponible de Pb es cercana a la disponible del Cu ( $r =$

<sup>11</sup> O a su posible presencia como  $Cu^{2+}$ , catión común en la naturaleza, disponible y muy intercambiable (Alloway, 1990)

<sup>12</sup> De hecho, son significativamente parecidas, ( $r=0.99$ ,  $p<0.01$ )



1.72,  $p < 0.01$ ); ello puede deberse a razones tales como: ambos elementos tienden a acumularse en la superficie del sustrato, son poco móviles, se asocian con prácticamente los mismos compuestos como cationes divalentes (principalmente con sustancias coloidales, sales de calcio y arcillas) y su solubilidad puede darse en un amplio intervalo de pH, y no exclusivamente a pH bajos (Alloway, 1990; Fergusson, 1990, Kabata-Pendias y Pendias, 1992).

## Zinc

Las correlaciones más notables y significativas para este metal fueron con Mn total, Cd disponible y Pb disponible y total, como ya se había mencionado. Aunque la forma disponible se comporta de manera similar que los demás metales disponibles, destaca su fuerte asociación con Mn: ambos presentes en mayor cantidad (tablas 3 y 5), además de ser metales que establecen importante asociaciones entre sí (Kabata-Pendias y Pendias, 1992). Sin embargo, el Mn es más abundante en la naturaleza que el Zn y, por ejemplo, en Valenciana-húmedo no hay diferencias significativas en los promedios de las fracciones totales de ambos elementos ( $r = 0.32$ ,  $p < 0.01$ ); entonces, se presupone la presencia de un gran número de compuestos de Zn en los minerales tratados (como sulfuros); además, parece que el beneficio favorece la disponibilidad de Zn respecto a la del Mn, como lo demuestran los porcentajes de disponibilidad para ambos elementos (tabla 3). El predominio de Zn disponible en Valenciana-húmedo, puede deberse a que es más inestable en solución (Valenciana-húmedo. Ver en tabla 3: la forma disponible es mayor en este jal, mientras que la total, en Valenciana seco).

## Los metales en el agua jalera de Las Torres

No es posible realizar una prueba de correlación entre las cantidades de metales pesados detectadas, pues se realizaron solamente tres mediciones por metal.

El pH participa de manera determinante en la dinámica de los metales pesados; en general, se piensa que el pH ácido favorece la disponibilidad de metales en el medio acuático, no obstante lo anterior puede darse también a pH neutro (Babich y Stotzski, 1980; Mallick y Rai, 1993), favoreciendo además la formación de complejos inorgánicos: (a) el Cd coprecipita<sup>13</sup> con óxidos de Mn y forma carbonatos; (b) el Cr predomina como  $\text{CrOH}^{2+}$ ,  $\text{Cr(OH)}_2^+$  y óxidos estables; (c) hay mayor cantidad de  $\text{Mn}^{2+}$ , disponible, (d) el Pb establece asociaciones con carbonatos, es adsorbido por diversos compuestos orgánicos e inorgánicos, y coprecipita con óxidos de Mn o se mantiene como  $\text{Pb}^{2+}$ , disponible, y (e) el Zn está en forma de  $\text{Zn}^{2+}$ , se combina con silicatos,

<sup>13</sup> Cuando un metal precipita, disminuye su concentración en el agua superficial; si esta dinámica sucede en el agua jalera ¿cuáles son los verdaderos niveles de metales desechados en las presas de jales?

$\text{HCO}_3^-$  o es adsorbido por minerales (Hem, 1992). Es decir, a pH neutro se pueden tener metales en forma de iones libres o complejos iónicos.

Tabla 5. Análisis de correlación entre parámetros físicos y químicos

	limos	m.org	pH	cond	salini	-CO <sub>3</sub>	CIC	Cd t	Cr t	Cu t	Mn t	Pb t	Zn t	Cd d	Cu d	Mn d	Pb d	Zn d
arcilla	0.99	0.57*	-	0.99	0.97	0.56	-	-	0.86	0.99	0.52*	-	-0.55*	0.86	0.99	0.97	0.96	0.62
limos	1	0.56*	-	0.99	0.97	0.54*	-	-	0.85	0.98	0.49*	-	-0.57*	0.84	0.98	0.96	0.95	0.59
m.org		1	0.60	-	0.66	0.67	-	-	0.62	0.62	0.64	-0.59	-	0.78	0.61	0.63	0.68	0.73
pH			1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
cond				1	0.98	0.58*	-	-	0.87	0.99	0.55*	-	0.52*	0.88	0.99	0.97	0.97	0.55
salini					1	0.68	-	-	0.87	0.98	0.60	-	-	0.92	0.97	0.96	0.97	0.70
-CO <sub>3</sub>						1	-	-	0.63	0.60	0.64	-0.56*	-	0.71	0.60	0.62	0.67	0.71
CIC							1	-0.84	-	-	-	0.95	-0.76	-	-	-	-	-0.76
Cd t								1	-	-	0.67	-0.77	0.84	-	-	0.80	-0.54*	-
Cr t									1	0.90	0.79	-	-	0.88	0.90	0.90	0.91	0.74
Cu t										1	0.6	-	-	0.91	0.85	0.89	0.82	-
Mn t											1	-0.75	0.89	0.82	0.63	0.67	0.72	0.92
Pb t												1	-0.64	-0.61*	-	-	-	0.81
Zn t													1	-	-	0.92	-	-
Cd d														1	0.90	0.94	0.96	0.92
Cu d															1	0.99	0.98	0.71
Mn d																1	0.98	0.77
Pb d																	1	0.81
Zn d																		1

Correlaciones para  $p < 0.01$  y \*:  $p < 0.05$ .

### 4.3. RELACIONES ENTRE JALES

---

#### Los jales sólidos

A partir de la matriz de correlación (tabla 5), se obtuvo el dendograma de la figura 5, en el que se observan a los jales Pozuelos y Valenciana-seco más cercanos entre sí y a Valenciana-húmedo formando un grupo externo; la distancia que existe entre los mismos se aprecia en la figura 6. Estos resultados se explican por los siguientes componentes principales:

- Concentración de las fracciones disponibles de Cu, Mn y Pb (primer componente principal)
- Concentración de las fracciones totales de Cd y Zn y la CIC (segundo componente principal)
- El pH (tercer componente principal)

Tal y como lo determinan los eigenvectores para la matriz de correlación (tabla 5).

El primer componente principal separa a Valenciana-húmedo de los otros dos jales; y los segundo y tercer componentes, aleja a Pozuelos de Valenciana seco (figs. 5 y 6, gráficos generados con el mismo conjunto de datos). Estos resultados separan a los jales antiguos y secos (Pozuelos y Valenciana-seco) del actual y húmedo (Valenciana-húmedo); así, la antigüedad y la condición hídrica parecen estar determinando las características físicas (principalmente textura) y químicas de los jales.

---

### 4.3. RELACIONES ENTRE JALES

---

#### Los jales sólidos

A partir de la matriz de correlación (tabla 5), se obtuvo el dendograma de la figura 5, en el que se observan a los jales Pozuelos y Valenciana-seco más cercanos entre sí y a Valenciana-húmedo formando un grupo externo; la distancia que existe entre los mismos se aprecia en la figura 6. Estos resultados se explican por los siguientes componentes principales:

- Concentración de las fracciones disponibles de Cu, Mn y Pb (primer componente principal)
- Concentración de las fracciones totales de Cd y Zn y la CIC (segundo componente principal)
- El pH (tercer componente principal)

Tal y como lo determinan los eigenvectores para la matriz de correlación (tabla 5).

El primer componente principal separa a Valenciana-húmedo de los otros dos jales; y los segundo y tercer componentes, aleja a Pozuelos de Valenciana seco (figs. 5 y 6, gráficos generados con el mismo conjunto de datos). Estos resultados separan a los jales antiguos y secos (Pozuelos y Valenciana-seco) del actual y húmedo (Valenciana-húmedo); así, la antigüedad y la condición hídrica parecen estar determinando las características físicas (principalmente textura) y químicas de los jales.

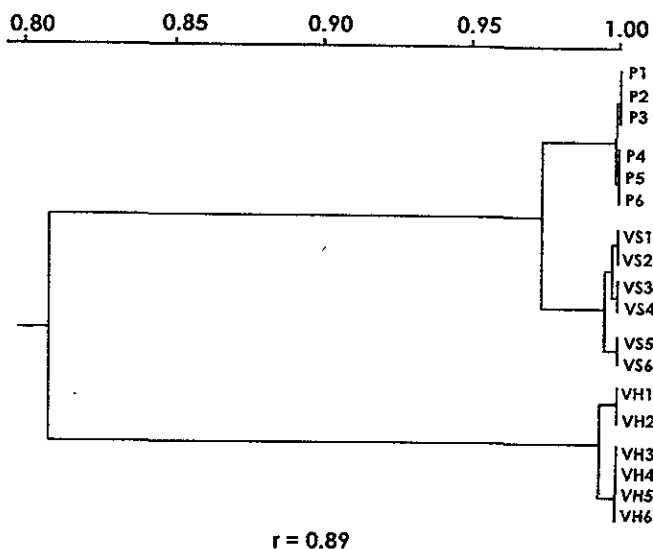


Fig. 5: Dendrograma que muestra la distancia entre los jales sólidos de Pozuelos (P), Valenciana-seco (Vs) y Valenciana-húmedo (Vh) incluyendo los lotes de las repeticiones experimentales (indicadas por los números).

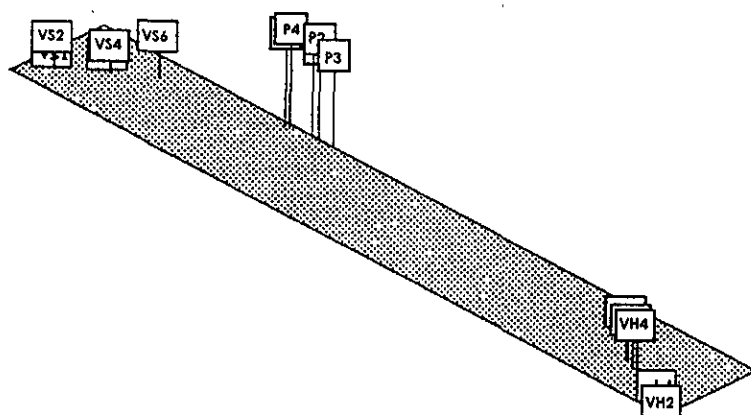


Fig. 6: Diagrama que muestra la distancia entre los jales sólidos Pozuelos (P), Valenciana-seco (Vs) y Valenciana-húmedo (Vh). Los números corresponden a las repeticiones.

#### 4.4. CONCLUSIONES

##### a) Jales sólidos

Los jales sólidos se caracterizaron por presentar algunos rasgos en común, de los que sobresalen: pH ligeramente alcalino (7.8 a 7.9), bajas concentraciones de materia orgánica (tabla 13); textura, porosidad, salinidad y conductividad aptas para usos agrícolas, capacidad de intercambio catiónico (CIC) que indican baja fertilidad y que favorece la lixiviación de nutrimentos, es decir, no propicia la actividad microbiana. En relación a los metales pesados, se detectó el siguiente orden de concentración  $Zn > Mn > Cu > Pb > Cr > Cd$ ; son depósitos potencialmente tóxicos por Cu, Zn y Pb, elementos típicamente presentes en jales mineros (Basulto, 1984; Ramos, 1995). El análisis de componentes principales (CPA) indica que los jales antiguos y secos (Pozuelos y Valenciana-seco) se asemejan más entre sí; la disimilitud entre estos jales y el actual (Valenciana-húmedo) está determinada por la concentración de Cu, Mn y Pb disponibles; además, las diferencias entre Valenciana-húmedo y su contra parte seca puede deberse a la antigüedad y el estado hídrico.

A continuación se resumen las particularidades que caracterizan a cada jal sólido:

- Jal Pozuelos: jal antiguo, café pálido, franco, con una mayor CIC que los demás; manifestó las concentraciones más altas de Pb y las menores de Mn y Cd; aunque el Mn no es significativamente menor al contenido en los jales de Valenciana. Por su textura, porcentaje de materia orgánica, concentración de Cr y Cu, este jal es similar a Valenciana-seco (figs. 5 y 6). Se puede considerar relativamente tóxico por Cu, Pb y Zn dadas las concentraciones por encima de las deseables para suelos agrícolas. Este depósito jalero registró una concentración de Cr más baja que las registradas en el suelo control; el resto de los metales mostraron concentraciones más altas a las de su suelo control.
- Jal Valenciana-seco: Jal antiguo, blanco a gris claro, franco, con la menor CIC y las mayores cantidades de Cd y Zn, pero sólo la concentración de Zn está por encima de los valores recomendables para suelos agrícolas; potencialmente tóxico por Zn y Pb.
- Jal Valenciana-húmedo: El jal más disimil, nuevo, húmedo, de textura franco-limosa, elevada salinidad y concentración de arcillas, limos, carbonatos, Cu, Mn y Pb totales, así como, de todas las fracciones disponibles de los metales analizados; todos, excepto el Mn, por encima de los valores recomendados para suelos agrícolas; no se detectó Cr. Estas características se explican por presentar compuestos en solución, mismas que se favorecen por su textura y

reciente deposición. Con los porcentajes de disponibilidad más altos, particularmente Cu y Pb.

El suelo control de los jales de Valenciana contiene cantidades más altas de metales totales que en los jales (excepto Cd total) siendo mayores los porcentajes de disponibilidad en los últimos (tabla 3).

Los desechos mineros han sido catalogados como tóxicos no obstante, los resultados mostrados conducen a una corrección respecto a los jales sólidos: son potencialmente tóxicos por metales como Cu, Pb y Zn, principalmente, y esta potencialidad se debe a las bajas concentraciones de las formas disponibles, situación que se indica en los bajos valores de la CIC, y parece mantenerse gracias al pH neutro a ligeramente alcalino (tabla 13). Los bajos porcentajes de disponibilidad indican que estos elementos deben de estar presentes en forma de compuestos químicos muy estables, difícilmente extractables con DPTA (ácido dietileno-triamino-penta-acético), sustancia que permite la remoción de formas biodisponibles<sup>14</sup>. Según Cervantes y Basulto (1986) las vetas de Guanajuato contienen minerales ricos en sulfuros de Zn, al grado que éstos representan un mayor porcentaje que los argentíferos; por su parte, Ramos (1991) indica que los jales poseen una elevada proporción de silicato. Por lo tanto, los metales pesados podrían estar formando sulfatos y silicatos en formas no biodisponibles.

En cuanto a las mayores concentraciones de metales disponibles en Valenciana-húmedo (tabla 13), puede deberse a la solubilidad de los metales en la porción acuosa, a los métodos actuales de beneficio (más drásticos a los de antaño) o por que se trata de un jal nuevo, actual; estos rasgos determinan diferencias en algunos parámetros físicos (como la textura) y químicos (cantidad de metales pesados disponibles). Por otro lado, las fracciones de metales manifiestan conductas químicas similares en los cuatro tipos de desechos, en los que todos los rasgos físicos y químicos de los jales (arcillas, materia orgánica, carbonatos, sales y metales pesados) juegan un papel importante y diferencial, que depende en principio de sus valores métricos. Según Flores (*com. pers.*), las concentraciones de metales pesados registradas no son tan alarmantes como podría suponerse. Por su parte, Chlopecka *et al.* (1996) reportan concentraciones mayores a 50, 3000 y 200 ppm de Cd, Zn y Pb totales, respectivamente, en algunos suelos de Polonia.

<sup>14</sup> Ramos (1995) obtuvo porcentajes de disponibilidad del 10 y 9% para Cu y Pb, respectivamente, empleando HNO<sub>3</sub> 0.4M; sus resultados obedecen a que su extractor simula condiciones extremas de acidez y oxidación (Boekhold y van Der Zee, 1992) que no representan condiciones reales ni propias para sistemas biológicos.

#### b) El jal líquido

Los rasgos más notables del agua jalera de la mina Las Torres fueron: pH neutro, baja salinidad y concentración de metales pesados en el orden decreciente: Pb>Zn>Cd>Cr>Mn (tabla 3). Los valores de conductividad, salinidad y cantidades de Cd, Cr, Pb y Zn solubles no son satisfactorios en aguas de riego, que en conjunto podrían estar determinando la ausencia de formas de vida, y que representa un peligro latente para la biota de zonas aledañas (ante posibles infiltraciones al subsuelo o desbordes del embalse). Particularmente, la concentración de los metales pesados indicados exceden los límites autorizados por las normas mexicanas para efluentes industriales (NOM-CCA-032-ECOL/ 1993; tabla 4).

•



CAPÍTULO V  
ANÁLISIS FICOFLORESTICO

*Descansa: aquél día,  
cuando los verdes e incipientes seres germinaron agrestes y vigorosos,  
intuí que debía consumirse aquel nihilismo y dejarme en manos de... ¿dios?*  
Oriana Medina

## 5.1. RESULTADOS

Parte de la ficoflora de jales incluye 73 especies agrupadas en 33 géneros pertenecientes a las clases Cyanophyceae, Chlorophyceae y Bacillariophyceae, con 6, 17 y 50 especies por clase, respectivamente (fig. 7; tabla 6). Los géneros más representados en cuanto a número de especies son *Nitzschia* (9 especies) *Navicula* (7 especies), *Scenedesmus* (5 especies) y *Fragilaria* y *Cocconeis* (4 especies). De las cianofíceas, destacan las Oscillatoriales (5 especies) contra una Nostocal fijadora de nitrógeno (*Anabaena variabilis*); en cuanto a las clorofíceas, predominaron las Chlorococcales en un 88%. Por clases, es evidente la superioridad de diatomeas, como en la mayoría de las ficofloras de zonas tropicales y templadas (Novelo, 1998). De los niveles de organización, las cianofíceas son filamentosas y algas verdes y diatomeas están representadas por especies unicelulares; sólo se detectó una especie pseudoparenquimatosa, la clorofícea *Pleurastrum* sp.



Fig. 7. Total de especies algales reportadas por clase

Del total, se determinaron 59 especies; las 13 restantes se definieron por su afinidad (por confrontar) (*Achnanthes* sp., Sp. 1, *Chlorella* sp., *Chlorococcum* cfr. *perforatum*, *Denticula* sp., *Didymocystis* cfr. *bicellularis*, *Neospongiococcum* sp. 1 *Neospongiococcum* sp. 2, *Neospongiococcum* sp. 3, *Nitzschia* cfr. *sublinearis*, *Staurastrum* Sp, *Tetracystis* cfr. *fisurata* y *Pleurastrum* sp.). La suma se cierra con una especie nueva en proceso de descripción (Tabla 6). integro como parte necesaria de las descripciones los esquemas de las microalgas observadas, ya que un primer paso en la investigación en sistemática taxonómica es el documentar la diversidad (sección de descripciones).

Las Chlorococcales fueron aisladas en cultivos con el objetivo de seguir los ciclos de vida y, de esta manera, obtener la información necesaria para su determinación; sin embargo, para dichas algas, no asumi el epíteto específico pues, una determinación "certera" de las especies observadas implica buscar equivalencias con especies tipo de cultivos axénicos y monoespecíficos o bien, porque las descripciones y claves de dichas clorofíceas se han elaborado siguiendo una metodología especial para su observación a través de cultivos sumamente particulares; lo anterior es una de tantas problemáticas en torno a la sistemática de este importante grupo de clorofíceas cocoides.

Todas las de cianofíceas y clorofíceas así como 27 especies de diatomeas descritas (sección de descripciones), representan nuevos registros para el Municipio de Guanajuato; en un trabajo previo, se identificaron 51 diatomeas para el jal Pozuelos (García-Meza, 1997), 16 de las cuales se manifestaron en los cultivos del presente trabajo.

Respecto a los lugares donde han sido reportadas las diferentes especies, se tiene que: de las 73 microalgas descritas, 49 se reconocen como cosmopolitas o han sido registradas en países y continentes de latitudes diferentes (ver sección con las descripciones): *Eunotia bilunaris* y *E. denticula* (Europa, México), *E. eruca* (América del Norte, Australia y México, entre otros), *Golenkiniopsis parvula* (EE.UU, Finlandia e India), *Leptolyngbya foveolarum* (Argentina, Polonia, África, Norte América y otros), *Planktolyngbya contorta* (Europa, Norte América, India y África), *Nitzschia gracilis* (Reino Unido, España y México), *Scenedesmus ecornis* (Francia, Hungría, India, México), *S. spinosus* (Cuba, Francia, India y Suiza). Dos especies presentan registros sólo en Europa (*Didymocystis* cfr. *bicellularis*, *Scenedesmus similagineus*) y una en Europa y EE.UU (*Thalassiosira pseudonana*).

En cuanto al espectro de condiciones ambientales para las que han sido referidas en la bibliografía las microalgas del presente, se advierte que la mayoría de las diatomeas son euritípicas (37 especies), en contraposición a sólo una clorofíceas (*Chlorella vulgaris*) y una cianofíceas (*Leptolyngbya foveolarum*). Así mismo, la mayoría de las especies de estas dos últimas clases se indican en la literatura como dulceacuícolas y edáficas; 22 diatomeas, como acuáticas o en zonas húmedas, y las restantes 19 como edáficas *sensu stricto*, además de acuáticas.

Tabla 6. Especies y condiciones de cultivo (jal, estación de colecta, composición química y fase del medio de cultivo)

Clases/Especie	TORRES						Valenciana-húmedo						Valenciana-seco						POZUELOS						
	seca			lluvia			seca			lluvia			seca			lluvia			seca			lluvia			
	Bb	Bs	Cl	Bb	Bs	Cl	Bb	Bs	Cl	Bb	Bs	Cl	Bb	Bs	Cl	Bb	Bs	Cl	Bb	Bs	Cl	Bb	Bs	Cl	
<b>Cyanophyceae</b>																									
<i>Leptolyngbya foveolarum</i>										1	1														
<i>Planktolyngbya subtilis</i>		1	1	1	1																				
<i>Planktolyngbya contorta</i>		1		1																					
<i>Pseudanabaena catenata</i>																			1	1	1	1	1	1	1
<i>Phormidium willei</i>	1	1	1	1	1	1				1	1								1	1	1	1	1	1	
<i>Anabaena variabilis</i>								1	1						1	1									
<b>Chlorophyceae</b>																									
Sp 1				1																					
<i>Chlorococcum</i> cfr. <i>perforatum</i>	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1											
<i>Neosporangiococcum</i> sp. 1																					1	1	1	1	1
<i>Neosporangiococcum</i> sp. 2			1	1				1	1	1	1	1	1	1											
<i>Neosporangiococcum</i> sp. 3																				1	1				
<i>Tetracystis</i> cfr. <i>fisurata</i>	1		1	1	1	1																			
<i>Golenkinioopsis parvula</i>	1		1	1																					
<i>Didymocystis</i> cfr. <i>incellularis</i>									1		1										1		1		
<i>Scenedesmus disciformis</i>									1		1											1			
<i>Scenedesmus ecornis</i>			1						1												1		1		
<i>Scenedesmus similagineus</i>																						1			
<i>Scenedesmus spinosus</i>									1		1										1		1		
<i>Scenedesmus tenuispinus</i>																						1		1	
<i>Chlorella vulgaris</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
<i>Chlorella</i> sp.																						1	1		
<i>Picrastrum</i> sp.				1		1																			
<i>Staurastrum</i> sp.										1															

Claves. 1: presencia; B1: MBB en fase líquida; Bs: MBB en fase sólida; Cl: medio Chu-10 en fase líquida; Cs: Chu-10 en fase sólida.

Tabla 6 (continuación)

Clases/Especie	TORRES					Valenciana-húmedo					Valenciana-seco					POZUELOS				
	seca	lluvia				seca	lluvia				seca	lluvia				seca	lluvia			
	BB	Bs	BI	BS	CI	CS	BB	Bs	BI	BS	CI	CS	BB	Bs	BI	BS	CI	CS		
Bacillariophyceae																				
Aulacoseira granulata																	1	1		
Aulacoseira italica																			1	
Aulacoseira sp.																			1	
Thalassiosira pseudonana																			1	
Asterionella formosa																			1	
Fragilaria construens	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
F. construens f. construens	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
F. construens f. binodis	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
F. construens f. venter	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Synedra acus																			1	
Synedra ulna																			1	
Eunotia bilunans	1						1	1					1	1						
Eunotia denticula																			1	
Eunotia eruca																			1	
Achnanthes minutissima	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Achnanthes sp.																			1	
Cocconeis placentula	1	1	1																1	
C. placentula var. euglypta	1	1																	1	
C. placentula var. lineata																			1	
C. placentula var. pseudoneata																			1	
Amphora veneta																			1	
Cymbella cistula																			1	
Cymbella mesiana	1																		1	
Cymbella silesiaca	1																		1	
Gomphonema clavatum	1	1																	1	
Gomphonema parvulum	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Navicula capitatoradata	1																		1	
Navicula confervacea																			1	
Navicula minuscula																			1	
Navicula mutica	1																		1	
Navicula phyllepta	1	1	1																1	
Navicula pupula																			1	
Navicula veneta	1	1	1	1															1	
Pinnularia viridis																			1	
Stauroneis phoenicenteron																			1	
Denticula kuetzingii	1	1	1	1															1	
Denticula sp.																			1	
Epthemia sores	1	1	1																1	
Rhopalodia operculata	1																		1	
Rhopalodia gibba	1																		1	
Hantzschia amphioxys	1	1																	1	
Nitzschia capitellata	1	1																	1	
Nitzschia clausi	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Nitzschia frustulum																			1	
Nitzschia gracilis	1	1	1	1	1														1	
Nitzschia linearis	1	1																	1	
Nitzschia nana																			1	
Nitzschia palea	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Nitzschia pusilla	1	1																	1	
Nitzschia cfr. sublinearis																			1	
Total especies: rneqza	32	7	3	1	2	1	2	9	34	2	20	1	14	7	1	8	10	9	19	

Claves. 1: presencia; BI: MBB en fase líquida; Bs: MBB en fase sólida; CI: medio Chu-10 en fase líquida; Cs: Chu-10 en fase sólida.

## 5.2. COMPOSICIÓN ALGAL Y CONDICIONES DE CULTIVO

En la tabla 6 se muestra la lista de las microalgas asociadas a los jales bajo estudio, donde se indica la presencia de las especies para 24 distintas condiciones de cultivo (jal de procedencia, estación de colecta, composición y estado físico o fase del medio). Este espacio de posibilidades obliga a precisar si las cualidades de los cultivos determinan expresiones diferenciales de las especies, lo que permitirá validar la metodología y los resultados derivados. Con dicho objetivo, se aplicó la prueba de  $\chi^2$  para verificar si la calidad del medio de cultivo (MBB o Chu-10) y la fase del mismo (con o sin agar) influyeron en la riqueza específica de los taxa identificados:

- a) En relación a la composición química del medio de cultivo (MBB y Chu-10), sólo 2 especies se desarrollaron en Chu-10; de las restantes, 38 especies en MBB y 33 especies en ambos (fig. 8); al hacer una prueba de  $\chi^2$  para éstas, se concluye que no hay diferencias significativas entre ambas situaciones; es decir, la composición del medio no influyó en la manifestación de 71 especies ( $\chi^2 = 0.22$ ,  $gl=1$  y  $p= 0.005$ ).



Fig. 8: Número de especies de algas para cada medio de cultivo y en ambos

- b) Las algas se manifestaron en medios con agar (sólidos), sin agar (líquidos) o en ambos (tabla 6) y el comportamiento de las especies respecto a la fase de los medios es similar al mostrado en función de la composición: como se observa en la figura 9, solamente una especie de cloroficea mostró preferencia por el medio sólido y las restantes 72 especies se desarrollaron en medio líquido (35) o en ambos (37) sin que se encontraran diferencias significativas entre una y otra situación ( $\chi^2 = 0.014$ ,  $p=0.005$  y  $gl=1$ ).

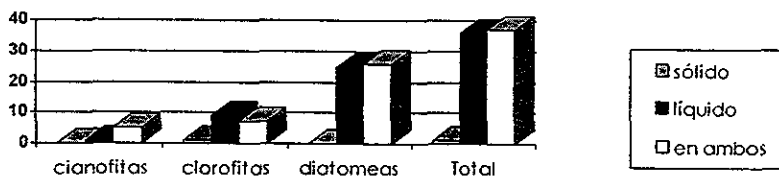


Fig. 9: Número de especies algales por fase del medio de cultivo

Ahora, ¿existen diferencias significativas en el número de especies presentes para cada condición de cultivo? Al aplicar  $\chi^2$  asumiendo una riqueza homogénea para las diferentes condiciones de cultivo, se obtuvo una  $\chi^2 = 269.73$  (gl= 23 y  $p < 0.05$ ), lo que era de esperarse, pues es obvia la distancia que hay entre un cultivo con 7 especies y otro con 38. En términos generales, la máxima riqueza independiente se dio en cultivos de la estación de lluvia con MBB líquido, mientras que los valores más bajos corresponden a los cultivos con MBB y agar de la estación seca (tabla 6).

### 5.3. COMPOSICIÓN ALGAL EN CULTIVOS DE JALES

Los cultivos de jal que figuraron con un mayor número de especies algales asociadas fueron Las Torres (47 especies), seguido de Valenciana-húmedo y Pozuelos (34) y Valenciana-seco, (15). Los porcentajes para estas relaciones numéricas se observan la figura 10:

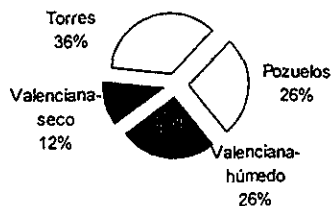


Fig. 10: Total de especies algales reportadas por jal

Al analizar las clases para los diferentes jales, se observó que en Valenciana y Las Torres las diatomeas predominaron sobre las otras dos, pero en Torres se detectaron un mayor número de cianoficcas de las asociadas a Valenciana; en Pozuelos se detectó un menor número de diatomeas en favor de un mayor número de cianoficcas (fig. 11).

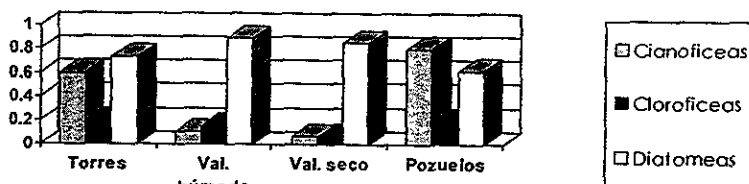


Fig. 11: Porcentaje de especies algales por clase para los diferentes jales

Al realizar un análisis en la composición algal de los diferentes jales mediante el índice de Jaccard, el dendograma resultante nos indica que: por su composición ficoflorística Valenciana-húmedo y las Torres se asemejan más entre sí, mientras que Valenciana-seco forma un grupo externo (figura 12).

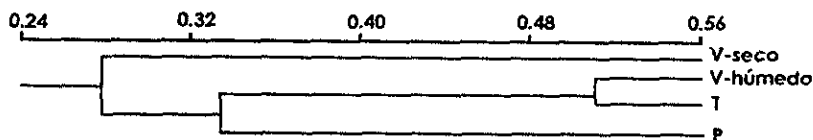
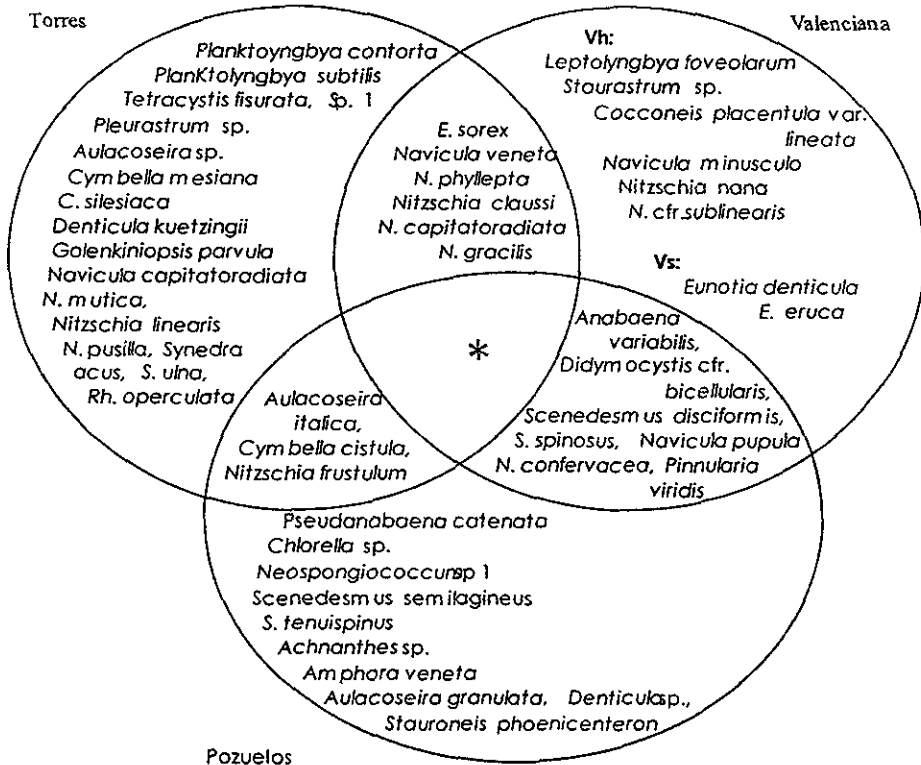


Figura 12: Dendrograma que refleja la distancia entre los diferentes jales según su composición algal. (P: Pozuelos, T: Las Torres y V: Valenciana)

El arreglo espacial de los jales en virtud de su composición ficoflorística se explica por el número de especies comunes entre los jales. Así por ejemplo, en los cultivos de Valenciana-húmedo y Las Torres se detectaron 24 especies comunes. De hecho, las 73 especies algales determinadas en el presente estudio pueden ser sectorizadas en grupos según los jales a los que se asocian, como se muestra en la figura 13; el desglose mostrado en dicha figura será empleado para discutir la manifestación de las algas en relación al jal de procedencia (capítulo VI).





\*

*Achnanthes minutissima*  
*Asterionella formosa*  
*Chlorella vulgaris*  
*Fragilaria construens*  
*F. construensf. binodis*  
*F. construensf. construens*  
*F. construensf. venter*  
*Gomphonema clavatum*  
*G. parvulum*  
*Hantzschia amphioxys*  
*Nitzschia palea*  
*Phormidium willei*  
*Scenedesmus ecoris*

Fig. 13: Algas de tres jales de Guanajuato: cada circulo representa el jal indicado. En las conjunciones se señalan a las especies comunes a dos jales; el asterisco representa las algas comunes a los tres jales, listadas en la columna inferior.

#### 5.4. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

Tanto para la ficoflorística como para la ecología, el inicio es la identificación y asignación de un nombre a las especies, siendo tan importante reconocer y nombrar a los seres vivos como dar cuenta de sus variaciones respecto al tipo nomenclatural y describir las condiciones del medio del que fueron aisladas; de esta manera, se está reconociendo el carácter dinámico de las floras (González-González, 1992). Ambos aspectos fueron incluidos en el este estudio como parte de las descripciones de las especies algales aisladas, incluyendo las determinadas y las que quedaron a nivel genérico o por confrontar (sección de descripciones).

La flora paratípica de los cuatro diferentes jales de Guanajuato está constituida por 73 especies de las clases Cyanophyceae (6 especies), Chlorophyceae (17) y Bacillariophyceae (50). Como se puede observar, la mayoría de las especies descritas son diatomeas, la clase mayoritaria de prácticamente cualquier ficoflora de regiones tropicales (Novelo, 1998); estos organismos se asociaron sobre todo a jales nuevos, los más tóxicos. Los géneros mejor representados son las diatomeas *Nitzschia* y *Navicula* y clorofíceas del género *Scenedesmus*. Por orden sobresalieron las chlorococcales entre las algas verdes y las Oscillatoriales de las cianoprocariontas. Del total, 13 especies no fueron determinadas. Este trabajo representa una importante aportación a la ficoflora del Estado y Municipio de Guanajuato, al incorporar al inventario de la región 6 especies de cianofíceas, 8 clorofíceas y 23 diatomeas; además, abre un campo de investigación taxonómica que invita a determinar los organismos no especificados, algunos de ellos conspicuos en los cultivos con este tipo de desechos, de los que destacan las chlorococcales.

Como una aproximación inicial al estudio de la ficoflora de los jales mineros de Guanajuato, la observación de especies aisladas de cultivo (flora paratípica) es adecuada para documentar un gran número de atributos biológicos (morfológicos y propios del ciclo de vida) en los cuales se basa la sistemática actual de los organismos (Archibald y Bold, 1978). Sin embargo, este acercamiento metodológico (el empleo de medios de cultivo) ha sido cuestionado por dos razones: (1) los medios de cultivo alteran las condiciones naturales y (2) aunque se empleen medios generales, estos seleccionan a una gran cantidad de organismos (Novelo, 1985). Cabe recordar que los cultivos fueron elaborados añadiendo un gramo de jal en el medio nutritivo (MBB o Chu-10), además de agar en la mitad de los lotes. Ciertamente, la conjunción jal-medio (medio nutritivo, luz, temperatura, pH) modificó las condiciones naturales a tal grado que fue viable la manifestación de especies algales no observadas en el campo. Además, y relacionado con la segunda observación, al probar dos medios de cultivo, con y sin agar, y analizar las diferencias

en la composición de las especies, es posible formular hipótesis en relación a, por ejemplo, la calidad y cantidad de los nutrimentos que favorecen la proliferación de los organismos: en este trabajo se verificó que la mayoría de las especies se desarrollaron tanto en medio Chu-10 como en MBB, lo que sugiere que éstas, las algas descritas, no requieren de todos los nutrimentos proporcionados por el MBB (el medio más rico; ver en el apéndice A1 la composición de los medios MBB y Chu-10).

