

ALGUNAS OBSERVACIONES SOBRE LA VIDA DE MICROORGANISMOS
EN LOS ARROYOS TERMALES DE LOS AUSOLES DE EL SALVADOR

* * * * *

Dr. Friedrich Hustedt, Plön (Alemania).

Existe una fuerte discrepancia de opiniones con respecto a las temperaturas máximas que pueden soportar los microorganismos. En algunas descripciones de viajes se mencionan temperaturas que, para los respectivos organismos, parecen improbables. Al elaborar el material coleccionado por la expedición limnológica alemana al archipiélago de Sonda, basándome en las comunicaciones de Fr. RUTTNER, pude comprobar una temperatura máxima de 40-45°C para las diatomeas, la cual sin embargo es soportada solamente por unas pocas especies. Esta comprobación fué combatida por otros investigadores, sosteniendo que las diatomeas son capaces de soportar temperaturas mucho mayores, sin que presentaran prueba alguna para su afirmación. Durante mi estadía en el ITIC en El Salvador tuve la ocasión de investigar personalmente tales aguas termales y de formarme una idea clara del efecto de la temperatura como factor limitante de la vida. El material investigado proviene de los ausoles en los alrededores de Ahuachapán (Playón de Ahuachapán y La Labor), los cuales visité el 21 de enero de 1953 sólo, y de nuevo el 24 de enero en compañía del Dr. W. LÖTSCHERT. Dos otras muestras procedentes de aguas termales del volcán Cuyanausul me fueron entregadas por el Dr. H. MEYER - ABICH.

La recolecta de las muestras se efectuó de tal manera que empecé en los lugares de las temperaturas máximas accesibles, para tener la seguridad de no mezclar especies de aguas menos calientes con las de mayor temperatura. La temperatura se midió en el propio lugar donde la muestra fué coleccionada, y se tomaron muestras tanto en agua libre como en cubiertas de las piedras. Todas las muestras fueron examinadas el mismo día en estado vivo.

En las páginas siguientes se ofrecen los resultados de estas observaciones del material todavía vivo. Me limito, por lo general, a indicar los nombres de grupos y géneros sin detallar especies (excepción hecha con las diatomeas), porque no dispongo aquí de la literatura necesaria. En cuanto a las diatomeas, cuyo examen es el objeto especial de mi trabajo en El Salvador, daré mayores detalles sobre las especies respectivas en mi tratado final de las diatomeas de agua dulce de El Salvador.

Por tratarse aquí únicamente de la investigación de la temperatura como factor ecológico, es necesario eliminar todos los demás factores que posiblemente se basan en las condiciones químicas de las aguas; es decir, hay que cumplir con las siguientes condiciones:

a. Hay que efectuar las investigaciones en cada caso dentro del mismo arroyo, o, al tratarse de pequeñas áreas aisladas como en estos lugares, dentro del mismo sistema de aguas.

b. En aquella parte del riachuelo cuya temperatura corresponde a la temperatura media de otras aguas de la región examinada (en este caso de El Salvador), hay que determinar las especies, respectivamente los grupos de organismos que viven en aquellas aguas, para hacer posible una comparación exacta con los organismos en las aguas más calientes.

A. LA FLORA DE DIATOMEAS DE LOS AUSOLES.

1. LOS AUSOLES DEL PLAYON DE AHUACHAPAN.

En las rocas del riachuelo Agua Caliente, a 31°C de temperatura, viven las siguientes diatomeas:

- | | |
|---|---|
| <i>Achnanthes exigua</i> Grun. | <i>Navicula radiosa</i> Kütz. |
| - <i>inflata</i> Kütz. | - <i>seminulum</i> Grun. |
| <i>Amphipleura Lindheimeri</i> Grun. | <i>Neidium productum</i> (W.Sm.) Cl. |
| <i>Caloneis bacillum</i> var. <i>lancetula</i> (Schulz) Hust. | <i>Nitzschia amphibia</i> Grun. |
| <i>Cocconeis placentula</i> E. | - <i>linearis</i> W. Sm. |
| <i>Cymbella prostrata</i> (Berk.) Cl. | - <i>parvula</i> Lewis |
| - <i>turgida</i> (Greg.) Cl. | <i>Pinnularia acrosphaeria</i> Breb. |
| <i>Eunotia Tschirchiana</i> O. Müll. | - <i>interrupta</i> W. Sm. |
| <i>Frustulia rhomboides</i> var. <i>saxonica</i> (Rbh.) DT. | - <i>maior</i> Kütz. |
| <i>Gomphonema lanceolatum</i> E. | - <i>microstauron</i> (E.) Cl. |
| - <i>parvulum</i> var. <i>lagenula</i> (Grun.) Hust. | - <i>subcapitata</i> Greg. |
| <i>Navicula cincta</i> (E.) Kütz. | - <i>viridis</i> (Nitzsch) E. |
| - <i>confervacea</i> Kütz. | <i>Rhopalodia gibberula</i> (E.) O.M. |
| - <i>minima</i> Grun. | <i>Stauroneis crucicula</i> Grun. |
| - <i>mutica</i> Kütz. | <i>Surirella angustata</i> Kütz. |
| - <i>pupula</i> Kütz. | - <i>robusta</i> var. <i>splendida</i> (E.) VH. |
| - - var. <i>rectangularis</i> (Greg.) Grun. | <i>Synedra ulna</i> (Nitzsch) E. var. |

De estas formas son muy frecuentes: *Achnanthes exigua*, *Gomphonema lanceolatum*, *Navicula confervacea* y *Nitzschia amphibia*.

En una 'grama' de algas vecina a este lugar y de igual temperatura, 31°C, se encontraron además, fuera de la mayor parte de las ya mencionadas especies, las siguientes:

- | | |
|---|-----------------------------------|
| <i>Eunotia monodon</i> E. | <i>Surirella guatemalensis</i> E. |
| <i>Nitzschia tryblionella</i> var. <i>victoriae</i> Grun. | |

Además se presentaba en masas en estas algas *Gomphonema lanceolatum* E. que ya era muy frecuente en la muestra anterior.

A una temperatura de 33°C no se reconoció un cambio esencial en la flora de las cubiertas de piedras. Hubo *Navicula confervacea* Kütz en enormes cantidades y se presentó frecuentemente *Surirella robusta* var. *splendida* (E.); pero la composición de la flora restante era parecida a la de las muestras anteriores. Un lugar de color café, de unos 30-40 cms de diámetro y cerca del margen del agua a 33°C, contenía casi un 'cultivo en caldo' de *Pinnularia gibba* var. *sancta* Cl.

Contrario a esto, se registró un cambio esencial en la cubierta de piedras a 38°C de temperatura: Se encontraron vivas tan sólo algunas especies del género *Nitzschia*, cuya determinación exacta falta todavía. Además observé raras veces algunas células aisladas de *Navicula confervacea* Kütz. y *Pinnularia spec.*, en las cuales no pude determinar con seguridad si todavía eran vivas o si se trataba de células ya muertas. De todas maneras se hace evidente que el número de diatomeas que pueden soportar esta temperatura, ha disminuído considerablemente.

En rocas, cuya cubierta vegetal acusó temperaturas de 33°, 37° y 50° C, pero que fueron regadas continuamente por gotas de aguas calientes por encontrarse cerca de un manantial de aguas hirvientes, ya no se encontraron diatomeas vivas. En una roca cubierta de una capa de cyanophyceas con 45°C de temperatura, situada a 40-50cm de distancia de la fuente hirviente más importante, igualmente ya no se presentó ningu-

na traza de diatomeas.

