



**ALGAS TERMÓFILAS: REVISIÓN Y CASO DE ESTUDIO PARQUE NACIONAL  
NATURAL LOS NEVADOS**

**DIANA EMILCE SANTAMARÍA BUITRAGO**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS  
MICROBIOLOGÍA INDUSTRIAL**

**BOGOTÁ D.C. COLOMBIA  
2011**



**ALGAS TERMÓFILAS: REVISIÓN Y CASO DE ESTUDIO PARQUE NACIONAL  
NATURAL LOS NEVADOS**

**DIANA EMILCE SANTAMARÍA BUITRAGO**

**TRABAJO DE GRADO  
PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
MICROBIÓLOGA INDUSTRIAL**

**DIRECTOR:  
JOSÉ SALVADOR MONTAÑA, M.Sc**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS  
MICROBIOLOGÍA INDUSTRIAL  
BOGOTÁ D.C. COLOMBIA  
2011**

## **NOTA DE ADVERTENCIA**

### **ARTICULO 23 DE LA RESOLUCIÓN No. 13 DE JULIO DE 1946**

“La universidad no se hace responsable por los conceptos omitidos por sus alumnos en sus trabajos de tesis. Solo se velara porque no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y porque las tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien se vea en ellas el anhelo en buscar la verdad y la justicia”.

**ALGAS TERMÓFILAS: REVISIÓN Y CASO DE ESTUDIO PARQUE NACIONAL  
NATURAL LOS NEVADOS**



**DIANA EMILCE SANTAMARÍA BUITRAGO**

**APROBADO**

---

**José Salvador Montaña**  
**Director**

---

**Ángela María Zapata**  
**Jurado**

**Bogotá D. C. Colombia**  
**2011**

**ALGAS TERMÓFILAS: REVISIÓN Y CASO DE ESTUDIO PARQUE NACIONAL  
NATURAL LOS NEVADOS**



**DIANA EMILCE SANTAMARÍA BUITRAGO**

**APROBADO**

---

**Ingrid Shuler Ph.D**  
**Decana Académica**

---

**Janeth Arias M.Sc - M.Ed**  
**Directora de Carrera**

**Bogotá D. C. Colombia**  
**2011**

## **DEDICATORIA**

A la memoria de mi padre, a mi madre, a mi tía Carmen y a toda mi familia quienes con su apoyo, entusiasmo, amor y comprensión me estimularon durante mi carrera.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi director José Salvador Montaña por su conocimiento y colaboración.

A la profesora Ángela Zapata por su apoyo incondicional, conocimiento y comprensión en el desarrollo de este trabajo.

A la profesora María Ivonne Venegas de Balzer por su conocimiento, apoyo incondicional y colaboración.

Al profesor David Gómez por su apoyo constante.

A mi madre y a mi tía Carmen por su compañía, optimismo y apoyo incondicional.

A toda mi familia quienes confiaron en mí y me brindaron su apoyo.

A todos mis amigos quienes me han brindado cariño, apoyo y colaboración.

A todas las personas quienes de una u otra forma me han colaborado para el desarrollo de este trabajo.

..... A todos, muchas gracias.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
<b>RESUMEN</b>	
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	14
<b>2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN .....</b>	15
<b>3. MARCO TEÓRICO REFERENTES CONCEPTUALES .....</b>	15
3.1 Generalidades de las Algas .....	15
3.2 Algas Termófilas .....	16
3.2.1 Adaptaciones de las Algas Termófilas .....	16
3.2.1.1 Factores Limitantes en la Distribución de las Algas Termófilas .....	16
3.2.2 Ecología .....	17
3.2.3 Fuentes Termales .....	17
3.2.3.1 Clasificación de las aguas termales por su composición .....	17
3.2.4 Parque Nacional Natural Los Nevados (PNN) .....	18
3.2.5 Antecedentes de Estudios Realizados en Aguas Termales .....	18
<b>4. OBJETIVOS .....</b>	19
4.1 Objetivo General .....	19
4.2 Objetivos Específicos .....	19
<b>5. METODOLOGÍA .....</b>	19
5.1 Etapa de Documentación .....	19



5.1.1 Revisión Bibliográfica .....	19
5.2 Área de estudio .....	20
5.3 Fase de Campo .....	20
5.3.1 Muestreo.....	20
5.4 Fase de Laboratorio .....	20
5.4.1 Observación microscópica e identificación taxonómica .....	21
5.4.2 Sedimentación y recuento .....	21
5.4.3 Análisis de la información .....	21
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>22</b>
6.1 Algas de las tres Fuentes Termales del Parque Nacional Natural Los Nevados .....	22
6.1.1 Fuente Termal El Coquito localizada en el PNN .....	22
6.1.2 Fuente Termal Hotel Termales del Ruiz (HTR) localizada en el PNN	22
6.1.3 Fuente Termal 1 (Ter 1) localizada en el PNN .....	23
6.2 Recopilación de información de lugares diferentes a los sitios de Estudio	24
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>28</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>30</b>

## **ANEXOS**

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Abundancia Relativa de Morfotipos de Algas de la Fuente Termal El Coquito localizada en el PNN .....	22
<b>Figura 2.</b> Abundancia Relativa de Morfotipos de Algas de la Fuente Termal Hotel Termales del Ruiz (HTR) localizada en el PNN ...	23
<b>Figura 3.</b> Abundancia Relativa de Morfotipos de Algas de la Fuente Termal 1 (Ter 1) localizada en el PNN .....	24
<b>Figura 4.</b> Cantidad de publicaciones realizadas por varios autores en períodos de tiempo (Años) .....	25
<b>Figura 5.</b> Porcentaje de publicaciones según regiones geográficas .....	25
<b>Figura 6.</b> Cantidad de publicaciones relacionadas con las clases predominantes de algas en fuentes termales .....	26
<b>Figura 7.</b> Valores de temperatura mínima, máxima y el promedio según la ubicación de las fuentes termales .....	27
<b>Figura 8.</b> Valores de pH mínimo, máximo y el promedio según la ubicación de las fuentes termales .....	27