Cotejando la composición relativa entre los cultivos, las pruebas estadísticas indican que la composición química y la fase de los medios no influyeron significativamente en la expresión diferencial de las especies, no obstante la detección de algunas bajo condiciones restringidas, lo que permite afirmar que, al emplear dos medios y dos fases de cultivo, es factible obtener información adicional, tanto como favorecer la expresión de ciertas especies, hecho que enriquece la ficoflora paratípica. Algunos ejemplos son:

1. *Leptolyngbya foveolarum*, creció en MBB con y sin agar exclusivamente; esta especie es común en cuerpos de agua eutróficos y requieren elevadas concentraciones de N, lo cual puede indicar su preferencia por el MBB.
2. El cultivo líquido estimuló la expresión de 11 algas derivadas de jales sólidos: *Achnanthes* sp., *Denticula* sp., *Pseudanabaena catenata*, *Scenedesmus similagineus* y *S. tenuispinus* (en cultivos del jal Pozuelos), *Didymocystis* cfr. *bicellularis*, *Navicula confervacea*, *Pinnularia viridis*, *Scenedesmus disciformis* y *S. spinosus* (de Valenciana y Pozuelos). Probablemente, la presencia de agua fue determinante en estas expresiones.
3. *Pleurastrum* sp. fue la única especie de Las Torres que se expresó sólo en cultivo sólido, pese a provenir de un jal líquido; tal vez esta alga verde requieren del sustrato sólido para desarrollarse.

Los jales con mayor riqueza relativa fueron Las Torres (47 especies), Valenciana-húmedo y Pozuelos (35) y, por último, Valenciana-seco (15). Al analizar la riqueza específica según el jal de procedencia y los medios de cultivo, se encontraron diferencias significativas: una mayor riqueza relativa en cultivos líquidos con MBB y las riquezas más bajas en aquellos con agar y MBB (los cuatro tipos de desechos), lo que estaría indicando que el líquido es necesario para las algas de jales secos. Sin embargo, la mayoría de las especies determinadas han sido reportadas como edáficas además de acuáticas, y de estas últimas, esencialmente pláncnicas; las excepciones son dos cianofíceas (*Planktolyngbya contorta* y *Pseudanabaena catenata*), las especies de *Scenedesmus* y *Didymocystis* cfr. *bicellularis* entre las algas verdes, y las especies de

---

*Aulacoseira*, *Asterionella*, *Cymbella*, *Eunotia* y *Thalassiosira*<sup>1</sup> de las bacillariofíceas, todas pláncnicas exclusivamente.

Examinando los resultados del análisis relativo a la manifestación de las especies para las diferentes condiciones de cultivo, tenemos algas que destacaron por su presencia en un elevado porcentaje de condiciones, tales como: *Achnanthes minutissima*, *Chlorella vulgaris* y *Phormidium willei*, *Asterionella formosa*, *Fragilaria construens* y formas afines, *Gomphonema parvulum*, *Hantzschia amphioxys* y *Nitzschia palea* (comunes a todos los jales), *Anabaena variabilis*, *Pinnularia viridis*, *Scenedesmus disciformis* y *S. spinosus* (comunes a Pozuelos y Valenciana), *Navicula pupula* y *Nitzschia claussi* (en Valenciana-húmedo y Las Torres), *Chlorococcum* sp. y *Neosporangiococcum* sp. 2 (en Las Torres y Valenciana) y *Neosporangiococcum* sp. 3 (común a Valenciana y Pozuelos) (Figura 13). Exceptuando las especies no determinadas, las algas señaladas han sido relatadas en la bibliografía como euritípicas y cosmopolitas. Ello sugiere que las condiciones de cultivo se incorporan al amplio espectro de intervalos ambientales que la cualidad eurítica incluye. La coincidencia de especies señaladas como euritípicas y cosmopolitas entre esta ficoflora paratípica y las reportadas en otros ambientes, debe ser tomada en consideración como referente en futuros trabajos.

---

<sup>1</sup> Con excepción de los géneros señalados, las diatomeas descritas se reportan como acuáticas, edáficas y/o en zonas húmedas.

## CAPÍTULO VI

### ESPECIES ALGALES Y JALES INTEGRACIÓN

y crecen las algas: el acto más  
humilde se vuelve de proporciones épicas

Al finalizar el capítulo V se indicó que, las 73 especies algales determinadas podían ser sectorizadas en grupos según el o los jales en los que fueron detectadas. En el presente capítulo se integra dicha información considerando, además, las características físico-químicas de los desechos mineros así como las cualidades del medio en que se desarrollaron las microalgas. Lo anterior, con el objetivo de interpretar la composición específica de la flora paratípica en relación a los jales. Esto último a nivel de hipótesis pues no es claro que sucede con los metales pesados en los cultivos. Este análisis contempla las diferencias entre jales sólidos y líquidos, delimita las clases representadas (cianofíceas, clorofíceas y diatomeas) y toma en consideración la información bibliográfica sobre ambientes y formas de vida reportadas para las diferentes especies<sup>1</sup>.

## 6.1. ESPECIES MANIFESTADAS EN UN JAL

Para cada uno de los jales, se detectaron especies que se manifestaron únicamente en cultivos del jal en cuestión (tabla 7). Así, de los jales sólidos, en Valenciana-húmedo se reportan 6 de estas especies; en Valenciana-seco sólo fueron 2 y en Pozuelos, 10; por su parte, el agua jalera de Las Torres presentó 14 especies exclusivas.

### a) Jales sólidos

#### Valenciana-húmedo

Las 6 especies que crecieron en cultivos de este jal solamente, comprenden una cianofícea (*Leptolyngbya foveolarum*), una clorofícea (*Staurastrum* sp.) y cuatro diatomeas (*Cocconeis placentula* var. *lineata*, *Navicula minuscula*, *Nitzschia nana* y *Nitzschia* cfr. *sublinearis*) (tabla 7); todas las cuales presentan un rasgo común: han sido reportadas en zonas húmedas, edáficas y subaéreas y, además, resalta su condición cosmopolita<sup>2</sup>. La cianofícea y la clorofícea se desarrollaron sólo en medio basal Bold (MBB), pero esta última en medio líquido. De las diatomeas *C. placentula* var. *lineata* y *N.* cfr. *sublinearis* sólo se detectaron en MBB líquido mientras que las otras dos, en ambas fases y medios de cultivo.

*Leptolyngbya foveolarum*, *Navicula minuscula* y *Nitzschia nana* fueron notablemente abundantes en los cultivos. Estas especies junto con las tres restantes, se asocian a un jal que ostentó las cantidades más elevadas de las fracciones totales y disponibles de Cu y Pb, por

<sup>1</sup> Misma que se extrajo de las descripciones de las especies, información contenida en la sección de descripciones y sólo para las especies determinadas.

<sup>2</sup> Cabe recordar que esta información se extrajo de la sección de descripciones.

encima de lo recomendado para suelos agrícolas tropicales (ver capítulo IV y tabla 7). Paralelamente, ninguna de las especies en cuestión ha sido reportada en ambientes ricos en metales pesados.

Dicho lo anterior cabe resaltar dos aspectos: (1) la condición subaérea de *L. foveolarum* y *N. minuscula*, podría estar explicando su depositación sobre el jal en formas metabólicas de latencia, y (2) pese a haber sido reportadas sólo en Valenciana-húmedo, son especies de amplia distribución.

#### Valenciana-seco

Solamente dos diatomeas fueron las únicas que se detectaron sólo en este jal antiguo: *Eunotia denticula* (de la que se observó un ejemplar) y *Eunotia eruca* (dos ejemplares). De las mismas, se carecen de registros para México (Patrick y Reimer, 1966), no obstante la especie tipo de *E. eruca* ha sido reportada en la bibliografía como fósil en nuestro país. Ambas eunotias se detectaron en preparaciones fijas de cultivos con MBB; otro rasgo común, es que han sido reportadas en zonas húmedas y cuerpos de agua mineralizados, que bien podría ser el caso de un jal, pero no el de Valenciana-seco (en ambas estaciones de colecta); en este remanente minero las concentraciones de Cd, Pb y Zn totales, las cuales son mayores a las recomendadas para suelos agrícolas, no así los porcentajes de disponibilidad (bajos).

#### Pozuelos

Este jal, pese a ser el de menor número de especies detectadas, presentó el mayor de algas únicas (10 especies) (tabla 7). Por clase, las cianofíceas están representadas por una sola especie, *Pseudanabaena catenata*, abundante en cultivos (creció en ambos medios, sólidos y líquidos) de distribución cosmopolita y reportada como dulceacuicola, plánctica, lo que podría ser contradictorio dado el jal del cual se aisló.

Las algas verdes sobresalen con cuatro especies: (1) *Chlorella* sp., sólo en MBB (sólido y líquido), reportada en la literatura como cosmopolita y para un amplio espectro de condiciones ambientales (euritípica), (2) *Neosporangiococcum* sp. 1 (abundante bajo todas las condiciones de cultivo), (3) *Scenedesmus similagineus* (en MBB líquido) y (4) *S. tenuispinus* (en MBB y Chu-10; *S. tenuispinus* fue la única especie de este género que creció en Chu-10). Ambas *Scenedesmus* se reportan como dulceacuícolas y con amplia distribución geográfica (aunque sin reportes para México). De las diatomeas descritas (tabla 7), *Amphora veneta* fue la más abundante en las preparaciones fijas de todos los cultivos de Pozuelos; esta ha sido reportada como cosmopolita y euritípica. Todas las diatomeas identificadas se caracterizan por ser

mesosaprobias, oligohalobias y circumneutras a alcalifilas; los espectros de sal y pH corresponden a los de Pozuelos, no así la sobriedad.

En relación a las diatomeas determinadas, *Aulacoseira granulata* se reporta como dulceacuicola y cosmopolita; de hecho, esta especie sólo se observó en cultivos con MBB líquidos. *Amphora veneta* (observada en ambos medios y fases de cultivos) y *Stauroneis phoenicenteron* (sólo en Chu-10, sólido y líquido) son especies euríticas, cosmopolitas y dulceacuicolas o edáficas.

De lo expuesto cabe destacar que, tanto la cianofíceas como las clorofíceas y dos diatomeas identificadas son de amplia distribución geográfica. De las clorofíceas, Foster (1982) reporta especies de *Chlorella* y *Scenedesmus* con relativa recurrencia en efluentes mineros con altas concentraciones de Cu, Pb y Zn; en Pozuelos las concentraciones de Pb y Zn totales son superiores a las recomendadas para suelos agrícolas (capítulo IV, tabla 7).

#### a) Agua jalera de Las Torres

En Las Torres se detectaron 14 especies presentes sólo en este jal (tabla 7). Dos cianofíceas *Planktolyngbya contorta* y *Planktolyngbya subtilis*; ambas algas verde-azules se desarrollaron en cultivos líquidos y sólidos, son dulceacuicolas, pláncticas y de amplia distribución geográfica, siendo *P. subtilis* común en suelos húmedos y charcos. En cuanto a las clorofíceas (3 especies) destacan por su frecuencia y abundancia en los cultivos *Golenkiniopsis parvula* (solo en MBB) y *Tetracystis* cfr. *fisurata* (en Chu-10 y MBB); la tercer alga verde es *Pleurastrum* sp., misma que sólo se desarrollo en medios sólidos (con Chu-10 y MBB). Todas las diatomeas exclusivas para este jal (8 especies), se aislaron de cultivos con MBB líquidos, excepto *Denticula kuetzingii* (en ambos medios y ambas fases); ésta última fue la más común en Las Torres y en la literatura se indica su carácter eurítico y cosmopolita. Como características comunes a todas las diatomeas resalta su condición mesotrófica. Además *Thalassiosira pseudonana* ha sido asociada a efluentes de desechos mineros (y solo en ambientes acuáticos), mientras que *Rhopalodia operculata* a aguas altamente mineralizadas.

El agua jalera de Las Torres mostró altas concentraciones de Cd, Cr, Pb y Zn disponibles, por encima de lo recomendado para aguas de riego (tabla 7).

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**



Tabla 7: Especies asociadas a un tipo de jal. Características físico-químicas distintivas de cada jal.

ESTECIES	JALES SÓLIDOS		JAL-LÍQUIDO	
	VALENCIANA-HÚMEDO*	VALENCIANA-SECO	ROZUELOS	LASTORES
<p><i>Leptolygbya tovoilarum*</i>  <i>Staurastrum</i> sp.  <i>Cocconeis placenula</i> var. <i>lincolna</i>  <i>Nitzschia minuscula*</i>  <i>Nitzschia nana*</i>  <i>Nitzschia</i> cfr. <i>sublinearis</i></p>	<p><i>Dunalia denitellia</i>  <i>Dunalia eruzoi</i></p>	<p><i>Pseudanabaena calenitoid*</i>  <i>Chlorella</i> sp.  <i>Neosporonococcus</i> sp. 1°  <i>Scenedesmus smilgginicus</i>  <i>S. tenuispinus</i>  <i>Achnanthes</i> sp.  <i>Amphora veneta*</i>  <i>Autocostira grammata</i>  <i>Denticula</i> sp.  <i>Stauroneis phoenicenteron</i></p>	<p><i>Planctolygbya conovira*</i>  <i>P. subtilis</i>  <i>Colenkinopsis parvula*</i>  <i>Pleurostrum</i> sp.  <i>Tetracyclis</i> cfr. <i>fiurca*</i>  <i>Cymbella mesleana</i>  <i>C. silvestra</i>  <i>Denticula knetzingi*</i>  <i>Anvretula capitata</i>  <i>N. mutica</i>  <i>Rhopalodia operculata</i>  <i>Synedra acis</i>  <i>S. ulna</i>  <i>Thalassiosira pseudonana</i></p>	
<p><b>CARACTE-RIST DEL JAL</b></p> <p>Jal nuevo; textura franco-limosa; pH 7.9; los valores más altos de conductividad, salinidad y carbonatos (242 µS/cm, 1.19 mg/L y 12.25%, respectivamente); valores aceptables para suelos agrícolas; baja concentración de materia orgánica; elevada concentración de las fracciones disponibles de Cd, Cu y Pb:</p> <p>Totales (ppm) %  Cd: 3.75 0.29  Cu: 116.77 21.81  Mn: 1287 13.49  Pb: 121.23 25.55  Zn: 1358.7 7.63</p>	<p>Jal antiguo; textura franca; pH 7.9; los valores más bajos de la C.L.C. (6.50 meq/100g); baja concentración de materia orgánica; elevada concentración de la fracción disponible de Zn:</p> <p>Totales (ppm) %  Cd: 44.32 0.29  Cu: 35.2 0.04  Mn: 1253.0 4.54  Pb: 94.68 5.09  Zn: 2529 11.73  3.27</p>	<p>Jal antiguo; textura franca; pH 7.8; el valor más bajo de conductividad (888.17 µS/cm) y el más alto de C.L.C. (13.04 meq/100g); baja concentración de materia orgánica; baja disponibilidad de metales pesados.</p> <p>Totales (ppm) %  Cd: 2.44 0.07  Cr: 31.22 0.03  Cu: 61.6 1.94  Mn: 883.5 2.66  Pb: 165.22 6.10  Zn: 1492 2.21</p>	<p>Jal nuevo; pH 7; bajos valores de salinidad (0.019 mg/l) y conductividad; baja concentración de materia orgánica; concentración elevada de metales pesados, excepto Cu (no se detectó):</p> <p>(ppm) solubles  Cd: 0.92  Cr: 0.58  Mn: 0.14  Pb: 15.8  Zn: 3.06</p>	

Nota: Las especies marcadas con asterisco se manifestaron con frecuencia en el jal. Los valores numéricos resaltados indican valores por encima a recomendados para suelos agrícolas y aguas de riego.

## 6.2. ESPECIES COMUNES A LOS JALES

### a) Jales sólidos

#### Valenciana húmedo y Valenciana seco

Los desechos del sistema de presas jaleras de la mina de Valenciana, difieren en antigüedad, grado de humedad y concentración de Cu y Pb disponibles, entre otras características (tabla 7); pero se asemejan por el pH, los bajos valores de materia orgánica y las altas concentraciones de Pb y Cu totales (tabla 8). En ambos se detectó una especie de cianofícea, *Anabaena variabilis*, también observada en cultivos de Pozuelos (tabla 8). Esta alga verde-azul sólo se manifestó en cultivos líquidos con MBB y ha sido reportada en la bibliografía como dulceacuicola, edáfica en suelos húmedos y arenosos y con amplia distribución geográfica. Además, según Nakashima y Yangi (1992), las especies de este género son tolerantes al Fe y pueden acumular metales tales como el Cr y Ni; Brierley y colaboradores (1989) también citan a especies de *Anabaena* por su utilidad para la remoción de Cd, Cu, Mn, Pb y Zn, entre otros metales. Como ya se mencionó, una de las características físico-químicas comunes a ambas presas de Valenciana, es la elevada concentración de las fracciones totales de Pb y Zn, pero poco podemos concluir en relación a este hecho, pues no es muy claro el comportamiento químico de estos elementos en el medio de cultivo; sin embargo, es importante resaltar que esta alga edáfica (además de acuática) se desarrolló sólo en cultivos de jales sólidos, incluyendo Pozuelos.

Otras especies comunes a ambos jales son tres diatomeas: *Eunotia bilunaris*, *Navicula pupula* y *Epithemia sorex* (tabla 8). Particularmente, *E. sorex* se detectó también en cultivos de Las Torres; mientras que *N. pupula* en cultivos de Pozuelos, además. Las bacillariofíceas mencionadas se detectaron en cultivos líquidos con MBB, principalmente, y han sido tipificadas como pláncnicas o edáficas; además, *E. sorex* y *N. pupula* como cosmopolitas y euríticas.

#### Valenciana húmedo y Pozuelos

Además del alga verde-azul *A. variabilis* (ya comentada en la sección de las presas de Valenciana), se detectaron dos algas verdes y dos diatomeas como comunes a ambos jales, mismos que sólo tienen en común ser ligeramente alcalinos y poseer elevadas concentraciones de Pb y Zn totales (tabla 8). Las clorofíceas en cuestión son las Scenedesmaceae *Dydimocystis* cfr. *bicellularis* y *Scenedesmus disciformis*, ambas aisladas de medios líquidos con MBB o Chu-10, lo que coincide con sus formas de vida (acuática, pláncnica); cabe destacar su cosmopolitismo. Como ya se había comentado, Foster (1982) señala que las *Scenedesmus* son

comunes en efluentes mineros con Cu, Pb y Zn. Las bacillariofíceas están representadas por *Navicula confervacea* y *Pinnularia viridis*, especies cosmopolitas, pláncticas y edáficas (entre otras formas de vida), según la literatura; éstas crecieron exclusivamente en cultivos líquidos con MBB. Es decir, todas las especies comunes a Valenciana-húmedo y Pozuelos se aislaron de cultivos líquidos.

#### Valenciana seco y Pozuelos

Estos jales antiguos comparten ciertas características físicas y químicas (tabla 8), pero, paradójicamente sólo presentan una especie en común: la cosmopolita, euritípica, acuática y edáfica *Navicula pupula*, presente también en Valenciana-húmedo.

#### b) Al agua jalera

Comparar las especies comunes a depósitos sólidos y el agua de Las Torres se presta sumamente interesante dadas las características de los jales en cuestión, particularmente por representar dos fase diferentes (sólido vs. líquido) y por los altos contenidos de metales pesados en formas disponibles de Las Torres.

En la tabla 9 se puede apreciar que el mayor número de especies comunes se da entre Las Torres y Valenciana-húmedo, jales nuevos y los más tóxicos. Pero esta ficoflora paratípica está representada solamente por diatomeas: todas cosmopolitas y comunes en cuerpos de agua con elevadas concentraciones de electrolitos disueltos, de alta conductividad. Dichas bacillariofíceas se presentaron en cultivos con MBB y líquidos, pero *C. placentula*, *Nitzschia claussi* y *N. gracilis* también en Chu-10 y medios sólido. *C. placentula* ha sido reportada en efluentes mineros y *N. claussi* en efluentes con desechos industriales. Cabe resaltar que *N. claussi* se destacó por su relativa abundancia en cultivos de ambos jales.

Además de estas diatomeas, dos clorofíceas fueron detectadas en cultivos de Valenciana-húmedo, Valenciana-seco y Las Torres, las chlorococcales *Tetracystis* cfr. *fisurata* y *Neosporngiococcum* sp. 2, mismas que se manifestaron de manera conspicua y vigorosa bajo todas las condiciones de cultivo. Otra chlorococcal abundante en cultivos de Las Torres fue *Neosporngiococcum* sp. 3, especie presente en cultivos de Pozuelos, además. Dada la incertidumbre taxonómica, no se tiene información bibliográfica de estas especies, más son géneros que sobresalen por su carácter edáfico. Según Stokes (1983) las Chlorococcales incluyen un mayor número de clorofíceas tolerantes a metales pesados.

Tabla 8: Relación de especies comunes a jales sólidos.

	VALENCIANA-HÚMEDO Y VALENCIANA SECO	VALENCIANA-HÚMEDO Y POZUELOS	VALENCIANA SECO-POZUELOS
ESPECIES COMUNES	<i>Anabaena variabilis</i> <i>Eumotia bilunaris</i> <i>Navicula pupula</i> <i>Epithemia sorex</i>	<i>Anabaena variabilis</i> <i>Dydimocystis</i> cf. <i>bicellularis</i> <i>Scenedesmus disciformis</i> <i>Navicula conferracea</i> <i>Phinularia viridis</i>	<i>Navicula pupula</i>
CARACTERÍSTICAS COMUNES A LOS JALES	pH ligeramente alcalino; baja concentración de materia orgánica; concentración de Pb y Zn totales no recomendables para suelos agrícolas.	pH ligeramente alcalino; baja concentración de materia orgánica; concentración de Pb y Zn totales no recomendables para suelos agrícolas.	Jales antiguos; textura franca; pH ligeramente alcalino; baja concentración de materia orgánica; concentración de Pb y Zn totales no recomendables para suelos agrícolas.

Tabla 9: Relación de especies comunes en Las Torres y los jales sólidos

	VALENCIANA-HÚMEDO Y LAS TORRES	VALENCIANA SECO Y LAS TORRES	POZUELOS Y LAS TORRES
ESPECIES COMUNES	<i>Chlorococcum</i> cf. <i>perforatum</i> <i>Neosporogococcum</i> sp. 2 <i>Coccoconis placenticola</i> <i>Epithemia sorex</i> <i>Navicula phyllepta</i> <i>N. veneta</i> <i>Nitzschia capitellata</i> <i>N. clausii</i> <i>N. gracilis</i> <i>Rhopalodia gibba</i>	<i>Chlorococcum</i> cf. <i>perforatum</i> <i>Neosporogococcum</i> sp. 2 <i>Epithemia sorex</i> <i>Eumotia bilunaris</i> <i>Rhopalodia gibba</i>	<i>Neosporogococcum</i> sp. 3 <i>Aulacoseira italica</i> <i>Coccoconis placenticola</i> var. <i>euglypta</i> <i>Cymbella cistula</i> <i>Nitzschia frustulum</i>
CARACTERÍSTICAS COMUNES A LOS JALES	Jales nuevos; Baja concentración de materia orgánica; elevadas concentraciones de las fracciones disponibles de Cd, Pb y Zn.	Baja concentración de materia orgánica; elevadas concentraciones de la fracción disponible de Zn	Baja concentración de materia orgánica; elevadas concentraciones de la fracción disponible de Zn

c) A todos los jales

Las microalgas comunes a todos los jales se listan en la tabla 10. Estas 13 algas incluyen a una cianoficea (*Phormidium willei*), dos cloroficeas (*Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus ecornis*) y once diatomeas (tabla 10)

Las diatomeas comunes a los tres jales se reportan como euritípicas y cosmopolitas. *Achnanthes minutissima*, *C. vulgaris* y *P. willei* se manifestaron en mas del 80% de los cultivos elaborados (tabla 6) y han sido registradas como euritípicas y resistentes a diversas condiciones, tales como altas concentraciones de Fe, Cd, Zn, arsénico y diversos minerales en solución; además, sus formas de vida varían entre edáficas y dulceacuicolas pláncnicas. Por su parte, *A. formosa*, *Fragilaria construens* y formas afines se manifestaron en el 50% de los cultivos con jales, pero exclusivamente en cultivos líquidos; dichas diatomeas destacan por el amplio espectro de condiciones ambientales en los que se han reportado, así como por ser acuáticas, lo que podría estar explicando su presencia en el 50% de los cultivos, los líquidos.

Babich y Stotzky (1980), Nakashima y Yangi (1992), Mallick y Rai (1993), indican que las especies del género *Phormidium* son tolerantes a altas concentraciones de metales pesados (Fe, Cd, Cu, Cr, Mn, Ni, Pb, Zn); por su parte, Durrell (1964) y Gale y colaboradores (1979) señalan a *P. willei* como especie edáfica y litica, además de acuática. Lo anterior podría explicar el por qué *P. willei* se manifestó en el 80% de los cultivos elaborados.

*Chlorella vulgaris*, detectada en todos los cultivos, es ampliamente reconocida por su carácter euritípico y su tolerancia a concentraciones altas de metales pesados (Ag, Au, Fe, Cu, Cd, Mn, Ni, Hg, Pb, Zn) (Darnall *et al.*, 1986; Greene *et al.*, 1986; Kaplan, 1987; Brierley *et al.*, 1989; Radwan *et al.*, 1990; Karamushka *et al.*, 1991). Sobre la *Scenedesmus*, ya se habían mencionado las observaciones de Foster (1982) (su presencia en efluentes mineros); de nuevo estamos hablando de una especie euritípica y cosmopolita.

Tabla 10: Especies comunes a todos los jales mineros

<i>Phormidium willei</i> *	<i>F. construens</i> fo. <i>construens</i>
<i>Chlorella vulgaris</i>	<i>F. construens</i> fo. <i>venter</i>
<i>Scenedesmus ecornis</i>	<i>Gomphonema clavatum</i> *
<i>Achnanthes minutissima</i>	<i>G. parvulum</i>
<i>Asterionella formosa</i>	<i>Hantzschia amphioxys</i>
<i>Fragilaria construens</i>	<i>Nitzschia palea</i>
<i>F. construens</i> fo. <i>binodis</i>	

\* no en Valenciana-seco

### 6.3. CLASES ALGALES Y JALES

#### Cyanophyceae

Las algas verde-azules descritas se desarrollaron de manera conspicua en los cultivos con jal y, excepto *Anabaena variabilis*, en medios sólidos y líquidos; esto último podría indicar que la fase del medio de cultivo no influye en la manifestación de las cianofíceas. De las 6 especies, destacan 5 por haberse manifestado en jales con la mayor concentración de metales disponibles: *Leptolyngbya foveolarum* (sólo en Valenciana-húmedo), *Planktolyngbya contorta* y *Planktolyngbya subtilis* (de Las Torres), *Anabaena variabilis* (en Torres y Valenciana) y *Phormidium willei* (en cultivos de todos los jales). Algunas especies de los géneros *Anabaena* y *Phormidium* se reportan como tolerantes a metales pesados (Babich y Stotzky, 1980; Nakashima y Yangi, 1992; Mallick y Rai, 1993) e, incluso, se proponen como removedoras de Fe, Cd, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Ra, Se, U y Zn (Brierley *et al.*, 1989).

#### Chlorophyceae

Las algas verdes se consideran más tolerantes a los metales pesados que las verde-azules (Margalef, 1983; Stokes, 1983); por ejemplo, en un lago de Polonia con Cd (0.1 ppm), Co (0.3 ppm), Cu (1.5 ppm), Fe (6.0 ppm), Mn (3.2 ppm), Pb (1.8 ppm) y Zn (5.8 ppm), la ficoflora comprendía casi exclusivamente clorofíceas capaces de acumular Fe, Mn y Zn (Radwan *et al.*, 1990)<sup>3</sup>. No obstante, en el presente trabajo sólo se detectaron 17 especies de clorofíceas. Stokes (1983) afirma que las Chlorococcales son el grupo de algas verdes con mayor número de especies tolerantes a metales pesados, lo cual se confirma en este trabajo, con 16 especies de Chlorococcales, 11 de las cuales se manifestaron en cultivos de Las Torres y/o Valenciana-húmedo, y de las que destacan por su expresión conspicua y vigorosa: *Chlorella vulgaris*, *Chlorococcum* cfr. *perforatum*, *Neosporangiococcum* sp. 2, *Scenedesmus disciformis*, *S. ecornis*, *S. spinosus* y *Staurastrum* sp. Así mismo, Foster (1982) encontró que *Chlorella* y *Scenedesmus* son los géneros más recurrentes en efluentes mineros ricos en Cu, Pb y Zn. Particularmente, las *Chlorella* fueron las más comunes en los cultivos de jales; existe mucha información relativa a la tolerancia de *Chlorella vulgaris* a metales traza, se le ha reportado en desechos mineros y como capaz de acumular una gran cantidad de metales (Darnall *et al.*, 1986; Greene *et al.*, 1986; Kaplan, 1987; Brierley *et al.*, 1989; Karamushka *et al.*, 1991).

<sup>3</sup> Las cantidades de los metales que se detectaron en el jal de Las Torres son más elevadas a las de este trabajo.

Los géneros determinados parecen representar a las especies de algas verdes mejor caracterizadas por su tolerancia a metales pesados; paralelamente, muchas de éstas se reportan también como edáficas (*Chlorococcum*, *Neosporangiococcum*). Sin embargo cabe lamentar la ausencia de los géneros *Cladophora* (Vymazal, 1990), *Ulothrix* (Whitton, 1970), *Spyrogyra* y *Zygnema* (Gale *et al.*, 1973), mismas que han sido reportados en trabajos pioneros sobre la ficoflora de jales de Guanajuato (Ramos, 1993).

### Bacillariophyceae

Entre las diatomeas descritas, pocas son las especies asociadas a ambientes contaminados con metales pesados: *Thalassiosira pseudonana* y *Cocconeis placentula* (en desechos mineros), *Nitzschia claussi* y *Nitzschia palea* (en desechos industriales), *Achnanthes minutissima* (tolerante al Fe, en agua mineralizada), *Gomphonema parvulum* y *Hantzschia amphioxys* (tolerantes al Fe). Finalmente, las siguientes diatomeas se han asociado en aguas contaminadas y/o altamente mineralizadas: *Epithemia sorex*, *Navicula veneta*, *Nitzschia gracilis*, *N. pusilla*, *Rhopalodia operculata* y *Synedra ulna*<sup>4</sup>. Las algas citadas se presentaron en cultivos de Las Torres y/o Valenciana-húmedo, que, como se ha venido indicando, fueron los jaleros con mayores concentraciones de metales disponibles. Genter *et al.* (1988) comentan que poblaciones de *Cocconeis placentula*, *Gomphonema parvulum*, *Nitzschia palea* y otras especies no determinadas de estos géneros, fueron tolerante a Zn (0.5 ppm) durante 10 días, al cabo de los cuales las poblaciones comenzaron a decrecer.

Según Patrick (1977), la dominancia específica de ciertas diatomeas varía a la par que las fluctuaciones espacio-temporales del medio. En la tabla 11 se resume el intervalo de las variables ambientales (pH, salinidad, saprobiedad y concentración de nutrimentos) reportadas en la literatura para cada una de las bacillariofíceas determinadas<sup>5</sup>, según Lowe (1974). Así, se tiene un elevado porcentaje de especies tipificadas como alcalífilas (69%) que, sumadas a las especies circumneutras y/o indiferentes al pH, representan el 100 % de diatomeas (fig. 14). Ahora bien, las diatomeas en su conjunto "indican" un pH cercano a 7 a ligeramente alcalino, que es, efectivamente, el pH de los jales (más no está demás recordar que se procuró mantener los cultivos a pH 7). En la figura 14 también se aprecia el predominio de especies oligohalobias (73%); ciertamente en los jales la concentración de sales es baja, tal como lo indican la mayoría de las diatomeas. *Eunotia denticula* fue la única especie halófila, más cabe recordar que sólo se observó un ejemplar de esta bacillariofícea. Volvamos a la figura 14, vemos que dominan las diatomeas mesosaprobias (92% de 37 especies), junto con 7 especies meso- a polisaprobias

<sup>4</sup> Ver información de descripciones.

(tabla 12); las únicas "rarezas" a esta "norma" son: *Eunotia denticula*, una vez más, y *Gomphonema clavatum*, ambas oligosapróbicas y, la segunda, muy sensible a la contaminación orgánica, situación muy alejada a la que caracteriza a los jales. Finalmente, el 60% de las diatomeas son euri- meso- u oligotróficas. Al analizar el jal de procedencia se observa una tendencia similar: dominio de especies circumneutras a alcalifilas, oligohalobias, mesosaprobias y euri- a oligotrófica.

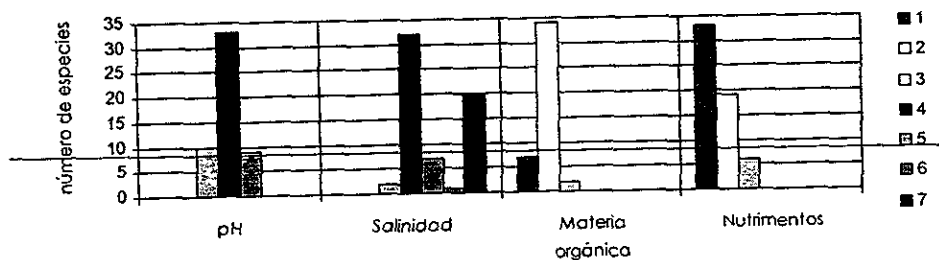


Fig 14: Total de diatomeas para cada espectro de variables ambientales (números referidos en tablas 11 y 12)

Tabla 11: Términos de parámetros ambientales para diatomeas (Lowe, 1974).

Espectro temperatura	Eutérico (1) Mesotérico (2) Oligotérico Estenotérico (3) Eurérico (4)	agua caliente, más de 30°C templada, 15-30°C fría, 0-15°C no más de 5°C 15°C o más
Espectro de pH	Acidobiónico (1) Acidófilo (2) Circumneutro (3) Alcalifilo (4) Alcalibiónico	menos 5.5 menos 7 alrededor de 7 sobre 7 aguas alcalinas
Espectro de salinidad (mg/L)	Pohalobio (1) Euhalobio (2) Mesohalobio (3) oligohalobio (4) Halofilo (5) Halófilo (6) Eurihalobio (7)	sobre 40 000 mg/L formas marinas, 30 000-40 000 mg/L agua salobre, 500-30 000 mg/L agua dulce, menos de 500 mg/L estimulado por concentración bajas no tolera concentraciones bajas amplio intervalo
Espectro de saprobias	Polisaprobio (1) Mesosaprobio (2) Oligosaprobio (3) Saprobiofilo Saproxeno (4) Saprobiofilo	zona de degradación y putrefacción, O <sub>2</sub> ausente zona de oxidación de compuestos orgánicos zona de completa biodegradación de compuestos aguas contaminadas y hábitats con agua limpia hábitats con aguas limpias y con contaminación aguas no expuestas a contaminación
Espectro de nutrientes	Eutrófico (1) Mesotrófico (2) Oligotrófico (3)	elevada concentración moderada baja



Tabla 12. Intervalos de parámetros ambientales reportados para diatomeas descritas

Especies	temperatura					pH					salinidad							saprobie				nutrimiento			jal	
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3		
<i>Aulacoseira granulata</i>	*								*							*		*	*		*					P
<i>A. italica</i>	*								*						*		*	*		*	*					P, T
<i>Thalassiosira pseudonana</i>						*			*								*	*	*		*	*				T
<i>Asterionella formosa</i>						*			*						*		*	*	*		*	*				t
<i>Fragilaria construens</i>				*		*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				t
<i>F. construens f. construens</i>				*		*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				t
<i>F. construens f. binodis</i>				*		*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				t
<i>F. construens f. venter</i>				*		*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				t
<i>Synedra acus</i>	*					*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				T
<i>Synedra ulna</i>				*		*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				T
<i>Eunotha bilunans</i>						*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				T, V
<i>E. denticula</i>						*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				V
<i>E. eruca</i>						*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				V
<i>Achnanthes minutissima</i>	*		*			*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				t
<i>Cocconeis placentula</i>	*					*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				T, V
<i>C. placentula var. euglypta</i>						*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				P, T
<i>C. placentula var. lineata</i>						*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				V
<i>C. p. var. pseudolineata</i>	*					*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				T
<i>Amphora veneta</i>	*					*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				P
<i>Cymbella castula</i>						*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				T, P
<i>C. mesiana</i>						*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				T
<i>C. silesiaca</i>						*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				T
<i>Gomphonema clavatum</i>						*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				t
<i>G. parvulum</i>	*					*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				t
<i>Navicula capitatoradiata</i>						*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				T
<i>N. confervacea</i>						*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				P, V
<i>N. minuscula</i>						*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				V
<i>N. mutica</i>						*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				T
<i>N. phyllepta</i>						*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				T, V
<i>N. pupula</i>						*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				P, V
<i>N. veneta</i>						*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				T, V
<i>Pinnularia viridis</i>	*					*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				P, V
<i>Stauroneis phoenicenteron</i>						*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				P
<i>Denticula kuetzingi</i>						*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				T
<i>Epithemia sorex</i>	*					*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				T, V
<i>Rhopalodia gibba</i>	*					*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				T, V
<i>Hantzschia amphioxys</i>	*					*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				t
<i>Nitzschia capitellata</i>						*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				T, V
<i>N. clausii</i>						*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				T, V
<i>N. frustulum</i>	*					*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				T, P
<i>N. gracilis</i>						*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				T, V
<i>N. linearis</i>						*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				T
<i>N. nana</i>						*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				V
<i>N. palea</i>	*					*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				t
<i>N. pusilla</i>	*					*			*					*		*	*	*	*	*	*	*				T

CLAVES: temperatura: 1: eutérmico, 2: mesotérmico, 3: estenotérmico, 4: eumtérmico; pH: 1: acidobióntico, 2: acidófilo, 3: circunneutro, 4: alcalifilo, 5: amphi intervalo, salinidad: 1: polihalobio, 2: euhalobio, 3: mesohalobio, 4: oligohalobio, 5: halófilo, 6: halófilo y 7: eurihalobio; materia orgánica(saprobies): 1: polisaprobio, 2: mesosaprobio, 3: oligosaprobio, 4: saproxeno; nutrientes: 1: eutrófico, 2: mesotrófico, 3: oligotrófico. P. Pozuelos, T: Torres, V: Valenciana, t: en todos los jales.