2. LOS AUSOLES DE LA LABOR.

Contrario al campo solfatárico del Playón de Ahuachapán que solamente por un lado está limitado por el riachuelo termal Agua Caliente y donde no existen otros arroyos termales en su área, se encuentran una serie de arroyos termales de diferente anchura atravesando el campo solfatárico de La Labor. Todos estos se juntan en la salida de la depresión semicircular de este ausol formando una quebrada que, un poco más abajo, estaba ya seca cuando yo la visité. La temperatura del agua en la parte superior del arroyo era de 25,5°C y aquí, en las cubiertas de las rocas, se encontró una vegetación abundante de diatomeas que se componía esencialmente de las siguientes especies:

- | | |
|--|--|
| <i>Achnanthes exigua</i> Grun. | <i>Navicula pupula</i> Kütz. |
| <i>Amphipleura Lindheimeri</i> Grun. | - - var. <i>rectangularis</i> (Greg.) Grun. |
| <i>Caloneis bacillum</i> (Grun.) Mereschk. | - - var. <i>rostrata</i> Hust. |
| - - var. <i>fontinalis</i> Grun. | - <i>radiosa</i> Kütz. |
| <i>Cocconeis placentula</i> E. | <i>Neidium productum</i> (W.Sm.) Cl. |
| <i>Cyclotella Meneghiniana</i> Kütz. | <i>Nitzschia amphibia</i> Grun. |
| <i>Cymbella prostrata</i> (Berk.) Cl. | - <i>Clausii</i> Hantzsch |
| - <i>turgida</i> (Greg.) Cl. | - <i>dissipata</i> var. <i>media</i> Hantzsch |
| <i>Frustulia rhomboides</i> var. <i>saxonica</i> (Rabh.) DT. | - <i>linearis</i> W. Sm. |
| - <i>vulgaris</i> Thw. | - <i>parvula</i> Leuís |
| <i>Gomphonema gracile</i> E. | <i>Pinnularia gibba</i> var. <i>sancta</i> Cl. |
| - <i>lanceolatum</i> E. | - <i>interrupta</i> W.Sm. |
| - <i>parvulum</i> var. <i>lagenula</i> (Grun.) Hust. | - <i>microstauron</i> (E.) Cl. |
| <i>Gyrosigma scalproides</i> (Rabh.) Cl. | - <i>subcapitata</i> Greg. |
| <i>Hantzschia amphioxys</i> (E.) Grun. | - <i>viridis</i> (Nitzsch) E. |
| <i>Navicula anglica</i> Ralfs | <i>Stauroneis anceps</i> E. |
| - <i>cincta</i> (E.) Kütz. | - <i>crucicula</i> Grun. |
| - <i>conservacea</i> Kütz. | <i>Surirella angustata</i> Kütz. |
| - <i>exigua</i> (Greg.) O.M. | - <i>tenera</i> W.Sm. |
| - <i>Lagerheimi</i> var. <i>intermedia</i> Hust. | <i>Synedra ulna</i> (Nitzsch) E. |
| - <i>minima</i> Grun. | |

También aquí se presentó *Navicula conservacea* Kütz. en enormes cantidades, y en las formas frecuentes predominaban *Cyclotella Meneghiniana* Kütz. y *Frustulia vulgaris* Thw.

Copos flotantes en agua a 34°C acusaron ya una considerable disminución tanto en el número de especies como en el de individuos. La especie más abundante otra vez fue *Navicula conservacea* Kütz., además se encontraron ejemplos más o menos singulares de las siguientes especies que sin embargo no en todos los casos podían comprobarse como vivos:

- | | |
|--|--------------------------------------|
| <i>Cocconeis placentula</i> E. | <i>Nitzschia Clausii</i> Hantzsch |
| <i>Gomphonema lanceolatum</i> E. | - <i>linearis</i> W. Sm. |
| - <i>parvulum</i> var. <i>lagenula</i> (Grun.) Hust. | <i>Pinnularia acrosphaeria</i> Breb. |
| <i>Gyrosigma scalproides</i> (Rabh.) Cl. | - <i>interrupta</i> W. Sm. |
| | - <i>microstauron</i> (E.) Cl. |

En las hojas de una hierba, en agua de 36°C, se observaron tan sólo las siguientes formas:

Gyrosigma scalproides (Rabh.) Cl.
Navicula confervacea Kütz.
Nitzschia Clausii Hantzsch
 - *linearis* W.Sm.