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Características fisicoquímicas de los termales El Coquito, Hotel Termales del Ruiz (HTR) y Termal 1 (Ter 1) localizados en el PNN Fuente: GeBiX .....	20

## ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
<b>Anexo 1.</b> Características Fisicoquímicas de las tres fuentes termales localizadas en el PNN .....	35
<b>Anexo 2.</b> Test Kruskal-Wallis para los recuentos de algas en las tres fuentes termales localizadas en el PNN .....	36
<b>Anexo 3.</b> Recopilación de información de lugares diferentes a los sitios de estudio .....	41
<b>Anexo 4.</b> Registros Fotográficos .....	46

## RESUMEN

Con el fin de identificar el estado de conocimiento respecto a las algas termófilas se realizó una documentación de la información representativa publicada por grupos de investigación internacionales y la información de tres fuentes termales del Parque Nacional Natural Los Nevados (PNN) en Colombia, denominadas El Coquito, Hotel Termales del Ruiz (HTR) y Termal 1(Ter 1). Para ello, se efectuó una búsqueda de información relacionada con la presencia de algas termófilas y/o termoacidófilas en fuentes termales, consultando bases de datos especializadas y visitando algunos lugares como Bibliotecas de Universidades y Entidades del Estado para recopilar información, elaborar tablas y figuras que permitieran el análisis de la información. Después de la revisión de literatura se realizó la observación de tres muestras de agua de las fuentes termales del PNN para identificar a través de técnicas de observación directa mediante microscopía, algas termófilas en cada uno de los manantiales. Se observaron 5 morfotipos pertenecientes a las clases *Chlorophyceae* y *Bacillariophyceae*.

En el proceso de documentación, se encontraron 32 publicaciones relacionadas con algas presentes en fuentes termales de diversos lugares, la mayoría de estas publicaciones fueron elaboradas entre los años 2005 al 2011 y un reporte de Colombia fue publicado en el año 2004. Se observó que Norteamérica es una de las regiones predominantes en donde se han realizado la mayoría de las publicaciones que fueron encontradas. En cuanto a los datos obtenidos a partir de la observación microscópica de las muestras de aguas termales del PNN, mostraron que en estas fuentes las clases predominantes son *Chlorophyceae* y *Bacillariophyceae*, este resultado es comparado con lo reportado por grupos de investigación internacionales lo que indica que también son predominantes estas clases de algas en varias fuentes termales y además, se ha encontrado la predominancia de algas de las clases *Cyanophyceae* y *Cyanidiophyceae* en estas fuentes.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los ambientes extremos se caracterizan por presentar condiciones físicas (temperatura, radiación o presión) y químicas (deseccación, salinidad, pH o potencial redox) diferentes en relación a las condiciones consideradas por otros organismos como normales, donde el crecimiento microbiano y la actividad metabólica son limitados por la totalidad o parte del hábitat y por los períodos de tiempo del ciclo estacional. Los organismos que habitan en estos ecosistemas son conocidos como extremófilos dentro de los que se encuentran los psicrófilos, mesófilos, termófilos, termoacidófilos, hipertermófilos, acidófilos, neutrofilos, alcalófilos, halófilos, barófilos, xerófilos y radioresistentes que presentan diversas adaptaciones y les han permitido colonizar dichos lugares (Rothschild, *et.al.*, 2001; Sigeo, 2005; Johnson, 2008). Los organismos termófilos (crecen a temperaturas mayores de 55° C, con óptimo crecimiento entre los 55-65° C), los termoacidófilos (crecen a un pH inferior o igual a 4.0 y a temperaturas óptimas superiores o iguales a 60° C) y los hipertermófilos (crecen a temperaturas óptimas superiores o iguales a 80° C) (Wehr *et.al.*, 2003; Sigeo, 2005; Jaenicke, *et.al.*, 2006; Ferrera *et.al.*, 2007).

Las algas se definen como plantas simples que carecen de raíces, tallos y hojas y su principal pigmento fotosintético es la clorofila. Las algas y cianobacterias son los principales productores primarios de los ecosistemas acuáticos debido a que producen materia orgánica que ingresa a las cadenas tróficas (Wehr *et.al.*, 2003; Sigeo, 2005). Ecológicamente son importantes en ambientes acuáticos como aguas termales, ambientes ácidos, ríos, lagos de agua dulce y salada, humedales, pantanos, hielo, nieve, océanos y ecosistemas terrestres como suelos, edificaciones, cortezas de los árboles, entre otros. Algunas algas tienen la capacidad de tolerar la composición química de los hábitats termales, de colonizarlos y adaptarse a estos ecosistemas (Darley, 1991). Las algas termófilas han sido objeto de amplia investigación porque han proporcionado datos fundamentales en biología molecular, biotecnología, biorremediación, aplicaciones industriales, entre otros campos científicos (Nascimbene *et.al.*, 2011).

Debido a que las fuentes termales son consideradas ambientes extremos para algunos organismos por los factores que las caracteriza, en Colombia han sido poco estudiadas y es escasa la información acerca de algas termófilas que se encuentran en estos manantiales, y para el conocimiento de la composición fisicoquímica de estas fuentes y su diversidad microbiana es necesario realizar estudios en estos ecosistemas e identificar grupos taxonómicos que la componen.

En este estudio se pretende identificar el estado de conocimiento respecto a las algas termófilas en tres fuentes termales del Parque Nacional Natural Los

Nevados (PNN) y en otros lugares, con el fin de conocer la diversidad microbiana que los componen y comparar con otros estudios realizados.