---

## 6.4. CONCLUSIONES

---

Considerando el análisis de composición específica realizado sobre los cultivos, en el que se establecieron especies exclusivas por jal y las comunes a dos o los cuatro desechos (fig. 13; tablas 7 a 9), se observó que, en términos generales, las especies se manifestaron en concordancia con los ambientes y formas de vida estipuladas en la literatura; paralelamente, las algas comunes a los cuatro tipos de jales se encuentran reportadas como euritípicas y cosmopolitas. Destacan las siguientes especies indicadas en la bibliografía como tolerantes a altas concentraciones de metales pesados y minerales en solución y con formas de vida que varían entre edáfica y dulceacuícola: *A. minutissima*, *C. vulgaris*, *Cocconeis placentula* y *P. willei* (en efluentes mineros), así como *H. amphioxys*, *N. claussi* y *N. palea* y especie de los géneros *Anabaena*, *Gomphonema*, *Chlorella* y *Scenedesmus*, así como *Thalassiosira pseudonana* y *Rhopalodia operculata* (especies observadas sólo en cultivos de Las Torres). La coincidencia de especies tolerantes a metales pesados entre esta ficoflora paratípica y las reportadas en otros ambientes, debe ser tomada en consideración como referente en futuros trabajos.

Al jal Pozuelos quedaron asociadas el mayor número de especies "exclusivas" y en Valenciana-seco, el menor. De las especies comunes, cobran especial interés las algas de Las Torres y/o Valenciana-húmedo, por ser los jales con cantidades elevadas de metales biodisponibles; estas especies constituyen el 67.5% de la flora paratípica o asociada a jales.

CAPÍTULO VII  
INTEGRACIÓN

*“...por que me avergüenzo de no saber  
en qué mar se encuentra la isla sobre la que he escrito”*

Tomás Moro (*Utopía*)

---

## 7.1. DISCUSIONES

---

Las algas descritas son organismos asociados al jal del cual fueron aisladas gracias a la manipulación experimental (ficoflora paratípica), dada la ausencia de crecimientos algales visibles en estos desechos. Esta ficoflora está constituida por 73 especies de las clases Cyanophyceae (6 especies), Chlorophyceae (17) y Bacillariophyceae (50). Los jales con mayor riqueza relativa fueron Las Torres (47 especies), Valenciana-húmedo y Pozuelos (35) y, por último, Valenciana-seco (15). Por su parte, los jales bajo estudio pueden ser definidos como ambiente extremos dadas las bajas concentraciones de materia orgánica, los bajos valores de capacidad de intercambio catiónico (CIC), al estrés hídrico al que están sometidos los jales sólidos y a la real o potencial toxicidad por metales pesados (tabla 13).

De la ficoflora paratípica reportada sólo nueve especies fueron observadas en los cuatro jales analizados: *Phormidium willei*<sup>1</sup> (cianoficea), *Chlorella vulgaris*, *Scenedesmus ecornis* (cloroficeas), *Achnanthes minutissima*, *Asterionella formosa*, *Fragilaria construens* y formas afines, *Gomphonema clavatum*<sup>\*</sup>, *G. parvulum*, *Hantzschia amphioxys* y *Nitzschia palea* (diatomeas). Dichas microalgas han sido reportadas en la bibliografía como euritípicas y cosmopolitas, lo que sugiere que las condiciones de cultivo se incorporan al amplio espectro de intervalos ambientales que la cualidad euritípica incluye. Pero más importante aún es que, dada su recurrencia en los jales, éstas pueden representar la ficoflora asociadas a los desechos mineros independientemente de las características particulares de cada jal. Particularmente, *P. willei*, *C. vulgaris*, *A. minutissima*, *H. amphioxys* y *N. palea*, se han reportado como tolerantes a altas concentraciones de metales pesados y con formas de vida que varían entre edáfica y dulceacuícola. Luego entonces, éstas especies se asocian a todos los jales bajo estudio en virtud de su tolerancia a metales pesados, además de la condición euritípica y las formas de vida acuática y edáfica. Las siguientes especies también son tolerantes a metales pesados, euritípicas y acuáticas y/o edáficas, mas no se encontraron en todos los jales analizados, no obstante si en los más tóxicos por metales pesados: *Cocconeis placentula* (sólo en cultivos de Valenciana-húmedo), *Thalassiosira pseudonana* y *Rhopalodia operculata* (Las Torres) y *Nitzschia claussi* (en Valenciana-húmedo y Las Torres).

La coincidencia de especies tolerantes a metales pesados entre esta ficoflora paratípica y las reportadas en otros ambientes, debe ser tomada en consideración como referente en futuros

---

<sup>1</sup> El asterisco indica que no se detectaron en cultivos de Valenciana-seco.

trabajos. Es importante acotar que los términos cosmopolita y euritípico parecieran aclarar sin mayor problema el por qué se desarrollaron estas algas en todos los cultivos con jales mineros (no así la ausencia de crecimientos visibles en los mismos ni por qué otras especies también ubicuas, según la literatura, no se manifestaron todos los jales). Sin embargo, no pueden ofrecerse como explicaciones conclusivas ya que son términos muy generales y su acepción se vuelve dudosa e imprecisa para el caso de los jales, ambientes sumamente particulares.

En relación a los jales de origen, cobran especial interés las algas de Las Torres y/o Valenciana-húmedo, por ser los jales con cantidades elevadas de metales biodisponibles. Las especies particulares o comunes a ambos jales representan el 67.5% de la ficoflora paratípica, hecho que parece contradictorio (¿mayor riqueza en los jales más tóxicos?) y su explicación puede darse bajo dos supuestos: (1) los metales pesados no son tóxicos para las especies, o (2) los metales son tóxicos. Si presuponemos que los metales no tienen efecto sobre las especies en los cultivos (no son biodisponibles), la mayor riqueza de especies se podría explicar en relación a otras características tales como el estado hídrico de los desechos; es decir, que existe una mayor proporción de algas en estado de "latencia" o en crecimientos no conspicuos en jales con cierto grado de humedad o líquidos<sup>2</sup>. En cuanto a la segunda hipótesis, si se hace explícita la presencia de altas concentraciones de ciertos metales que, además, son biodisponibles en ambos desechos mineros (tabla 13), la explicación ofrecida es que, en cultivos disminuyó el efecto tóxico de los metales, se reduce su biodisponibilidad, o bien, que las algas, efectivamente, toleran metales pesados y éstos no representan un factor limitante para su expresión *in vitro*.

Se podría sugerir que las especies aisladas en cultivos de jales representan elementos alóctonos; para responder esta interrogante se debió estudiar la composición algal de los suelos aledaños. Lo cierto es que la manifestación de las especies en cultivos puede ser debida a la presencia en el momento de la colecta de elementos autóctonos tanto como alóctonos (dispersos ocasional o constantemente) de cuerpos de agua o suelos más o menos alejados<sup>3</sup>, que lograron manifestarse en cultivos de jales gracias a su presencia en los desechos como formas de resistencia o estructuras de perennación, expresándose en cultivos sólo aquellas que se establecieron, sin ser eliminadas del medio via una selección natural. De manera análoga, en comunidades algales edáficas, el suelo representa un selector de las especies estrictamente

<sup>2</sup> Es importante recordar que los jales se localizan en depresiones naturales y representan un sustrato erosionable y muy susceptible a la deposición de elementos alóctonos; sin embargo, Valenciana-húmedo y Las Torres son menos erosionables, por ser un jal húmedo, el primero y un jal líquido, el segundo.

<sup>3</sup> Como ya se mencionó, las algas descritas en el presente estudio se caracterizaron por ser edáficas o acuáticas (pláncticas), y es importante mencionar que en torno a los jales de Las Torres y Valenciana no existen cuerpos de agua cercanos.

acuáticas y un reservorio de especies resistentes a la desecación, y la presencia de elementos algales dispersos sólo refleja la dinámica ficológica de la región (Novelo, 1985).

Lo cierto es que las algas asociadas a los jales son agentes deseables para la restauración de los mismos, justamente por su estancia en los remanentes mineros aún como formas no expresadas vegetativamente.

Como aproximación metodológica, la construcción de una ficoflora paratípica ayuda a manejar la noción de lo potencial; ésto, finalmente, permite desprender hipótesis del por qué la expresión diferencial de los organismos. En concreto, la ausencia de crecimientos algales visibles en los cuatro jales y las dos estaciones de colectas y su manifestación en cultivos, indican que "algo está sucediendo": las especies están ahí, en los jales y, si bien los cultivos representan condiciones óptimas para su expresión, al vincular ambos aspectos es posible inferir la conducción que ha de darse al proyecto de restauración de los jales: reproducir los óptimos para impulsar el crecimiento masivo de las especies, esto es: hacer del jal un "gran cultivo".

Si bien la flora paratípica no permite fijar una relación unívoca entre las características del ambiente y las comunidades algales, como método de aproximación al conocimiento, es un manantial de hipótesis. Así, los resultados expuestos motivaron a continuar realizando investigaciones para responder preguntas tales como ¿por qué las algas no crecen espontánea y conspicuamente en los jaleros?, ¿qué características de los jaleros limitan la expresión *in situ* de las algas y otros microorganismos?, ¿los medios de cultivos favorecen la manifestación *in vitro* de las algas al dotar de nutrimentos, proporcionar sustancias quelantes<sup>4</sup> y representar un ambiente estable en términos de temperatura, pH y otros?. Varias son las hipótesis que se desprenden:

1. Los nutrimentos son el factor limitante del desarrollo de algas en los jaleros: Tanto los desechos sólidos como el líquido presentaron niveles muy bajos de materia orgánica (además de que en sólidos, los valores de la CIC señalan lixiviación de cationes) y, por ende, la posible ausencia de elementos tales como C, P y N así como vitaminas (entre otros), todos esenciales para las algas. Algunos investigadores proponen la adición de fertilizantes orgánicos a los desechos mineros para facilitar la proliferación de organismos (Jackson, 1989, en: Brierley *et al.*, 1989; Atkinson y Cairns, 1994; Sosa, com. pers.). Además, y como indican Haghiri y Sutton (1982), al añadir residuos orgánicos sobre la superficie de un antiguo depósito de desechos mineros, el incremento en el pH y en el contenido de materia orgánica provocan la fijación,

<sup>4</sup> Como el EDTA del MBB y la acumulación paulatina de sustancia orgánicas algales (mucilago, por ejemplo) en el medio.

inmovilización y reducción de las formas biodisponibles de metales pesados. Stark *et al.* (1996) plantea que es más efectivo emplear piedra caliza como sustrato principal, sobre el cual puede añadirse una capa de composta. Según estos investigadores, hacerlo así proporciona ciertas ventajas tales como que el pH jamás estará en niveles de acidez, no se propicia la formación de sulfuros, el potencial rédox se mantendrá bajo, disminuye la concentración de calcio, no altera la disponibilidad de oxígeno y los metales pesados formarán carbonatos no biodisponibles; mientras que, si se emplea sólo materia orgánica, será sumamente complicado mantener el pH circunneutro y las condiciones de óxido-reducción ideales (ambiente oxidante). Según Stokes (1983), el calcio juega un papel determinante en la biodisponibilidad de los metales pesados: su presencia inhibe la asimilación de los elementos traza, así como la presencia de otros cationes tales como  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  y  $Cd^{2+}$ , inclusive. Así, si la restauración de jales parte de un proyecto de "fertilización", se deberá vigilar que el pH se mantenga en valores circunneutros a fin de evitar la biodisponibilidad de los metales pesados<sup>5</sup>, sin que ello perjudique la de los macronutrientes.

2. En jales secos, el estado hídrico es otro factor limitante. De ser así, la fertilización debe estar acompañada de un aporte periódico de agua.
3. Las altas temperaturas sobre el sustrato se traducen en elevadas tasas de evaporación, lo que imposibilita su hidratación. Se deberá idear la manera de fertilizar, dotar de agua y proveer de elementos que den sombra, concomitantemente. Es importante recordar que la presencia de costras algales en suelos desérticos permite cierta estabilidad hídrica, protege a los microorganismos contra la desecación y aminora temperaturas extremas del sustrato (ver introducción)
4. El aporte periódico de nuevos sedimentos de desecho imposibilita el desarrollo de algas. En estos casos, la restauración debe posponerse hasta que la presa quede en desuso. No obstante, y como se pudo constatar en Las Torres, es de vital importancia monitorear la movilización de los tóxicos y su efecto en zonas aledañas. Trabajos como los de Ramos apuntan hacia esa dirección, quien realiza un estudio de la movilización de metaloides hacia los estratos inferiores (Ramos, *com. pers.*).

---

<sup>5</sup> Pues conforme disminuye el pH incrementa la solubilidad de Al, Fe, Cd, Mn, Ni y Zn en suelos (Babich y Stotzky, 1980). Según Chlopecka *et al.* (1996), a pH menor de 5.6, los suelos estudiados por estos investigadores, contenían una mayor proporción de metales en formas intercambiables que aquellos con un pH mayor.

La fertilización y el riego de grandes extensiones como son las presas de jales parece una tarea monumental, pero no imposible: el agrónomo suizo Rene Haller logró restablecer una selva costera en Kenia, sobre una antigua cantera de 3 km<sup>2</sup>, generada por la explotación de minerales coralinos; este investigador inició su labor restaurando el sustrato (que no conservaba las propiedades biogeoquímicas de un suelo) mediante la adición de estiércol de cabra<sup>6</sup>. Así, la fertilización debe ser el punto de arranque en la restauración; después del establecimiento de las algas y otros microorganismos, deberá dar inicio una invasión (natural o dirigida) de especies vegetales, favorablemente de zonas aledañas.

Una propuesta interesante para la restauración de los jales, que se deriva del conocimiento y la valoración de prácticas tradicionales de México, es la que Sosa (*com. pers.*) ha denominado "chinampa-jal", nombre muy sugestivo que no implica la producción de cultivos para el uso o consumo humano, si no una sistema de manejo. La "chinampa-jal" resuelve conjuntamente la fertilización y el riego de jales, para fomentar el crecimiento de microorganismos, así como el ir aprovechando aquellas fracciones de las presas que han sido abandonadas (Novelo, *com. pers.*). Las algas se inocularían a partir de cultivos como los generados en este trabajo, y el desarrollo de los crecimientos algales se favorecería con el empleo de aguas negras en torno a las chinampa-jal. Una vez que las algas crecieran se debe monitorear la disponibilidad de los metales pesados, para asegurar que éstos no quedasen libres y asimilables por otros organismos; el empleo de sales de calcio sería de gran ayuda.

La restauración de una zona afectada debe diseñarse de manera tal que cada paso o fase esté inspirado en una perspectiva sistémica e integrativa y no, por el contrario, como suma de atributos que pueden ser seleccionados y fragmentados; este enfoque asegurará la autosustentabilidad y autoperpetuación dinámica de los ambientes restaurados. Para que sea realmente holístico, un esfuerzo de restauración debe formularse vinculando los beneficios ambientales tanto como sociales (Cairns, 1991). En términos sociales, restaurar los jales significa mitigar el efecto de los mismos sobre la salud (*vr. gr.* inhalación de polvos tóxicos), así como prevenir que continúen comprometiéndose los recursos y subsidios naturales para las generaciones futuras. Nuevamente las algas ofrecen ventajas adicionales: al establecerse en el sustrato, el mucilago algal agrupa y consolida las partículas del mismo, aminorando los efectos de la erosión y el desprendimiento de las partículas contaminantes durante cada tolvanera, las que llueven sobre los ríos, los campos y los poblados cercanos (el jal de Valenciana, por ejemplo, tiene

---

<sup>6</sup> Este trabajo implicó un esfuerzo de 20 años y fue posibilitado con el apoyo del propio gobierno tanto como por un entusiasta equipo de trabajo, al que se sumaron gente de la localidad.



---

una ubicación tal que parece una terraza desde donde se aprecia la ciudad de Guanajuato, a todo lo ancho y largo).

Es evidente que un proyecto de restauración requiere de investigación constantes, lo que se traduce en personal, insumos y equipo, es decir, dinero. Los proyectos de investigación que apunten hacia objetivos de esta naturaleza, deben ser fomentados en las políticas de apoyo económico de instituciones académicas, pero es la industria minera la principal responsable del financiamiento de los mismos, por dos razones elementales: son los beneficiados directos de la explotación de los recursos nacionales y la ley les obliga a tener “proyectos de purificación, captación, tratamiento y manejo de cualquier producto y subproducto, residuo o desecho que *puedan* tener efectos *nocivos*” (Diario Oficial de la Federación, 1976) así como “obras y equipos de seguridad en el trabajo y para la prevención de la contaminación y la recuperación del medio ambiente” (SEMIP, 1993) (apéndice A2). Es deseable que a la par de estas leyes, los estímulos fiscales para obras de restauración sean atractivos.

Tabla 13. Resumen: especies, características físico-químicas y concentración de metales pesados para cada jal.

Jal.	Especies	Características físico-químicas	Metales pesados (ppm)	Disponibilidad (d) (%)
Valenciana-húmedo	<i>Achnanthes minutissima</i> , <i>Arachnaria variabilis</i> , <i>Asterionella formosa</i> , <i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Chlorococcum</i> cf. <i>perforatum</i> , <i>Cocconeis plicatula</i> , <i>C. plicatula</i> var. <i>lineata</i> , <i>Diatomocapsa</i> cf. <i>boceillata</i> , <i>Epithemia sores</i> , <i>Fraxillaria construens</i> , <i>F. construens</i> fo. <i>binodis</i> , <i>F. construens</i> fo. <i>venier</i> , <i>Comphonema clavatum</i> , <i>G. parvulum</i> , <i>Hantzschia amphioxys</i> , <i>Leptodirebra foventium</i> , <i>Navicula confinis</i> , <i>N. minutula</i> , <i>N. phyllepa</i> , <i>N. veneta</i> , <i>Neosporogococcum</i> sp. 2, <i>Nitzschia capitellata</i> , <i>N. clausi</i> , <i>N. gracilis</i> , <i>N. jardi</i> , <i>N. palea</i> , <i>N. cf. sublineatis</i> , <i>Phormidium willeyi</i> , <i>Pinnularia viridis</i> , <i>Rhopalodia gibbera</i> , <i>Scenedesmus absiformis</i> , <i>S. spinosus</i> , <i>Saurastrum</i> sp.	Jal húmedo, actual, de textura franco-limosa y pH ligeramente alcalino; exhibió los valores más altos de conductividad, salinidad, carbonatos (aceptables para suelos agrícolas) y concentración total y disponible de Cu y Pb (en niveles tóxicos) y Mn, así como la fracción disponible de Cd y Zn; no se detectó Cr. Por todo lo anterior, se considera el jal más dañil de los tres descritos solitos en estudio. Representa una situación crítica, dada la elevada concentración de las fracciones disponibles de Cd, Cu, Pb y Zn.	Cd: 3.75 Cr: ND Cu: 116.77* Mn: 1287 Pb: 25.55 Zn: 103.73	Cd: 0.29 Cr: - Cu: 21.81 Mn: 13.49 Pb: 25.55 Zn: 103.73
Valenciana-seco	<i>Achnanthes minutissima</i> , <i>Asterionella formosa</i> , <i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Banella dentifolia</i> , <i>E. setigera</i> , <i>Fraxillaria construens</i> y las formas binodis, <i>construens</i> y <i>venier</i> , <i>Comphonema parvulum</i> , <i>Hantzschia amphioxys</i> , <i>Navicula pupula</i> , <i>N. palea</i> , <i>Scenedesmus eornis</i>	Jal antiguo, de textura franca, pH ligeramente alcalino, la menor CIC y las mayores cantidades de Cd y Zn, que están por encima de los valores recomendables para suelos agrícolas; tóxico por estos metales y por Pb.	Cd: 6.23* Cr: 44.32 Cu: 95.2 Mn: 1293 Pb: 94.68* Zn: 2829*	Cd: 0.19 Cr: 0.04 Cu: 4.54 Mn: 9.09 Pb: 11.73 Zn: 92.52
Pozúcos	<i>Achnanthes minutissima</i> , <i>Adiantum</i> sp., <i>dumbosa</i> var. <i>viridis</i> , <i>Asterionella formosa</i> , <i>Alubaseta granulata</i> , <i>A. italica</i> , <i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Chlorella</i> sp., <i>Cocconeis plicatula</i> var. <i>euglypta</i> , <i>Cymbella cincta</i> , <i>Denticula</i> sp., <i>Fraxillaria construens</i> y las formas binodis, <i>construens</i> y <i>venier</i> , <i>Comphonema clavatum</i> , <i>G. parvulum</i> , <i>Hantzschia amphioxys</i> , <i>Neosporogococcum</i> sp. 1, <i>Neosporogococcum</i> sp. 2, <i>Neosporogococcum</i> sp. 3, <i>Navicula pupula</i> , <i>Nitzschia frustulum</i> , <i>N. palea</i> , <i>Phormidium willeyi</i> , <i>Fossilodendrea caltonata</i> , <i>Scenedesmus eornis</i> , <i>S. similis</i> sp., <i>Saurastrum</i> sp.	Jal antiguo, de textura franca, pH ligeramente alcalino, con elevada CIC; manifestó las concentraciones más altas de Pb y las menores de Mn y Cd. Tóxico por Pb y Zn.	Cd: 2.44 Cr: 81.22 Cu: 61.55 Mn: 883.5 Pb: 165.22* Zn: 1492*	Cd: 0.07 Cr: 0.03 Cu: 1.94 Mn: 2.86 Pb: 6.10 Zn: 33
Las Torres	<i>Achnanthes minutissima</i> , <i>Asterionella formosa</i> , <i>Autococlea italica</i> , <i>Autococlea</i> sp., <i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Chlorococcum</i> cf. <i>perforatum</i> , <i>Cocconeis plicatula</i> , <i>C. plicatula</i> var. <i>euglypta</i> , <i>Cymbella cincta</i> , <i>C. nitida</i> , <i>C. silicea</i> , <i>Denticula kuetzingii</i> , <i>Epithemia sores</i> , <i>Fraxillaria construens</i> y las formas binodis, <i>construens</i> y <i>venier</i> , <i>Goblenidococcus saccula</i> , <i>Comphonema clavatum</i> , <i>G. parvulum</i> , <i>Hantzschia amphioxys</i> , <i>Navicula capitellata</i> , <i>N. mutlex</i> , <i>N. phyllepa</i> , <i>N. veneta</i> , <i>Neosporogococcum</i> sp. 2, <i>N. sp. 1</i> , <i>Nitzschia capitellata</i> , <i>N. clausi</i> , <i>N. gracilis</i> , <i>N. frustulum</i> , <i>N. palea</i> , <i>Phormidium willeyi</i> , <i>Pinnularia viridis</i> , <i>Pinnularia</i> sp., <i>Pinnularia</i> sp., <i>Pinnularia</i> sp., <i>Rhopalodia gibbera</i> , <i>Rhopalodia gibbera</i> var. <i>sublineatis</i> , <i>Scenedesmus eornis</i> , sp. 1, <i>Sinuedra acus</i> , <i>S. ulina</i> , <i>Tetracapsa frustula</i> , <i>Thalassiosira pseudocana</i>	Jal líquido, actual, de pH neutro, elevada salinidad y concentración de metales pesados (Pb>Zn>Cd>Cr>Mn), todos sobre los límites permitidos por las normas mexicanas, excepto el Mn; no se detectó Cu.	Cd: 0.92* Cr: 0.58* Cu: ND Mn: 0.14 Pb: 15.8* Zn: 5.06*	

ND: no detectado, t. total, \*: sobre niveles tóxicos, permisibles o recomendados; las especies subrayadas son las exclusivas de cada jal.

## 7.2. CONCLUSIONES

Se ha reconstruido la ficoflora paratípica de los desechos mineros a partir de las condiciones distintivas de los cultivos, se ha caracterizado a los jales para un limitado número de parámetros físicos y químicos y se ha buscado relacionar los jales con las especies algales. De todo lo expuesto se pueden desprender las siguientes conclusiones:

En jales sólidos, ciertas características físicas y químicas hablan de un sustrato idóneo para el establecimiento de formas de vida; sin embargo, presentan estrés hídrico y las bajas concentraciones de materia orgánica así como los bajos valores de la CIC indican poca fertilidad, lo que favorece la lixiviación de los escasos nutrimentos e imposibilita la actividad microbiana. Ello sugiere que la ausencia de algas en jales sólidos puede deberse, más que a la presencia de metales pesados, a la ausencia de coloides orgánicos o minerales<sup>1, 2</sup>. Por su parte, los resultados de los análisis químicos del agua jalera de Las Torres explican, por sí mismos, la ausencia de algas expresadas vegetativa o reproductivamente: baja concentración de materia orgánica y elevadas concentraciones de metales pesados disponibles.

Las especies reportadas en este trabajo representan parte de la ficoflora potencial de los desechos mineros. La manipulación *in vitro* (los cultivos) alteró las condiciones naturales de un ambiente sumamente alterado, *per se*, posibilitando la expresión de las especies señaladas en la literatura como euritípicas y ubicuas, posiblemente en virtud de los amplios intervalos de tolerancia de las mismas. Entre éstas, nueve especies determinadas (la cianofíceae *Phormidium willei*; la clorofíceae *Chlorella vulgaris*, y las bacillariofíceas *Achnanthes minutissima*, *Cocconeis placentula*, *Hantzschia amphioxys*, *Nitzschia claussi*, *N. palea*, y *Rhopalodia operculata*, *Thalassiosira pseudonana*) y representantes no especificados de siete géneros (*Anabaena*, *Phormidium*, *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Gomphonema*, *Navicula* y *Nitzschia*) son referidas en la bibliografía como tolerantes a metales pesados.

Las causas que aclararan el por qué algunos cultivos presentaron mayor o menor número de algas no pueden ser dadas como conclusivas, ya que no se elaboraron controles ni se analizó el efecto de los cultivos y los metales pesados sobre las especies, entre otros.

<sup>1</sup> Las partículas finas de jales, determinadas como arcillas, parecen no poseer las propiedades físicas de coloides minerales, como lo indican los bajos valores de la CIC.

<sup>2</sup> Y que podrían estar indicando la falta de nutrimentos esenciales como N y P.

---

Contemplando la restauración de los jales mineros como el objetivo último, los resultados obtenidos de los análisis físicos y químicos indican que se trata de desechos heterogéneos, por lo que su restauración obliga a que sean atendidos considerando tales diferencias: antigüedad, ubicación e historia (método de beneficio, mineral parental beneficiado), estado hídrico (jales secos, húmedos y líquidos) y sus particularidades físicas y químicas. Más importante aún, se requiere pormenorizar los análisis de sus características de manera tal que se faciliten las interpretaciones que expliquen al conjunto de factores que determinan la ausencia de crecimientos algales en jales.

El empleo de algas para la restauración de los desechos mineros es una propuesta tentativa en tanto no se intensifiquen las investigaciones que abriguen este objetivo; aún así, considero que esta sugerencia es viable, hipótesis fundamentada en la presente construcción de una ficoflora paratípica asociada a desechos mineros.

## CONSIDERACIONES FINALES

*"Cosa que más que espero, deseo"*

Tomás Moro (*Utopía*)

---

## CONSIDERACIONES FINALES

---

El presente es un trabajo inconcluso que justifica la necesidad de intensificar estudios encaminados a la creación de propuestas de restauración de ambientes aparentemente inhóspitos, como los jales. Cualquier trabajo pionero en un área representa una aventura que, si se asume como tal, favorece la generación de conocimientos y abre campos de investigación; es justo recordar que el conocimiento es un proceso en construcción. Es por ello, que las andanzas por la ficoflora paratípica de los desechos mineros sólo logró motivarnos a continuar el estudio de los mismos, tomando en consideración las experiencias, los errores e interrogantes generadas.

La trascendencia de la construcción de una ficoflora bajo una concepción dinámica se inscribe en el reconocimiento de las floras como meta y punto de partida para futuros trabajos ficológicos (Novelo, 1985). Así, la ficoflora paratípica descrita en el presente adquiere un carácter predictivo, al vincular las especies determinadas y descritas a dichos depósitos, asentadas como antecedente y referencia en estudios posteriores (como investigaciones retrospectivas), independientemente de su expresión *in situ*; y como trabajo prospectivo, se trata de una investigación exploratoria, una caracterización general inicial que permite detectar dificultades de orden teórico, práctico y metodológico (Novelo, 1978; González-González, 1992)<sup>1</sup>. A continuación se sugieren algunas líneas de investigación bajo la concepción de *Flora Dinámica* (*sensu* González-González) para futuros trabajos en torno a la ficoflora de desechos mineros:

- a) Continuar la construcción de la ficoflora paratípica; describir las comunidades algales particulares a cada tipo de jal y las comunes a todos los jales (ambientes algales potenciales); detectar las condiciones que propician, sustentan y limitan los crecimientos visibles (Novelo, 1985).
- b) Desarrollar estudios ecofisiológicos de especies algales aisladas de cultivos con jales, que ayudará a comprender el o los factores que determina la manifestación, presencia, estancia, proporción, etc. (ficoflora paratónica).
- c) Analizar y sistematizar la información generada, dada su importancia como antecedente de trabajos ulteriores; identificar las algas como organismos asociados a cultivos de jales y dar

---

<sup>1</sup> El trabajo prospectivo es punto de partida de futuros proyectos y como tal debe incluir la caracterización fisiográfica general, la determinación y caracterización del ambiente estudiado, una lista florística preliminar y la evaluación de las estrategias para plantear estudios futuros (González-González, 1992)

cuenta de su abundancia, tiempos de manifestación, conspicuidad, entre otros parámetros (construir la ficoflora paratópica).

La integración de la información obtenida en los incisos anteriores posibilitará inferir la respuesta de las algas en los desechos mineros (no en cultivos) y, paralelamente, la alteración que estos ambientes experimentarán al ser colonizados; así mismo, la experimentación *in vitro* generará bases teóricas para el diseño de métodos de experimentación *in situ* con intencionalidad resolutoria. A continuación se propone conducir diferentes líneas de investigación y trabajo *in situ*, de manera tal que permitan:

- d) Reconocer las condiciones del medio bajo las cuales se desarrollan las comunidades algales; reconocer la identidad de las especies que conforman dichas comunidades, considerando al jal como un ambiente algal (ficoflora típica)<sup>1</sup>.

La importancia de este nivel de integración es que posibilita clasificar a los jales en relación al tipo de comunidades algales, lo cual será particularmente útil para definir poblaciones o comunidades indicadoras, por ejemplo.

- e) Explicar el conjunto de condiciones del ambiente algal en relación a la expresión de (ciertas) especies (ficoflora tónica)<sup>2</sup>.

Este nivel de integración implica dar cuenta de la identidad de las especies (y los criterios para su identificación) y sus variaciones en relación a los cambios en el medio; por lo tanto, permite conocer el potencial adaptativo de las especies (González-González, 1992).

- f) Analizar y sistematizar la información relativa a comunidades algales de jales: entidad de las especies, su abundancia, conspicuidad, temporalidad, además de la caracterización de los jales como ambiente algales (Novelo, 1985) (flora tónica)<sup>3</sup>.

- g) Evaluar el desarrollo de la ficoflora en jales, ambientes algales, como ficoflora dinámica<sup>4</sup>

En relación al inciso (g) debe ser tomado en consideración que: (1) la flora es un evento de diversidad con una tendencia inercial de desarrollo; (2) la manifestación de las floras es heterogénea en virtud de las características del medio y en concordancia con su identidad genética, y (3) las algas, como cualquier ser vivo, poseen la capacidad de expresarse diferencialmente en su devenir espacio-temporal a través de las cualidades de alterarse, alterar

<sup>1</sup> Típica al ambiente (González-González, 1992).

<sup>2</sup> Tono de expresión (González-González, 1992).

<sup>3</sup> Flora propia de una región (*topos*) (González-González, 1992).

<sup>4</sup> Floras tónica, típica y tónica: flora dinámica (González-González, 1992)

y ser alteradas (González-González, 1992). Al describir y analizar el desarrollo de algas en el jal, es posible monitorear el desarrollo de la restauración (si está dirigiéndose por el camino deseado); más aún, cuál es el impacto de las algas sobre el jal: de qué manera lo están alterando y si esta alteración del ambiente aseguran la permanencia de ciertas especies, el reclutamiento de otras y, posteriormente, la invasión de organismos de otros grupos biológicos. En el caso concreto de los jales, la alteración de las algas debe garantizar que se mantengan bajas las concentraciones de metales pesados biodisponibles e incremente la cantidad de nutrimentos.

Concretamente, se recomienda iniciar con ensayos de laboratorio que refuercen la aproximación metodológica de experimentación en campo. Así, la expresión de algas en cultivos sugiere que éstas pueden ser empleadas en bioensayos (de restauración) como inóculos. Si al realizar dichos bioensayos se caracterizan físico-químicamente los jaleros bajo estudio, se elaboran cuantificaciones de parámetros para valorar las respuestas fisiológicas de las algas y el comportamiento de los metales en presencia de éstas, será más sencillo ir detectando los factores limitantes y los que estimulan el crecimiento de las algas *in vitro* y, paralelamente, evaluar el papel de las algas en la transformación de los jaleros. La conjunción de estos datos y resultados facilitará la predicción de respuestas en el campo, qué tan viable y benéfico será la colonización masiva de algas en los jales. Se sugiere:

- Cuantificar y evaluar parámetros que posibiliten interpretar la respuesta fisiológica de la comunidad algal en el bioensayo (demanda química y bioquímica de oxígeno, tasa de fotosíntesis, producción de oxígeno, producción de bióxido de carbono, por ejemplo).
- Hacer bioensayos bajo diversas condiciones experimentales (lotes con nutrimentos y lotes sin nutrimentos, variar la cantidad de agua, variar la concentración de carbonatos, entre otros).
- Describir y analizar la dinámica de las poblaciones y comunidades algales (riqueza específica, abundancia, conspicuidad, proporción de individuos de cada especie en diferentes etapas del ciclo vital u otras).
- Para que el bioensayo comience a ser integrativo, es recomendable atender las interacciones con otros microorganismos o por lo menos documentar la presencia de éstos; pues, por ejemplo, ciertos productos del metabolismo bacteriano y fúngico (como vitaminas o compuestos carbonados) estimulan el desarrollo de algunas especies algales e inhiben el de otras (Novelo, 1985).
- Los análisis físicoquímicos de los jales deben ampliarse a más parámetros, siendo especialmente necesarias las cuantificaciones de nutrimentos (N, P, Ca y otros), iones y



otros (metales pesados, metaloides, cianuros, reactivos químicos empleados durante el beneficio u otros) (Rosas, *Com. pers.*).

- Es recomendable realizar la caracterización física y química de los desechos antes y después de los bioensayos, a fin de conocer el comportamiento de los metales (movimiento, solubilidad, precipitación, porcentajes de disponibilidad, entre otros).

Resta decir que la restauración ambiental es una de tantas preocupaciones que nos incumben como civilización: la tasa con la que se generan nuevas zonas afectadas debe ser proporcional al ritmo de restauración. Simple ecuación. Finalmente, me tomaré la libertad de transcribir algunas palabras del poeta Bonnefoy que deseo compartir para así concluir:

La hierba y en la hierba agua que brilla, como un río.

Todo fue hecho para remendar el mundo siempre.

El paraíso está disperso, lo sé,

es tarea terrestre reconocer

sus flores diseminadas entre la hierba escasa,

(...)

De esta luz, que fue milagro aquí,

¿podremos recoger en nuestras manos sombrías

la semilla, para otros charcos,

en lo secreto de otros campos atestados de piedras?

El Adiós (fragmentos)

Yves Bonnefoy, 1987

CYANOPROKARYOTA *sensu* Komárek 1989

CYANOPHYCEAE Sachs 1874

OSCILLATORIALES Elenkin 1934

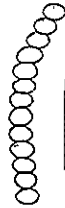
PSAEUDANABAENACEAE Anagnostidis et Komárek 1988

*Leptolyngbya* Anagnostidis et Komárek 1988

*Leptolyngbya foveolarum* (Gomont 1892) Anagnostidis et Komárek 1988

Geitler, 1932: pag. 999 fig.: 636b y Desikachary 1959: pag. 254 (= *Phormidium foveolarum* (Mont.) Gomont 1892).

Talo verde-oscuro. Filamento azul-verde, delgado, recto a ligeramente flexuoso; ápices no atenuados; tricomas constreñidos en los septos; septos no granulados; vaina incolora, muy delgada, no diferenciable; células con contenido homogéneo, no granuloso, isodiamétricas, eséricas, algunas más cortas que anchas; célula apical redondeada y sin caliptra. Largo (L) y ancho (A) de células: de 1 a 2  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Valenciana-húmedo. Ambientes: En cuerpos de agua periódicos, suelos húmedos de trigales, suelos desérticos y de zonas áridas, bajo costras de yeso (Durrel, 1962 y 1964); sobre rocas en orillas de corrientes; en aguas negras o sucias, ambientes subaéreos (Geitler, 1932; Desikachary, 1959); crece en tapetes, en suelos (Novelo, 1998). Formas de vida: Edáfica, plánctica, epifitas. Distribución mundial: África, Europa, Norteamérica (Geitler, 1932; Durrel, 1962), India (Desikachary, 1959); Argentina, Polonia, Rusia (cit. Novelo, 1998). Distribución en México: Puebla (Novelo, 1998). Observaciones: En medio basal Bold (MBB), sólidos y líquidos; cultivos de muestras de jales colectados en la estación de lluvia.

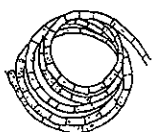


*Planktolyngbya* Anagnostidis et Komárek 1988

*Planktolyngbya contorta* (Lemmerman 1893) Anagnostidis et Komárek 1988

Geitler 1932: pag. 1043 (= *Lyngbya contorta* Lemmerman 1893). Anagnostidis et Komárek, 1988: pag. 394. Tricomas simples, muy largos, enrollados; vaina delgada, incolora; células más largas que anchas; sin constricciones en los septos, con un granulo o sin éste; célula apical cónica, no atenuada. L X A células: 3.23 a 3.33 X 2.4 a 2.9  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Las Torres. Ambientes: Lagos,

tanques; aguas dulce (Desikachary, 1959), salobres y mar (Geitler, 1932). Formas de vida: Plánctica, libre flotadora. Distribución mundial: África, Europa, Norteamérica (Geitler, 1932); India (Desikachary, 1959). Distribución en México: no se encontró registro. Observaciones: Exclusiva de Torres, estación de lluvias, en ambos medios y fases.