Pinnularia gibba var. *sancta* Cl.
 - *microstauron* (E.) Cl.
Surirella angustata Kütz.

Entre ellas otra vez sólo *Navicula confervacea* Kütz. era frecuente. La cubierta en una piedra de igual temperatura manifestó condiciones menos ventajosas toda vía, observándose únicamente una sólo especie del género *Nitzschia* en estado vivo.

En rocas con temperatura de 37°C se observaron, fuera de una especie de *Nitzschia* (cuya determinación falta todavía), solamente las tres siguientes especies en estado vivo;

Navicula confervacea Kütz. (frecuente)
Pinnularia acrosphaerica Bréb. (frecuente)
 - *microstauron* (E.) Cl.

Otras muestras se tomaron de piedras de las siguientes temperaturas: 39°, 44°, 46°, 49°, 58°C; pero ya desde los 39°C no existen diatomeas vivas, aunque células muertas sin su contenido de plasma se encuentran dispersas en casi todas las muestras. Es decir, las especies están distribuídas aún aquí, pero condenadas a morir.

3. LAS FUMAROLAS DEL VOLCAN CUYANAUSUL.

Una de las dos muestras proviene del río en el barranco Presa de Atiquizaya, a 1200 m de altura y 26°C de temperatura, a pocos metros de distancia del au sol Las Termópiles. Esta contiene en abundancia enorme colonias en forma de hilos de *Navicula confervacea* Kütz. y además de manera más o menos esporádica las siguientes formas;

Achnanthes exigua Grun.
 - *lanceolata* Bréb.
 - *minutissima* Kütz.
Eunotia Tschirchiana O.M.
Frustulia vulgaris Thw.
Gomphonema parvulum var. *lagenula* (Grun.) Hust.
Navicula contenta f. *paralela* Pts.

Navicula cryptocephala Kütz.
 - *minima* Grun.
 - *seminulum* Grun.
Nitzschia linearis W.Sm.
Pinnularia microstauron (E.) Cl.
 - *subcapitata* Greg.
Synedra ulna (Nitzsch) E. var.

La otra muestra se origina de la misma pendiente norte del cerro, pero de la quebrada occidental, en la cual se encuentran los Ausoles de Cuyanausul. Fue tomada de aguas termales a 47°C y a 1375 m de altura. El material consiste sólo de cyanophyceas, no hay ni una traza de diatomeas vivas.

4. RESUMEN SOBRE LAS DIATOMEAS HASTA AHORA OBSERVADAS EN LOS AUSOLES DE EL SALVADOR.

La lista siguiente contiene sólo aquellas formas que pudieron determinarse sin ayuda de la literatura. Pero además, se encontraron una serie de diatomeas críticas o nuevas que requieren un examen más detallado y que por esto no se darán a conocer sino en mi informe final sobre las diatomeas de El Salvador. Estas últimas pertenecen esencialmente a los géneros *Amphora*, *Navicula*, *Nitzschia* y *Surirella*. Sin embargo, su determinación exacta no tiene importancia para el problema presente, o sea la influencia del factor temperatura en el desarrollo de la flora de diatomeas.

Achnanthes exigua Grun.
 - *inflata* Kütz.
 - *lanceolata* Bréb.

Nav. pupula Kütz.
 - - var. *rectangularis* (Greg.) Grun.
 - - var. *rostrata* Hust.