## **2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN**

Los ambientes extremos Colombianos como las fuentes termales han sido poco estudiados y son lugares con una población microbológica casi desconocida. Hoy en día estos ambientes han cobrado gran importancia no solo por la necesidad de entender la estructura de las comunidades microbianas que allí habitan, sino por el potencial biotecnológico que representan. En el caso de las algas termófilas, su presencia en una fuente termal es determinada principalmente por las condiciones fisicoquímicas del medio, por lo que se convierten en un referente del estado ecológico del mismo. Además, tienen un amplio potencial biotecnológico que son de gran utilidad en varias áreas de estudio. Por estas razones es indispensable crear interés y realizar estudios sobre la diversidad microbiana de ambientes extremos con el fin de identificar algunos de los organismos que la componen. Este trabajo se encuentra enmarcado en la propuesta del GeBiX (Centro Colombiano de Genómica y Bioinformática de Ambientes Extremos) que lleva a cabo una exploración Metagenómica y Bioprospección en ambientes extremos del Parque Nacional Natural Los Nevados y pretende aportar conocimiento sobre la composición de la comunidad de algas termófilas en tres fuentes de agua termal.

Estas metas pueden lograrse por medio de un trabajo coordinado que facilite la identificación, documentación y clasificación taxonómica de las algas termófilas que se encuentren en estas fuentes termales y hacen parte del entendimiento de la biodiversidad microbiana en estos ambientes.

## **3. MARCO TEÓRICO REFERENTES CONCEPTUALES**

### **3.1 Generalidades de las Algas**

Las algas son talofitas o plantas simples con carencia de raíces, tallos, hojas y su principal pigmento fotosintético es la clorofila (Davis, *et.al.*, 2003; Sigee, 2005; Lee, 2008). El termino alga no tiene una categoría taxonómica consecuente, pero se utiliza para indicar más de un tipo polifilético, debido a la diversidad biológica de grupos que reúnen organismos heterogéneos y comparten características comunes, pero que siguen múltiples e independientes líneas evolutivas. Alga hace referencia tanto a macroalgas como a microalgas (Barsanti *et.al.*, 2006).

Se caracterizan porque son acuáticas, fotosintéticas y como resultado a esta actividad producen oxígeno, tienen estructuras simples vegetativas sin un sistema

vascular, sus células reproductivas carecen de cubiertas estériles que la protegen, comprenden tanto organismos procarióticos como eucarióticos y son ubicuas. Se conocen diferentes morfologías de las estructuras vegetativas como son las Unicelulares, Coloniales, Pseudofilamentosas, Filamentosas, estructuras Pseudoparenquimatosas, formas Parenquimatosas y formas Cenocíticas y Sifonales (Wehr *et.al.*, 2003).

Las algas son fundamentales por su capacidad para modificar el pH, la alcalinidad, el color, la turbidez y radioactividad del agua. Otra de las características que las hace importantes es la capacidad de generar grandes cantidades de materia orgánica y por esta razón son conocidas como los principales productores primarios de los ecosistemas acuáticos (Wehr *et.al.*, 2003; Sigee, 2005).

## **3.2 Algas Termófilas**

Las algas termófilas crecen a temperaturas óptimas superiores o iguales a 45° C. Las algas verde azules fotosintéticas crecen a temperaturas constantes entre 73-74° C. Ellas colonizan las aguas termales con un pH por encima de 6 (Castenholz, 1969; Jackson *et.al.*, 1975).

### **3.2.1 Adaptaciones de las Algas Termófilas**

La claridad de algunas de las aguas termales, la profundidad, la exposición a altas intensidades de luz, las adaptaciones a elevadas temperaturas, la reacción a condiciones de estrés, la salinidad o altas concentraciones de ciertos iones se han evidenciado en varios organismos termófilos (Castenholz, 1969, Kvéderová, 2004). Las algas termófilas predominan en las fuentes termales aunque algunas son sensibles al sulfuro soluble, un componente utilizado como donador de electrones para la fotosíntesis anoxigénica (Darley, 1991).

Las membranas de los organismos termófilos son más estables a altas temperaturas debido a que contienen lípidos con puntos de fusión altos y las proteínas tienen también mayor estabilidad (Darley, 1991).

#### **3.2.1.1 Factores Limitantes en la Distribución de las Algas Termófilas**

Los factores limitantes de las algas son la temperatura, la intensidad lumínica, la salinidad, la mayor o menor disponibilidad de nitrógeno y fósforo, los nutrientes, los parámetros ambientales que pueden limitar el crecimiento tanto por exceso como por deficiencia, producción de sustancias tóxicas suficientemente potentes o en concentraciones suficientes como para inhibir el crecimiento de un alga (Darley, 1991).



En las algas termófilas no se puede inferir que la temperatura sea un factor que afecte su distribución en las fuentes termales, pero si otro de los factores que las limita es la competencia por el espacio. De los factores importantes que afecta el crecimiento de las algas es la variación de la radiación solar, durante el invierno las algas no presentan diferencias cualitativas lo que es contrario en verano (Stockner, 1966).

### **3.2.2 Ecología**

La producción primaria es la función ecológica más conocida de las algas debido a que son los principales productores de materia orgánica y ésta ingresa a las cadenas tróficas (Wehr *et.al.*, 2003).

En cuanto a los ecosistemas acuáticos algunas de las algas termófilas que se han adaptado al ambiente termal, tienen la capacidad de crecer en el agua a pesar de su extensa composición química, para poder colonizar los hábitats termales disponibles. Por el contrario, la mayoría de los otros hábitats que experimentan variaciones ambientales estacionales, la temperatura y la química de cualquier agua termal son notablemente constantes (Darley, 1991).

### **3.2.3 Fuentes Termales**

Los manantiales o fuentes termales se consideran ambientes extremos para los microorganismos por las condiciones de temperatura, pH, concentración de sales, acidez, alcalinidad, dureza, concentraciones de sólidos, entre otros factores que hacen diferentes las condiciones para otras formas de vida. Además, se encuentran tanto microorganismos autóctonos que dependen de las propiedades fisicoquímicas del agua como microorganismos alóctonos que proceden de otros hábitats (Alfaro *et.al.*, 2003).

Estos ecosistemas son las principales manifestaciones superficiales de los sistemas geotérmicos que proveen información en cuanto a profundidad, estudio geoquímico de las fases fluidas, entorno geológico, localización, establecen el marco hidrológico general y definen algunos rasgos de su estructura tectónica superficial (Alfaro *et.al.*, 2003).