*Planktolynghya subtilis* (Lemmerman 1898) Anagnostidis et Komárek 1988

Desikachary, 1959: pag. 294, fig. 50: 11 (= *Lynghya limnetica* Lemmerman 1898). Anagnostidis et Komárek. 1988

Filamentos verde pálido, rectos a ligeramente curvos, simples; vaina delgada, incolora; células más o menos rectangulares cilíndricas con relación largo/ancho 1/3; sin constricción en septos; con o sin gránulos citoplasmáticos, de estar presentes, en septos; célula apical redondeada, no atenuada, sin caliptra. L células: de 1.16 a 2.16  $\mu\text{m}$ . A células: de 2.05 a 2.94  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Torres. Ambientes: Dulceacuicola y agua salobres. Suelos, lagos y charcos (Desikachary, 1959). Formas de vida: Plánctica, epífita de algas (Geitler, 1932). Distribución mundial: Cosmopolita (Geitler, 1932). Distribución en México: no se encontró registro. Observaciones: En MBB y Chu-10, sólidos y líquidos; sólo colectas de la estación de lluvia.

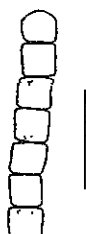


*Pseudanabaena Anagnostidis et Komárek 1988**Pseudanabaena catenata* Lauterborn 1915

Geitler. 1932: pag. 932, fig. 596a

Tricoma azul-verde, a veces pardo claro; con unas cuantas células claramente más separadas, vivas; sin vaina; células cilíndricas, la apical redondeada, no atenuada; ambos ápices redondeados.

L y A células: de 3 a 2  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Pozuelos. Ambientes: lagos y estanques (Desikachary, 1959). Formas de vida: Plánctica, formando lamas (Geitler, 1932; Desikachary, 1959). Distribución mundial: Cosmopolita (Geitler, 1932). Distribución en México: no se encontró registro. Observaciones: Exclusiva en Pozuelos; ambas estaciones, ambos medios de cultivo, ambas fases (sólido y líquido).



## PHORMIDIACEAE Anagnostidis et Komárek 1988

## PHORMIDIOIDEAE Anagnostidis et Komárek 1988

*PHORMIDIUM* Kützing ex Gomont 1892*Phormidium willei* (Gardner) Anagnostidis et Komárek, 1988

Anagnostidis y Komárek. 1988: pag. 404

Filamentos verde amarillento, rectos a curvos; células cilíndricas; citoplasma con gránulos, grandes, concentrados; sin gránulos en los septos; sin aerotopos; constricciones muy tenues en los septos; septos delgados; ápice recto o ligeramente curvo; célula apical tan ancha como las demás, redondeada; sin caliptra. L y A células: de 2.74 a 3.33  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Valenciana húmedo y tular; Pozuelo, Torre. Ambientes: Ríos. Según Durrell (1964) y Gale *et al.* (1979) las especies de este género son comunes en suelo y sobre rocas. Formas de vida: Crece en películas filamentosas; epipélica de ríos (Novelo, 1998). Distribución en México: Puebla (Novelo, 1998). Observaciones: En ambas estaciones, ambos medios de cultivo y ambas fases, excepto en

Valenciana zona húmeda: sólo creció en MBB y a partir de muestra de la estación de lluvia; no se manifestó en cultivos de Valenciana seco. Especies común para los jales bajo estudio.



NOSTOCALES (Borzi 1914) Geitler 1925

NOSTOCACEAE Dumont 1829

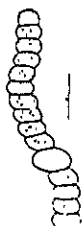
ANABAENOIDEAE (Bornet et Flahault) Kirchner 1900

*ANABAENA* Bory ex. Bornet et Flahault 1886

*Anabaena variabilis* Kützing et Bori 1843

Geitler 1932: pag. 376, fig. 558 y Desikachary. 1959: pag. 410, fig. 71:5

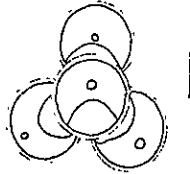
Tricomas formando un flóculo verde. Tricoma flexuoso, sin vaina; septos con constricciones tenues; células con forma de barril, a veces con aerotopos; célula apical cónica; heterocitos redondos o en forma de barril, más o menos frecuentes, separados por 8 a 10 células. L células: de 2.55 a 4.9  $\mu\text{m}$ ; A células: 5.08 a 5.8  $\mu\text{m}$ ; L de heterocitos: de 6.3 a 7  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Pozuelos y Valencianas. Ambientes: Dulceacuícola en aguas fertilizadas o limpias; aguas salobres, en suelos húmedos; ríos, corrientes, charcos, estanques (Geitler, 1932; Desikachary, 1959); suelos arenosos, sobre costras de sal (Durrel, 1962). Distribución mundial: Cosmopolita (Geitler, 1932; Desikachary, 1959). Distribución en México: Estado de México (Ortega, 1984). Observaciones: Sólo se manifestó en cultivos líquidos; particularmente en MBB líquido para las muestras de Valenciana y en ambos medios de cultivo de las muestras de Pozuelos.



CHLOROPHYTA (Chlorophycota *sensu* Silva 1982)CHLOROPHYCEAE Kützing 1843 (*sensu* Silva 1982)

## Sp. 1

Células grandes, en cenobios tetraédricos o hilera de 4, donde las células tienen un arreglo alternado. Célula individual esférica; cloroplasto no liso, en forma de copa, basal o, en células maduras, parietal completamente cerrado, con orificios muy pequeños; un pirenoide esférico, muy visible, cojinetes no evidentes. Zoosporas elípticas, con dos flagelos idénticos, cloroplasto en copa, basal; estigma pequeño y vacuola prominente apicales; zoosporangios con 2-4 zoosporas. Diámetro (D) células: 18 a 20  $\mu\text{m}$ ; L X A zoosporas: 10 a 15 X 10 a 15  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Torres. Observaciones: Sólo en cultivos de MBB líquido, de época de lluvias. Parece una *Chlamydocapsa*, pero carece de una matriz común al conjunto de células.

CHLOROCOCCALES Marchand 1895 (*Sensu* Ettl et Gärtner 1988)

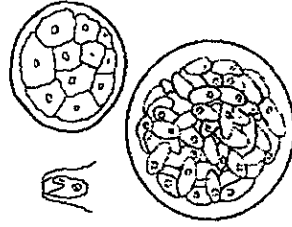
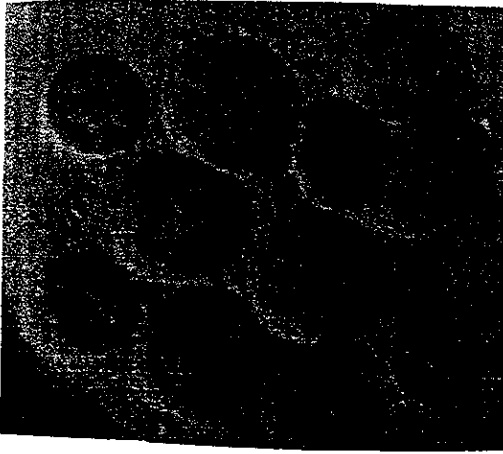
## CHLOROCOCCACEAE Blackman et Tansley 1902

## CHLOROCOCCUM Meneghini 1842

*Chlorococcum* cfr. *perforatum* Arce et Bold 1958

Ettl y Gärtner 1988: pag. 203, fig. 142

Células maduras completamente esféricas, con o sin vacuola central; cloroplasto forma de urna, perforado, con orificios subesféricos; un pirenoide que, cuando se ve, es subesférico, continuo. Células juveniles más o menos esféricas. Aplanosporas elípticas, pirenoide excéntrico (a basal); zoosporas con flagelos más grandes que cuerpo celular, cloroplasto parietal, pirenoide continuo y excéntrico, estigma lateral, vacuola contráctil apical; con pared celular. Hasta 8-16 aplanospora por esporangio y zoosporas. División celular simultánea. D células esféricas: 6.86 a 16.41  $\mu\text{m}$ ; L X a de aplanospora y zoosporas: 5 a 7 X 2.19 a 3.53  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Las Torres, Valenciana-húmedo y tular. Observaciones: La especie, para ser determinada, debe ser confrontada con los cultivos a partir de los cuales se describió al tipo. Se aisló de flóculos en interfase agua-aire o suspendidas en medio líquido. Se observó en MBB y Chu-10, líquidos; se aisló en cultivo sólidos para ambos medios de cultivo; se manifestó después de 5 a 6 días de reinocularse. De estaciones seca y de lluvia. En Valenciana-húmedo y Las Torres (Foto 1000 X).



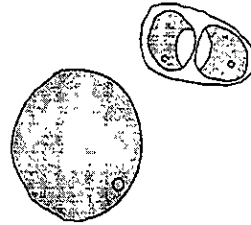
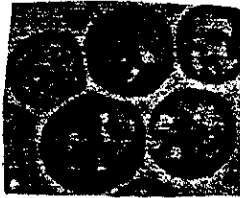
División celular, esporangio y zoospora.

*NEOSPONGIOCOCCUM* Deason 1971

*Neospongiococcum* sp. 1

Células maduras esféricas, pared celular gruesa; cloroplasto no liso, en urna, con orificios largos a manera de ranuras; pirenoide único, pequeño, continuo. Esporangio con hasta cuatro células. D: 3.61 a 6  $\mu\text{m}$ ; L X A: 3.6 X 2.85 a 7.51 X 8  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Pozuelos.

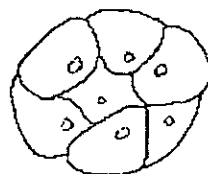
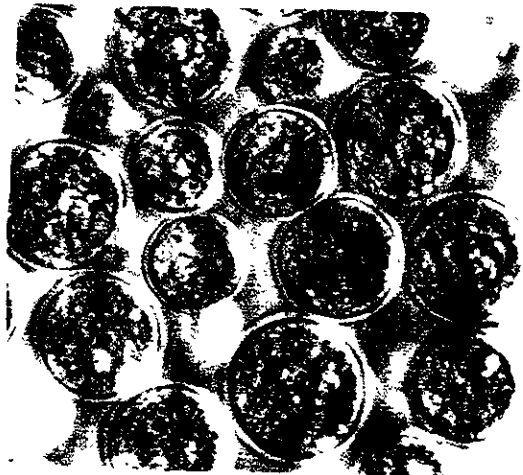
Observaciones: Exclusivamente en cultivos con jal de Pozuelos de la estación de lluvia; MBB y Chu-10, líquidos y sólidos; se aisló en MBB sólido (Foto 1000X).



*Neospongiococcum* sp. 2

Células maduras esféricas, cloroplasto esponjoso; pirenoide poco evidente, completo o con cojinetes e almidón no completamente cerrados, de manera que aparentan formar una "u". Células juveniles esféricas a elípticas, con cloroplasto en urna, esponjoso, no rugoso y pirenoide continuo. Zoosporas ovales, muy alargadas, con dos flagelos más grandes que el cuerpo, sin pared celular; cloroplasto parietal; estigma lateral, subapical, muy pequeño; vacuola contráctil apical. Zoosporangios de 2-4-8 ó 32 células ovales, largas. Esporangio con hasta 8 células; se rompe en dos gajos con ranura completa. Se observó fusión de gametos, apical. D: 6.8 a 13.43  $\mu\text{m}$ ; L hasta 6.67  $\mu\text{m}$ ; D zoosporangios: 6.2 a 7  $\mu\text{m}$ ; L X A zoosporas: 5.9 a 7.1 X 2.4 a 3  $\mu\text{m}$ .

Distribución en Jales: Pozuelos, Torres; Valenciana-húmedo y tular. Observaciones: Se manifestó en MBB y Chu-10; sólidos y líquidos; ambas estaciones. Se aisló en MBB sólido, en cuatro ocasiones; 6-7 días después de reinocularse, se manifestó en la estria del agar (Foto 1000X).



División celular



Zoosporas

*Neospongiococcum* sp 3

Células maduras elípticas, con cloroplasto esponjoso, muy rugoso y con orificios muy pequeños, pirenoide poco evidente. Células juveniles esféricas; cloroplasto de urna, rugoso, con orificios ligeramente mayores. D: 5.2 a 6  $\mu\text{m}$ ; L: hasta 6.7  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Pozuelos, Torres; Valenciana-tular. Observaciones: en MBB, exclusivamente, sólido y líquido; estación de lluvia en Valenciana y Torres y ambas estaciones en Pozuelos. Se aisló en MBB sólido (Fotos 1000X).





## TETRACYSTIDACEAE Ettl et Komárek 1982

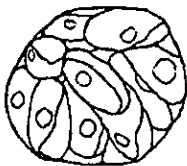
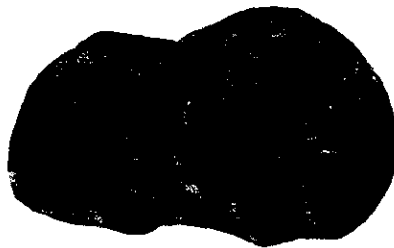
*TETRACYSTIS* Brown et Bold 1964*Tetracystis* cfr. *fisurata* Brown et Bold 1964

Ettl y Gärtner, 1988: pag. 285, fig. 219

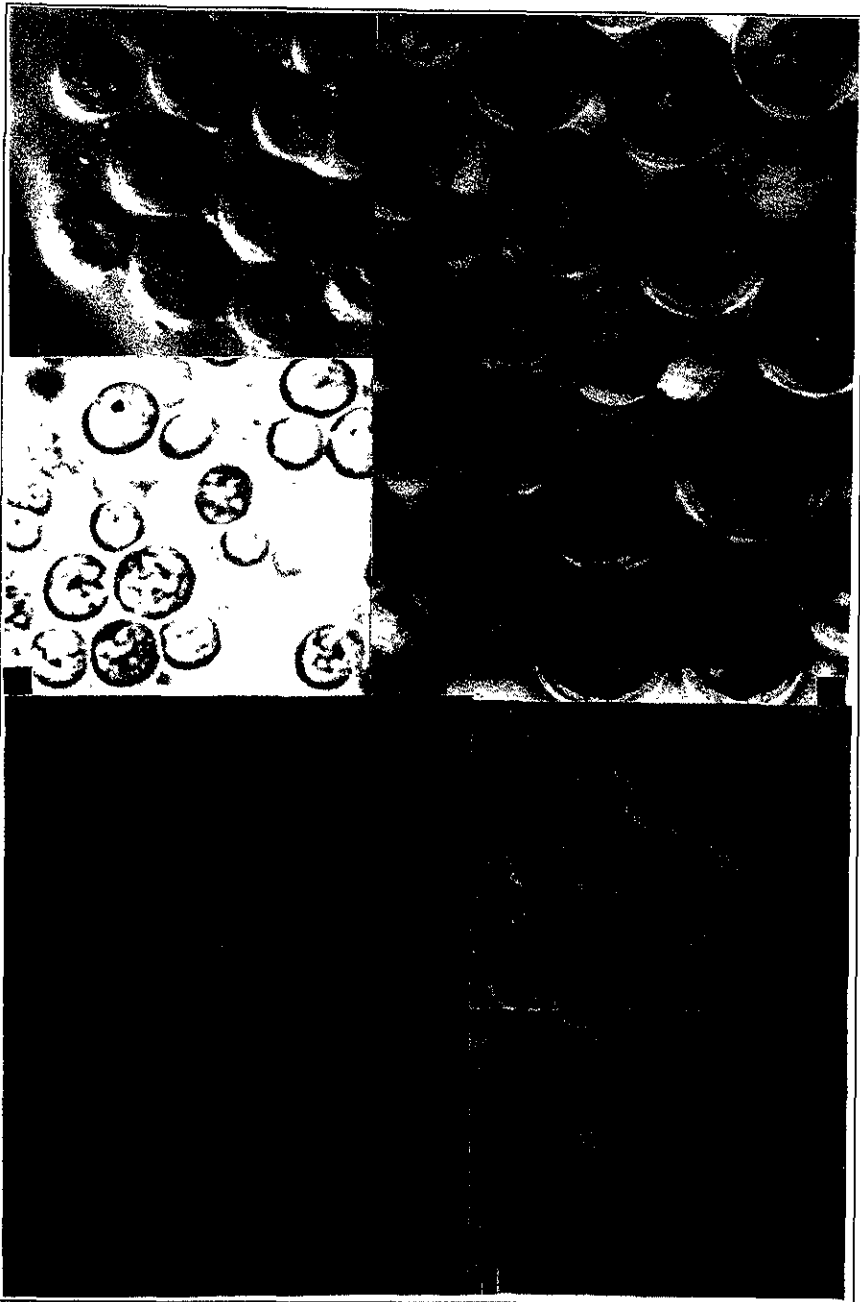
Células adultas esféricas a subesféricas y células juveniles semielípticas, uninucleadas; cloroplasto de copa, rugoso y perforado por ranuras; orilla del cloroplasto con ranuras; pirenoide oval a esférico, prominente, continuo o con dos cojinetes (oval), a veces indistinguible. Se observa agrupación globosa de 4 a 8 células, en diferentes fases de desarrollo (maduras, o en división); zoosporangio con 16 a 32 células. Aplanosporas con cloroplasto parietal, un pirenoide central. Zoosporas elípticas, pequeñas, con cloroplasto parietal, con un pirenoide más o menos céntrico, vacuola y estigma apicales. D células: 8.04 a 17.05  $\mu\text{m}$ ; D esporangio: 26.03  $\mu\text{m}$ ; L X A células juveniles: 5.8 a 7.6 X 3.61 a 4.66  $\mu\text{m}$ ; L X A aplanosporas: 3.14 a 6.18 X 2.42 a 3.61  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Torres. Observaciones: Tomado de flóculos verde oscuro del fondo de matraz de cultivo. Creció en MBB y Chu-10, ambas fases, a partir de muestras del jal pozuelos de ambas estaciones, sólo ausente en MBB sólido de estación seca (Foto 1000X).



Célula adulta



Esporangio



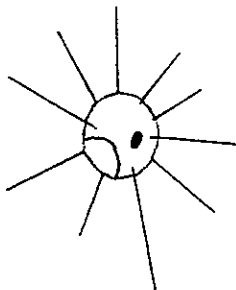
1: *Chlorococcum* cfr. *perforatum*, 2: *Neosporogloecium* sp. 1; 3: *Neosporogloecium* sp. 2; 4: *Neosporogloecium* sp. 3; 5: *Tetracystis* cfr. *fissurata*.

## MICRACTINIACEAE (Brunthaler) G. M. Smith 1950

*GOLENKINIOPSIS* Korsikov 1953*Golenkiniopsis parvula* (Voronichin) Korsikov 1953

Komárek y Fott, 1983: pag. 330, fig. 98:4

Célula esférica con 8-10 espinas radiales, finas (aunque en campo oscuro se aprecian más gruesas), de diferente tamaño. Cloroplasto parietal, de copa con un pirenoide semielíptico. Diámetro de célula: de 5.23 a 6.75  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Torres, Valenciana-tular. Ambientes: Agua dulce, corrientes, ríos; aislada de muestras de suelo. Formas de vida: Plánctica. Distribución mundial: Estados Unidos, Finlandia, India. Distribución en México: No hay registro. Observaciones: Exclusiva de agua jalera. En MBB, sólido y líquido; ambas estaciones.



## SCENEDESMACEAE Oltmanns 1904

*DIDYMOCYSTIS* Korsikov 1953*Didymocystis* cfr. *bicellularis* (Chodat) Komárek 1973

Komárek y Fott, 1983: pag. 307, fig. 223-7

Cenobio con par de células ovales a cilíndricas, polos cónicos redondeados; cloroplasto parietal, no liso, y un pirenoide esférico, poco evidente; pared celular lisa, algunas con costilla media muy tenue, a lo largo de eje longitudinal. L X a: 5.29 a 7.22 X 2.92 a 4.03  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Pozuelos, Valenciana-húmedo. Ambientes: Dulceacuicola. Formas de vida: Plánctica, perifítica. Distribución mundial: Europa central. Distribución en México: No hay registro. Observaciones: MBB y Chu-10 líquidos; estación de lluvia.



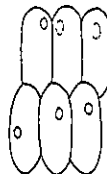
*SCENEDESMUS* Meyen 1829

*Scenedesmus disciformis* (Chodat) Fott et Komárek 1960

Komárek y Fott, 1983: pag. 830, fig. 226:2

Cenobio; 2 a 8 células, alineadas más o menos alternadas; células ovales, cilíndricas, de polos redondeados; sin costillas ni ornamentaciones; ocasionalmente, las células superiores pueden estar desplazadas un poco debajo o, tentativamente, por encima de las otras y pueden presentar cierta concavidad, con un pirenoide redondo, excéntrico. L: 7.84 a 12.8  $\mu\text{m}$ ; a: 5.10 a 7.4  $\mu\text{m}$ .

Distribución en Jales: Pozuelos, Valenciana-húmedo. Ambientes: Dulceacuícola de diferentes tipos de agua; charcos, estanques, lagunas y ríos eutrificados. Formas de vida: Plánctica; perifítica (Comas, 1984). Distribución mundial: Cosmopolita. Distribución en México: no hay registro. Observaciones: MBB líquido, exclusivamente; estación lluvia Pozuelos y ambas para Valenciana.

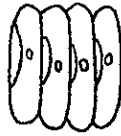


*Scenedesmus ecornis* (Ehrenberg) Chodat 1926

Komárek y Fott, 1983, pag. 826, fig. 225: 1

Cenobios planos, un poco curvos, de 4 a 8 células en una hilera o con células ligeramente alternadas, siguiendo la dirección del eje principal. Células elípticas, cilíndricas, con ápices redondeados, todas iguales. Pared celular gruesa, sin ornamentaciones. Cloroplasto laminar, un pirenoide céntrico o basal. L X a: 4.31 a 14 X 2.79 a 6.84  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales Pozuelos, Torres, Valenciana-seco. Ambientes: Gran diversidad de ambientes acuáticos; eutrófico, mesosapróbico. Charcas y arroyos de agua dulce alcalina ligeramente enriquecida en nutrientes (Aboal, 1988). Ambientes mixtos, ríos, arroyos, canales (Novelo, 1998); lagos turbosos, estanques (cit Novelo 1998). Formas de vida: plánctica, epipélica, perifiton. (Novelo 1998). Distribución mundial: Cosmopolita Distribución en México: Puebla (Novelo, 1998); San Luis Potosí (SLP)

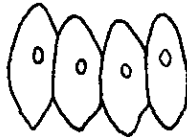
(Carmora, 1990). Observaciones: MBB líquido; estación de lluvias en Torres, seca Valenciana y ambas en Pozuelos.



*Scenedesmus similagineus* Hartobágyi 1960

Komárek y Fott. 1983, pag. 856, fig. 231: 5

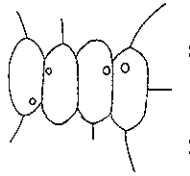
Cenobios planos con 4 a 8 células más o menos alineadas. Células fusiformes hasta elipsoidales, de superficie plana; un ápice redondeado, el otro más estrecho y con una pequeña papila. Sin ornamentación en pared celular. Cloroplasto laminar, un pirenóide redondo y excéntrico. L x a: 7.5 a 16 X 4 a 5.8  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Pozuelos. Distribución mundial: Francia, India, Hungría (Komárek, 1983). Distribución en México: no se encontró registro. Observaciones: Exclusiva de Pozuelos, MBB líquido y estación de lluvia



*Scenedesmus spinosus* Chodat 1913

Komárek y Fott. 1983, pag. 926, fig. 248: 11

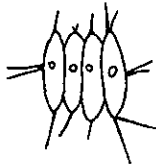
Cenobio con 2 a 4 células, lineal o células muy ligeramente alternadas, más o menos elípticas a cilíndricas; polos extendidos a manera de bóveda, redondas, de donde parte una espina, generalmente en todas las células, aunque más generalmente en células marginales, las cuales, además, suelen presentar 1 ó 2 espinas en margen libre y en posición media o subapical. Espinas de diferentes longitudes, las mayores tienden a curvarse. Un cloroplasto laminar. Dimensiones: L x a: 5 a 15 X 3 a 7  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Pozuelos, Valenciana-húmed. Ambientes: Diferentes tipos de cuerpos de agua, principalmente en regiones cálidas; frecuentes formando agregados o diseminadas. Formas de vida: Perifítica, pláncica (Comas, 1984), Distribución mundial: Cuba, Francia, India, Suiza. Distribución en México: no se encontró registro. Observaciones: Para ambos jales en MBB líquido y las dos estaciones de colecta.



*Scenedesmus tenuispinus* Chodat 1926

Komárek y Fott. 1983, pag. 916 fig. 247: 1

Cenobio con 2 o 4 células, lineal. Células ligeramente elípticas a cilíndricas, con ápices cónicos, de bóveda, redondeados. Todas las células idénticas, pero las células de la orilla con ápices muy ligeramente inclinadas hacia el exterior, por lo que el cenobio parece curvo. Células centrales con hasta 4 espinas cortas apicales; espinas de células de las orillas cortas o aproximadamente tan largas como el cuerpo celular; estas células externas, presentan además 1 ó 2 espinas ecuatoriales más cortas y finas. L: 8.62  $\mu\text{m}$ ; a: 4.61  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Pozuelos. Ambientes: Dulceacuicola de cuerpos de agua pequeños. Formas de vida: Plánctica. Distribución mundial: Checoslovaquia, Francia, Suiza. Distribución en México: no hay registro. Observaciones: Exclusivamente en Pozuelos, medio líquido y estación de lluvia; en MBB y Chu-10. Única especie del género que creció en Chu-10.



CHLOROPHYCEAE

CHLORELLALES Bold et Wynne 1978

CHLORELLACEAE (Willei) Brunthaler 1915

CHLORELLA Beijerinck 1890

*Chlorella vulgaris* Beijerinck 1890

Komárek y Fott. 1983, pag. 594, fig. 168

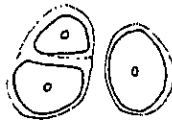
Células solitarias, elipsoidales (jóvenes) a esféricas (adultas); cloroplasto en forma de copa, parietal; un pirenoide con 2 a 5 gránulos de almidón, en posición lateral a la abertura del cloroplasto. Multiplicación mediante 2, 4 ú 8 autoesporas elipsoidales, todas del mismo tamaño; la pared celular materna se rompe en 2 ó 4 gajos más o menos triangulares que persisten unidos después de la liberación de las esporas. Vacuolas grandes de lípidos en células viejas. D: 5.04 a

8.42  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Todos. Ambientes: Especie ubicua. Suelos de zonas áridas, dunas de arena, suelos de praderas, lagos, lagunas de estabilización, ríos, estanques (cit Novelo 1998); en suelo con pH de 5.5 a 6.4 (Durrell, 1962); resistente al As, Cd y Zn (Maeda *et al.*, 1990); en desechos mineros con alto contenido de Fe, Cu, Pb y Zn (Foster, 1982). Formas de vida: edáfica, planctónica, epífita (cit Novelo 1998). Distribución mundial: Cosmopolita. Distribución en México: D.F. (Ortega, 1984), Morelos (Hernández-Becerril y Tapia, 1987), Puebla (Novelo, 1970, 1985, 1998); Isla de Cozumel, Q. Roo (Durrell, 1964). Observaciones: Se manifestó en todos los cultivos.



*Chlorella* sp.

Célula aisladas o agrupadas, aveces en colonias con células fuertemente unidas en mucilago común, estratificado o lamelado. Células esféricas a ligeramente elípticas; pared celular delgada, lisa; un cloroplasto de copa, en posición central, masiva; pirenoide esférico, lóbulos, protuberantes. Reproducción mediante autoesporas, por división continua del protoplasma; autoesporas más o menos elípticas; 8 a 16 autoesporas por esporangio. Distribución en jales: Pozuelos. Observaciones: Exclusivamente en Pozuelos, MBB sólido y líquido, y estación de lluvias.



CHAETOPHORALES *sensu* Bourrelly 1966 Non. Printz 1927 et 1964

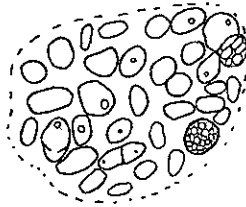
CHAETOPHORACEA (Hurv.) De-Toni et Levi 1888

PLEURASTRUM Chodat

*Pleurastrum* sp

Células subesféricas, piriformes u ovales; talo pseudoparenquimatoso, laminar, no compacto, de hasta dos células de espesor, de arreglo irregular a más o menos lineal, en vaina gelatinosa; cloroplasto completo, ocupa prácticamente todo el citoplasma, liso, con un solo pirenoide circular y prominente. Esporangios esféricos con 4 a 8 células ovales, localizados interna o marginalmente. D: 4 a 6  $\mu\text{m}$ ; L X A: 9 a 12 X 5 a 7  $\mu\text{m}$ . Distribución en jales: Las Torres.

Observaciones: Se desarrolló exclusivamente en cultivos de Las Torres, estación de lluvias y en medio sólido (MBB y Chu-10).



ZYGNEMAPHYCEA Borger et Pascher 1913

DESMIDIALES Bourrelly 1972

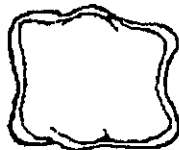
DESMIDIACEA Bourrelly 1972

*STAUSTRUM* Meyen 1829

*Staurastrum* sp.

Célula pequeña, tetragonal o pentagonal, ligeramente más larga que ancha; constricción media tenue, poco evidente; semicélulas cuadradas, cuneiformes; margen lateral siempre vertical o divergente, estrechándose en ángulos redondeados que forman lóbulos; margen apical cóncavo, con lóbulo intramarginal; pared celular lisa en células de mayor talla y con orificios marginales las menores. L y A: 7 a 9  $\mu\text{m}$ . Distribución en jales: Valenciana-húmedo y zona de tular.

Observaciones: Se presentó en MBB, líquido, de la estación de lluvia. Se observó las primeras cuatro semanas en los cultivos. Se parece a *Staurastrum minutissima*, especie que ha sido reportada para Alsaka y Europa (Prescott *et al.*, 1981).





BACILLARIOPHYCEAE Fritsch 1953, sensu Simonsen 1979 in Krammer et Lange-Bertalot 1986-1991 et sensu Hoek, Mann et Jahn 1995

CENTRALES Kirchner 1878

COSCINODISCINEAE sensu Simonsen 1972

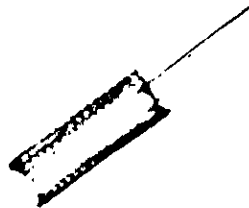
THALASSIOSIRACEAE Lebour 1930 emend. Hasle 1973

*AULACOSEIRA* Thwaites 1848.

*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen 1979

Krammer et Lange-Bertalot .1991a: pag. 23; fig. 19:5

Pseudofilamento ligeramente curvo y largo, frústulo cilíndrico, más largo que ancho; manto con espinas largas y hasta 8 espinas cortas, ornamentado con areolas gruesas, circulares, en disposición irregular: ligeramente oblicuas, perpendiculares o longitudinales; sulcus ligeramente más corto que pseudosulcus. Largo (L): de 7.6 a 18.82  $\mu\text{m}$ ; Ancho (A): de 6.6 a 7.06  $\mu\text{m}$ ; L sulcus: de 0.8 a 1.27  $\mu\text{m}$ ; L pseudosulcus: de 1 a 1.52  $\mu\text{m}$ ; L espinas largas: 16.37  $\mu\text{m}$ ; L espinas cortas: 3.23  $\mu\text{m}$ ; areolas en manto: 9 en 10  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Arroyo Pozuelos (García-Meza, 1997); Pozuelos. Ambientes: Dulceacuícola; en ríos, lagos, lagunas, cenotes, aguas termales, presas, estanques y manantiales; limnófila; oligohalobia a indiferente a la sal; alcalífila, pH de 6.3 a 9.0, óptimo 7.9 a 8.2; eutérmica, preferentemente en aguas tibias; oligo- a mesosapróbica; moderado requerimiento de oxígeno ( $\text{O}_2$ ) (sobre el 50% de saturación) eutrófica; autótrofa al N. Formas de vida: Béntica, plánctica, epilítica, perifítica. Distribución mundial: Cosmopolita. Distribución en México: Guanajuato (García-Meza, 1997); Morelos (Valadéz, 1998) Puebla (Novelo, 1998); Veracruz (Tavera, 1990; Vázquez, 1995). Observaciones: Ejemplares con manto maltratado, exclusivo de Pozuelos, MBB líquido y en ambas estaciones de colecta (foto 1000X).

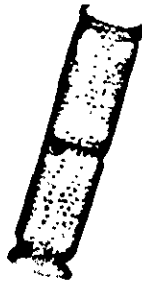


*Aulacoseira italica* (Ehrenberg) Simonsen 1979

Krammer et Lange-Bertalot. 1991a; pag. 22; fig. 18:5

Pseudofilamento curvo; frústulos más largos que anchos; espinas largas ausentes; estrias finamente arcoladas y con disposición ligeramente espiral a lo largo del manto; areolas

circulares; sulcus y pseudosulcus sensiblemente estrechos y poco evidentes; pared relativamente delgada. L: de 8.08 a 10  $\mu\text{m}$ ; A: de 6 a 6.08  $\mu\text{m}$ ; L sulcus: de 0.7 a 1  $\mu\text{m}$ ; estrias: de 16 a 17 en 10  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Pozuelos, Torres. Ambientes: Principalmente en cuerpos de agua y raramente en zonas húmedas. En mar, ríos, lagunas, presas, estanques, zonas húmedas y aireadas, pantanos, sedimentos fósiles de lagos; especialmente en zonas litorales de aguas estancadas y corrientes; dulceacuícola, halófoba a indiferente; circumneutra, alcalifila a indiferente; pH entre 6,7-8, óptimo menor de 8; eutérmica; oligo- a mesosapróbica; saprooxena; requiere elevadas concentraciones de  $\text{O}_2$  (sobre el 75% de saturación); meso- a eutrófica; autótrofa para el N, tolerante a elevadas concentraciones de N orgánico. Formas de vida: Litoral; béntica, plánctica, epífita; perifótica a ticoplactónica. Distribución mundial: Cosmopolita, de climas fríos y templados. Distribución en México: Guanajuato (García-Meza, 1997); Morelos (Valadéz, 1998); Veracruz (Tavera, 1990; Vázquez, 1995). Observaciones: Se observaron 2 ejemplares, uno correspondiente a cada jal; en MBB líquido; estación de lluvia (foto 1000X).



*Aulacoseira* sp.

Pseudofilamento; frústulo casi tan ancho que largo; espinas cortas; manto con areolas circulares, grandes y dispuestas en dos hileras irregulares que corren a lo ancho del frústulo cerca del margen del sulcus; sulcus y pseudosulcus. Distribución en Jales: Torres, Valenciana-tular. Ambientes: Cuerpos de agua de profundidad media a escasas, circumneutra, baja conductividad. Distribución en México: Registrada por primera vez a partir de muestra proveniente de la Presa Pozuelos, Guanajuato. (García-Meza, 1997). Observaciones: Especie registrada y descrita por primera vez para Guanajuato (García-Meza, 1997). Sólo en agua jalera, MBB líquido y estación de lluvia (foto 1000X).



*THALASSIOSIRA* Cleve 1873 emened. Hasle 1973

*Thalassiosira pseudonana* Hasle et Heimdal 1970

Krammer *et* Lange-Bertalot. 1991a: pag. 8, fig. 60 a-b

Célula solitaria o en colonia; frústulo cilíndrico; superficie valvar plana; sin procesos centrales; espinas marginales apenas evidentes. Diámetro (D): de 6.08 a 6.53  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Torres. Ambientes: Dulceacuicola; raramente fuera de cuerpos de agua; en riveras. Mesohalobia; alcalifila y acidófila; mesosaprobia; eutrófica; zonas con moderada concentración de  $\text{O}_2$ ; heterótrofa facultativa para el N. Gale *et al.* (1979) la reportan en río de estación eléctrica con afluentes de minas, pH de 8.1, turbio, eutrófico, conductividad 205  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y concentración de Fe total de 3.03 ppm. Formas de vida: Pláncica. Distribución mundial: Europa central; Estados Unidos (Gale *et al.*, 1979). Distribución en México: no hay registro. Observaciones: En MBB líquido; estación de lluvia; poco común (foto 1000X).



PENNALES Kirchner 1878

ARAPHIDINEAE Hustedt 1930 *sensu* Simonsen 1979

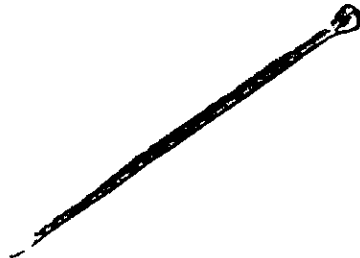
DIATOMEACEAE Durmortier 1822

*ASTERIONELLA* Hassall 1850

*Asterionella formosa* Hassall 1850

Krammer *et* Lange-Bertalot. 1991a: pag. 103, fig. 103: 1-9

Célula recta con ápice libre fuertemente capitado y el opuesto atenuado; estrias paralelas; pseudorrafe ligeramente perceptible, muy estrecho. L: de 55.67 a 61.09  $\mu\text{m}$ ; A: de 2.38 a 3.14  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Arroyo Pozuelos (García-Meza, 1997); Pozuelos, Torres, Valenciana seco y húmedo. Ambientes: En ríos, presas, lagos, estanques y charcos; indiferente a la sal; alcalifila; pH de 2 a 9, con óptimo de 7.2 a 7.8; eu- a mesotrófica; oligo- a mesosaprobia; moderado requerimiento de  $\text{O}_2$  (50% de saturación); limnófila a limnobiótica; autótrofa para el N. Formas de vida: Pláncica, béntica. Distribución mundial: Cosmopolita. Distribución en México: Guanajuato (García-Meza, 1997). Observaciones: Frústulos muy silificadas. Creció en MBB y Chu-10, líquidos de ambas estaciones; sólo en Pozuelos no se manifestó en Chu-10 líquido (foto 1000X).