- | | |
|---|---|
| <i>Achnanthes minutissima</i> Kütz. | <i>Nav. radiosa</i> Kütz. |
| <i>Amphiptleura Lindheimeri</i> Grun. | - <i>seminulum</i> Grun. |
| <i>Caloneis bacillum</i> (Grun) Mereschk. | - <i>exigua</i> (Greg.) O.M. |
| - - var. <i>fontinalis</i> Grun. | <i>Neidium productum</i> (W.Sm.) Cl. |
| - - var. <i>lancettula</i> (Schulz) Hust. | <i>Nitzschia amphibia</i> Grun. |
| <i>Cocconeis placentula</i> E. | - <i>Clausii</i> Hantzsch |
| <i>Cyclotella Meneghiniana</i> Kütz. | - <i>dissipata</i> var. <i>media</i> Hantzsch |
| <i>Cymbella prostrata</i> (Berk.) Cl. | - <i>linearis</i> W.Sm. |
| - <i>turgida</i> (Greg.) Cl. | - <i>parvula</i> Lewis |
| <i>Eunotia monodon</i> E. | - <i>tryblionella</i> var. <i>victoriae</i> Grun. |
| - <i>Tschirchiana</i> O.M. | <i>Pinnularia acrosphaeria</i> Bréb. |
| <i>Frustulia rhomboides</i> var. <i>saxonica</i> (Rbh.) DT. | - <i>gibba</i> var. <i>sancta</i> Cl. |
| - <i>vulgaris</i> ThW. | - <i>interrupta</i> W.Sm. |
| <i>Gomphonema gracile</i> E. | - <i>maior</i> Kütz. |
| - <i>lanceolatum</i> E. | - <i>microstauron</i> (E.) Cl. |
| - <i>parvulum</i> var. <i>lagenula</i> (Grun.) Hust. | - <i>subcapitata</i> Greg. |
| <i>Gyrosigma scalproides</i> (Rbh.) Cl. | - <i>virides</i> (Nitzsch) E. |
| <i>Hantzschia amphioxys</i> (E.) Grun. | <i>Rhopalodia gibberula</i> (E.) O.M. |
| <i>Navicula anglica</i> Ralfs | <i>Stauroneis anceps</i> E. |
| - <i>cincta</i> (E.) Kütz. | - <i>crucicula</i> Grun. |
| - <i>confervacea</i> Kütz. | <i>Surirella angustata</i> Kütz. |
| - <i>contenta</i> var. <i>paralela</i> Pts. | - <i>guatemalensis</i> E. |
| - <i>cryptocephala</i> Kütz. | - <i>robusta</i> var. <i>splendida</i> (E.) VH. |
| - <i>Lagerheimi</i> var. <i>intermedia</i> Hust. | - <i>tenera</i> W. Sm. |
| - <i>minima</i> Grun. | <i>Synedra ulna</i> (Nitzsch) E. |
| - <i>mutica</i> Kütz. | - - var. |

La forma más abundante que a veces se presenta casi como 'cultura en caldo' es *Navicula confervacea* Kütz. Además son muy frecuentes: *Achnanthes exigua* Grun; *Gomphonema lanceolatum* E., *Nitzschia amphibia* Grun., mientras que *Cyclotella Meneghiniana* Kütz., *Frustulia vulgaris* Thw. y *Pinnularia acrosphaerica* Bréb. sólo en casos particulares se presentan de manera frecuente y determinante en la asociación de las diatomeas.

La lista preliminar comprende 58 formas diferentes pero ya he señalado que éste número se ampliará por especies dudosas (no mencionadas aquí), de tal manera que en total podemos contar con unas 70-80 especies. Todas las diatomeas, con pocas excepciones, se limitan a lugares ecológicos con temperaturas inferiores de 33°C, en 34°C ya constatamos una considerable disminución tanto de las formas como del número de individuos vivos, y esta disminución se hace notar de manera más evidente al subir más la temperatura. A 37°C se encontraron vivos, fuera de algunas (probablemente 2) especies de *Nitzschia*, solamente tres otras especies, mientras que, de 39°C para arriba, ya no existen diatomeas vivas. A pesar del número relativamente alto de diatomeas que viven en las partes de temperaturas moderadas de los arroyos y a pesar de que por lo menos siete de ellas son muy frecuentes y de que se ha comprobado la posibilidad de su distribución (por medio de las cáscaras muertas en las muestras de mayor temperatura), las diatomeas apenas alcanzan en estado vivo la temperatura de 40°C en los ausoles examinados de El Salvador, pero de ninguna manera la sobrepasan. Si yo anteriormente, a base de mis investigaciones de muestras procedentes de solfataras de las islas Sonda, he llegado a la conclusión que 40-45°C representan las temperaturas máximas para el desarrollo de una flora de diatomeas; entonces no sólo se ha comprobado