#### **3.2.3.1 Clasificación de las aguas termales por su composición**

Las aguas termales se pueden clasificar según los siguientes criterios: físico, químico, fisicoquímico, bacteriológico, entre otros. De acuerdo a la composición química de las rocas se pueden clasificar en: Aguas bicarbonatadas, contienen más de 1 g/L de minerales disueltos, el ión bicarbonato es acompañado de calcio, magnesio, sodio, cloruro y otros; Aguas carbogaseosas: contienen una concentración mayor de 250 mg/L del anión carbónico libre; Aguas cloruradas:

contienen más de 1 g/L de minerales disueltos, predomina el ión cloruro y está presente el sodio, el calcio o el magnesio; Aguas ferruginosas: contienen más de un 1 g/L de minerales disueltos, los iones de hierro se encuentran en forma reducida y a una concentración superior a 5 g/L; Aguas sulfatadas: contienen más de 1 g/L de minerales disueltos, predomina el anión sulfato e influyen iones como el sodio, magnesio, bicarbonato y cloruro; Aguas sulfuradas: contienen más de 1 g/L de minerales disueltos y con más de 1 mg/L de sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), acompañado de iones calcio, cloruro y sodio; Aguas oligominerales: presentan varios elementos con escasa mineralización, pero, los microelementos como el cobalto, molibdeno, silicio, fósforo, vanadio, entre otros, pueden estar en óptima cantidad y Aguas radioactivas: que contienen radón (Armijo *et.al.*, 1994).

### **3.2.4 Parque Nacional Natural Los Nevados (PNN)**

*“El Parque Nacional Natural Los Nevados se encuentra localizado geográficamente en la Cordillera Central de Colombia, vertientes oriental y occidental, con alturas entre los 2600 y 5321 msnm. Comprende un área aproximada de 58300 hectáreas, en jurisdicción de los departamentos de Caldas (Municipio de Villamaría), Risaralda (Municipios de Santa Rosa de Cabal y Pereira), Quindío (Municipio de Salento) y Tolima (Municipios de Ibagué, Anzoátegui, Santa Isabel, Murillo, Villahermosa, Casablanca y Herveo), entre las coordenadas geográficas: 75° 33' 24.354" W 4° 58' 31.174" N y 75° 10' 56.604" W y 4° 35' 36.602" N” (Loteró, 2007).*

Cerca a estas fuentes de agua se encuentra el volcán Nevado del Ruiz localizado en los límites de los departamentos de Caldas y Tolima a una distancia de 140 km al NO de Bogotá y a 28 km al SE de Manizales, con las siguientes coordenadas geográficas 4° 53' 43" N y 75° 19' 21" W, a una altura de 5321 msnm. Presenta manifestaciones fumarólicas en el cráter central Cumanday y tiene tres azufreras llamadas Las Nereidas, el Calvario y Aguas Calientes. Además, se han clasificado catorce fuentes termales alrededor del volcán con temperaturas que van desde los 28° C hasta los 91° C y un pH entre 1.6 a 7.4 (Ingeominas, 2011).

### **3.2.5 Antecedentes de Estudios Realizados en Aguas Termales**

Debido al interés por la diversidad y aprovechamiento de la composición de estos manantiales ha sido necesario realizar estudios que permitan el conocimiento de estos ecosistemas y de los organismos que la componen. En Colombia se realizó una *“Caracterización de algas de manantiales termominerales en Macheta y Paipa, en los que se encontraron 65 especies pertenecientes al grupo de las Cianobacterias en las que predominan géneros como Phormidium, Oscillatoria, Synechococcus y Chroococcus, entre otros, además, 27 de ellas son exclusivas de ambientes termales” (González, 2004).* En otros lugares, se han realizado varios estudios con el objetivo de efectuar análisis fisicoquímicos de los manantiales, explorar estos ambientes para encontrar algas termófilas y realizar

una clasificación taxonómica con el fin de tener un conocimiento amplio sobre los grupos taxonómicos, conocer características fisiológicas y ecológicas de las comunidades presentes en estas fuentes termales y encontrar compuestos de interés biotecnológico.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo General**

Revisar el estado del arte respecto a las algas termófilas e identificar de forma preliminar su presencia en aguas termales del PNN.

### **4.2 Objetivos Específicos**

- 4.1.1** Documentar los grupos representativos de algas termófilas en manantiales termales de varios lugares del mundo.
- 4.1.2** Identificar a través de técnicas de observación directa mediante microscopía algas termófilas obtenidas de tres fuentes termales del Parque Nacional Natural Los Nevados (PNN).
- 4.1.3** Comparar la información obtenida a partir de la observación microscópica, datos fisicoquímicos y lo reportado para otras fuentes de aguas termales de Colombia y otros lugares.

## **5. METODOLOGÍA**

### **5.1 Etapa de Documentación**

#### **5.1.1 Revisión Bibliográfica**

Se realizó una búsqueda bibliográfica en las siguientes bases de datos: Academic Search Complete (EbscoHost), Applied Science and Technology, Science Direct, Springer link, Scopus y Wiley Online Library, utilizando los siguientes criterios de búsqueda: Photoautotrophs Algae in Thermal Water in the World, Photoautotrophs Algae in Hot Spring in the World, Thermophilic Algae, Thermophilic Algae in Thermal Water, Thermophilic Algae in Hot Spring, se solicitó el servicio de búsqueda de artículos a Celsius (Conmutación bibliográfica de la Pontificia Universidad Javeriana), se utilizó el buscador Google Académico utilizando los siguientes criterios de búsqueda: Thermophilic Algae, Thermophilic Algae pdf, thermophilic algae pdf., thermophilic algae + hot spring pdf, thermophilic algae +

thermal water pdf, se consultó literatura específica (artículos científicos, libros, fuentes bibliográficas y trabajos de grado), se realizaron visitas a las siguientes bibliotecas: la de la Universidad Nacional, Universidad de Los Andes, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Universidad Distrital Francisco José de Caldas y Pontificia Universidad Javeriana, y a entidades como la CAR (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca) SDA (Secretaría Distrital de Ambiente) y MAVDT (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial) para obtener información relacionada con algas termófilas en aguas termales, características físicas y químicas. De acuerdo a la información encontrada se elaboraron matrices de datos en el programa computacional Excel que permitieron categorizar la información acorde a: distribución geográfica, clases predominantes, características físicas, químicas y técnicas moleculares.