*FRAGILARIA* Lyngbye 1819*Fragilaria construens* (Ehrenberg) Grunow 1862

Krammer *et* Lange-Bertalot. 1991a: pag. 153, fig. 129: 21-27, 132: 1-34

Frústulos con simetría bipolar o tripolar, de figuras tan variadas (redonda, triangular, estrecha o anchamente elíptica, cruz, lanceolada) que se determinan diferentes “formas” (fo.); ápices redondos a subcapitados; márgenes convexos, cóncavos o ampliamente dilatados en el centro; área central indistinguible del área axial; área axial amplia, lanceolada, lineal o irregular; estrías radiales o paralelas. Distribución en Jales: Especialmente abundante en todos los cultivos de los jales, excepto Valenciana-tular. Ambientes: Muy raramente fuera de cuerpos de agua. Ríos, canales, charcos, presas, lagos, estanques, manantiales, corrientes, en zonas de agua somera de lagos, a gradiente de salinidad en marismas; oligohalobias a indiferentes a la sal; alcalífila, pH de 6 a 9, con óptimo de 6.7 a 7.8; eutérmica, euritérmica y oligotérmica; oligo- a mesosaprobias; meso- a eutrófica; requiere elevadas concentraciones de O<sub>2</sub> (100 % de saturación), indicadora de aguas oxigenadas; autótrofa del N; indiferente a la corriente. Formas de vida: Litoral, plánctica, béntica; epilítica, perifítica, ticoplánctica. Distribución mundial: Cosmopolita. Distribución en México: Estado de México (Ortega, 1984); Guanajuato (García-Meza, 1997); Morelos (Valadéz, 1998); Hidalgo, Querétaro (Ortega, 1984); Puebla (Ibarra, 1998; Novelo, 1998); San Luis Potosí (SLP) (Ortega, 1984; Cantoral-Uriza, 1997). Observaciones: En MBB y Chu-10, sólidos y líquidos; ambas estaciones de colecta. Se observaron las siguientes formas biológicas, las cuales se manifestaron en todos los medios:

*Fragilaria construens* fo. *binodis* (Ehrenberg) Hustedt 1957

Valva con constricción central en ambos márgenes; polos poco capitados; ápices redondos; área central ausente; área axial lineal-lanceolada; estrías rectas, paralelas. L: de 15.39 a 17.58 µm; A: de 4.18 a 5 µm; estrías: 14 en 10 µm. Distribución en Jales: Especialmente abundante en todos los cultivos de los jales. Ambientes: Aguas someras; a veces fuera de cuerpos de agua dulce y zonas húmedas; oligohalobia; alcalífila; oligosaprobias; meso- a eutrófica; Autótrofa del N; requiere continuamente O<sub>2</sub> disuelto en el medio Distribución mundial: Cosmopolita. Distribución en México: Centro de México (Metcalfé, 1985 y 1988). (Foto 1000X).



*Fragilaria construens* fo. *construens* (Ehrenberg) Hustedt 1957

Frústulo con simetría bipolar; márgenes muy convexos en el centro, de manera que tiene apariencia de cruz (estauros); ápices redondos; área central ausente; área axial lineal-lanceolada; estrias paralelas. L: de 14.31 a 20  $\mu\text{m}$ ; A: de 6.57 a 9.87  $\mu\text{m}$ ; estrias: de 10 a 11 en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución en Jales: Especialmente abundante en todos los cultivos de los jales. Ambientes: En diferentes cuerpos de agua dulce, lagos, pozas, manantiales, estanques, ríos, corrientes; halófila, oligohalobia a indiferente; alcalifila; euritermal; oligo- a mesosaprobia; oligo-, meso- a eutrófica; indiferente a la corriente; indicadora de aguas oxigenadas; indiferente al calcio Distribución mundial: Cosmopolita. Distribución en México: Guanajuato (García-Meza, 1997); Queretaro (Ortega, 1984), SLP (Cantoral-Uriza, 1997). (Foto 1000X).

*Fragilaria construens* fo. *venter* (Ehrenberg) Hustedt 1957

Células que formanseudofilamentos más o menos largos de más de 20 células; vista conectiva rectangular, no inflada por el centro; valvas elípticas, lanceoladas; polos redondeados; ápices alargados o rómbicos; sin área central; área axial lanceolada. L: de 16.76 a 19  $\mu\text{m}$ ; A: de 3.76 a 4.61  $\mu\text{m}$ ; estrias: 11 en 10  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Especialmente abundante en todos los cultivos de los jales. Ambientes: Cosmopolita. Raramente fuera de cuerpos de agua dulce; represas, canales, charcos, estanques; oligohalobia; alcalifila; oligo- a mesosaprobia; mesotrófica; autótrofa del N; requiere  $\text{O}_2$  disuelto en el medio de manera continua. Formas de vida: Plánctica, epilítica, epifita. Distribución mundial: Cosmopolita. Distribución en México: Centro de México (Metcalfe, 1985 y 1988), Estado de México (Ortega, 1984). (Foto 1000X).

*SYNEDRA* Ehrenberg 1832 (*sensu* Patrick et Reimer 1966)*Synedra acus* Kützing 1844

Patrick et Reimer. 1966. pag. 135, fig. 27: 1-12.

Valva lineal-lanceolada que se va estrechando hacia los extremos, delgada, filiforme; márgenes rectos; eje apical recto; polos alargados, capitados; ápices redondeados; área central rectangular y sin estrias; área axial estrecha, recta y evidente. Estrias rectas, paralelas. L: de 100 a 130  $\mu\text{m}$ ; A: 3 a 6  $\mu\text{m}$ ; estrias: 12 en 10  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Torres. Ambientes: Dulceacuicola; lagos, lagunas, presas, cenotes, aguas termales, estanques, charcos, puesta de ranas, aguas corrientes

salobres, a veces en zonas húmedas; oligohalobia; circumneutra, alcalifila, pH de 6.2 a 9, con óptimo de 7.4 a 7.6; oligohalobia a indiferente a la sal; eutrónica; oligosaprobia; preferentemente en aguas con conductividad ligeramente elevada. Formas de vida: plánctica, béntica epilítica o epífita de plantas sumergidas; litoral. Distribución mundial: Cosmopolita. Distribución en México: Centro de México (Metcalfé, 1985 y 1988), Estado de México (Bradbury, 1971), Michoacán (Ortega, 1984), Puebla (Ortega, 1984, Novelo, 1988). Observaciones: Exclusiva para Torres, MBB líquido y estación de lluvia; sólo se observó un ejemplar completo; dada la presencia de frústulos rotos semejantes, no es posible determinar si habían más especies (Foto 1000X).



*Synedra ulna* (Nitzsch) Ehrenberg 1836

Patrick *et* Reimer. 1966. pag. 176, fig. 7: 1-6.

Valva linear-lanceolada, estrecha hacia los ápices; márgenes rectos; eje apical recto; ápices redondeados; área central ausente o rectangular a redondeada; área axial estrecha, recta y evidente. L: de 71.74 a 100  $\mu\text{m}$ ; A: de 6.57 a 8.57  $\mu\text{m}$ ; estrias: de 10 a 14 en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución en Jalisco: Pozuelos (García-Meza, 1997); Torres. Ambientes: Amplio espectro de condiciones ambientales; suelos cultivados; suelos húmedos y de pradera; sedimentos fósiles de lagos; ampliamente distribuidas en agua dulce: charcas, agua corriente, aguas estancadas, aguas negras, canales, remansos, lagos, cenotes, presas, aguas termales, cascadas, arroyos; aguas salobres; eurihalobia; alcalifila, pH de 5.7 a 9; euritérica; oligo- a eutrónica; meso- a polisaprobia; requiere moderada concentración de  $\text{O}_2$ ; autótrofa al N; indiferente a la corriente. Soporta la contaminación. Formas de vida: Edáfica, litoral, plánctica, béntica, subaérea; epífita, epilítica, en cenobios mucilaginosos, masas flotantes. Distribución mundial: Cosmopolita. Distribución en México: Centro de México (Metcalfé, 1985 y 1988); Edo. de México (Bradbury, 1971), Guanajuato (Ortega, 1984; García-Meza, 1997); Hidalgo (Ortega, 1984; Chang, 1989); Jalisco (Ortega, 1984); Michoacán (Ortega, 1984); Morelos (Valadéz, 1992 y 1998), Oaxaca (Ortega, 1984; Tavera y González, 1990; Tavera *et al.*, 1994); Puebla (Avila, 1989; Novelo, 1998), SLP (Cantoral-Uriza, 1997); Veracruz (Tavera, 1990; Vázquez, 1995). Observaciones: Aunque se ha registrado en Pozuelos, en este trabajo se manifestó exclusivamente en cultivos de agua jalera de Las Torres, en MBB líquido y estación de lluvia (Foto 1000X).



RAPHIDINEAE Hustedt 1930 *sensu* Simonsen 1979

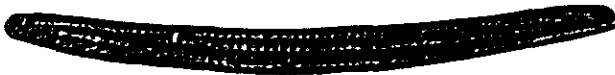
EUNOTIACEAE Kützing 1844

*EUNOTIA* Ehrenberg 1837

*Eunotia bilunaris* (Ehrenberg) Mills 1934

Krammer *et* Lange-Bertalot. 1991a: pag. 179, fig. 138: 10-24

Valva ligeramente arqueada, casi recta, sin ondulaciones marginales; polos redondos, no capitados y apenas distinguibles del cuerpo valvar; márgenes casi paralelos; nódulos polares pequeños; rafe apenas perceptible; pseudorrafe apical poco desarrollado. Estrias finamente punteadas, paralelas en el centro y radiales hacia los polos. L: de 54 a 108  $\mu\text{m}$ ; A: de 4.11 a 4.31  $\mu\text{m}$ ; estrias: de 13 a 15 en 10  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Valenciana-seco. Ambientes: En cuerpos de agua y, regularmente, en sitios húmedos; charcos; oligohalobia; indiferente al pH; oligo a eutrófica; mesosaprobia; requiere elevada concentración de  $\text{O}_2$  (75% de saturación); autótrofa del N. Formas de vida: Plánctica. Distribución mundial: Europa central. Distribución en México: Puebla (Novelo, 1998). Observaciones: En MBB líquido y sólido; estación seca (Foto 1000X).



*Eunotia denticula* (Brébisson) Rabenhorst 1864

Krammer *et* Lange-Bertalot. 1991a: pag. 206, fig. 157: 19-28

Frústulo con margen ventral de la valva más o menos cóncavo; margen dorsal recto a fuertemente convexo y hacia los extremos se hace cóncavo, con o sin dientes; polos subcapitados, ápices redondos a romos; rafe dorsal con terminaciones polares cortas. L: 42.43  $\mu\text{m}$ ; A: 5  $\mu\text{m}$ ; estrias: 13 en 10  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Valenciana-seco. Ambientes: En cuerpos de agua y zonas húmedas; halófila; circumneutra a acidófila; oligosaprobia; oligotrófica; requiere elevadas concentraciones de  $\text{O}_2$  (100% de saturación); autótrofa del N, tolera concentraciones muy bajas de N asociado a materia orgánica; en aguas mineralizadas. Distribución mundial: Europa central. Distribución en México: no se encontró registro. Observaciones: Se observó un solo ejemplar. En MBB líquido, estación seca (Foto 1000X).



*Eunotia eruca* Ehrenberg 1844

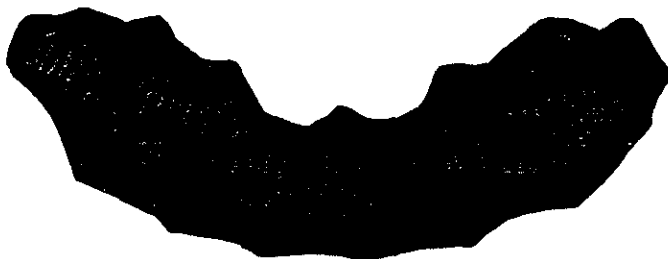
Krammer *et* Lange-Bertalot. 1991a: pag. 195, fig. 166: 6-7

Valva arqueada; ambos márgenes con ondulaciones (5 a 7); polos poco diferenciados del cuerpo, sobretodo por el patrón de ondulación de los márgenes; ápices rostrados, romos; nódulos polares imperceptibles; pseudorrafe excéntrico, cerca del margen ventral; estrias paralelas entre sí, no rectas, ligeramente sinuosas. L: de 68 a 70  $\mu\text{m}$ ; A: de 2.74 a 3  $\mu\text{m}$ ; estrias: de 11 a 12 en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución en Jales: Valenciana-seco. Ambientes: Lagos; sedimentos fósiles lacustres.

Distribución mundial: América del norte y meridional; Australia, Nueva Zelanda. Distribución en

México: La especie tipo es fósil de México. Observaciones: Especie poco documentada. Se observaron dos ejemplares. Patrick y Reimer (1966) la reportan como *Amphicampa mirabilis*. pero su especie presenta un margen ventral ligeramente cóncavo, casi recto. En MBB líquido, estación seca (Foto 1000X).



## ACHNANTHACEAE Kützing 1844

*ACHNANTHES* Bory 1822*Achnanthes minutissima* (Kützing) Grunow 1833

Krammer *et* Lange-Bertalot. 1991b: pag. 560; fig. 32

Frústulo de lanceolada a lineal-lanceolada, lados ligeramente convexos, ápices redondos, subrostrados a rostrados; vista conectiva angular. VR: estrias lineadas, radiales en el centro y paralelas hacia los ápices; rafe recto, fino, con terminaciones proximales más evidentes que el resto del rafe, cercanas (dentro del área central) y rectas, extremos distales curvos; área central pequeña, estauroide, elíptica, redondeada o irregular y con dos estrias más cortas y espaciadas; área axial estrecha y lineal. VSR: estrias lineadas y radiales; área central lanceolada a asimétrica; área axial o pseudorrafe recto, estrecho y central; sin área central y engrosamiento central no evidente. L: de 12.14 a 14.25  $\mu\text{m}$ ; A: de 2.85 a 3.42  $\mu\text{m}$ ; estrias: de 16 a más de 20 en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución en Jales: En Arroyo Pozuelo (García-Meza, 1997); En el presente trabajo, en todos



jales. Ambientes: Ampliamente distribuida, ubicua; euritópica. En ambientes mixtos, suelos húmedos, aguas corrientes, ríos, arroyos, corriente de montaña, charcos, manantiales, presas, sedimentos fósiles de lago. Oligohalobia a indiferente; amplios rangos de pH (de 4.3 a 9.2) con óptimo entre 7.5 y 7.8; también en cursos de agua alcalina y bastante mineralizada; eutérmica, euritérmica; eu- a mesotrófica; meso- a oligosaprobia; requiere elevada concentración de O<sub>2</sub> (1000% de saturación, considerada un buen indicador de altas concentraciones de O<sub>2</sub> en aguas alcalinas; Autótrofa del N; indiferente al Ca y el Fe y a la corriente. Formas de vida: Edáfica, litoral, plánctica, béntica, epífita de algas filamentosas y cenobios mucilaginosos apretados; epilítica, epipélica, epífita, perifítica. Distribución mundial: Cosmopolita. Distribución en México: Estado de México (Bradbury, 1971); Guanajuato (García-Meza, 1997); México central (Metcalf, 1985 y 1988); Morelos (Valadéz, 1998) Puebla (Avila, 1989; Ibarra, 1992 y 1998; Cuesta, 1993; Novelo, 1998), SLP (Cantoral-Uriza, 1997); Veracruz (Tavera, 1990; Vázquez, 1995). Observaciones: Numerosos ejemplares que se manifestaron en todos los cultivos (Foto 1000X).



*Achanthes* sp.

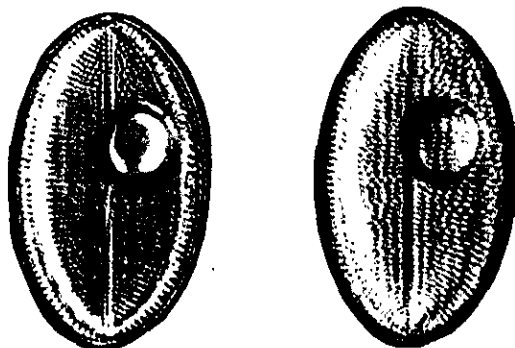
Valva lineal, con márgenes convexos y una depresión central en ambos márgenes; ápices redondeados, no diferenciados del resto de la valva; vista conectiva recta. VR: estrias finamente punteadas, radiales; rafe recto, fino, con terminaciones proximales más evidentes, cercanas (dentro del área central) y rectas, extremos distales rectos; área central estauroide, sin estrias; área axial lineal. VSR: estrias finamente punteadas y radiales; sin área central; área axial o pseudorrafe recto, estrecho y central; engrosamiento central no evidente. L: 24,7 µm; A: 7,51 µm; estrias en ambas valvas: 16 en 10 µm. Distribución en Jales: Pozuelos. Observaciones: Sólo en un cultivo, con medio Chu-10 y jal de Pozuelo colectado en la estación de lluvia. No se pudo determinar por que la forma de la valvas no coincide con las especies registradas en la literatura (Foto 1000X).



*COCCONEIS* Ehrenberg 1838*Cocconeis placentula* var. *placentula* Ehrenberg 1838

Krammer *et* Lange-Bertalot. 1991b: pag. 86, fig. 51: 1-5

Células elípticas, ápices ampliamente redondeados; VR: área axial estrecha, lineal y área central más o menos circular y pequeña; rafe filiforme, recto, central, con terminaciones proximales cercanas, terminaciones distales rectas, internas al área marginal; estrías finamente puntadas, curvas, con interrupción hialina o carina submarginal, radiadas, curvas. VSR: pseudorrafe lineal, estrecho y recto; sin área central; estrías radiadas, curvas, punteadas, con puntos ondulantes. L: de 10 a 22.98  $\mu\text{m}$ ; A: de 8.9 a 16  $\mu\text{m}$ ; estrías en VR y VSR: de 12 a 17 y de 13 a 20 en 10  $\mu\text{m}$ , respectivamente. Distribución en Jales: Pozuelos (García-Meza, 1997); Torres y Valenciana-húmedo y tular. Ambientes: Agua corriente y estancada, aveces en zonas húmedas; ríos, arroyos, canales de temporal, corrientes de montaña, lagos, pantanos litorales de lagos, cenotes, sedimentos fósiles de lagos, diatomita; oligohalobia a indiferente a la sal, pero poco común en agua salada; agua neutra a alcalina, evita aguas ácidas, pH de 4.7 a 9 con óptimo cercano a 8; eutérmica, mesosapróbica; euritrófica; indiferente a la corriente; requiere concentración moderada de  $\text{O}_2$  alrededor del 50% de saturación); autótrofa del N, tolera elevadas concentraciones de compuestos nitrogenados; en aguas contaminadas. Gale *et al.* (1979) la reportan en río con Fe y sulfatos provenientes de desechos de minas de conductividad entre 150 y 205  $\mu\text{mho/cm}$  y 0.30 a 0.60 ppm de Fe. Formas de vida: Béntica, epifitas de macrofitas y plantas acuáticas; epilíticas; sobre objetos diversos; en cenobios mucilaginosos apretados. Distribución mundial: Cosmopolita. Distribución en México: Centro de México (Metcalfe, 1988); Estado de México (Bradbury, 1971), Guanajuato (Ortega, 1984; García-Meza, 1997), Hidalgo, Michoacán (Ortega, 1984), Puebla (Novelo, 1985; Ibarra, 1998), SLP (Cantoral-Uriza, 1990), Tlaxcala (Quintana, 1961), Yucatán. Observaciones: En MBB y Chu-10, líquidos y sólido; ambas estaciones de colecta.



*Cocconeis placentula* var. *euglypta* (Ehrenberg) Grunow 1884

Krammer *et* Lange-Bertalot. 1991b: pag. 87, fig. 53:1-19

VR: valva más elíptica que la variega nominal. VSR: pseudorrafe más o menos lineal y amplio, recto; estrias radiadas, curvas, gruesamente punteadas, con puntos alargados, alineados longitudinalmente en filas ondulantes. Una fila de puntos más gruesos en el margen de la zona axial. L: de 18.92 a 20.87  $\mu\text{m}$ ; A: de 9.80 a 12.25  $\mu\text{m}$ ; 16 en 10  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: En Pozuelos, Torres. Ambientes: Cuerpos de agua con temperatura templada, a veces en zonas húmedas; oligohalobia a indiferente; alcalifila; mesosapróbica; meso- a eutrófica; indiferente a la corriente; autótrofa para el N, requiere moderada concentración de  $\text{O}_2$  disuelto. Formas de vida: Plánctica, epifita, perifítica. Distribución mundial: Cosmopolita. Distribución en México: Centro de México (Metcalfe, 1988) Michoacán (Ortega, 1984); Oaxaca (Tavera y González-González, 1990; Tavera *et al.*, 1994); Puebla (Ibarra, 1992); SLP (Carmona, 1990; Cantoral-Uriza, 1997). Observaciones: En cultivos con agua jalera de Las Torres, sólo en MBB líquido, mientras que en aquellos con jal de Pozuelos, en ambos medios, sólido y líquido, ambas estaciones (Foto 1000X).

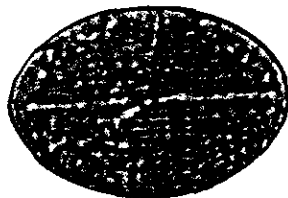


*Cocconeis placentula* var. *lineata* (Ehrenberg) van Heurck 1880-1985

Krammer *et* Lange-Bertalot. 1991b: pag. 87, fig. 52: 8

Valva elíptica. VR similar al de la variedad nominal. VSR: pseudorrafe lineal y estrecho; estrias punteadas, elongadas, radiales, con puntos alineados longitudinalmente en filas ondulantes. Numerosos alvéolos y cortos, distantes, gruesos y alineados. L: de 18.75 a 25  $\mu\text{m}$ ; A: de 8 a 14.6  $\mu\text{m}$ ; estrias: 16 en 10  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Valenciana-húmedo. Ambientes: Amplia distribución. Cienos, lodos, charcos, sedimentos, ríos, arroyos, agua corriente salobre, cenotes, aguas termales, manantiales, lagunas, presas, puestas de rana, diatomitas; oligohalobia a indiferente; alcalifila, indiferente a pH, común en aguas circumneutras a alcalinas; termófila; oligo- a mesosaprobica; euritópica; sobre el 50% de saturación de  $\text{O}_2$ ; autótrofa para el N; riófila a indiferente a la corriente. Soporta alta concentración de materia orgánica. Formas de vida: Edáfica, plánctica, béntica; epifita, epipelon, epilíton, perifítica. Distribución mundial: Cosmopolita. Distribución en México: Centro de México (Metcalfe, 1985 y 1988); Coahuila (Ortega, 1984), Guanajuato (Ortega, 1984; García-Meza, 1997); Hidalgo, Michoacán (Ortega, 1984); Morelos (Valadéz, 1992 y 1998); Puebla (Ibarra, 1992; Cuesta, 1993), SLP (Cantoral-

Uriza, 1990 y 1997). Observaciones: Exclusivamente en MBB líquido, estación de lluvias (Foto 1000X).



*Cocconeis placentula* var. *pseudolineata* (Ehrenberg) Geitler 1927

Krammer *et* Lange-Bertalot. 1991b: pag. 87, fig. 54: 5-11

Valva elíptico-lanceolada. VR similar al de la variedad nominal. VSR: pseudorrafe lineal y estrecho; estrías radiadas, curvas, bandeadas y con puntos ondulantes; areolas gruesas, tal que la forma de las mismas parece elipsoidal. L: 20  $\mu\text{m}$ ; estrías en VSR: 17 en 10  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Torres y Valenciana-tular. Distribución mundial: Europa central. Distribución en México: Guanajuato (García-Meza, 1997). Observaciones: Se advirtieron dos ejemplares, uno por jal. En MBB, líquido; estación de lluvia (Foto 1000X).



NAVICULACEAE Kützing 1844

*AMPHORA* Ehrenberg ex Kützing 1844

*Amphora veneta* Kützing 1844

Krammer *et* Lange-Bertalot. 1986: pag. 348, fig. 151: 9-17

Valva dorsoventral con forma semielíptica en vista valvar y elíptica en vista conectiva, de polos más o menos protuberantes, redondeados y generalmente rectos o ventralmente curvos; margen ventral ligeramente convexo; cinturas secundarias, en vista dorsal, lisas y finas; área axial unilateral, angosta y lineal; área central no evidente; estrías dorsales lineadas, ligeramente radiales, las centrales más separadas; estrías ventrales no evidentes; rafe recto, filiforme, ligeramente arqueado dorsalmente. L: de 7.8 a 26.6  $\mu\text{m}$ ; A valva: de 4 a 6.27  $\mu\text{m}$ ; estrías: más de 20 en 10  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: En Arroyo Pozuelos (García-Meza, 1997); Pozuelos. Ambientes: Suclos húmedos, sedimentos de lagunas y fósiles; remansos, litorales de lagos,

pantanos litorales de lagos, arroyos salinos, cenotes, aguas termales; oligohalobia, eurihalobia; comunes en aguas duras a moderadamente duras; alcalifila, pH de 7.2 a 8, óptimo cerca de 8.5; eutérmica; moderado requerimiento de O<sub>2</sub> (sobre el 50% de saturación); meso- y polisapróbica; mesooxibionte, más a menudo en ambientes aireados; en aguas con baja conductividad; limnobiótica a indiferente a la corriente. Autótrofa del N; frecuentemente asociada con *Epithemia sorex*. Formas de vida: Edáfica, litoral, plánctica, béntica, epilítica, perifítica, epipélica, epilitor, epífita de algas filamentosas. Distribución mundial: Cosmopolita. Distribución en México: Estado de México (Bradbury 1970, 1971) Guanajuato (García-Meza, 1997), México central (Metcalf, 1985 y 1988) Puebla (Avila, 1985, 1989; Ibarra, 1992 y 1998; Cuesta, 1993; Novelo, 1998). Observaciones: Exclusiva de Pozuelos. En MBB y Chu-10, líquido y sólido; ambas estaciones de colecta (Foto 1000X).



*CYMBELLA* Agardh 1830

*Cymbella cistula* (Ehrenberg) Kirchner 1878

Krammer *et* Lange-Bertalot. 1986: pag. 316, fig. 127: 8-11, 128: 1-6

Valva fuertemente dorsi-ventral, con una ligera concavidad central en el margen ventral; polos redondeados; área axial casi linear, casi central; área central redonda con 5 a 7 estigmas del lado ventral; rafe mas o menos filiforme, lateral a reverso-lateral, con terminaciones proximales curvas hacia margen ventral y terminaciones distales ligeramente curvas dorsalmente; estrias punteadas, paralelas a radiales hacia los ápices. L: de 100 a 119.36 µm; A: de 21.17 a 22.24 µm; estrias centrales: de 10 a 11 en 10 µm; estrias: de 12 a 13 en 10 µm. Distribución en Jales: Torres y Pozuelos. Ambientes: En corrientes de varios biomas, raramente fuera de cuerpos de agua; ríos, lagos; oligohalobia a indiferente; alcalifila, prefiere aguas alcalinas; mesosapróbica; meso- a eutrófica; Autótrofa para el N, tolera muy bajas concentraciones de compuestos orgánicos unidos a N. Requiere elevadas concentraciones de O<sub>2</sub> disuelto (sobre el 75% de saturación). Euritópica. Formas de vida: Plánctica, béntica, epífita de macroalgas, epilítica, aerofilica, limnofilica. Distribución mundial: Cosmopolita. Distribución en México: Michoacán, Hidalgo (Ortega, 1984); Morelos (Valadéz, 1998); Puebla (Novelo, 1998); Tlaxcala (Vilaclara, 1997). Observaciones: En MBB y Chu-10, líquidos; estación de lluvias (Foto 600X).

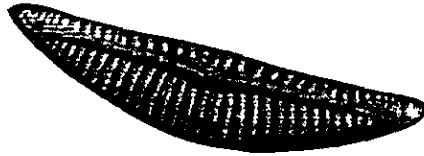


*Cymbella mesiana* Cholnoky 1955

Krammer *et* Lange-Bertalot. 1986: pag. 304, fig. 118: 1-8

Valva hemilanceolada; margen ventral recto, ligeramente convexo en la parte media, margen dorsal arqueado; terminaciones valvares redondeadas; arrea axial amplia, arqueada; área central ovoide y pequeña; rafe reverso-lateral, con terminaciones distales ventralmente curvadas y terminaciones proximales ventralmente curvadas; un estigma dorsal; estriás punteadas, paralelas.

L: 39.2  $\mu$ m; A: 9.8  $\mu$ m; estriás: 10 en 10  $\mu$ m. Distribución en Jales: Las Torres. Ambientes: Corrientes en varios biomas, cascadas, paredones, canales y estanques artificiales, manantiales termales alcalinos (Europa central); sedimentos fósiles de lagos; oligohalobia; alcalifila, indiferente al pH; aguas circunneutras; conductividad baja a media; aguas cálidas. Formas de vida: subaérea, perifítica, epilítica, epífita de macroalgas. Distribución mundial: Cosmopolita, principalmente en los trópicos (Tavera *et al.*, 1994), aunque también registrada en el Hemisferio Norte (Norteamérica y Europa, Sheath y Cole, 1992; Krammer y Lange-Bertalot, 1986). Distribución en México: Estado de México (Bradbury, 1971; Ortega, 1984); Puebla (Novelo, 1998), Oaxaca, trópicos (Tavera *et al.*, 1994); SLP (Cantoral-Uriza, 1997); Veracruz (Vázquez, 1995). Observaciones: En MBB líquido y estación seca, exclusivamente (Foto 1000X).

*Cymbella silesiaca* Bleisch in Rabenhorst 1864

Krammer *et* Lange-Bertalot. 1986, pag. 304, fig. 117: 1-24

Valva subelíptica, ligeramente lanceolada, con margen ventral convexo y dorsal cóncavo (arqueado); polos redondeados; área axial angosta; área central muy pequeña, no evidente. con un estigma ventral; rafe ligeramente ventral, con terminaciones proximales cercanas y ligeramente curvadas dorsalmente y extremos distales curvados ventralmente; estriás punteadas, radiales a paralelas del lado dorsal y paralelas del lado ventral. L: de 15.6 a 20  $\mu$ m; A: de 6.22 a 7,75  $\mu$ m; estriás: 15 en 10  $\mu$ m. Distribución en Jales: En Arroyo Pozuelos (García-Meza, 1997); Las Torres. Ambientes: En ambientes mixtos, aunque raramente fuera de cuerpos de agua; arroyos, río, manantial, pozas, charcos. Cosmopolita de aguas oligo- a eutróficas; oligohalobia; indiferente, circunneutra, alcalifila; mesosaprobia; requiere moderada concentración de O<sub>2</sub> disuelto (alrededor del 50%). Formas de vida: Plánctica, epilítica, perifítica; resistente a cambios bruscos en las gradientes ambientales (euritópica); aguas de baja conductividad. Distribución mundial: Cosmopolita. Distribución en México: Guanajuato (García-Meza, 1997), Puebla (Ibarra,

1998; Novelo, 1998); SLP (Carmona, 1990; Cantoral-Uriza, 1990, 1997). Observaciones: En MBB líquido y estación seca, exclusivamente (Foto 1000X).



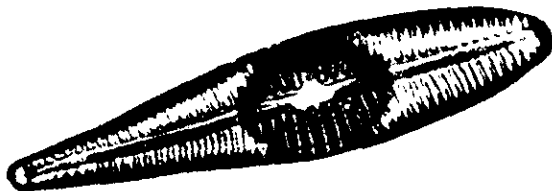
*GOMPHONEMA* Ehrenberg 1832

*Gomphonema clavatum* Ehrenberg 1832

Krammer *et* Lange-Bertalot. 1986: pag. 367, fig. 163: 1-12

Células libres y epifitas. Frústulo clavado (lineal ensanchada) ligeramente biondulado; ápices redondeados; parte apical ligeramente más corta, más redondeada y más amplia que la base; área axial estrecha, lineal-lanceolada; área central irregular a rómbica con un estigma;rafe sinuoso, complejo y extremos terminales en forma de gancho; estrias punteadas, paralelas, un poco radiadas en el centro; estrias centrales opuestas más cortas y espaciadas; estrias adyacentes a la central ligeramente radiales y las apicales paralelas. L: de 27 a 51  $\mu\text{m}$ ; A: de 6.67 a 11.37  $\mu\text{m}$ ; estrias: de 9 a 10 en 10  $\mu\text{m}$ . Distribución en jales: Valenciana-húmedo y tular, Pozuelos, Torres.

Ambientes: Muy variados, principalmente cuerpos de agua y ocasionalmente en sitios húmedos; manantiales, aguas corrientes circumneutras y estancadas suaves; sedimentos lacustres; halófila, oligohalobia a indiferente; indiferente al pH, circumneutra; meso-, eutrófica; oligosaprobia; requiere 100 % de saturación de  $\text{O}_2$  en el medio; aparentemente indiferente a la conductividad, pero muy sensible a la contaminación orgánica; tolera muy baja concentración de N. Formas de vida: Subaérea, pláncica, béntica, perifítica, epilítica, epipélica, epifita, cortícola. Distribución mundial: Europa central. Distribución en México: Guanajuato (García-Meza, 1997); Hidalgo (Ortega, 1984); Oaxaca (Tavera *et al.*, 1994), Puebla (Cuesta, 1993; Ibarra, 1998; Novelo, 1998). Observaciones: En MBB líquido, exclusivamente; ambas estaciones en Torres y de lluvia para los jales restantes (Foto 1000X).



*Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing 1849

Krammer *et* Lange-Bertalot. 1986: pag. 358, fig. 154: 1-25

Valvas clavadas a linear-lanceoladas con ápices rostrados a capitados y bases redondeadas o rostradas; rafe filiforme con extremos proximales rectos; área axial estrecha y lineal; área central pequeña, irregular, con un estigma; estriás lineoladas; estriás centrales opuestas más cortas; estriás radiales en los ápices a ligeramente paralelas hacia el centro. L: de 24.50 a 32,93  $\mu\text{m}$ ; A: de 6.66 a 8.92  $\mu\text{m}$ ; estriás: de 12 a 13 en 10  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Arroyo Pozuelos (García-Meza, 1997); todos. Ambientes: Suelos húmedos, arroyos, ríos, canales, corrientes, manantiales, charcos, lagos, lagunas, estanques, cenotes de aguas termales, paredón, sedimentos fósiles de lagos, puestas de rana; gradiente de salinidad en marismas; indiferente a la sal, oligohalobia; indiferente al pH, de 4.2 a 9 y óptimo de 7.8 a 8.2; ; eu-, meso- y oligotrófica; requiere baja concentración de  $\text{O}_2$  (sobre el 30% de saturación); meso a polisaprobia; termófila, mesotérmica; en aguas corrientes circumneutras de baja a media conductividad; aerófila; rófila. Heterotrófica facultativa del N, requiere elevadas concentraciones de N presente en compuestos orgánicos, periódicamente. Indicadora de contaminación, en aguas altamente contaminadas; se desarrolla en aguas ricas en nutrientes, aguas de desechos sanitarios o agrícolas; indiferente al Ca y Fe. Formas de vida: Edáfica, litoral, plánctica, béntica, perifítica, epilítica, epifitas de algas filamentosas y plantas sumergidas, epipélica. Distribución mundial: Cosmopolita. Distribución en México: Centro de México (Metcalfé, 1985 y 1988); Estado de México (Bradbury, 1971), Guanajuato (García-Meza, 1997), Hidalgo (Ortega, 1984), Morelos (Valadéz, 1992 y 1998), Oaxaca (Tavera y González-González, 1990; Tavera *et al.*, 1994) Puebla (Cuesta, 1993; Ibarra, 1998), SLP (Cantoral-Uriza, 1997); Veracruz (Vázquez, 1995). Observaciones: En cultivos de MBB y Chu-10, sólido y líquido, excepto en Valenciana-tular, en los que sólo se observo en MBB líquido; estación de lluvia en Valenciana y ambas en Torres y Pozuelos (Foto 1000X).



*NAVICULA* Bory de St. Vicent 1822

*Navicula capitatoradiata* Germain 1981

Krammer *et* Lange-Bertalot. 1986: pag. 105, fig. 32: 12-15.

Valva lanceolada, márgenes cóncavos; polos diferenciados del cuerpo; ápices capitados; rafe filiforme; área axial angosta, área central pequeña, irregular transversal, por la presencia de estriás largas cortas; estriás finamente lineoladas, radiadas a convergentes en los ápices; dos estriás centrales opuestas más largas. L: de 38 a 40  $\mu\text{m}$ ; A: de 6 a 7.32  $\mu\text{m}$ ; estriás: 15 en 10  $\mu\text{m}$ .



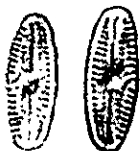
Distribución en Jales: Las Torres. Ambientes: En cuerpos de agua, raramente fuera de éstos. Ríos, canales, corrientes, cascadas, lagos, manantiales; aguas salobre, estanques, paredones; oligohalobia; alcalifila; oligo- a mesosapróbica, polisapróbica; meso-, eutrófica; aguas con baja a media conductividad; requiere moderada concentración de O<sub>2</sub> (sobre el 50% de saturación), Autótrofa para el N, tolera elevadas concentraciones de N unido orgánicamente. Sensible a la contaminación. Formas de vida: plánctica, epifita, epipélica, epilítica, subaérea. Distribución mundial: Cosmopolita. Distribución en México: Oaxaca (Tavera et al., 1994), Puebla (Cuesta, 1993; Novelo, 1998); SLP (Cantoral-Uriza, 1997). Observaciones: Exclusivamente en Torres, MBB líquido y estación seca (Foto 1000X).



*Navicula confervacea* (Kützing) Grunow in Van Heurck 1880

Krammer et Lange-Bertalot. 1986: pag. 221, fig. 75: 29-31

Valva lanceolada a elíptica con polos y ápices redondeados, anchos; área axial amplia, lanceolada; área central no diferenciable de la central; rafe recto, con extremos proximales curvados en la misma dirección; estrias, regulares, más o menos radiales; punteadas, todos los puntos del mismo tamaño, las centrales, más cortas. L: de 13.23 a 21.0 µm; A: de 5.29 a 7.8 µm; estrias: 19 en 10 µm. Distribución en Jales: Se observaron dos ejemplares en Valenciana-húmedo y uno en Pozuelos. Ambientes: Aguas poco profundas; preferentemente, aguas cálidas y blandas (Patrick y Reimer, 1966). En cuerpos de agua y zonas húmedas; mesohalobia; circumneutra; mesosaprobia; eutrófica; autótrofa facultativa al N, requiere, periódicamente, elevadas concentraciones de compuestos con N unido orgánicamente. Alrededor del 50% de saturación de O<sub>2</sub> en el medio. Formas de vida: Diferentes tipos de cuerpos de agua dulce; aguas no permanentes (Ibarra, 1998). Distribución mundial: Cosmopolita. Distribución en México: Centro de México (Metcalf, 1985 y 1988); Morelos (Valadéz, 1998); Puebla (Ibarra, 1998). Observaciones: MBB líquido; estación de lluvia (Foto 1000X).