este resultado por mis observaciones en El Salvador, sino que posiblemente podrá sufrir una restricción. En todo caso hay que rechazar categóricamente toda declaración que las diatomeas pueden soportar temperaturas mayores de las indicadas.

B. ALGUNAS OBSERVACIONES EN OTROS GRUPOS DE ORGANISMOS.

Será de interés examinar también la influencia de la temperatura en otros organismos, ya que los ausoles de El Salvador prestan ocasión para esto. Aquí me limito a los Ausoles de La Labor por ser de los más adecuados en razón del aspecto múltiple de sus aguas termales. Los arroyos termales se distinguen a primera vista del riachuelo Agua Caliente del Ausol Playón de Ahuachapán por su sorprendente abundancia de bacterias de hierro: todos los arroyos con temperaturas mayores de unos 60°C hasta algunos 80°C están cubiertos por una densa capa de color rojo intenso de estos organismos. Sólo en un lugar hubo una pequeña abertura en dicha capa y aquí se notaron copos de bacterias de azufre. Alrededor de 60°C el cuadro cambia de tal modo que desde las márgenes de los arroyos hacia su interior, empiezan a extenderse cubiertas de cyanophyceas. Estas, en el intervalo entre 30°C hasta unos 58°C, cubren todos objetos con una capa densa de color verde intenso azulado, en la cual, desde unos 36°C hacia abajo, se encuentran entremezclados también otros organismos, combatiendo las diatomeas la supremacía de las cyanophyceas. La superficie de las últimas, en algunos lugares, perdió su color intenso ofreciéndose en un verde amarillento, formando una superficie bastante resistente, en la cual se podían depositar termómetros y otros objetos sin que estos se hundieran.

Observé los primeros infusorios a 39°C y a 37°C empieza ya una vida y va de algunos otros organismos. Eran muy frecuentes los infusorios en las muestras de 37° y 36°C; y lo mismo se encontraron rotatorios, amibas y rizopodos con cáscaras. En las algas eran muy frecuentes las desmidiaceas (*Penium*, *Closterium*, y raras veces también *Euastrum*), y los flagelados (*Euglena* y otros), mientras que las clorophyceas no se presentaban tan frecuentes. En la cubierta de cyanophyceas, en una roca a 30°C, pero dentro del alcance de gotas de agua hirviendo, observé rizopodos, rotarios y entre las algas especies de los géneros *Cosmarium*, *Closterium* y *Scenedesmus*.

De este breve informe resulta que la temperatura de unos 40°C forma también un límite de vida para la mayor parte de los demás grupos de organismos y que a mayores temperaturas reinan indiscutiblemente las cyanophyceas (en nuestra región hasta 58°C) y las bacterias, cuyo límite de vida sobrepasa los 80°C. Si acaso algunas especies de este u otro grupo pueden vivir a temperaturas mayores, esto no afecta la validez general de esta regla; pero quiero dejar constancia clara que aquí se trata de organismos cuyo medio de vida es el agua.

Se podrán discutir estos resultados por parte fisiológica, argumentando que los hombres somos capaces de cultivar muchos organismos a temperaturas mayores. Empero, la vida orgánica en nuestra tierra no se efectúa en un laboratorio construido por el hombre, sino en la naturaleza libre, donde ella depende de numerosos factores ecológicos. Sólo su conjunto motiva y mantiene la vida, y aún la mejor disposición del experimento no es capaz de reconstruir ni de imitar las condiciones ecológicas naturales.