## 5.2 Área de estudio

Previo a este trabajo se seleccionaron fuentes termales del PNN, objeto de estudio del Centro Colombiano de Genómica y Bioinformática de Ambientes Extremos GeBiX. Las fuentes termales seleccionadas son denominadas así: El Coquito, Hotel Termales del Ruiz (HTR) y Termal 1 (Ter 1), las coordenadas y características de cada termal se encuentran en la Tabla 1.

**Tabla 1. Características fisicoquímicas de los termales El Coquito, Hotel Termales del Ruiz (HTR) y Termal 1 (Ter 1) localizados en el PNN Fuente: GeBiX**

Ubicación	Coordenadas	Altitud	Ecosistema	T°	pH
Termal El Coquito	04°52,70'N y 75°16,39'E	3973	Superparamo	28,9	2,7
Hotel Termales del Ruiz (HTR)	04°58,39'N y 75°23,11'E	3876	Bosque Alto Andino, transición al Subparamo	56,8	2,04
Termal 1	04°58,13.2'N y 75°22,42'E	3464	Bosque Alto Andino	56,9	2,03

Las coordenadas geográficas fueron establecidas con un equipo de posicionamiento global (GPS) Etrex para cada termal.

## 5.3 Fase de Campo

### 5.3.1 Muestreo

Se colectaron muestras de agua de tres fuentes termales (El Coquito, Hotel Termales del Ruiz (HTR) y Termal 1 (Ter 1)) del Parque Nacional Natural los Nevados (PNN) en el año 2008, tomando 400 mL de cada una en frascos plásticos, previamente esterilizados, garantizando la no contaminación de las mismas y marcados con la información del lugar. Se determinaron las características fisicoquímicas (Anexo 1). Para su preservación y fijación se agregó formaldehído al 4% (Boltovskoy, 1995). Todas las muestras fueron transportadas a temperatura ambiente, para su procesamiento y observación directa.

## 5.4 Fase de Laboratorio

#### **5.4.1 Observación microscópica e identificación taxonómica**

Para la fuente termal Hotel Termales del Ruiz (HTR) se agregó una gota de la muestra preservada con formaldehído al 4% a una lámina, se colocó una laminilla y se observó al microscopio óptico marca Nikon Eclipse E400. Se realizaron tres repeticiones, luego se hizo el recuento por campo observado con un aumento de 40x en cada una de las muestras y los organismos que se observaron se midieron y se tomaron registros fotográficos, adicionalmente se realizó una identificación taxonómica utilizando claves taxonómicas (Parra *et.al.*, 1982 a; Parra *et.al.*, 1982 b; Parra *et.al.*, 1982 c; Parra *et.al.*, 1982 d; Parra *et.al.*, 1983 e; Wehr *et.al.*, 2003).

#### **5.4.2 Sedimentación y recuento**

Se realizaron recuentos utilizando el método de Utermohl en cámara de sedimentación y microscopio invertido marca Olympus CK2, consistió en tomar 2 mL de cada muestra preservada con formaldehído al 4% tanto de El Coquito como del Termal 1 (Ter 1) y se agregó cada una a la cámara durante 2 horas aproximadamente para que sedimente y se realizaron tres repeticiones de cada una. Luego, se colocó la cámara en el microscopio invertido con un aumento de 40x y se realizó el recuento de células y morfotipos similares por campo observado (Wetzel, 2000; Villafañe, *et.al.*, 1995; Paxinos, *et.al.*, 2000).

Después de obtener los datos tanto al realizar la observación microscópica e identificación taxonómica como la sedimentación y recuento se cuantificaron calculando el porcentaje de abundancia relativa para cada una de las fuentes termales.

#### **5.4.3 Análisis de la información**

A partir de la revisión bibliográfica se compararon los datos de la composición y abundancia de la comunidad de algas de los tres termales del Parque Nacional Natural los Nevados.

Posteriormente, se elaboraron tablas de las variables físicas y químicas relevantes de cada fuente termal y figuras del porcentaje de abundancia relativa vs repeticiones realizadas para comparar los tres termales estudiados y se relacionaron descriptivamente con las algas encontradas. Con el fin de conocer si hay diferencias significativas en la abundancia entre las repeticiones de cada una de las fuentes termales, se utilizó la prueba estadística de Kruskal-Wallis (Wayne, 2004).

Finalmente, se realizó una comparación de los datos encontrados con lo reportado en la literatura, para obtener información, elaborar tablas, figuras y sacar porcentajes sobre coincidencias de grupos representativos de algas.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 Algas de las tres Fuentes Termales del Parque Nacional Natural Los Nevados

#### 6.1.1 Fuente Termal El Coquito localizada en el PNN

Con relación a las características fisicoquímicas de la fuente termal El Coquito (Anexo 1) se encontró que la temperatura registrada (28,9° C), es menor comparada con las de las otras dos fuentes termales evaluadas y el pH (2.7), es superior al de los otros dos manantiales. Se observaron 5 morfotipos diferentes pertenecientes a la clase *Chlorophyceae* y *Bacillariophyceae* (Figura 1). El alga dominante fue Clorofícea con un 99% de Abundancia Relativa.

Las algas verdes son uno de los grupos más grandes, con amplia distribución, se adaptan a los hábitats extremos y tienen requerimientos ecológicos específicos (Darley, 1991; Wehr *et.al.*, 2003).

La temperatura y el pH son los factores que más influyen en las fuentes termales para el desarrollo de las algas (Noguerol, 1990). El predominio de Clorofícea en este manantial es debido a que es rico en nutrientes, esta clase de algas tolera las condiciones fisicoquímicas de la fuente termal y por lo tanto, se adapta eficientemente a estos ambientes (Darley, 1991).