*Navicula minuscula* Grunow in van Heurk 1880

Krammer *et* Lange-Bertalot. 1986: pag. 207, fig. 69: 18-27

Valva elíptica con márgenes convexos y polos no diferenciados; ápices redondeados; rafe recto, muy evidente, con terminaciones proximales cercanas y rectas; área central no diferenciable el área axial; área axial estrecha, lineal a poco perceptible; estrias numerosos, paralelas, poco distinguibles en microscopio de luz. L: de 5.34 a 6.57  $\mu\text{m}$ ; A: de 3.43 a 4.10  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Valenciana-húmedo. Ambientes: Ampliamente distribuida en diversos tipos de cuerpos de agua dulce, a veces en sitios húmedos, pero raramente fuera de cuerpos de agua; en arroyos, cascadas, cenotes; aguas corriente, estancada y de irrigación; en sedimentos fósiles lacustres y paredones; oligohalobia; circumneutra a alcalifila; mesosaprobia; oligotrófica, baja a media conductividad. Formas de vida: perifítica, epilítica, subaérea, epipelon, epilíton. Distribución mundial: Cosmopolita. Distribución en México: Estado de México (Bradbury, 1971), Guanajuato (García-Meza, 1997), México central (Metcalf, 1985, 1988), Puebla (Ibarra, 1992; Novelo, 1998), Oaxaca (Tavera *et al.*, 1994). Observaciones: Especialmente abundante en este jal. Se desarrollo en MBB y Chu-10, líquidos y sólidos; estación de lluvias (Foto 1000X).

*Navicula mutica* Kützing 1844

Krammer *et* Lange-Bertalot. 1986: pag. 149, fig. 61: 1-11

Valva lanceolada a elíptica, con márgenes convexos, polos no diferenciados del cuerpo principal y ápices redondeados; rafe recto, con extremos proximales lejanos y curvos en la misma dirección (opuesta al estigma), extremos distales rectos; nódulo central presente; área axial estrecha, lineal; área central lisa, rectangular, estauroide, con un estigma redondo marginal; estrias rectas, regulares, conspicuamente punteadas, todos los puntos del mismo tamaño; estrias radiadas y las limitrofes del área central, más cortas y espaciadas. L: de 7.8 a 15.73  $\mu\text{m}$ ; A: de 5.1 a 6.05  $\mu\text{m}$ ; estrias más de 20 en 10  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Torres. Ambientes: Oligohalobia a indiferente; indiferente al pH a alcalifila, pH de 6.5 a 8.5 y óptimo de 7.5 a 8.5; requiere 100% de saturación de O<sub>2</sub>; autótrofa del N; indiferente a la corriente. Formas de vida: Edáfica, perifítica a ticopláncica, aerófila. Distribución mundial: Cosmopolita. Distribución en México: Guanajuato (García-Meza, 1997), Michoacán (Quintana, 1961), México central (Metcalf, 1985, 1988), Morelos (Valadéz, 1992 y 1998) Puebla (Cuesta, 1993; Novelo, 1998), Oaxaca (Tavera *et al.*, 1994), Tlaxcala y Xochimilco (Quintana, 1961). Observaciones: Exclusivamente en Torres, MBB líquido y estación seca (Foto 1000X).



*Navicula phyllepta* Kützing 1844

Krammer *et* Lange-Bertalot. 1986: pag. 104, fig. 32: 5-11

Valva lanceolada o elíptico-lanceolada, márgenes convexos, polos, capitados subcapitados o no diferenciados del cuerpo, ápices redondeados; rafe recto, extremos proximales cercanos y rectos, extremos terminales ligeramente curvos; área axial estrecha y recta; área central pequeña; estrias finamente lineoladas, curvas; hacia los ápices las estrias son paralelas y en la zona central, radiales. L: de 17.06 a 25.38  $\mu\text{m}$ ; A: de 6 a 7.94  $\mu\text{m}$ ; estrias: de 14 a 15 en 10  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Arroyo Pozuelos (García-Meza, 1997); Torres, Valenciana húmedo. Ambientes: Cosmopolita de aguas salobres y dulces; en arroyos, canales, ríos, gradientes de salinidad en marismas. Polihalobia; eurihalobia. Formas de vida: Plánctica, béntica; peri- y epífiton, epilítica. Distribución mundial: Cosmopolita. Distribución en México: Guanajuato (García-Meza, 1997); Puebla (Ibarra, 1992; Novelo, 1998). Observaciones: En MBB líquido y sólido y ambas estaciones (Foto 1000X).

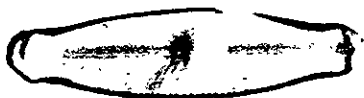


*Navicula pupula* Kützing 1844

Krammer *et* Lange-Bertalot. 1986: pag. 189, fig. 68: 1-21

Valva lanceolada a elíptico-lanceolada, márgenes rectos a convexos, polos diferenciados en menor o mayor grado del cuerpo, ápices capitados, subcapitados a rostrados o anchamente redondeados; engrosamientos polares silificados muy evidentes; rafe recto en engrosamiento silicoso, con extremos proximales cercanos, rectos o ligeramente curvos en la misma dirección y extremos terminales expandidos lateralmente; nódulo central evidente; área axial estrecha, recta; área central, irregular; estrias rectas, mas o menos regulares, distinguibles, punteadas, radiales en toda la valva; estrias limitrofes del área central regularmente acortadas y ligeramente más espaciadas que el resto. L: de 20.84 a 29.4  $\mu\text{m}$ ; A: de 5.21 a 7.35  $\mu\text{m}$ ; estrias: 18 en 10  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Arroyo Pozuelos (García-Meza, 1997); Pozuelos, Valenciana-seco. Ambientes: Ampliamente distribuida y frecuente. Suelo húmedo, aguas dulce y salobre, ríos, canales, arroyos, corrientes someras, cascadas, estanques, charcos, manantiales, cenote, aguas termales, lagunas, lagos, puestas de rana; agua dulce circumneutra con poco contenido mineral; halófila a mdiferentes; indiferente al pH; termófila; moderado requerimiento de  $\text{O}_2$ , sobre el 30%

de saturación; mesosaprobias; eutrófica; termófila; en ambientes de conductividad media; poco sensible a concentración moderada de sal; autótrofa del N; indiferente a la corriente. Formas de vida: Edáfica, subaérea, plánctica, béntica, epífita de macrofitas; epipélica, epilítica, perifítica. Distribución mundial: Cosmopolita. Distribución en México: Guanajuato (García-Meza, 1997); México central (Metcalfé, 1985, 1988), Puebla (Avila, 1989; Cuesta, 1993; Ibarra, 1998; Novelo, 1998) Oaxaca (Tavera *et al.*, 1994). Observaciones: Exclusivamente en MBB líquido y estación de lluvia (Foto 1000X).



*Navicula veneta* Kützing 1844

Krammer *et* Lange-Bertalot. 1986: pag. 104, fig. 32: 1-4

Valva linear-lanceolada con polos ligeramente diferenciados del cuerpo principal, redondeados; ápices redondos; rafe recto con extremos proximales más o menos cercanos; área axial estrecha, recta; área central pequeña, simétrica; estriás rectas, ligramente convergentes en ápices y radiales en la zona central; dos estriás centrales opuestas más cortas, rectas e igualmente espaciadas que las demás. L: de 20.58 a 27.05  $\mu\text{m}$ ; A: de 5.78 a 6.17  $\mu\text{m}$ ; estriás: de 15 a 18 en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución en Jales: Arroyo Pozuelos (García-Meza, 1997); Valenciana-húmedo, Torres.

Ambientes: Ambientes mixtos. Ríos, arroyos, canales, corrientes, cascadas, charcos, manantiales, estanques; aguas de conductividad baja a alta y hasta salobres; alcalífila; aguas neutras a ligeramente ácidas; requiere moderada concentración de  $\text{O}_2$  (sobre el 30% de saturación); meso-a polisaprobias; autótrofa para el N; Resistentes a la contaminación. Formas de vida: Edáfica, subaérea, Plánctica, béntica, perifítica, epífita, epilítica, epipélica. Distribución mundial: Cosmopolita. Distribución en México: Guanajuato (García-Meza, 1997), Puebla (Cuesta, 1993; Novelo, 1998), Oaxaca (Tavera *et al.*, 1994). Observaciones: En MBB y Chu-10, sólidos y líquidos; ambas estaciones en Torres y estación de lluvia en Valenciana (Foto 1000X).



*PINNULARIA* Ehrenberg 1843*Pinnularia viridis* (Nitzsch) Ehrenberg 1843

Krammer *et* Lange-Bertalot. 1986: pag. 428, fig. 194: 1-4 y 195: 1-6

Valva lineal elíptica, márgenes paralelos a ligeramente convexos, polos redondos; rafe filiforme, sinuoso o complejo, terminaciones distales con forma de signo de interrogación y terminaciones proximales gruesas; estrías ligeramente radiales en el centro y paralelas a convergentes hacia los polos; área axial variable, amplia, rómbica; área central no diferenciable del área axial, a ligeramente ovalada, deprimida. L: 141.12  $\mu\text{m}$ ; A: 24.4  $\mu\text{m}$ ; estrías: 9 en 10  $\mu\text{m}$ . Ambientes: Ríos, arroyos, canales, charcos, estanques, puestas de rana; rocas de zonas emergentes, sedimentos lacustres; oligohalobia; alcalífila a indiferente al pH; mesoprobia; eutrófica; requerimiento moderado de O<sub>2</sub> (sobre 30% de saturación) eutrófica; autótrofa para el N. Formas de vida: Litoral, plánctica, béntica, epífita, epipélica, epilítica, perifítica. Distribución mundial: Cosmopolita. Distribución en México: Guanajuato (Ortega, 1984; García-Meza, 1997), Hidalgo (Ortega, 1984), México central (Metcalfe, 1985, 1988), Michoacán (Ortega, 1984), Puebla (Cuesta, 1993; Novelo, 1998); SLP (Carmona, 1990; Cantoral-Uriza, 1997). Distribución en Jales: Pozuelos y Valenciana-húmedo. Observaciones: En MBB líquido; estación de lluvia (Foto 600X).

*STAURONEIS* Ehrenberg 1893*Stauroneis phoenicenteron* (Nitzsch) Ehrenberg 1843

Krammer *et* Lange-Bertalot. 1986: pag. 239, fig. 84: 1-3

Valva lanceolada; polos subrostrados, ápices redondeados; área axial ancha, recta; área central estauroie; estauros recto, ligeramente más ancho hacia los márgenes; rafe recto, lateral, con terminaciones distales y proximales ensanchadas y proximales curvas hacia el mismo lado; estría punteadas, radiales a ligeramente convergentes hacia los ápices. L: 100  $\mu\text{m}$ ; A: 26.98  $\mu\text{m}$ ; estrías: 18 en 10  $\mu\text{m}$ . Ambientes: Amplio rango de tolerancia a diferentes condiciones ambientales. Diferentes cuerpos de agua, ríos, arroyos y ocasionalmente en sitios húmedos; oligohalobia; circumneutra; meso- a eutrófica; mesosaprobia; requiere moderada concentración de O<sub>2</sub> (sobre el 50% de saturación); autótrofa al N; indiferente al Ca. Formas de vida: Litoral, béntica, perifítica.

Distribución mundial: Cosmopolita. Distribución en México: Centro de México (Metcalfé, 1988); Estado de México, Hidalgo (Ortega, 1984); SLP (Cantoral-Uriza, 1997). Distribución en Jales: Pozuelos. Observaciones: Esta es una de las dos especies que crecieron exclusivamente en medio Chu-10 con jal proveniente de Pozuelos, colectado en la estación de lluvias.



EPITHEMIACEAE Grunow 1860

*DENTICULA* Kützing 1844

*Denticula kuetzingii* Grunow 1862

Krammer *et* Lange-Bertalot. 1988: pag. 143, fig. 99:11-23

Valva linear-lanceolada con ápices redondeados; rafe ligeramente marginal; costillas agudas, largas, pero no cruzan la valva, todas del mismo tamaño; estrias punteadas; fibulas alternándose.

L: de 18 a 21.07  $\mu\text{m}$ ; A: de 4 a 5.9  $\mu\text{m}$ ; fibulas: de 5 a 6 en 10  $\mu\text{m}$ ; estrias: de 16 a 17 en 10  $\mu\text{m}$ .

Ambientes: Amplia distribución; ambientes mixtos, ríos, arroyos, canales, cascadas, lagos, manantiales, estanques, paredón; oligohalobia; en aguas corrientes neutras con conductividad media a elevada; alcalifila; mesosapròbia; mesotrófica; requiere 100% de saturación de  $\text{O}_2$  en el medio; autótrofa obligada del nitrógeno, poco tolerante a la presencia de N unido a compuestos orgánicos. Formas de vida: Edáfica, plánctica, epífita, epilítica, epipélica, perifítica, epilítica, subaérea. Distribución mundial: Cosmopolita, especialmente en zonas cálidas. Distribución en México: Guanajuato (García-Meza, 1997); Puebla (Ibarra, 1992 y 1998; Cuesta, 1993; Novelo, 1998) Oaxaca (Tavera *et al.*, 1994); SLP (Cantoral-Uriza, 1997); Veracruz (Vázquez, 1995). Distribución en Jales: Arroyo Pozuelos (García-Meza, 1997); Las Torres. Observaciones:

Exclusivamente se manifestó en Las Torres; en MBB y Chu-10, líquidos, ambas estaciones (Foto 1000X).



*Denticula* sp.

Frústulo muy silificada. Valva lineal-lanceolada, polos redondeados; rafe marginal, ancho; costillas muy gruesas, largas (hasta la mitad de la valva); estrias finamente punteadas; tres hileras de estrias entre dos fibulas. L: 19.6  $\mu$ m; A: 4.02  $\mu$ m; costillas: 7 en 10  $\mu$ m. Distribución en Jales: Pozuelos. Observaciones: No determinada, se observó un ejemplar que se manifestó un solo cultivo, MBB líquido, con jal de Pozuelos colectado época de lluvias (Foto 1000X).



*EPITHEMIA* Brébisson ex Kützing 1844

*Epithemia sorex* Kützing 1844

Krammer *et* Lange-Bertalot. 1988: pag. 154, fig. 106:1-13

Frústulo semielíptica con margen dorsal fuertemente convexo y ventral ligeramente cóncavo a recto; rafe en forma de V, con vértice orientado dorsalmente; ápices redondeados, ligeramente rostrados a capitados; rafe hasta  $\frac{3}{4}$  del ancho de la valva; costillas radiales, alternas, con 2 a 3 hileras de alvéolos, también radiales; nódulo central cerca del margen dorsal. L: de 20 a 51.84  $\mu$ m; A: de 8 a 9.80  $\mu$ m; costillas: de 7 a 9 en 10  $\mu$ m; estrias: de 18 a 20 en 10  $\mu$ m. Distribución en Jales: Las Torres, Valenciana-húmedo y seco. Ambientes: Tulares, aguas estancadas, charcos, ríos, arroyos, cascadas, lagos, presas, cenotes de aguas termales, lagos, sedimentos fósiles de lagos; oligohalobia a halófila, eutérmica, requiere elevada concentración de O<sub>2</sub> (sobre el 75% de saturación); saproóxena a mesosaprobica; limnobiótica a riófila; autótrofa obligado del N; poco tolerante a la presencia de este compuesto unido a moléculas orgánicas. Preferentemente en aguas estancadas con elevada concentración de electrolitos. Formas de vida: Edáfica, subaérea, litoral, plánctica, béntica, epífita de plantas sumergidas, perífita, epífitas, epilitica, epipélica. Distribución mundial: Cosmopolita. Distribución en México: Estado de México (Bradbury, 1971),

Guanajuato (García-Meza, 1997), México central (Metcalf, 1985, 1988), Puebla (Ibarra, 1992; Novelo, 1998), Oaxaca (Tavera *et al.*, 1994). Observaciones: En MBB y Chu-10, líquidos; estación lluvias de Valenciana y ambas para Torres (Foto 1000X).



*RHOPALODIA* O. Müller 1985

*Rhopalodia gibba* (Ehrenberg) O. Müller 1985

Krammer *et Lange-Bertalot*. 1988: pag. 159 fig. 111: 1-13

Valva lineal con margen dorsal casi recto y margen dorsal ligeramente convexo a recto con una curvatura central; extremos ligeramente curvos hacia margen ventral, redondos agudos; canal rafiano ventral, marginal, casi recto y con curva central debido a la forma de la valva; costillas rectas, paralelas entre sí a ligeramente radiadas hacia los ápices; estriás alveoladas. L: de 27 a 150  $\mu\text{m}$ ; A de la valva: de 6.76 a 15  $\mu\text{m}$ ; costillas: 5 en 10  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Torres, Valencianas-húmedo y seco. Ambientes: Especie ampliamente distribuida; en ambientes mixtos; suelos húmedos sedimento de manantiales, remansos, manantiales, lagos, presas, charcos, canales, estanques, cenotes termales, arroyos, canales, ríos, sedimentos fósiles, diatomita, paredón; aguas saladas y dulces; oligohalobia, halófila ó indiferente; alcalifila; oligo- a mesosapróbica; eutrófica; eutérmica; indiferente a la corriente; aguas con conductividad moderada a alta. Formas de vida: Edáfica, béntica, plánctica, perifítica, epifita, epilitica, subaérea. Distribución mundial: Cosmopolita. Distribución en México: Centro de México (Metcalf, 1988), Coahuila (Ortega, 1984), Estado de México (Bradbury, 1971); Hidalgo, Michoacán, (Ortega, 1984); Morelos (Valadéz, 1992); Puebla (Avila, 1989; Cuesta, 1993; Ibarra, 1998; Novelo, 1998); SLP (Cantoral-Uriza, 1990 y 1997; Carmona, 1990), Oaxaca (Tavera *et al.*, 1994). Observaciones: En MBB líquido; estación seca (Foto 1000X).





*Rhopalodia operculata* (Agardh) Håkansson 1979

Krammer *et* Lange-Bertalot. 1988: pag. 167, fig. 115: 9-12

Frústulo en vista conectiva rómbica, con extremos aplanados. Valva fuertemente dorsiventral, con margen ventral recto y margen dorsal completamente convexo, arqueado; polos subcapitados; ápices redondeados, dirigidos hacia margen ventral; canal del rafe apenas distinguible en margen ventral; costillas muy gruesas. L: 19.01  $\mu\text{m}$ ; A: 5.29  $\mu\text{m}$ ; Costillas: de 4 a 5 en 10  $\mu\text{m}$ . Ambientes: Dulceacuicola, comunes en vertientes; en aguas termales y en aguas mineralizadas. Distribución mundial: Cosmopolita. Distribución en México: no se encontró registro. Distribución en Jales: Las Torres. Observaciones: En MBB líquido; estación seca (Foto 1000X).



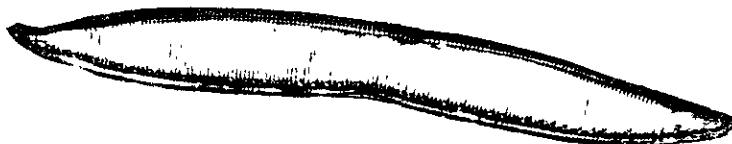
## BACILLARIACEAE Ehrenberg 1840

*Hantzschia* Grunow 1877*Hantzschia amphioxys* (Ehrenberg) Grunow in Cleve *et* Grunow 1880

Krammer *et* Lange-Bertalot. 1988: pag. 128, fig. 88: 1-7

Valva lanceolada, margen del rafe (ventral) cóncavo, con una constricción central más o menos abrupta; margen sin rafe (dorsal) convexo a ligeramente recto; polos y ápices alargados; ápices redondeados, ocasionalmente curvados dorsalmente; fibulas irregulares, cortas, confinadas a la carina; areolación fina; estrias finamente punteadas; pseudonódulo central reducido. L: de 27 a 32.34  $\mu\text{m}$ ; A: de 5.10 a 6.57  $\mu\text{m}$ ; fibulas: 6 en 10  $\mu\text{m}$ ; estrias: de 18 a 19 en 10  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Las Torres, Pozuelos, Valenciana-húmedo y seco. Ambientes: Ambientes mixtos; principalmente en suelos: suelo seco, suelos de zonas áridas, dunas de arena, suelos arenosos, suelos de praderas, cieno, entre musgos, sobre raíces de cactáceas; aguas dulce y salobres, ríos, arroyos, canales, charcos, lagos, lagunas, presas, manantiales, aguas termales, sedimentos de lagunas, sedimentos fósiles de lagos, diatomita, paredes; oligohalobia, eurihalobia, indiferente a la sal; alcalífila, pH de 5.4 a 9.2, óptimo entre 7.8 y 8.0, preferentemente en aguas alcalinas; eutérmica; requiere elevada concentración de  $\text{O}_2$  (sobre el 75% de saturación); poco abundantes en zonas eutrofiadas; autótrofa al N, pero soporta elevadas concentraciones del mismo; aguas circumneutras con baja a media conductividad; indiferente a la corriente; indiferente al Ca y Fe; aguas contaminadas, amplia tolerancia a condiciones ambientales diversas. Formas de vida: Edáfica, subaérea, litoral, plánctica, béntica, epífita, epipélica, epilitica, perifítica, subaérea. Distribución mundial: Extremadamente ubicua. Cosmopolita. Distribución en México: Centro de México (Metcalf, 1985 y 1988), Coahuila (Ortega, 1984), Estado de México (Bradbury, 1971),

Guanajuato (García-Meza, 1997), Hidalgo, Michoacán (Ortega, 1984), Puebla (Avila, 1989; Novelo, 1985, 1998), Oaxaca (Tavera *et al.*, 1994). Observaciones: En cultivos de Valenciana y Pozuelos, MBB y Chu-10, líquido y sólidos; en cultivos de Las Torres, sólo en MBB líquido. Ambas estaciones (Foto 1000X).



*NITZSCHIA* Hassall 1845 *no. cons.*

*Nitzschia capitellata* Hustedt in A. Schmidt et al. 1922

Krammer *et Lange-Bertalot*. 1988: pag. 88, fig. 62: 1-12

Valva lineal a lanceolada, vista valvar recta, márgenes ligeramente convexos a lineales y levemente constreñidos en la parte central; polos distinguibles del cuerpo central, capitados; ápices redondeados; superficie valvar más o menos plana; carina breve, rafe excéntrico, con pseudonódulo central evidente; fibulas regularmente distantes entre sí, excepto las dos centrales, todas de igual tamaño, cortas y chatas; estrias muy finas, incontables en microscopio de luz. L: de 62 a 85  $\mu\text{m}$ ; A: de 5.10 a 7.81  $\mu\text{m}$ ; fibulas: de 7 a 8 en 10  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jalisco: Arroyo Pozuelos Guanajuato (García-Meza, 1997); Las Torres, Valenciana-húmedo. Ambientes: Ríos, canales, charcos, sedimentos fósiles de lago, litorales marinos; halófila; alcalifila, pH entre 7.0 y 9.2, con pH óptimo entre 7.3 y 7.8; meso- a polisaprobia; eutrófica; conductividad media; heterótrofa obligada del N. Formas de vida: Edáfica, plánctica, béntica, perifítica, epilitica, epífita. Distribución mundial: Cosmopolita. Distribución en México: Estado de México (Bradbury, 1971); Guanajuato (García-Meza, 1997); Puebla (Novelo, 1998). Observaciones: En MBB líquido; estación seca y de lluvia (Foto 1000X).

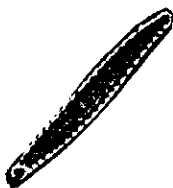


*Nitzschia claussi* Hantzsch 1860

Krammer *et* Lange-Bertalot. 1988: pag. 31, fig. 19: 1-6

Valva lineales, sigmoides, un margen más cóncavo que el otro; polos ligeramente rostrados, diferenciados del cuerpo clular; ápices redondeados, curvos en sentidos opuestos; eje apical sigmoide; carina breve, rafe excéntrico; pseudonódulo central presente, evidente; fibulas pequeñas, regularmente distantes entre sí a excepción de las dos centrales que están más separadas; fibulas cortas y todas de igual tamaño; estrias muy finas, rectas, poco evidentes en microscopio de luz. L: de 11.47 a 41.20  $\mu\text{m}$ ; A: de 2.48 a 3.23  $\mu\text{m}$ ; fibulas: de 13 a 14 en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución en Jales: Pozuelos (García-Meza, 1997); Torres, Valenciana-húmedo. Ambientes: En suelos húmedos, ríos, arroyos salinos, charcos, manantiales, puestas de rana, sedimentos fósiles de lagos; meso- a oligohalobia o indiferente a la sal; indiferente al pH a alcalifila; pH de 6.8 a 8.2, con óptimo cerca de 8.2; mesosapróbica; euritrófica; en aguas con alto contenido de  $\text{O}_2$  disuelto; indiferente a la corriente a riófila. En aguas con elevada conductividad y con altas concentraciones de desechos industriales. Formas de vida: Edáfica, litoral, béntica, epilítica, perifítica, sobre algas filamentosas. Distribución mundial: Cosmopolita. Distribución en México: Centro de México (Metcalf, 1988), Guanajuato (García-Meza, 1997); Morelos (Valadéz, 1992 y 1998), Puebla (Cuesta, 1993); SLP (Cantoral-Uriza, 1997); Veracruz (Vázquez, 1995). Observaciones: Se observó viva; especie muy abundante en los cultivos donde se manifestó. En MBB y Chu-10, sólidos y líquidos; ambas épocas de colecta (Foto 1000X).

*Nitzschia frustulum* (Kützing) Grunow in Cleve et Grunow 1880

Krammer *et* Lange-Bertalot. 1988: pag. 94, fig. 68: 1-8

Valva lineal-lanceolada a lanceolada, vista valvar recta, márgenes rectos a ligeramente cóncavos en la parte media; polos ligeramente alargados, agudos, ápices redondeados, ligeramente capitados; eje apical y pervalvar rectos; superficie valvar plana; carina breve; rafe marginal; fibulas cortas; nódulo central presente; dos estrias por fibula; estrias rectas, curvas en ápices, punteadas, paralelas. L: de 20 a 27.17  $\mu\text{m}$ ; A: de 2.57 a 3.42  $\mu\text{m}$ ; Fibulas: 10 en 10  $\mu\text{m}$ ; estrias: 20 en 10  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Pozuelos, Torres. Ambientes: Suelo húmedo, aguas salobres continentales; canales, ríos, arroyos, represas, charcos, manantiales, aguas estancadas, pantanos, puestas de rana sedimentos fósiles de lagos, diatomitas; aguas salobres, curihalobia, halófila a indiferente a la sal; alcalifila, de 6.2 a 8.6; eutérmica; requiere concentración moderada de  $\text{O}_2$ ;

heterótrofa obligada al N. Formas de vida: Edáfica, litoral, plánctica, béntica, epífita, epipélica, epilítica, perifítica. Distribución mundial: Cosmopolita. Distribución en México: Estado de México (Bradbury, 1970, 1971), Guanajuato (García-Meza, 1997), México central (Metcalfe, 1985, 1988), Puebla (Avila, 1989; Cuesta, 1993; Novelo, 1998). Observaciones: En MBB y Chu-10, sólidos y líquidos y estación de lluvia en Las Torres y en cultivos de MBB, sólidos y líquidos, estación seca de Pozuelos (Foto 1000X).



*Nitzschia gracilis* Hantzsch 1860

Krammer *et* Lange-Bertalot. 1988: pag. 93, fig. 66: 7

Valva estrecha, lineal, vista valvar recta, márgenes rectos; polos agudos, alargados, ligeramente capitados; ápices redondeados; eje apical recto; superficie valvar plana; carina breve; rafe marginal; pseudonódulo central ausente; fibulas regularmente distantes entre sí, cortas, chatas, todas del mismo tamaño, completas; estrias no visibles en microscopio de luz. L: de 64.30 a 75.56  $\mu\text{m}$ ; A: de 2.55 a 3.34  $\mu\text{m}$ ; fibulas: de 13 a 14 en 10  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Torres, Valenciana-húmedo. Ambientes: En agua dulce; ríos, charcos, puestas de rana, sedimentos fósiles; oligohalobia; circumneutra, indiferente al pH; mesosapróbica; meso- a eutrófica; requiere elevadas concentraciones de  $\text{O}_2$  disuelto (sobre el 75% de saturación); en aguas contaminadas. Formas de vida: Plánctica, béntica, litoral. Distribución mundial: Europa central; India (Sarode y Kamat, 1984); Reino Unido, España, Polonia (*In*: Novelo, 1998). Distribución en México: Centro de México (Metcalfe, 1985 y 1988), Estado de México (Bradbury, 1971), Guanajuato (García-Meza, 1997), Morelos (Valadéz, 1992); Veracruz (Vázquez, 1995). Observaciones: En MBB y Chu-10, sólidos y líquidos; ambas estaciones de colecta (Foto 1000X).



*Nitzschia linearis* (Agardh) W. Smith 1853

Krammer *et* Lange-Bertalot. 1988: pag. 69, fig. 55: 1-10

Valva linear a lanceolada con extremos ligeramente agudos; márgenes ligeramente concavos; polos rostrados; ápices redondeados, un poco curvos; carina marginal; fibulas centrales más

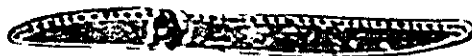
separadas que las restantes en la zona el nóulo central; fibulas gruesas, rectas, paralelas; estrias apenas distinguibles en microscopio de luz, finamente punteadas; con nóulo central. L: 43.71  $\mu\text{m}$ ; A: 4.21  $\mu\text{m}$ ; fibulas: 14 en 10  $\mu\text{m}$ ; estrias: más e 25 en 10  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Torres, Valenciana-tular. Ambientes: Amplio espectro de condiciones. Ríos, cascadas, corrientes; manantiales, lagos, lagunas, sedimentos lacustres; aerófila; oligohalobia, indiferente; circumneutral, alcalífila a indiferente al pH; oligo- mesosaprobia; eu- mesotrófica; autotrófica para el N, tolera elevadas concentraciones de compuestos orgánicos nitrogenados; requiere sobre el 75% de saturación de O<sub>2</sub> disuelto en el medio; en ambientes calcáreos; aguas ricas en O<sub>2</sub>, con alta conductividad. Formas de vida: Plánctica, béntica, perífita. Distribución mundial: Cosmopolita. Distribución en México: Centro de México (Metcalf, 1985 y 1988), Estado de México (Bradbury, 1971; Ortega, 1984); Hidalgo, Michoacán (Ortega, 1984); Puebla (Ortega, 1984; Cuesta, 1993); Oaxaca (Tavera *et al.*, 1994); SLP (Cantoral-Uriza, 1997). Observaciones: En MBB líquido; ambas estaciones de colecta (Foto 1000X).



*Nitzschia nana* Grunow in Van Heurch 1881

Krammer *et* Lange-Bertalot. 1988: pag. 26, fig. 17:6

Valva lineal, márgenes ligeramente paralelos, uno con una depresión central; polos redoneados; ápices romos, curvados en direcciones opuestas; eje axial sigmoide; superficie valvar plana; carina breve; rafe marginal; nóculo central evidente; fibulas regularmente distantes entre sí, pero más separadas en el centro, cortas y anchas; estrias no visibles en microscopio de luz. L: de 42 a 65  $\mu\text{m}$ ; A: de 4.0 a 4.5  $\mu\text{m}$ ; fibulas: 10 en 10  $\mu\text{m}$ . Distribución en Jales: Valenciana-húmedo. Ambientes: Zonas húmedas, lodos, aguas salobre y dulce; circumneutral; mesosaprobica; mesotrófica; requiere O<sub>2</sub> constantemente, 100% de saturación. Distribución mundial: Europa. Distribución en México: Guanajuato (García-Meza, 1997), Sonora (Ortega, 1984). Observaciones: Especie abundante en los medios de cultivo, se observó viva; en MBB y Chu-10, sólidos y líquidos; ambas estaciones de colecta (Foto 1000X).



*Nitzschia palea* (Kützing) W. Smith 1856

Krammer *et* Lange-Bertalot. 1988: pag. 85, fig. 59: 1-24

Valva lanceolada a linear-lanceolada, vista valvar recta, con una ligera constricción central, márgenes paralelos; polos rostrados, subcapitados; ápices redondos o agudos; superficie valvar plana; carina breve; rafe marginal; nódulo central pequeño; fibulas anchas y cortas, todas del mismo tamaño; estrias finamente punteadas, casi invisibles al microscopio de luz. L: de 17.74 a 25.78  $\mu\text{m}$ ; A: de 3.63 a 4.21  $\mu\text{m}$ ; Fibulas: de 10 a 15 en 10  $\mu\text{m}$ ; estrias: más de 25 en 10  $\mu\text{m}$ .

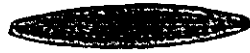
Distribución en Jalisco: Arroyo Pozuelos (García-Meza, 1997); Pozuelos, Torres, Valenciana-húmedo y seco. Ambientes: Cosmopolita. Puede soportar una gran cantidad de condiciones y es resistente a la contaminación. suelos, aguas dulce y corriente salobre; ríos, arroyos, canales, charcos, estanques, pozas, manantiales, cenotes de aguas termales, lagos, puestas de rana, sedimentos fósiles de lagos; oligohalobia a indiferente; pH entre 4.2 y 9.0, óptimo de 8.4; eutérmica, termófila; meso- a polisapróbica; oligo- a eutrófica; indiferente a la corriente; heterótrofo obligado para el N; requiere bajas concentraciones de  $\text{O}_2$  disuelto en el medio (sobre el 30% de saturación) indiferente al Ca; aguas con alta conductividad; sobre filtros de plantas de tratamiento de agua; en desechos industriales. Euritópica. Buen indicador de la contaminación. Así, Gale *et al.* (1979) la reportan en río de una estación eléctrica y con afluentes mineros con conductividad entre 205 y 326  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y Fe cuya concentración varió entre 0.5 y 3.03 ppm. Formas de vida: Edáfica. litoral, plánctica, béntica, perifítica, epilítica, epífita. Distribución mundial: Cosmopolita. Distribución en México: Centro de México (Metcalf, 1985 y 1988), Estado de México (Bradbury, 1971), Guanajuato (García-Meza, 1997), Hidalgo; Puebla (Ibarra, 1992 y 1998; Cuesta, 1993; Novelo, 1998); SLP (Cantoral-Uriza, 1997); Veracruz (Tavera, 1990). Observaciones: Abundante en cultivos, en los que se observó viva. En MBB líquido y Chu-10 sólidos y líquido; ambas épocas de colecta (Foto 1000X).

*Nitzschia pusilla* Grunow emed. Lange-Bertalot

Krammer *et* Lange-Bertalot. 1988: pag. 111, fig. 79: 12-15

Valva elíptico-lanceolada con vista valvar recta, márgenes convexos, polos redondeados; ápices romos hasta redondeados; eje apical recto; superficie valvar plana; carina breve; rafe marginal; pseudonódulo central ausente; fibulas regularmente distantes entre sí, delgadas, ligeramente agudas; estrias poco visibles en microscopio de luz, finamente punteadas. L: de 18.87 a 25.58  $\mu\text{m}$ ; A: de 3.46 a 4.12  $\mu\text{m}$ ; fibulas: de 10 a 12 en 10  $\mu\text{m}$ ; estrias: más de 25 en 10  $\mu\text{m}$ .

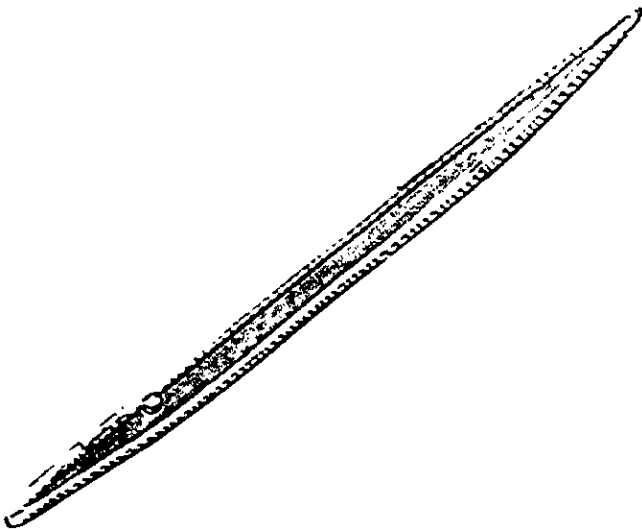
Distribución en Jales: Arroyo Pozuelos (García-Meza, 1997); Torres, Valenciana-tular. Ambientes: En guas temporaleso perennes; oligohalobia; circumneutra; requiere elevadas concentraciones de O<sub>2</sub> disuelto en el medio (sobre 75% de saturación); mesosaprobia; eutérmica; autótrofa del N; en aguas contaminadas. Formas de vida: Litoral. Distribución mundial: Cosmopolita. Distribución en México: Centro de México (Metcalf, 1985 y 1988), Guanajuato (García-Meza, 1997); Puebla (Ibarra, 1992). Observaciones: En MBB líquidos; ambas estaciones (Foto 1000X).



*Nitzschia* cfr. *sublinearis*

Krammer *et* Lange-Bertalot .1988.

Valva lineal a linear-lanceolada; márgenes más o menos paralelos con una ligera depresión central; polos subcapitados; ápices romos a redondeados; eje apical recto; superficie valvar plana; carina breve; rafe marginal; pseudonódulo central poco evidente; fibulas regularmente distantes entre sí, delgadas, cortas; estrias no visibles en microscopio de luz. L: de 75.6 µm; A: 4.4 µm; fibulas: 12 en 10 µm. Distribución en Jales: Valenciana-húmedo. Observaciones: Se observó un ejemplar que se manifestó en MBB líquido de jal colectado en la estación de lluvia (Foto 1000X).



---

## APÉNDICE A 1

---

### TÉCNICAS EMPLEADAS

#### *Medios de cultivo*

Medio Basal Bold pH 6.6 (Nicholson y Bold, 1965 cit. Stein, 1973)

Se preparan seis soluciones *stock* para macronutrientes, tres soluciones *stock* de componentes minoritarios y una solución única para micronutrientes. Se emplea para Clorofitas, Crisofitas, Cianofitas y Rodofitas.

a. Macronutrientes. Usar 10 mL de cada uno para 940 mL de medio

$\text{NaNO}_3$	10 g/ 400 mL
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1 g/ 400 mL
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	3 g/ 400 mL
$\text{K}_2\text{HPO}_4$	3 g/ 400 mL
$\text{KH}_2\text{PO}_4$	7 g/ 400 mL
$\text{NaCl}$	1 g/ 400 mL

b. EDTA. Usar 1 mL/L

EDTA	50 g/L
KOH	31 g/L

c. Hierro. Usar 1 mL/L

$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	4.98 g/L
$\text{H}_2\text{SC}_4$	1.0 mL/L

d. Boro. Usar 1 mL/L

$\text{H}_3\text{BO}_3$	11.42 g/L
-------------------------	-----------



## e. Micronutrientes. Usar 1 mL/L

ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	8.82 g/L
NaCl·4H <sub>2</sub> O	1.44 g/L
MoO <sub>3</sub>	0.71 g/L
CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	1.57 g/L
Co(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	0.49 g/L

Chu 10, pH 6.5-7.0 (Chu, 1942 cit. Stein, 1973).

## Medio para Cianofitas

Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.040 g/L
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0.010 g/L
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.025 g/L
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0.020 g/L
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	0.025 g/L
FeCl <sub>3</sub>	0.080 mg/L

## Agar

Concentración 1.5 a 2.0 %, en agua destilada

Importante: se debe esterilizar toda la cristalería y el agua destilada.

*Limpieza de diatomeas*

Método de Johansen *et al.* (1983) para limpieza de diatomeas

1. Se vierte un poco de la muestra en un matraz de 100 mL; se añaden 20 mL de agua destilada y 10 mL de HNO<sub>3</sub>
2. Se calienta la mezcla anterior y se deja hervir hasta que disminuya la solución a 20 mL. Evitar que salpique la muestra.
3. Añadir un poco de K<sub>2</sub>CrO<sub>7</sub> y hervir 5 min. más.
4. Dejar enfriar
5. Colocar la muestra en un tubo de centrifuga hasta 14 mL. Centrifugar 10 min. a 500 r.p.m. Resuspender la muestra con agua destilada hasta que se homogenice. Centrifugar 6 veces más. Para la última centrifugación, llenar a 10 mL el tubo de centrifuga, en vez de a 14 mL.

6. Hacer las preparaciones en difusión. Colocar unas gotas de la muestra en el cubreobjetos y dejar que seque.
7. Colocar resina *Naphrax* en el portaobjetos y calentar sobre la parrilla hasta que hierva, por 10 seg., dejar que salgan los vapores. Remover el portaobjetos del calor e inmediatamente poner el cubreobjetos con diatomeas en la resina caliente. Permitir que el *Naphrax* hierva un poco más, colocando el portaobjetos en la parrilla. Retirar tan pronto como ocurra. Eliminar burbujas golpeando suavemente la preparación.

### *Análisis físico-químicos de jales*

#### Colecta y manejo de muestras

1. Colectar 1 Kg. de muestra de jal en una bolsa de plástico por triplicado, tomar la muestra con pala de plástico. Se colecta la misma cantidad y también por triplicado de suelo aledaño al jal de colecta, que será el control.
2. Poner a secar las muestras el tiempo necesario (generalmente 5-7 días).
3. Cernir cada una de las muestras de jal y suelo en tamiz con malla de 2 mm de abertura. Pasar las muestras a bolsas de plástico nuevas.

#### Determinación de color

1. Colocar aproximadamente 0.5 g de muestra en la placa de porcelana
2. Comparar el color con la Tabla de Colores Munsell (Munsell Color Chart, 1975. Baltimore) hasta encontrar el color adecuado; anotar la clave del color elegido y buscar el color correspondiente en la lista de nombres de colores.
3. Humedecer el suelo y seguir la misma técnica indicada en el paso anterior.

#### Densidad real (Richards, 1974)

1. Pesar 10 g de muestra y pasar a un matraz de 100 mL.
2. Llenar una probeta analítica con 100 mL de agua.
3. Aforar a 100 mL el matraz con suelo.
4. Medir volumen de agua que quedó en la probeta.
5. Obtener la densidad real ( $\delta_r$ ) con la siguiente fórmula:

$$\delta_r = m / V$$

$\delta_r$ : densidad real

m: masa suelo (10 g)

V: Volumen de agua que quedó en probeta

#### Densidad aparente (Richards, 1974)

1. Pesar una probeta de 10 mL completamente seca (dato P)
2. Agregar muestra hasta que ésta se compacte (golpeando) lo más posible y medir el volumen que ocupa la muestra en la probeta (dato V)

3. Pesar la Probeta con el suelo (dato Ps)
4. Calcular la densidad aparente ( $\delta_a$ ) con la fórmula:

$$\delta_a = P_s \cdot P / V$$

#### Porosidad (Richards, 1974)

1. Se calcula a partir de los datos de densidad real y aparente, mediante la fórmula siguiente:

$$\text{Porosidad} = \delta_r - \delta_a / V$$

#### Textura (Bouyoucos *in* Black, 1965)

1. Pesar 55 a 60 g de muestra y colocar en un vaso de precipitados (ppo) de 500 mL.
2. Destruir materia orgánica: humedecer el suelo con agua destilada; agregar 20 mL de peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) al 8%; poner a calentar en la parrilla hasta que deje de hacer efervescencia y se evapore la mayor parte del  $H_2O_2$ ; añadir 20 mL más de  $H_2O_2$  y permitir que evapore en la parrilla hasta que seque completamente.
3. Poner a secar la muestra en horno durante 2 hrs. a 105 °C.
4. Pesar 50 g de la muestra seca
5. Colocar la muestra en el vaso de la batidora; agregar 5 mL de metasilicato de sodio ( $Na_2SiO_3$ ), 5 mL de oxalato de sodio y la cantidad de agua destilada necesaria hasta la segunda marca del vaso.
6. Agitar durante 5 min.
7. Vaciar en una probeta de 1000 mL, aforar a 1000 mL con agua destilada y agitar durante 1 min., para volver a suspender las partículas.
8. Tomar lectura con el hidrómetro a los 40 seg.
9. Tomar una segunda lectura a las 2 hrs.
10. Calcular el porcentaje de limos, arcillas y arenas empleando las siguientes fórmulas:

% de limos y arcillas	(lectura hidrómetro a los 40"/peso suelo seco) • 100
% de arcillas	(lectura hidrómetro a las 2 hrs/peso suelo seco) 100
% de arenas	100 - % de limos y arcillas
% de limos	% de limos y arcillas - % de arcillas

11. Con ayuda del triángulo de textura, hacer la clasificación textural.

#### Porcentaje de materia orgánica (Walkley, 1947)

1. Pesar 0.5 g de muestra y pasarla a un matraz Erlenmeyer de 250 mL
2. Agregar 5 mL de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) 1 normal (N)
3. Añadir 10 mL de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) concentrado; agitar durante 1 min

4. Dejar reaccionar durante 30 min.
5. Preparar los blancos de titulación y titular.
6. Añadir 100 mL de agua destilada, 5 mL de ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) concentrado y 6 gotas de indicador (bariosulfonato de difenilalanina)
7. Titular con sulfato ferroso ( $FeSO_4$ ) 0.5 N hasta que vire de un color rojizo a olivazuloso y, finalmente, verde esmeralda bandera.
8. Calcular el porcentaje de materia orgánica (%MO) con la fórmula siguiente:

$$\%MO = \{(5 \text{ mL de } K_2Cr_2O_7 \times 1 \text{ N}) - (\text{mL de } FeSO_4 \text{ gastados} \times 0.5 \text{ N} \times \text{F.C.}) (0,69)\} / 0.5 \text{ g de muestra}$$

donde: F.C.= es la relación entre los 10 mL de  $FeSO_4$  que se gastarían teóricamente y los mL gastados realmente en el blanco.

#### Conductividad, pH y salinidad (Richards, 1974)

1. Pesar 10 g de muestra y verter en un vaso de ppo.
2. Añadir 10 mL de agua destilada, sellar vaso
3. Agitar durante 30 min.
4. Hacer las lecturas

#### Metales pesados totales (Lindsay y Norvell, 1978)

Todo el material empleado deberá estar lavado con  $HNO_3$  al 10%

1. Moler la muestra en mortero de Ágata y tamizar 2 g de la misma con malla de 0.05 mm (No. 100). Pasar a frascos de vidrio y poner a secar durante 3 hrs. a  $105-110^\circ C$ .
2. Pesar 0.5 g de muestra y colocar en el vaso de teflón.
3. Añadir 5 mL de  $HNO_3$  al 70%, 4 mL de HF al 48% y 1 mL de HCl al 37%.
4. Colocar el vaso de teflón en el horno de microondas CEM (modelo MDS-2000) para iniciar la digestión del material.
5. Hacer una primera digestión durante 10 min. a 85 Lb. de presión. Hacer una segunda digestión por 15 min. a 130 Lb.
6. Vertir 25 mL de solución saturada de  $H_3BO_3$  en un matraz de 50 mL.
7. Vaciar la muestra en el matraz y aforar a 50 mL, lavando el interior del vaso de teflón con agua desionizada.
8. Determinar los elementos contenidos en la solución en el espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer (Modelo 3110), preparando las soluciones estándar necesarias, con  $HNO_3$  al 70%, HF al 48% y HCl al 37% <sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Para estandarizar el HCl, pesar con exactitud 0.150 g de  $Na_2CO_3$  previamente secado a  $110^\circ C$  durante 2 hrs, que se disolverá en 50 mL de agua destilada; añadir 2 gotas de fenolftaleína y titular con HCl; el punto final de la titulación indica la desaparición de un tono rosa fuerte. Hacer por triplicado. Calcular la normalidad (N) del HCl mediante las siguientes fórmulas:

$$\begin{aligned} X &= 0.150 \text{ g de } Na_2CO_3 / \text{mL de HCl} \\ N \text{ de HCl} &= X/0.053 \end{aligned}$$

## Metales pesados disponibles (Lindsay y Norvell, 1978)

Todo el material empleado deberá estar lavado con  $\text{HNO}_3$  al 10%

1. Prepara la solución extractora DPTA, disolviendo:

Trietanolamina (TEA): 14.920 g,

Ácido dietilentriaminopenta-acético (DPTA): 1.967 g

$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ : 1.470 g

en 200 mL de agua destilada y agitar hasta que el DPTA se disuelva completamente; añadir 700 mL de agua destilada. Ajustar el pH a 7.3 con HCl 6N y aforar a 1 L con agua destilada.

2. Pesar 10 g de suelo y colocar en un matraz Erlenmeyer de 125 mL; añadir 20 mL de solución DPTA y cubrir el matraz con papel parafina.
3. Agitar por 2 hrs. a 120 r.p.m.
4. Filtrar suspensiones con papel Whatman No. 42.
5. Analizar los filtrados al espectro de absorción atómica Perkin Elmer (Modelo 3110), preparando las soluciones estandarizadas que se requieran con solución DPTA.
6. Para calcular parte por millón (ppm) del metal usar la siguiente fórmula:

$$\text{ppm metal en suelo} = \text{mg/L metal extracto} \times 2$$

## Disponibilidad

Para el manejo de la cantidad de metales disponibles en porcentajes, hacer:

$$\% \text{ de disponibilidad} = (\text{metal disponible} / \text{metal total}) \times 100$$

## Carbonatos Alcalino-térreos por efervescencia (Richards, 1974)

1. Poner 1 a 2 g de suelo en un vidrio de reloj y añadir suficiente agua para saturar el suelo y eliminar así el aire.
2. Agregar unas cuantas gotas de HCl 3N y observar el grado de efervescencia
3. El suelo puede considerarse como ligera, moderada o altamente calcáreo de acuerdo al grado de efervescencia.

## Carbonatos alcalino-térreos por titulación (Richards, 1974)

1. Pesar de 5 a 25 g de suelo y colocar en un vaso de ppo. de 150 mL.
2. Agregar 50 mL de HCl 0.5 N estándar, cubrir con vidrio de reloj y calentar hasta que hierva; hervir 5 min., agitando un poco. Dejar enfriar
3. Filtrar en matraz volumétrico de 50 mL con papel filtro Whatman No. 2, lavar y aforar con agua destilada

4. Titular con NaOH 0.25 N estandarizado<sup>2</sup> y dos gotas de fenoftaleina al 1% en etanol al 6%, hasta que vire a rosa fuerte o lila.
5. Calcular el equivalente de CaCO<sub>3</sub> en por ciento (Eq%CaCO<sub>3</sub>) con la fórmula siguiente:

$$\text{Eq\%CaCO}_3 = (50 \text{ mL de HCl} \times N) - (\text{mL de NaOH} \times N) \times 5 / \text{g de muestra}$$

#### Capacidad de intercambio catiónico (CIC) (Bower, 1952)

1. Preparar las siguientes soluciones:

Acetato de Sodio 1N:

750 mL de agua destilada

57 mL de ácido acético concentrado

68 mL de NaOH concentrado

Aforar a 1 L, ajustar pH a 7

Acetato de amonio 1N:

Diluir 40 g de NaOH en agua destilada

60 mL de ácido acético

Ajustar pH a 8.2 y aforar a 1L

2. Pesar 2, 4 ó 6 g de muestra seca (para suelos de textura fina, media o grueso, respectivamente), vaciar en tubo de centrifuga y añadir 33 mL de acetato de sodio. Agitar durante 5 min.
3. Centrifugar 5 min. a 1 000 r.p.m.; decantar lo más completamente posible; desechar sobrenadante. Repetir este paso 3 a 4 veces.
4. Vertir 33 mL de etanol al tubo de centrifuga, agitar por 5 min.
5. Centrifugar 5 min. a 1 000 r.p.m.; decantar lo más completamente posible; desechar sobrenadante. Repetir 3 veces y comenzar a medir la conductividad del lavado; ésta debe ser menor que 40 mmhos/cm, de lo contrario, centrifugar 1 o 2 veces más.
6. Vertir 33 mL de acetato de amonio al tubo (reemplazará al Na absorbido), agitar durante 5 min.
7. Centrifugar 5 min. a 1 000 r.p.m.; el líquido se decanta en un matraz de 100 mL, lo más completamente posible. Repetir 3 veces.
8. Aforar el matraz con acetato de NH<sub>4</sub>
9. Diluir con acetato de NH<sub>4</sub> 1:10

<sup>2</sup> Para estandarizar el NaOH se toman 10 mL de HCl estandarizado, añadir 2 gotas de fenoftaleina y titular; el punto final de la titulación lo indica un color rosa fuerte o lila. Calcular N del NaOH mediante la fórmula:

$$N_1V_1 = N_2V_2$$

donde:

N<sub>1</sub>: N de HCl

N<sub>2</sub>: ?

V<sub>1</sub>: 10 mL de HCl

V<sub>2</sub>: mL de NaOH gastados

10. Determinar la concentración de Na de los extractos diluyéndolos 1:15 ó 1:10 (mL), según sea necesario. Pasar la dilución a un tubo de lectura en el flamafotómetro Corning (Modelo 400).
11. Hacer una curva patrón con 10, 20, 30 y 40 ppm de Na.
12. El cálculo de la CIC. se realiza empleando la fórmula:

$$\text{CIC. (meq/100 g)} = \text{Concentración de Na en extracto} \times 10 / \text{peso muestra en gramos}$$

#### Metales pesados en solución (Lindsay y Norvell, 1978)

Todo el material empleado deberá estar lavado con HNO<sub>3</sub> al 10%.

1. Medir en una probeta 100 mL de muestra de agua y poner a calentar hasta que evapore a 20 ó 30 mL Si se observan sales o partículas de materia orgánica, añadir de 1 a 2 mL de HNO<sub>3</sub> concentrado. Dejar enfriar.
2. Medir en la probeta el volumen final de la muestra. Filtrar con papel filtro Whatman No. 42.
3. Leer la concentración de los metales en espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer (modelo 3110) empleando las soluciones estándar necesarias.

## Estadísticos

$\chi^2$

La prueba de  $\chi^2$  permite comparar la distribución de frecuencias según el modelo teórico:

$$\chi^2_{exp} = \sum_{g=1}^k (o_g - e_g)^2 / e_g \text{ para } g=1 \text{ a } k-1$$

Donde,

k. Número de observaciones

o: eventos observados

e: eventos esperados

para la hipótesis nula (Ho): "la distribución de las frecuencias observadas y esperadas es la misma".

## Índice de Jaccard

El índice de Jaccard ( $S_j$ ) es un coeficiente de similitud binario para juzgar qué tan semejantes son las observaciones a comparar (p. e.: comunidades, localidades, ambientes, muestras) considerando los elementos comunes presentes tanto como los ausentes. Para su cálculo, se parte de una matriz consistente en las muestras en columnas y las especies en filas; en las inserciones se consigna la presencia (1)/ausencia (0) de cada especie en las muestras. Partiendo de la matriz, se cuantifica la similitud de cada muestra con las otras, considerando todos los pares posibles:

		Muestra 1	
		presentes	ausentes
Muestra 2:	presentes	a	b
	ausentes	c	d*

\*para d diferente de cero

a: Número (No.) de especies (spp.) en ambas muestras (m)

b: No. de spp. presentes en m 2 pero ausentes en m 1

c: No. de spp. presentes en la m 1 pero ausentes en la m 2

d: No. de spp. ausentes en las m 1 y 2

El índice de Jaccard se calcula mediante la siguiente fórmula, misma que indica la proporción de muestras con al menos una de las especies:

$$S_j = a / a + b + c$$

El índice varía entre 0 y 1



Los resultados de los  $S_j$  calculados se pueden procesar por técnicas numéricas de clasificación, como el análisis de *cluster*. En el presente estudio, se creó un dendograma mediante el método de ligamiento entre puntos, a partir de la técnica de media no ponderada (UPGMA), que permite generar datos intermedios, anulando los de datos extremos. El programa estadístico empleado fue NTSYS-PC (Rohlf, 1993) y el método de agrupación "cluster" (SAHN, Sequential Agglomerative Hierarchical and Nested Clustering Methods) según Sneath y Sokal (1973).

#### Análisis de componentes principales (PCA)

Es una técnica de ordenación para datos cuantitativos, los cuáles son sumariados en una gráfica que explica la varianza. Ordena en forma jerárquica las variables y refiere los datos originales a un nuevo conjunto de ejes ortogonales, en los que la posición relativa de los puntos en el nuevo espacio de caracteres refleja una aproximación de las posiciones relativas de las variables (OTUS) en el espacio de los caracteres originales. Se parte de la matriz que contiene los datos originales  $(X_1, X_2, \dots, X_n)$ , misma que es centrada ó estandarizada mediante la sustracción de cada valor al promedio  $(X_1 - \bar{x}, X_2 - \bar{x}, \dots, X_n - \bar{x})$  de modo que la  $\sum X_j = 0$ . Posteriormente se calcula el índice de distancia, multiplicando la matriz estandarizada por su trasposición. El índice de distancia se emplea para la generación del dendograma. Al calcular la distancia empleando los índices de correlación (matriz de correlación) pueden obtenerse los eigenvalores y eigenvectores; los primeros explican la varianza observada y los últimos permiten generar el gráfico para la ubicación de los tres componentes principales (espacio euclidiano).

## APÉNDICE A2

### Historia y legislación minera

“A los supersticiosos adoradores de La Rana,  
los sustituidos por hijos de la iglesia católica(...).  
A los Chichimecas indómitos que vivían de la caza  
y andaban desnudos en la aldea de Quanaxhuato”  
Presbítero Lucio Marmolejo, S. XVII

#### Breve reseña histórica de la minería en Guanajuato

Como parte de la trama histórica de la minería, Guanajuato (del purepecha, *Quanaxhuato*: lugar montañoso de ranas) se inserta como uno de los centros mineros aurífero y argentífero más antiguo y productivo del país, con una gesta de 450 años (1548-1998) prácticamente ininterrumpida. Si bien el inicio de la historia de la minería guanajuatense suele ubicarse en el periodo de la Colonia, se sabe que ésta se remonta a épocas prehispánicas con los mexicas, quienes incursionaban las serranías del actual Municipio en búsqueda de afloramientos de oro; ellos eran guiados por un grupo de nómadas de la región, a los que llamaban *Chichimecas* (etimológicamente, bárbaro).

Ya constituido el Virreinato de la Nueva España, la historia se retoma hacia 1548, con el relato anecdótico del descubrimiento de una veta aurífera de alta ley, “Veta de la Luz”, por un grupo de arrieros que se dirigían al Mineral de Zacatecas. Fué cuando los hispanos iniciaron la exploración y explotación de yacimientos en la región (1550). Para este entonces, también podemos datar el inicio de la generación de desechos mineros, por un lado, así como el humillante trato al que fueron sometidos la naciente *casta* de mineros. Los espectaculares hallazgos de tan embebecedores yacimientos fomentaron la edificación de los primeros reales de minas (Santa Ana, Santa Fe, Tepetapa y Santiago) y cuatro plazas fortificadas (Marfil, Tepetapa, Santa Ana y Cerro del Cuarto) celosamente resguardadas para proteger a españoles de ataques chichimecas. Al respecto, en relación a los chichimecas, la historia es bien conocida: los que sobrevivieron pero no lograron emigrar, fueron sometidos y empleados en la explotación minera, junto con purepechas trasladados desde el sur del estado. La Corona confirió al naciente y prolífico poblado el título de “Noble y Real Villa de Santa Fe de Guanajuato” (1616); claro está: la

adopción del “privilegiado” término “real” comprometía toda la Ag y el Au guanajuatense, que debían ser suministrados directamente a España.

En el siglo XVIII, Guanajuato tomó una posición de liderazgo en la producción de metales preciosos, ante la extraordinaria fertilidad de la Veta Madre; se construyeron nuevas minas: Rayas, Mellado, Cata, Sirena, Tepeyac y, la más fecunda, La Valenciana, todas situadas a lo largo de la zona norte de la Veta. La región se izó como la principal productora de Ag y Au en el mundo. Datos lo constatan: la producción total de Guanajuato igualó a la de los virreinos de Buenos Aires y Perú (Krantz, 1978); en 1781, el 64% del Au mundial provenía de Guanajuato (Guiza, 1949); la obtención de Ag constituía el 80% de las exportaciones de la Nueva España (Williams y Sims, 1993); entre 1785 y 1789 se sustrajeron 568 mil toneladas de Au (Buchanan, 1961); de 1889 a 1901 la Valenciana tiró una producción promedio de 60 toneladas al día de metales preciosos alta ley.

En el período de la Colonia los mineros eran tratados cual si esclavos, con jornadas de trabajo de 16 horas (de sol) y condiciones laborales inhumanas: vestimenta que se reducía a un calzón y guaraches; acarreo de minerales a lo largo, ancho y profundo de la mina en sacos sostenidos con mecates amarrados a la cabeza y que caían sobre la espalda; desamparo ante las constantes explosiones y derrumbes mortales dentro de los túneles y galerías; calor sofocante, humedad, oscuridad y el cotidiano respirar partículas y gases dañinos, lo que menguaba la salud del minero y disminuían su promedio de vida<sup>3</sup>; sometimiento ante los intransigentes capataces; pagas insuficientes o sistemas de pago por destajo, a la par del sistema de rayas.

La opulencia minera se vio mermada durante la Guerra de Independencia; el abandono de las minas provocó deterioro e inundaciones de los principales tiros. Los desagües, las epidemias de postguerra, el gravoso costo de los energéticos y la baja en la producción mundial de mercurio (Hg) con la concomitante elevación de los precios de este importante metal para el beneficio mineral, fueron algunos de los factores que propiciaron una lenta y costosa reactivación de la minería y, cabe decir, no nada más en Guanajuato. En la segunda mita del siglo XIX disminuyó la producción de Au y Ag. La “puesta en marcha” del sector se efectuó a través de capital inglés<sup>4</sup>, principalmente.

Durante el porfiriato, la minería fue el sostén principal del modelo agro-minero exportador del dictador. El carácter liberal de la política económica porfirista, en las que el estado renunció a poseer títulos de propiedad sobre los terrenos superficiales y los depósitos minerales, desató marcados movimientos especulativos que, junto con la ley fiscal, estimuló una nueva oleada de

<sup>3</sup> Los mineros eran empleados desde que entraban a la pubertad y su promedio de vida se estima en 30 años

<sup>4</sup> Quienes estaban francamente interesados en la independencia de México

inversiones extranjeras. Así, la característica más importante de la actividad minera en este período fue la dependencia externa en términos de capitales, inversiones, tecnologías y mercado, con la hegemonía de intereses estadounidenses. Desde el punto de vista técnico, se experimentó una verdadera revolución en las condiciones de producción, gracias a la electrificación, las redes ferroviarias y la generalización de nuevos procesos metalúrgicos como la fundición y el beneficio por cianuración; hubo, paralelamente una diversificación productiva, con la extracción de minerales para consumo industrial (plomo, cobre, carbón y otros). Cabe señalar que, salvo contadas innovaciones posteriormente adoptadas, las técnicas extractivas establecidas durante el porfirato perduraron y subsisten aún en algunas minas y plantas de beneficio. Particularmente, se redujeron las pérdidas de compuestos metálicos durante el proceso de beneficio, lo que posibilitó la explotación de minerales de menor ley (Sariego, *et al.*, 1988).

En veinte años de régimen, eran de esperarse algunos cambios en las políticas tocantes a la minería. Poco antes de iniciar la Revolución, hacia 1910, la ordenanza porfirista giró hacia una nueva legislación minera que, respetando el espíritu liberal de la ley anterior (1892), establecía cierto control sobre los empresarios, especialmente los extranjeros, otorgando al estado propiedad sobre los criaderos de sustancias inorgánicas; paralelamente, se redujeron los límites de propiedad tanto como las concesiones. Ello como medida conciliatoria ante la pugna de intereses entre los pequeños empresarios nacionales frente a los grandes consorcios extranjeros. Ciertamente, los beneficiados de este nuevo auge minero fueron quienes gestaron su modernización, los extranjeros: en 1910, de las 31 compañías mineras, 29 estaban controladas por capital extranjero (Sariego, *et al.*, 1988). La enmienda porfirista fue un aliento al naciente espíritu nacionalista sobre los recursos. En el caso particular de Guanajuato, las principales minas se mantuvieron a través de capital de EE.UU., de las que destacan Valenciana, Esperanza, Tepeyac, Cata, Rayas, Mellado, La Unión, El Rosario, La luz. Fue para entonces que se exploró la zona sureste de la Veta Madre, lo que propició la apertura de nuevas minas como El Cedro (1900) y, posteriormente, El Cubo. Todas bajo la tutela de las compañías Guanajuato Reduction and Mines Co., la Guanajuato Consolidated Mining and Milling Co. o el Cubo Mining and Milling Co. No existe información suficiente concerniente a las cantidades de Au y Ag generadas durante la época de actividades estadounidenses (1900-1914), ya que no se declararon oficialmente las tasas de producción; se presume sin embargo, que los índices de explotación fueron comparables o excedentes a los del último período de la minería del siglo XVIII (Krantz, 1978).

Otro rasgo sobresaliente de la minería durante el porfirato fue la inexistencia de normas constitucionales en materia de trabajo, no había una legislación laboral propiamente dicha. Pero, impresiona que los conflictos laborales se reglamentaron en el Código Penal. Vacío jurídico, vacío institucional en contraposición a condiciones de vida precaria, largas jornadas de trabajo pesado

y peligroso, discriminación étnica (extranjeros vs. nacionales, siendo las mejores pagas para los primeros), intolerancia empresarial: combinación explosiva que desembocó en violentas disputas, represión e intimidación gubernamental (Sariego *et al.*, 1988), que si bien no fueron las primeras contiendas mineras en la historia del México independiente, en este entonces las luchas adquirieron un carácter de asalariados, en las que la petición generalizada era incremento salarial, reorganización del trabajo y reducción de la jornada laboral. El más conocido de estos conflictos fue la huelga de Cananea en 1906, la señal más alarmante de la injusta, por inexistente, política laboral minera de porfiriato.

Una guerra más, la Revolución y se frena la breve y relativa bonanza minera. La historia de la minería de postguerra se repite, en cuanto a lo costoso que resulta su reactivación tras un período de abandono; pero, a diferencia de la Independencia, la Revolución Mexicana legó el Artículo 27 de la Constitución de 1917, en el que se instituye: “es propiedad directa de la nación todos los minerales o sustancias presentes en vetas, lechos o capas que constituyan yacimientos”, y en la fracción primera del párrafo octavo del mismo artículo se estipula: “sólo los mexicanos por nacimiento o por naturalización así como las sociedades mexicanas tienen derecho a obtener concesiones de explotación de minas” (Cláusula Calvo). Producto de este espíritu fue la intervención del estado en la regularización de derechos de concesión y explotación de los recursos minerales con vistas a tratar de evitar los grandes monopolios. Pero no fue sino hasta el período de Cárdenas que el fomento a los pequeños y medianos propietarios se convirtió en una preocupación central para el Estado, de modo tal que se fundaron cooperativas y la Comisión de Fomento Minero. Hacia 1960 tuvo lugar una nueva medida: la política de mexicanización que posibilitó variadas asociaciones entre capital extranjero, inversionistas nacionales y el Estado mismo, dando lugar a un importante sector paracastatal minero, con el Estado como uno de los principales empresarios (Sariego *et al.*, 1988). Esta tendencia se mantuvo hasta finales de la década 80.

En términos laborales, la Revolución fomentó una lenta, y a veces inefectiva, emancipación y mejora de las condiciones de los mineros: El poder de las compañías mineras estaba lo suficientemente consolidado como para no responder a los cambios, mucho menos tras un período de inestabilidad política post-revolucionaria. Avances parciales. En 1929 se da una crisis en el sector que arrojó al desempleo a miles de mineros. Entre 1930 y 1940 el proyecto nacionalista comenzó a materializarse, pero con políticas fiscales que no derivaron ni en una reorganización ni en una re-orientación de la minería, particularmente en mejoras de las condiciones laborales. Ciertamente, las demandas fueron entre atendidas, solucionadas y mutadas

en otras igualmente conflictivas. Fue hasta 1944 que el Estado optó por una política laboral, moderada, a raíz de la huelga general minera de ese año.

Hasta 1980, el sector minero guanajuatense era manejado por tres tipos de inversiones capitales: (1) propiedad estatal, como las Cooperativa Santa Fe que opera las minas más viejas, a saber, Rayas, Cata y Valenciana, ésta última con un tiro de 800 toneladas de Ag al día; (2) propiedad privada, con capital mexicano en un 51%, situación que representó la Cía. Minera el Cubo, la empresa más pequeña del Distrito Minero, con una producción de Ag de 200 ton/día, y (3) Mixtas, con inversión estatal y de accionistas privados; tal es el caso del Grupo Guanajuato, activo consorcio que inició en 1968 como Cía. Minera Las Torres, tras el descubrimiento de un depósito mineral que propicio una expansión en la extracción de Ag. El Grupo Guanajuato incluía tres compañías asociadas que, de esta manera, tenían la posibilidad de operar en un área tres veces mayor a la permitida en la normatividad. Para 1984, la producción total del Grupo Guanajuato sumaba 12000 ton/día (Williams y Sims, 1993).

Al implementarse en México el modelo neo-liberal<sup>5</sup> impulsado por Miguel de la Madrid (1982-88) y continuado por Carlos Salinas (1988-94) y Ernesto Zedillo (1994 y hasta la fecha) se promulgaron reformas que disminuyeron la intervención estatal en la planificación de la producción, con la consecuente liberación de los mercados a la economía mundial globalizada, permitiendo que ésta, y no el Estado, regulara las relaciones y estrategias productivas. En el caso de la minería, como en prácticamente todos los sectores productivos del país, se reprivatizaron minas y, por ende, se desarticularon los monopolios paraestatales en favor de los otrora grandes monopolios privados (*vr. gr.* Grupo Guanajuato). La asimetría, desigualdad e iniquidad al acceso de satisfactores y oportunidades (que se manifiesta globalmente y se reproduce a nivel nacional) fomentó la conformación de estos consorcios que, para más, están representados por capital extranjero (principalmente estadounidense) única o mayoritariamente. Un ejemplo muy notable es Met-Mex-Peñoles, el complejo metalúrgico no ferroso más grande de Latinoamérica (El Financiero, Enero 6 de 1998)<sup>6</sup> y que opera en Guanajuato en minas tales como Las Torres. Bajo el modelo neoliberal, la historia de la minería nacional presenta ciertos paralelismos con el liberalismo del porfiriato, particularmente en lo tocante a las relaciones obrero-patronales y estado-patronales, las condiciones laborales y el destino final de las explotaciones, de lo que poco se sabe a la luz pública, poco se documenta y mucho se esconde, tanto como del deterioro ambiental generado.

<sup>5</sup> Recordemos que el prefijo "neo" permite diferenciar el carácter internacional de los mercados; el liberalismo de los siglos pasados hacía referencia a los nacionales.

<sup>6</sup> Alcanzó ventas de 748 millones 500 mil dólares, en 1997. En el lapso de 1996-1997 la producción por metal incrementó: Ag, de 1 700 a 1 940 toneladas; Au de 9 a 10 mil; Pb, de 160 a 175 mil; Zn, 125 a 129 mil, y Bi, de 1 000 a 1 200 toneladas (El Financiero, 1998).

Después de 450 años de iniciada la minería, la generación de desechos mineros y las humillantes condiciones de trabajo, la bonanza minera de Guanajuato mermó: la Veta Madre dejó de dar a Luz, y a pesar de que la minería contribuye notablemente con la producción total del estado<sup>7</sup>, de ningún modo volvió a ser la actividad económica más importante del mismo ni la principal "mina" de empleo. En la actualidad, menos del 20% de la población económicamente activa de Guanajuato se dedica a la minería, pese a un desempleo de casi 48%; la actividad minera aporta el 0.8% del producto interno bruto (P.I.B.) del estado, el menor porcentaje y por debajo de sectores tales como electricidad, ganadería, comercio, restaurantes y hoteles (el mayor porcentaje del P.I.B.). En relación a la productividad, en 1997 Guanajuato ocupó el tercer lugar en explotación de Au, con el 11.2% nacional, lo que representa la tercera parte de la explotación de Sonora; respecto a la Ag, aportó apenas el 7.3% a la producción nacional, hecho que elimina a esta entidad federativa dentro del grupo de las primeras en la extracción argentífera. El Estado de Guanajuato aporta apenas el 4.77 % de la producción nacional (94 973 miles de pesos, en 1995) a partir de la extracción, beneficio, fundición y refinamiento de minerales metálicos no ferrosos (INEGI, 1997 y 1998)<sup>8</sup>.

La magnitud e importancia de la minería en Guanajuato a lo largo de su historia se palpa en la Ciudad misma, que logró erguirse tan altiva y caprichosa desde su fundación: viejas haciendas y fortalezas que nos remiten a los inicios de la actividad; instalaciones abandonadas, señales de la improductividad de ciertas minas o de la modernización en las técnicas de explotación; un sin fin de catas, socavones y tiros; arcaicos carritos mineros, hoy macetones públicos; lámparas de carburo en las tiendas de antigüedades o como decorado de comercios, bares y restaurantes; grabados o monumentos alusivos en edificios públicos y en casa privadas, y finalmente, los afamados túneles subterráneos propios de una mina. Todo ello forma parte de la fisionomía de la "ciudad Cervantina", y en su población queda la historia, el estar acostumbrados a los ciclos de bonanza y escasez, así como la añoranza de los tiempos del "Real", que se sorbe

<sup>7</sup> Producción de Au y Ag en el estado y municipio de Guanajuato (1992):

	Edo.	Mpo.
Au (ton)	2949	2654
Ag (Kg.)	149	134

<sup>8</sup> Por entidades federativas sobresale la producción minero-metalúrgica de oro en Sonora, con 34.1% de la producción nacional; Durango, 20.5%; Guanajuato 11.2% y Sinaloa, 7.5%. En cuanto a plata: Zacatecas, 40.9%; Durango, 14.3% y Chihuahua, 12.8% (INEGI, 1997, 1998).

mientras se aprecia en lo que las hordas de “la fiesta del espíritu” han dado por llamar: “la cantina más grande del mundo”.

Otra herencia dejó y mantiene la actividad minera en el lugar montañoso de ranas: antiguos y nuevos depósitos de desechos mineros, ubicados en lugares tan impropios como estratégicos para admirar el Bajío, “La Bufa” o la misma ciudad capital.



## LEGISLACIONES Y NORMATIVIDAD EN MATERIA MINERA Y AMBIENTAL

### *REGLAMENTO DE SEGURIDAD EN LOS TRABAJOS DE LAS MINAS.*

Diario Oficial de la Federación. 13 de Marzo de 1967.

ARTICULO 1º: (...) aplicables a las obras o trabajos relativos a la explotación minera de las sustancias que se refiere La Ley Reglamentaria de Artículo 27 Constitucional en materia de Explotación y Aprovechamiento de Recursos Minerales.

Capítulo VI. Plantas de beneficio.

Art. 54. En los departamentos donde exista polvo en concentraciones perjudiciales para la salud de los trabajadores, deberán proporcionarles respiradores.

Art. 56. Siempre que se use cianuro se tendrá disponible un antídoto y las instrucciones para su uso.

Art. 59. LOS DEPÓSITOS DE JALES DEBERÁN ESTAR SIEMPRE CERCADOS.

Art. 63. En las plantas de ARSÉNICO es obligatorio: a) uso de anteojos, guantes, cascos, uniones y capuchones de mezclilla, paños para la cara y zapatos de seguridad; b) uso de pomadas neutralizantes en partes vulnerables de la piel; c) proteger adecuadamente las fosas nasales; d) que el personal tome un baño al terminar sus labores y la aplicación del lavado de ojos y fosas nasales.

Art. 64. En aquellos lugares en los que la atmósfera pueda contener concentraciones peligrosas de gases o vapores tóxicos, se deberá contar con aparatos de respiración o inhaladores.

-----

### REGLAMENTACIÓN A LA LEY REGLAMENTARIA DEL ARTICULO 27 CONSTITUCIONAL EN MATERIA MINERA.

Diario Oficial de la Federación, 29 de Noviembre de 1976 (aboga la del 9 de Sep. de 1966).

TITULO 4to. De las concesiones de plantas de beneficio.

Cap. I. Sobre concesiones de plantas de beneficio

Art. 171. Fracción VI. Para solicitar la concesión debe informarse el sistema o sistemas de tratamiento por establecer.

Art. 172. Fracción II: Descripción del sistema o sistemas de tratamiento con informe explicativo de las construcciones e instalaciones.

Fracción III: Esquema de tratamiento indicando la cantidad aproximada de materias primas que se utilicen en cada una de las fases del mismo.