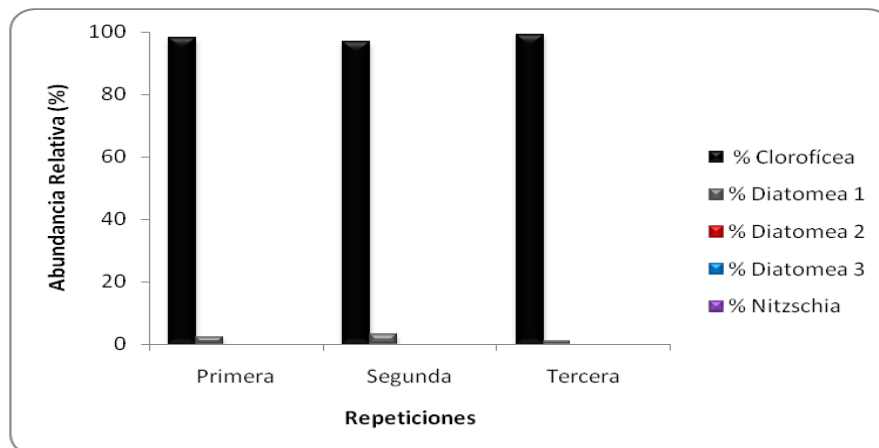
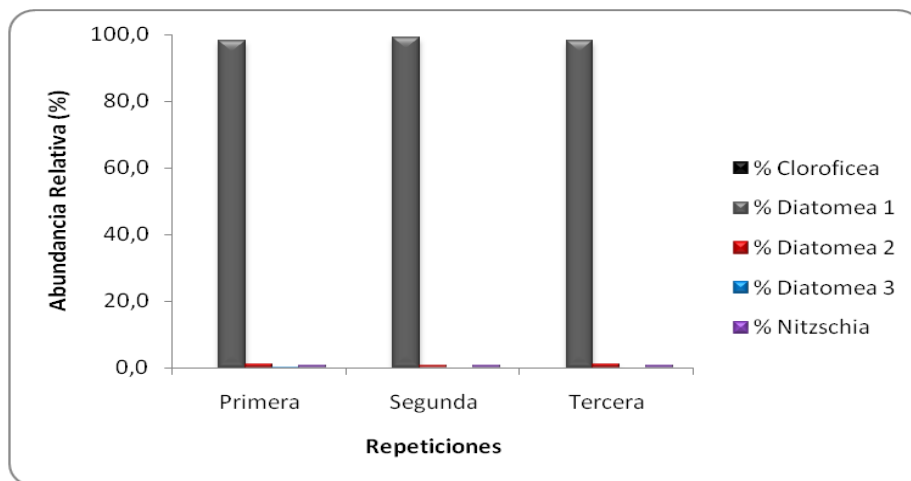


Figura 1. Abundancia Relativa de Morfotipos de Algas de la Fuente Termal El Coquito localizada en el PNN

#### 6.1.2 Fuente Termal Hotel Termales del Ruiz (HTR) localizada en el PNN

Respecto a las características fisicoquímicas observadas en la fuente termal Hotel Termales del Ruiz (HTR) (Anexo1) se encontró que la temperatura fue de 56,8° C y el pH fue de 2.04, valores similares a los de la fuente Termal 1 y diferentes a los de la fuente termal El Coquito. Se observó 5 morfotipos pertenecientes a la clase *Chlorophyceae* y *Bacillariophyceae* (Figura 2). En la Fuente Termal Hotel Termales del Ruiz (HTR) el alga dominante fue Diatomea 1 con un 99% de Abundancia Relativa.

Las diatomeas son un grupo diverso de algas microscópicas que se encuentran y reconocen fácilmente en los ambientes acuáticos debido a que es considerada como una clase dominante. Una de las características principales de las diatomeas es la pared celular silíceica que tiene divisiones internas, hendiduras, engrosamiento, poros y en algunos casos se observan prominencias. Estos organismos tienen clorofila, fucoxantina y diatoxantina y se reproducen por división celular o sexualmente. Las características fisiológicas y las condiciones del manantial pueden permitir la presencia de Diatomea 1 (Darley, 1991; Wehr *et.al.*, 2003; Sigeo, 2005).



**Figura 2. Abundancia Relativa de Morfotipos de Algas de la Fuente Termal Hotel Termales del Ruiz (HTR) localizada en el PNN**

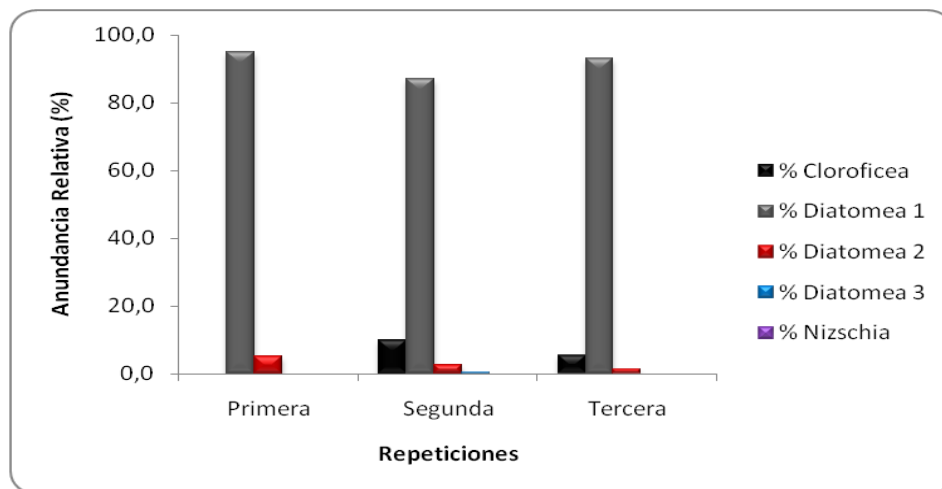
### 6.1.3 Fuente Termal 1 (Ter 1) localizada en el PNN

En la fuente Termal 1 las características fisicoquímicas observadas fueron en cuanto a temperatura 56.9° C y a pH 2.03 (Anexo 1), se encontró similitud con la fuente termal Hotel Termales del Ruiz (HTR) y se diferenció con la fuente termal El Coquito. Se observó 5 morfotipos diferentes pertenecientes a la clase *Chlorophyceae* y *Bacillariophyceae* (Figura 3). En la Fuente Termal 1 (Ter 1) el alga dominante fue Diatomea 1 con un 95% de Abundancia Relativa, le sigue

Clorofícea con un 10% de Abundancia Relativa y Diatomea 2 con un 5.2% de Abundancia Relativa.

Las diatomeas son sensibles a varios factores del ambiente lo que ha permitido determinar la composición de la flora en diversos manantiales. La forma y el tamaño de las algas plantónicas tienen un valor importante debido a que permiten su adaptación e influyen en el crecimiento. Estos parámetros establecen la competencia entre las algas y determinan la abundancia de ciertas especies en el medio ambiente acuático (Sigeo, 2005).

Por lo tanto, se deduce que la abundancia de especies tanto de la fuente Termal 1 (Ter 1) como la de la fuente termal Hotel Termales del Ruiz (HTR) se compone de una flora diatomológica diversa que se adapta a estos ecosistemas (Bernhart, 2008; Nascimbene *et.al.*, 2011).



**Figura 3. Abundancia Relativa de Morfotipos de Algas de la Fuente Termal 1 (Ter 1) localizada en el PNN**

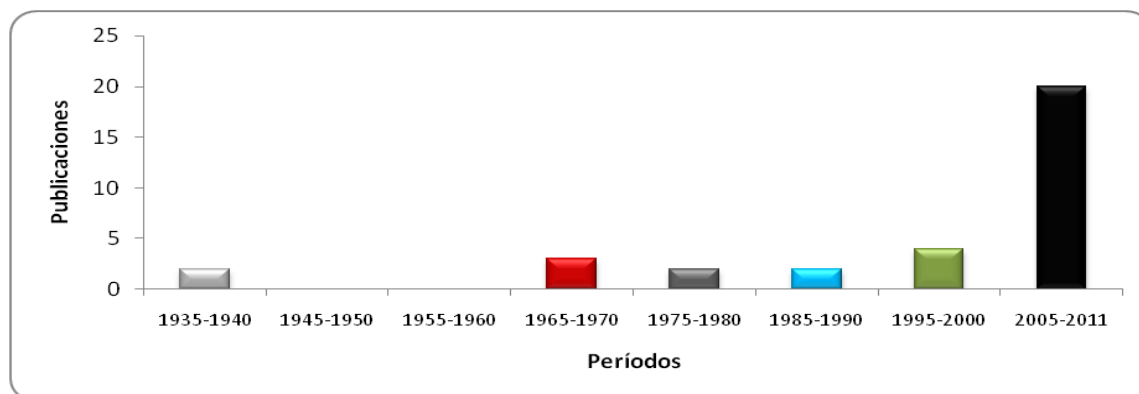
La prueba de Kruskal-Wallis mostró que no existen diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en cuanto a los recuentos de las diferentes clases de algas encontradas en cada una de las fuentes termales (Anexo 2).

## **6.2 Recopilación de información de lugares diferentes a los sitios de estudio**

En la documentación que se encontró (Anexo 3) se observó que 20 de las publicaciones se han realizado en los períodos del 2005-2011, 4 desde 1995-2000 y 3 del 1965-1970 (Figura 4). En la actualidad, varios estudios han demostrado la importancia de los organismos fotoautótrofos en las fuentes termales para conocer su ecología, composición, diversidad microbiana, la respuesta de estos



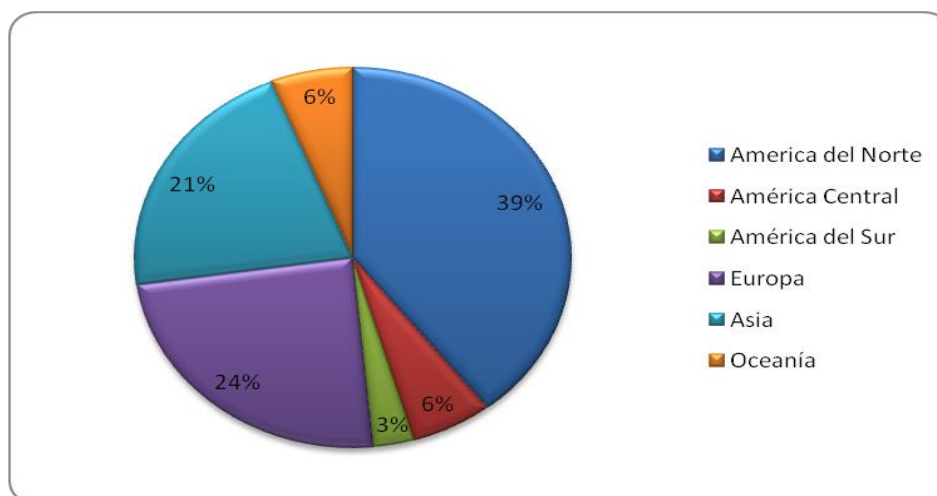
organismos con el medio ambiente y la posible interacción entre los diferentes grupos taxonómicos (Nascimbene *et.al.*, 2011).



**Figura 4. Cantidad de publicaciones realizadas por varios autores en períodos de tiempo (Años)**

Los valores presentados en la figura 5 indican el porcentaje de estudios realizados en otros lugares. América del norte obtuvo un porcentaje del 39%, Europa 24% y Asia 21%.