Fracción IV: Proyecto para el almacenamiento de los desechos de la planta y, en su caso, proyecto de purificación, captación, tratamiento y manejo de cualquier producto, subproducto, residuo o desecho de la planta que pueda tener efectos nocivos.

Art. 173. cuando la Secretaria (del Patrimonio Nacional) lo considere necesario, solicitará a las autoridades correspondientes, opinión sobre la posibilidad de que la operación de la planta pudiere ocasionar daños o perjuicios a poblaciones o a bienes de interés público.

TITULO 10mo. De Faltas y Sanciones.

Art. 282. Se sancionará con multa de 1 000.00 a 1 000 000.00 pesos:

Fracción IX: Al concesionario o asignatario que no mantenga en buen estado de conservación y funcionamiento las instalaciones, maquinarias y equipos que utilice en la explotación, exploración y beneficio.

Fracción XIII: Al titular, causahabiente o explorador de concesiones o de asignaciones mineras que no se ajusten a las normas de seguridad que dicte la Sria. para prevenir aquellas circunstancias que puedan comprometer a personas y la salud de sus trabajadores o terceras personas y la continuidad normal de las explotaciones, o puedan causar perjuicios graves a bienes de interés público.

Fracción XIV: Al titular de la planta de beneficio que modifique la capacidad o el sistema de tratamiento sin autorización de la Sria.

Fracción XIX: AL TITULAR DE LA PLANTA DE BENEFICIO QUE ARROJE A UNA VÍA FLUVIAL DESCARGAS QUE CONTENGAN DESECHOS NOCIVOS O DEPOSITE O ARROJE DICHAS DESCARGAS CAUSANDO, EN CUALQUIER FORMA, PERJUICIOS A TERCEROS.

-----

## NUEVA REGULACIÓN MINERA.

Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal (SEMIP), México 1993.

### LEY MINERA

Capítulo 4to. De las obligaciones que imponen las concesiones y asignaciones mineras y el beneficio de minerales.

ART. 29. La comprobación de obras y trabajos mediante la realización de inversiones se aceptará indistintamente en los rubros que a continuación se indican (son 15, N. de V.):

XI OBRAS Y EQUIPOS DESTINADOS A LA SEGURIDAD EN EL TRABAJO Y A LA PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN O A LA RECUPERACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE.

XV Adquisición, arrendamiento, instalaciones y mantenimiento de equipo para operaciones de beneficio y PRESAS DE JALES.

Art. 37. Las personas que beneficien minerales o sustancias sujetos a la aplicación de la presente ley están obligados a:

FRACCIÓN II: SUJETARSE A LAS DISPOSICIONES GENERALES Y A LAS NORMAS TÉCNICAS ESPECÍFICAS APLICABLES A LA INDUSTRIA MINERO-METALÚRGICA EN MATERIA DE EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y PROTECCIÓN AL AMBIENTE;

Fracción IV: Dar aviso inmediato a la Sria (SEMIP) de los minerales radiactivos que se descubran en el curso de sus operaciones.

ART. 39. EN LAS ACTIVIDADES DE EXPLORACIÓN, EXPLOTACIÓN Y BENEFICIO DE LOS MINERALES O SUSTANCIAS, LOS CONCESIONARIOS MINEROS DEBERÁN PROCURAR EL CUIDADO DEL MEDIO AMBIENTE Y LA PROTECCIÓN ECOLÓGICA, DE CONFORMIDAD CON LA LEGISLACIÓN Y LA NORMATIVIDAD DE LA MATERIA.

Capítulo 5º. De nulidad, cancelación, suspensión e insubsistencia de derechos.

Art. 43. El derecho para realizar obras y trabajos de exploración o de explotación se SUSPENDERÁN cuando:

Fracción I: pongan en peligro la vida o la integridad física de los trabajadores o de los miembros de la comunidad.

Si la visita de inspección que en su caso se practique revela el peligro o daño inminente, la Sria dispondrá de inmediato la suspensión provisional de las obras y trabajos (...) de no cumplirse el plazo (...) suspensión definitiva.

Capítulo 7mo. De las inspecciones, sanciones y recursos.

Art. 55. Se sancionará con la cancelación de la concesión minera cualquiera de las infracciones siguientes:

Fracción IV: Disponer de los minerales radiactivos que se descubran en el desarrollo de las obras y trabajos de exploración, explotación y beneficio.

## REGLAMENTO DE LA LEY MINERA

Título 4to. Obligaciones que Imponen las Concesiones y Asignaciones Mineras y el Beneficio del Mineral.

Capítulo III. Del beneficio de minerales

Art. 61. Los informes sobre el inicio de operaciones de beneficio de minerales o sustancias sujetos a al aplicación de la Ley deberán contener:

Fracción III: Sistemas de tratamiento

Fracción VII: Naturaleza y destino previsto de los productos que se obtendrán.

Capítulo IV. De los informes estadísticos, técnicos y contables.

Art. 65. Los títulos de concesiones de explotación y las personas que beneficien minerales o sustancias sujetas a la aplicación de la Ley están obligados a rendir mensualmente a la Sria (...) los informes estadísticos sobre la producción, beneficio y destino de minerales o sustancias concesibles.

Fracción IV: Minerales o sustancias extraídos o beneficiados y, en el caso de las instalaciones de beneficio, productos o subproductos obtenidos.

TITULO 5º. Nulidad, cancelación, suspensión e insubsistencia de derechos.

Art. 68. Las nulidades, suspensiones o insubsistencias de derechos a que se refiere el capítulo 7mo. de la Ley se resolverán a petición de:

Fracción III: De la Comisión Mixta de Seguridad e Higiene o de la autoridad local, cuando promuevan la suspensión de las obras y trabajos que pongan en peligro la vida e integridad física de los trabajadores o de los miembros de la comunidad.

Fracción IV: De cualquier persona cuando se promueva la suspensión de las obras y trabajo que causen o puedan causar daños a bienes de interés público o afectos a un servicio público, o del propietario o poseedor si se trata de bienes de propiedad privada.

*Nota:* Por "minerales o sustancia concesibles" se quiere decir minerales o sustancias que en vetas, mantos, masa o yacimientos constituyan depósitos cuya naturaleza sea diferente de los componentes del terreno.

## BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- . Aboal, M. 1988. Aportación al Conocimiento de las algas epicontinentales del SE de España VII. Cloroficeae (Chlorophyceae Wille in Warming 1884) *Candollea* **43**:521-548.
- . Alexander, M. 1980. *Introducción a la microbiología del suelo*. AGTeditor, S.A. México, D.F. 491 pp.
- . Alloway, B.J. 1990. *Heavy metals in soils*. John Wiley and Sons Inc. New York. 338 pp.
- . Anagnostidis, K. and J. Komárek. 1988. Modern approach to the classification systems of Cyanophytes. 3-Oscillatoriales. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* **80**, *Algol. Stud.* **50-53**:327-472.
- . Anderson, M.A., F.M.M. Morel and R.R.L. Guillard. 1978. Growth limitation of a coastal diatom by low zinc in activity. *Nature*. **276**:70-71.
- . Archibald, P.A. and H. Bold. 1978. Phycological studies XI. The genus *Chlorococcum* Meneghini.
- . Atkinson, R.B. and J. Cairns Jr. 1994. Possible use of wetlands in ecological restoration of surface mine land. *J. of Aquatic Ecosystem Health*. **3**(2):139-144.
- . Avila, N. J. 1985. *Ficoflora manifiesta del suelo del Valle de Tehuacán, Puebla, México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM, 93 pp.
- . Avila, N. J. 1989. *Ficoflora potencial de suelos húmedos del Valle de Tehuacán, Puebla, México*. Tesis de Maestría en Ciencias. Facultad de Ciencias, UNAM, 93 pp.
- . Babich, H. and G. Stotzky. 1980. Environmental factors that influence the toxicity of heavy metals and gaseous pollutants to microorganisms. *CCR Critical Reviews in Microbiology*. **8**:99-104.
- . Barkay, T. and C. Liebert. 1992. Distribution of metal resistant microorganisms in the environment: significance and methodology. In M.A. Levin, R.J. Seidler and M. Roguel (Eds.): *Microbial ecology: principles, methods and applications*. McGraw-Hill Inc. New York. 663-682.
- . Basulto, A. M. R. 1984. *Estudio analítico de los jales del Distrito Minero de Guanajuato*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química. Universidad de Guanajuato. Guanajuato. 92 pp.
- . Betanzos, C.M.A. y J.A. Buchanan. 1977. *Estudio de los jales clasificados de la planta de Beneficio de la Cía. Minera Las Torres*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química. Universidad de Guanajuato. 97 pp.

- 
- . Black, C.A. 1965. *Methods of soil analysis part 1*. Agronomy (9). Am Soc. of Agronomy Inc.
  - . Boekhold, A.E. and S. van Der Zee. 1992. Significance of soil chemical heterogeneity for spatial behavior of Cd in field soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56
  - . Bold, H. C. and J. Wynne. 1978. *Introduction to the algae*; Prentice Hall Inc. New Jersey. 706 pp.
  - . Boot, W.E. 1941. Algae as pioneers in plan succesionan and their importance in erosion control. *Ecology* 22(1): 38-46.
  - . Bourrelly, P. 1968. Les Algues d'eau Douce. II: Les Algues jaunes et brunes, Chyrsophycées, Phéophycées, Xantophycées et Diatomées. Nouvelle Boubée et Cia. Paris. 517 pp.
  - . Bourrelly, P. 1970. Les Algues d'eau Douce. III: Eugléniens, Périдиниens, Algues rouges et Algues bleues. Nouvelle Boubée et Cia. Paris. 512 pp.
  - . Bourrelly, P. 1972. *Les Algues d'eau Douce. I: Les Algues vertes*. Nouvelle Boubée et Cia. Paris. 572 pp.
  - . Bower, C.A. 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil sci.* 73: 252-261 pp.
  - . Bradbury, J. P. 1970. Diatoms from the pleistocene sediments of Lake Texcoco, Mexico. *Revue de geographie physique et de geologie dynamique.* 12(2):161-168.
  - . Bradbury, J. P. 1971. Paleolimnology of Lake Texcoco, Mexico: Evidence from diatoms. *Limnol. Oceanogra.* 16(2):180-200.
  - . Bradshaw, A.D. and M. J. Chadwick. 1980. *The restoration of land*. University of California Press. Berkeley. 260 pp.
  - . Brierley, C.E., J.A. Brierley and M.S. Davidson. 1989. Applied microbial processes for metal recovery and removal from wastewater. In T.J. Beveridge and R.J. Doyle (Eds.): *Metal, ions and bacteria*. J. Wiley and Sons. New York, 359-382.
  - . Cairns, J. Jr, P.V. McCormick and B.R. Niederlehner. 1992. Estimating ecotoxicological risk and impact using indigenous aquatic microbial communities. *Hydrobiologia.* 237: 131-145.
  - . Cairns, J. Jr, P.V. McCormick and B.R. Niederlehner. 1993. A proposed framework for developing indicators of ecosystem health. *Hydrobiologia* 263: 144.
  - . Cairns, J. Jr. 1991. The status of the theoretical and applied science of restauration ecology. *The emnvironmental Profressional.* 13:186-194 pp.

- 
- . Cairns, J. Jr. 1992. Land restoration: where we go from here?. In Younos, T., P. Diplas and S. Mostaghimi (Eds.): *Land Reclamation: Advances in Research and Toxicology*. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph. 1-13 pp.
  - . Cameron, R.E. and G.B. Blank. 1966. Desert algae: soil crusts and diaphanous substrata as algal habitats. Technical report. *NASA*. 40 pp.
  - . Campbell, R. 1977. *Microbial ecology*. Blackwell Scientific Publications. London. 148 pp.
  - . Cantoral-Uriza, E. 1990. Ficoflora ambientes lénticos de la localidad El Salto en la región de la Huasteca Potosina, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM, México, D.F. 139 pp.
  - . Cantoral-Uriza, E. 1997. Diatomeas (Bacillariophyceae) de ambientes lóticos en la cuenca baja de la Huasteca Potosina, México. Tesis Doctoral (Biología). Facultad de Ciencias, UNAM, México, D.F. 198 pp.
  - . Carmona, J.J. 1990. *Ficoflora de Manantiales de la Huasteca Potosina, México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F. 105 pp.
  - . Cervantes, J.J. y P. Basulto. 1986. Estudio analítico de los jales del distrito minero de Guanajuato. *Rev. Soc. Química de México*. 30:81-83.
  - . Chang-Wong, L.A. 1989. *Variación de la comunidad planctónica de la Presa Requena, Hidalgo*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F. 112 pp.
  - . Chlopecka, A., J.R. Bacon, M.J. Wilson and J. Kay. 1996. Forms of cadmium, lead and zinc in contaminated soils from Southwest Poland. *J. Environ. Qual.* 25: 69-79.
  - . Collins, Y.E. and G. Stotzky. 1989. Factors affecting the toxicity of heavy metals in microbes. In T.J. Beveridge and R.J. Doyle (Eds.): *Metals, ions and bacteria*. Jonh Willey and Sons. New York. 31- pp.
  - . Comas, G.A. 1984. Chlorococcales (Chloropyceae) de algunos acuatorios del Pinar del Rio, Cuba. *Acta Botánica Cubana* (17):1-60.
  - . Crist, R.H., K. Oberholser, N. Shank and M. Nguyen. 1981. Nature of binding between metallic ions and algal cell walls. *Environ. Sci. Technol.* 15(10):1212-17.
  - . Cromer, J.L. and M.S. Shuman. 1979. Copper association with aquatic fulvic and humic acids. *Am. Cem. So.* 13(5):543-549.
  - . Cuesta, Z.I.J. 1993. Ecología de la ficoflora de los manantiales de San Lorenzo, Tehuacán, Puebla. Tesis de Licenciatura. Fac. de Ciencias. UNAM. 119 pp.

- 
- Da Costa, A.C.A. and S. Gomes-Ferreira. 1991. Metal biosorption by sodium alginate immobilized *Chlorella homoshaera*. *Cells. Biotech. Letters*. 13(8):559-562.
  - Darnall, D.W., B. Greene, M. T. Henzl, J. M. Hosea, R. A. McPherson, J. Sneddon and M.D. Alexander. 1986. Selective recovery of gold and other metal ions from an algal biomass. *Environ. Sci. Technol.* 20(2):206-208.
  - Davies, A.G. 1983. The effects of heavy metals upon natural marine phytoplankton populations. In Round, F.E. and D.J. Chapman (Eds.): *Progress in phycological research. Vol 2*. Elsevier Science Publishers. 113-145 pp.
  - De la Cruz, G. 1991. ANACOM (Sistema para el análisis de comunidades). CINVESTAV-IPN, Mérida.
  - De Wolf, H. 1982. Method of coding ecological data from diatoms for computer utilization. *Meded, Rijks. Geo. Dienst.* 36(2):95-98.
  - Deason, T.M. 1971a. The genera *Spongiococcum* and *Neospongiococcum*. I. The genus *Spongiococcum* and the multinucleate species of the genus *Neospongiococcum*. *Phycologia*. 10(1):17-27.
  - Deason, T.M. 1971b. The genera *Spongiococcum* and *Neospongiococcum*. II. Species of *Neospongiococcum* with labile walls. *Phycologia* 10 (2/3):255-263.
  - Deason, T.M. 1976. The genera *Spongiococcum* and *Neospongiococcum*. III. New species, biochemical characteristics and a summary key. *Phycologia* 15 (2):197-213.
  - Desikachary, T.V. 1959. *Cyanophyta*. India Council of Agricultural Research (ICAR) Monographs on Algae. New Dehli. 686 pp.
  - Diario Oficial de la Federación. Marzo 13 de 1967.
  - Diario Oficial de la Federación. Noviembre 29 de 1976.
  - Diario Oficial de la Nación. Octubre 18 y 22 de 1993.
  - Durrell, L. W. 1962. Algae of Death Valley. *Trans. Amer. Microsc. Soc.* 81(3): 267-273.
  - Durrell, L. W. 1964. Algae in Tropical Soils. *Trans. amer. micros. Soc.* 83(1):79-85.
  - Ettl, H. und G. Gärtner. 1988. Chlorophyta II: Tetrasporales, Chlorococcales, Gloeodendrales. In Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig und D. Mollenhauer (Eds.): *Die Süßwasserpflanzwelt von Mitteleuropa*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 433 pp.
  - Fergusson, J.E. 1990. The Heavy elements: chemistry, environmental impact and health effects. Pergamon press. Oxford. 614 pp.

- 
- . Flemming, C.A. and J.T. Trevors. 1988. Copper retention and toxicity in freshwater sediment. *Water, Air and Soil Pollution*. (40): 433-441.
  - . Foster, P.L. 1982. Metal resistances of Chlorophyta from rivers polluted by heavy metals. *Freshwater Biol.* 12: 41-61.
  - . Foth, H.D. 1990. *Fundamentals of soil science*. John Wiley and Sons Inc. New York. 360 pp
  - . Fott, B. 1972. Das Phytoplankton des Süßwassers, Systematik und biologie. In Hhuber-Pestalozzi, G. (Ed.). *Teil XVI Die Binnengewässer, Chlorophyceae (Grünalgen) Ordnung: Tetrasporales*. Stuttgart. 116 pp.
  - . Gale, N.L., M.G. Hardie, J.C. Jennet and A. Aleti. 1973. Transport of trace pollutants in lead mining waters. In D.D. Hemphel (Ed.): *Trace substances in environmental health*. University of Missouri, Columbia. 95-106 pp.
  - . Gale, W.F., A.J. Gurzynski and R.L. Lowe 1979. Colonization and standing crops of epilithic algae in the Susquehanna River, Pennsylvania. *J. Phycol.* 15(2):117-123.
  - . García-Meza, J.V. 1997. *Diatomeas de una zona de jales mineros de Guanajuato*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F., 87 pp.
  - . García-Meza, J.V., L. Sosa, A. Obregón, E. Vega, C. Cano, D. Mendóza, J. Cervantes Y.R. Ramos, C. Siebel and L. Marín. 1997. *Algae and zooplankton of mine tailings from Guanajuato, Mexico*. 5<sup>th</sup> International Conference on Aquatic Ecosystem Health: 80-81 pp.
  - . García-Meza, J.V., L. Sosa, C. Cano, P. Ponce and Y.R. Ramos. 1995. Biotecnología ecológica para el tratamiento de residuos mineros. *Actas INAGEQ* 1(1):175-180.
  - . Geitler, L. 1932. L. Rabenhorst's Kryptogamen-Flora von Deutschland, Ostereich un der Schweiz. Cyanophyceae. Akademische Verlagsgesellschaft m.b.h. Leipzig. 1196 pp.
  - . Genter, R.B., S. Colwell, J.R. Pratt, D.S. Cherry and J. Cairns Jr. 1988. Changes in epilithic communities due to individual and combined treatments of zinc and snail grazing in stream mesocosms. *Toxicology and Industrial Health*. 4(2):185-201.
  - . Germain, H. 1981. *Flore des diatomées: Diatomophyceae*s. Société Nouvelle des éditions Boubée. Paris, 444 pp.
  - . González-González, J. 1987. Las algas de México. *Ciencias* (0):16-25.
  - . González-González, J. 1992. Flora Ficológica de México. *Ciencias* (6):13-33.
  - . Gowrinathan, K.P. and N.R. Rao. 1990. Detoxification of copper by *Nitzschia obtusa*, a pennate diatom. *Bull. Environ. Toxicol.* 45:615-618.



- 
- Greene, B., M. Hosea, R. McPerson, M. Henzel, M. Dale and D. Darnall. 1986. Interaction of gold(I) and gold (III) complexes with algal biomass. *Environ. Sci. Technol.* 20(6):627-632.
  - Guiza, R. 1949. *Estudio geológico del distrito minero de Guanajuato*. Boletín del Instituto Nacional para la Investigación de Recursos Minerales. (22), 77 pp.
  - Haan F.A.M and P.J. Zwerman. 1976. Pollution of soil. In G.H. Bolt, and M.G.M. Bruggenwert (Eds.): *Soil chemistry*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
  - Haghiri, F. and P. Sutton. 1982. Vegetation establishment on acidic mine spoils as influenced by sludge application. In Sopper, W. E. (Ed.): *Land reclamation and biomass production with municipal wastewater and sludge*. Pennsylvania State University Press. Pennsylvania. 433-446.
  - Harris P.O. and G.J. Ramelow. 1990. Binding of metal ions by particulate biomass derived from *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus quadricauda*. *Environ. Sci. Technol.* 24(2):220-228.
  - Hem, J.D. 1992. *Study and interpretation of the chemical characteristics of water*. 3<sup>rd</sup>. edition. US geological supply papers (No. 2254). Washington. 264 pp.
  - Hernández-Becerril, D.U. y P.M. Tapia. 1987. Ecología del fitoplácton primaveral de superficie en el Lago Tequesquitengo, Morelos, México. *Rev. Biol. Trop.* 35(1):31-39.
  - Huang, P.M. 1993. Impact of interactions among soil minerals, organics and microbes on agroecosystems. In R. Ferrara y R. Quintero (Eds.): *Agroecología, sostenibilidad y educación*. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillos, Edo. de Mex. 79-97.
  - Ibarra, V.C. 1992. *Flora diatomológica de la localidad de Texcala, Tehuacán, Puebla*. Tesis de Licenciatura. Fac. de Ciencias, UNAM. México D.F. 80 pp.
  - Ibarra, V.C. 1998. Análisis de la estructura de tres ambientes distintos en la localidad de San Antonio Texcala, Tehuacán, Puebla. Tesis de Maestría en Ciencias. Fac. de Ciencias, UNAM. México D.F. 80 pp.
  - Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1993. *Cuaderno estadístico municipal*. Gobierno del Estado de Guanajuato.
  - Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1997. <http://www.inegi.gob.mx>.
  - Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1998. <http://www.inegi.gob.mx>.

- Izaguirre, M.M. y E. Dominguez. 1987. *Mesoclimas de cada Municipio del Estado de Guanajuato*. Observatorio Astronómico y Meteorológico. Universidad de Guanajuato. Guanajuato. 124 pp.
- Johansen, J.R., S. Rushforth, R. Orbendorfer, N. Fungladda, J.A. Grimes. 1983. The algal Flora of selected wet walls in Zion National Park, Utah, U.S.A. *Nova Hedwigia* **38**:765-808.
- John, J. 1993. The use of diatoms in monitoring the development in created wetland at sandmining sites in Western Australia. In Van Dam (Ed.): *Twelfth International Diatom Symposium*. Klüwer Academic Publisher. Bruselas. 427-436.
- Kabata-Pendias, A. and H. Pendias. 1992. *Trece elements in soils and plants*. 2<sup>nd</sup> edition. CRC Press. Boca Raton. 365 pp.
- Kaplan, D., D. Christiaen and S. Arad. 1987. Binding heavy metals by algal polysaccharides. In T. Stadler *et al.* (Eds.): *Algal biotechnology*. Elsevier Applied Sci., London. 179-187.
- Karamushka, U.I., Z.R. Ul'berg, T.G. Gruzina, A.S. Dukhin and S.B. Buriyev. 1991. Response of *Chlorella* cells in energized state of tetrachlorate. *Hidrobiologiya* **27**(3):82-89.
- Kelly, E. G y D.J. Spottiswood. 1990 *Introducción al procesamiento de minerales*. Limusa, México, D.F. 530 pp.
- Kenney, W.L., W.G. Breck, G.W. Vanloon and J.A. Page. 1976. The determination of trace metals in *Cladophora glomerata* as a potential biological monitor. *Water Res.* **10**:81-84.
- Kirke, P.W.W. 1987. Pollution control legislation. In Lester, J.N. (Ed.): *Heavy metals in wastewaters and sludge treatment*. CRC Press. Boca Raton. 65-103 pp.
- Kórnárek, J. und B. Fott. 1983. *Das Phytoplankton des Süßwassers, Systematik un biologie*. Huber-Festalozzi, G. Vol. 7 Teil 1. Band XVI Die Binnengewässer, Chlorophyceae (Grüalgen). Ordnung: Chlorococcales. E. Schwizerbartsche Verlagsbuchandulg. Stuttgart. 1044 pp.
- Krammer, K. und H. Lange-Bertalot. 1986. Bacillariophyceae. Teil 1: Naviculaceae. Band 2/1. In Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig und D. Mollenhauer (Eds.): *Die Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 866 pp.
- Krammer, K. und H. Lange-Bertalot. 1991a. Bacillariophyceae. Teil 3: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Band 2/3. In Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig und D. Mollenhauer (Eds.): *Die Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 576 pp.
- Krammer, K. und H. Lange-Bertalot. 1991b. Bacillariophyceae. Teil 4: Achnantaceae, Kritische Ergänzungen zu *Navicula* (Lineolatae) und *Gomphonema*. Gesamtliteraturverzeichnis Teil 1-

4. Band 2/4. In Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig und D. Mollenhauer (Eds.): *Die Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 437 pp.
- Krammer, K. und Lange-Bertalot, H. 1988. Bacillariophyceae. Teil 2: Bacillariaceae, Ephitemiaceae, Surirellaceae. Band 2/2. In Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig und D. Mollenhauer (Eds.): *Die Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 596 pp.
- Krantz, L. 1978. Minería y marginalidad: Ensayo socioeconómico de la minería en Guanajuato. Escuela de Ingeniería, Minas y Metalurgia. México D.F. 77 pp.
- Laegreid M., J. Alstad, D. Klaveness and H.M. Seip. 1983. Seasonal variation of cadmium toxicity toward the algae *Selenastrum capricornatum* Prints in two lakes with different humus content. *Enviro. Sci. Technol.* 17(6):357-361.
- Less, A. and R.W. Walker. 1984. Toxicity and binding of copper, zinc and cadmium by the blue-green algae *Chroococcus parís*. *Water, Air and Soil Pollution* 23:129-139.
- Lindsay, W.L. and W.A. Norvell. 1978. Development of DPTA test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sc. Soc. Am. J.* 42:421-428.
- Logan, T.J and S.J. Traina. 1993. Trace metals and agriculture soils. In Allen, H.E., E.M. Perdue and D.S. Brown (Eds.): *Metals in ground water*. Lewis Publishers. Boca Raton. 614 pp.
- Lowe, R.L. 1974. *Environmental requirements and pollution tolerance of freshwater diatoms*. Nat. Environ. Res. Center-Environmental Protection Agency, US. Cincinnati. 334 pp.
- Lund, J.W.G. 1962. Soil algae. In R.A. Lewin (Ed.): *Physiology and biochemistry of algae*. Academic press. New York. 759-770.
- Maeda, S., M. Mizuguchi, A. Ohky, J. Inanaga and T. Takeshita. 1990a. Bioaccumulation of Zn and Cd in freshwater alga, *Chlorella vulgaris*. Part II: Association mode of the metals and cell tissue. *Chemosphere* 21(8):965-973.
- Maeda, S., M. Mizuguchi, A. Ohky and T. Takeshita. 1990b. Bioaccumulation of Zn and Cd in freshwater alga, *Chlorella vulgaris*. Part I: toxicity and accumulation. *Chemosphere* 21(8):953-963.
- Mallik, N. and L.C. Rai. 1993. Influence of culture density, pH, organic acids and divalent cations on the removal of nutrients and metals by immobilized *Anabaena doliolum* and *Chlorella vulgaris*. *W. J. of Microbiol. Biothechnol.* 9:196-201.

- Margalef, R. 1983. *Limnología*. Omega. Barcelona. 1010 pp.
- Margulis, L. and. D. Sagan. 1986. *Microcosmos: four billion years of evolution from our microbial ancestors*. Summit Books. New York. 301 pp.
- Mattox, K.R. and K.D. Stewart. 1984. In Irvine, D.E.G. and D.M. John (Eds.): *Systematic of the green algae*. Academic Press. London. pp 29-72.
- Mendoza, A.E. 1993. *Hongos procedentes de residuos mineros de Guanajuato y su resistencia a metales pesados*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química, Universidad de Guanajuato, 75 pp.
- Mendoza-González, C. 1985. Estudio florístico ficológico estacional de la Laguna Victoria de Santiago Tilapa, México. *Phytologia* 58(7):479-487.
- Metcalfe, S.E. 1985. *Late Quaternary environments of Central Mexico: a diatoms record*. Ph.D. Hertford Collageand School of Geography. Oxford. 565 pp.
- Metcalfe, S.E. 1988. Modern diatoms ensamblages in Central Mexico: the role of water chemistry and other environmental factors as indicated by TWISPAN and DECORANA. *Freshwater biology* 58: 217-233.
- Mosto, C. P. y G. Tell. 1995. Cultivos y aislamientos de algas. In Lopretto, E. C. y G. Tell (Eds.): *Ecosistemas de aguas continentales. Tomo I*. Ediciones Sur.La Plata. 297-313.
- Munsell Soil Color Charts. 1975 . Munsell Color Company Inc. Baltimore.
- Nakashima, S. and M. Yangi. 1992. Iron forms that influence the growth and musty odor prouction of selectd cyanobacteria. *Wat. Sci. tech.* 22(2): 207-216.
- Nalewajko, C. 1977. Extracellular release in freshwater algac and bacteria In Cairns, J. Jr. (Ed.): *Aquatic microbial communities*. Gerland Publisher Inc. New York. 589-624.
- Novelo, M. E. 1978. Diseño y ensayo de una metodología para estudios de la flora ficológica del suelo en zonas áridas realizado en Tehuacán, Puebla. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM. 113 pp.
- Novelo, M. E. 1985. *Ficolora dinámica del suelo, del Valle de Tehuacán, Puebla*. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, UNAM, México D.F.
- Novelo, M. E. 1998. *Flora ficológica del Valle de Tehuacán, Puebla*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias, UNAM, México D.F.
- Ortega, M.M. 1984. Catálogo de algas continentales recientes de México. UNAM. México, D.F. 566 pp.

- 
- . Ortiz-Monasterio P.F, C. Cortinas de Nava y M.L. Maffey. 1987. *Manejo de desechos industriales en México*. Fundación Universo Siglo XXI A.C. México D.F. 235 pp.
  - . Patrick, R. and C. W. Reimer. 1966. *The diatoms from the United States*. Monographic series of the Academy of Natural Science of Philadelphia. Lititz. 673 pp.
  - . Patrick, R. 1945. *Bacillariophyceae* In Ward, B.H. and C.G. Whipple (Eds.): *Freshwater biology*. John Wiley and sons Inc. 2<sup>nd</sup> edition. London. 171-189 pp.
  - . Patrick, R. 1977. Ecology of freshwater diatoms and diatom communities. In Werner, D. (Ed.): *The biology of diatoms*. Blackwell Scientific Publications. London. 673 pp.
  - . Prescott, G.W., H.T. Croasdale, W.C. Vinyard and C.E. Bicudo. 1981. *A synopsis of North American Desmids. Part II: Desmidiaceae*. University of Nebraska Press, 700 pp.
  - . Quintana, G. G. 1961. Estudio de las diatomeas fósiles de México en el microscopio electrónico y en el espectómetro de rayos X. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F. 79 pp.
  - . Radwan, S., W. Kowalik and C. Kowalozyk. 1990. Occurrence of heavy metals in water, phytoplankton and zooplankton of a mesotrophic lake in Eastern Poland. *The Science of the total environment*. 96:115-120.
  - . Ramos, E.Y.R. 1993. *Algas resistentes a metales pesados con potencial en el tratamiento de desechos mineros*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química. Universidad de Guanajuato.
  - . Ramos, E.Y.R. 1995. Estudio de la movilización de metales pesados en el Municipio Minero de Guanajuato. *Actas INAGEQ*. (1):41-43.
  - . Ramos, R. 1991. *Reconstrucción mineralógica de los jales de Guanajuato*. Tesis de Maestría en Ciencias Químicas. Facultad de Química. Universidad de Guanajuato. 133 pp.
  - . Richards, L. A. 1974. *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos*. Limusa. México D.F. 112 pp.
  - . Rodríguez G.S. y P.M. Vergil. 1989. *Optimización de parámetros de la planta concentradora Cia. Mienera de Avino*. Tesis de Ingeniero Metalúrgico. Facultad de Minas. Universidad de Guanajuato.
  - . Rodríguez, M.E, C. Cano, L. Sosa, E. Vega, A. Obregón, F. Amézquita y D. Mendoza. 1997. *Silver resistance in fungi isolated from mine residues at Guanajuato, Mexico*. 5<sup>th</sup> International Conference on Aquatic Ecosystem Health (abstracts) 103 pp.

- Rodríguez, R.E. 1987. Purificación de óxidos de sílice en los jales de Guanajuato mediante lixiviación ácida y flotación. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química, Universidad de Guanajuato.
- Rohlf. 1993. NTSYS-PC, Versión 1.8.
- Round, F.E., R.M. Grawford and D.G. Mann. 1984. *The diatoms*. Cambridge University Press. Cambridge. 747 pp.
- Sakaguchi, T., A. Nakajima and T. Horikoshi. 1981. Studies on the accumulation of heavy metal elements in biological system. XVIII: Accumulation of molybdenum by green microalgae. *European J. Appl. Microbiol. Biotechnol.* 12:84-89.
- Sariego, J.L., L. Reygadas, M.A. Gómez y J. Farrera. 1988. *El estado y la minería mexicana: política, trabajo y sociedad durante el siglo XX*. Fondo de Cultura Económica-Secretaría de energía, minas e industria paraestatal. México D.F. 571pp.
- Sarode, P.T. & N.D. Kamat. 1984. *Freshwater diatoms of Maharashtra*. Saikripa Prakashan, Aurangabad (Maharashtra), India. 388 pp.
- Secretaría de Desarrollo Social e Instituto Nacional de Ecología. 1994. Informe de la situación general en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente 1993-1994. SEDESOL, México, D.F. 374 pp.
- Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal. 1993. México, D.F.
- Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP). 1980. *Síntesis geográfica de Guanajuato*. México D.F.
- Sheath, R.G. and K.M. Cole. 1992. Biogeography of stream macroalgae in North America. *J. of Phycol.* 28(4):448-460.
- Shumam, M.S. and J.L. Cromer. 1979. Cooper association with aquatic fulvic and humic acids. *Environmental Sc. Tec.* 13(5): 543-549.
- Silverberg, B.A., P.M. Stokes and L.B. Ferstenberg. 1976. Intranuclear complexes in a copper-tolerant green alga. *The Journal of Cell Biology.* 69:210-214.
- Sneath, P.H.A. and R.R. Sokal. 1973. Numerical taxonomy: the principles and practice of numerical classification. Freeman. San Francisco. 673 pp.
- St. Clair, L.L., B.L. Webb, J.R. Johansen and G.T. Nebeker. 1964. Cryptogamic soil crusts: enhancement in disturbed and undisturbed areas. *Reclamation and Revegetation Research.* 3:129-136.

- 
- Stark, L.R., F.M. Williams, W.R. Wenerick, P.J. Wuest and C. Urban. 1996. The effects of substrate type, surface water depth and flow rate on manganese retention in mesocosm wetlands. *J. Environ. Qual.* 25: 97-106.
- STATGRAPHICS (Statistical Graphics System) 1986. Versión 1.2.
- Stein, J. R. 1973. Handbook of phyecological methods: culture methods and growth measurements. Cambridge University Press. 448 pp.
- Stokes, P. M. 1983. Responses of freshwater algae to metals. In Round, F.E. and D.J. Chapman (Eds.): *Progress in phyecological research*. Elsevier Science Publisher. 87-111 pp.
- Tamhove, R.V., D.P. Motiramani y Y.P. Boli. 1978. *Suelos: su química y fertilidad en zonas tropicales*. Diana. México D.F. 483 pp.
- Tavera, R.L. y J. González-González. 1990. Caracterización ficoflorística de los paredones de la Sierra de Juárez, Oaxaca: importancia de las formas de crecimientos algales en la tipificación de un ambiente. *Bol. Soc. Bot. Mex.* 50:121-133.
- Tavera, R.L. 1996. *Phytoplankton of tropical Catemaco*. Ph.D. Thesis. Faculty of Biological Sc. University of South Bohemia. Céské Budějonce. 63 pp.
- Tavera, R.L., J. Elster and P. Marvan. 1994. Diatoms from Papaloapan basin communities, Mexico. *Arch. Hydrobiol./Suppl., Algol Stud.* 74:35-65.
- Valadéz, C. F. 1992. *Flora ficológica de ambientes lóticos de la cuenca baja del Río Amacuzac, Morelos*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UMAM. México D.F. 239 pp.
- Valadéz, C. F. 1998. *Flora ficológica de ambientes lóticos de la cuenca baja del Río Amacuzac, Morelos*. Tesis de Maestría en Ciencias. Facultad de Ciencias, UNAM. México D.F. 239 pp.
- Van Dam, H., A. Mertens and J. Sinkldam. 1994. A code Checklist and ecological indicator values o freshwater diatoms from Netherlands. *Netherlands journal of Aquatic ecology.* 28 (1):117-133.
- Vázquez, G. D. 1995. *Variación estacional de especies fitopláncónicas del Lago Catemaco, Veracruz*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México D.F. 64 pp.
- Vega, E. L. Sosa, C. Cano, A. Obregón, A. Alvarez, E. Escalante, F. Amezcuita, D. Mendoza G. Vázquez. 1997. *Plants tolerant to mine tailings in Guanajuato, Mexico*. 5<sup>th</sup> International Conference on Aquatic Ecosystem Health (abstracts) 103 pp.

- 
- . Vilaclara, G., A. Rodríguez, J. Miranda and D. Juárez. 1997. *Effects of a temporal environmental change registered in a diatomite bed, Tlaxcala, Mexico*. 5<sup>th</sup> International Conference on Aquatic Ecosystem Health (abstracts) 116 pp.
  - Vizcaino, M. F. 1975. *La contaminación en México*. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 514 pp.
  - . Vymazal, J. 1990. Uptake of lead, chromium, cadmium and cobalt by *Cladophora glomerata*. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 44:468-472.
  - . Walkley, A. 1947. A critical examination on a rapid method for determining organic carbon in soil. *Soil Sci.* 63: 451-464 pp.
  - . Whitton, B.A. 1970. Toxicity of heavy metals to fresh water algae: a review. *Phykos* 9(2): 116-125.
  - . Williams, S. y H. Sims. 1993. *Las minas de Plata en el Distrito Minero de Guanajuato: una perspectiva histórica*. Centro de Investigaciones Humanísticas, Universidad de Guanajuato. Guanajuato. 82 pp.
  -