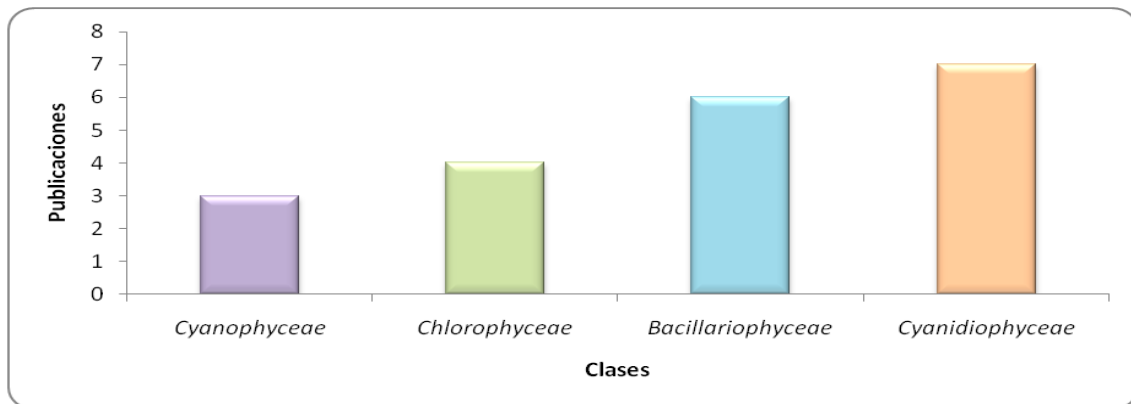
En Norteamérica, el lugar en donde se han llevado a cabo varios estudios de fuentes termales ha sido en el Parque Nacional Yellowstone, este se caracteriza porque es una fuente geotérmica con una temperatura (73-93°) y tiene una amplia diversidad microbiana a la cual se le han hecho estudios moleculares (Boyd *et.al.*, 2009). En España y Asia se han realizado estudios en diferentes lugares.



**Figura 5. Porcentaje de publicaciones según regiones geográficas**

Respecto a la documentación que se encontró (Anexo 3) se observó que las clases predominantes a las cuales se les han realizado varios estudios son la *Cyanidiophyceae* y *Bacillariophyceae* (Figura 6).

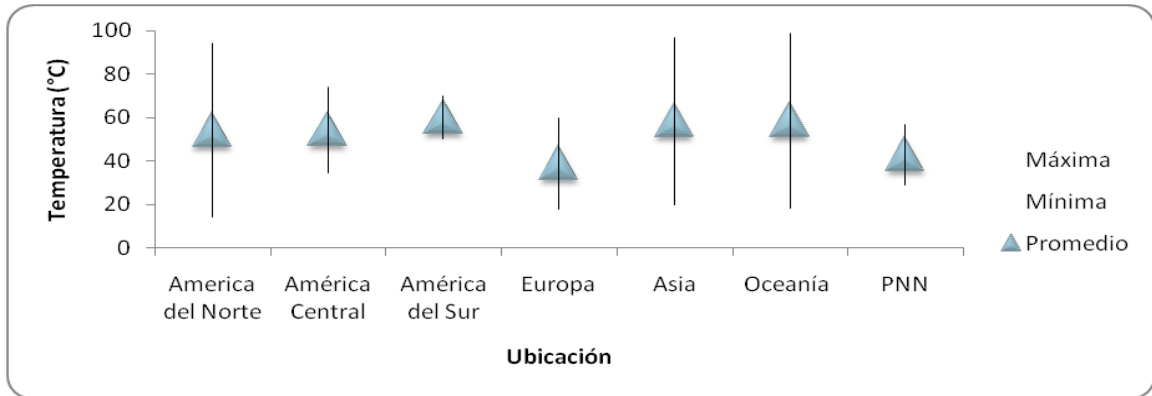
La clase *Cyanidiophyceae* son organismos fotoautótrofos que crecen en ambientes termoacidófilos a una temperatura de 42-57° C y pH de 0.2-0.4, su color es verde azul y es debido a sus pigmentos predominantes como la ficocianina y la clorofila. Se han realizado estudios moleculares filogenéticos que han permitido conocer la relación entre estos organismos (Lehr *et.al.*, 2007; Toplin *et.al.*, 2008). La clase *Bacillariophyceae* son organismos constituyentes de la vegetación acuática y tienen un buen crecimiento en fuentes termales (Darley, 1991).



**Figura 6. Cantidad de publicaciones realizadas con las clases predominantes de algas en fuentes termales**

Referente a la documentación encontrada (Anexo 3) se observó que las temperaturas de las fuentes termales de Oceanía y Asia son valores similares al igual que Europa y el PNN (Figura 7).

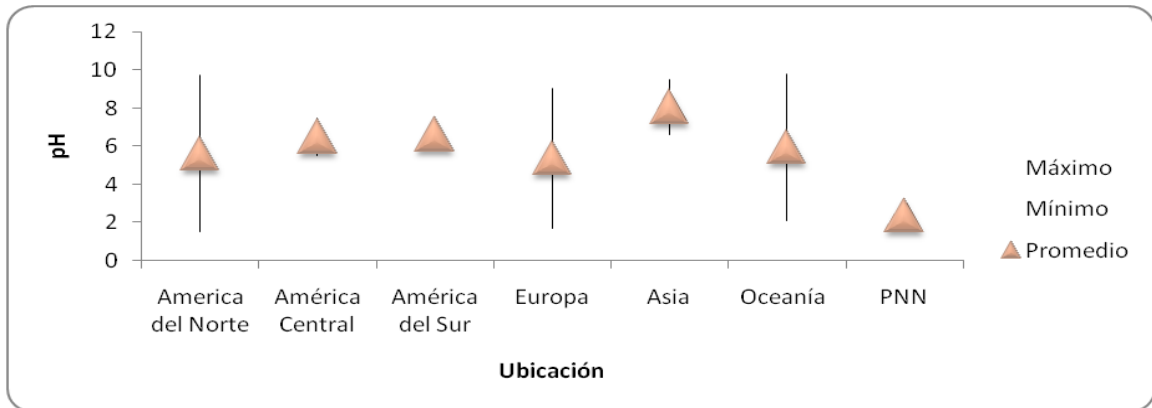
Los organismos termófilos crecen a temperaturas superiores de 45° C. Habitan en aguas profundas, fuentes termales y otros ambientes acuáticos donde se encuentra gran diversidad filogenética. Para que puedan crecer deben adaptarse a diversos factores físicos y químicos para que puedan mantener sus condiciones fisiológicas. (Ferrera *et.al.*, 2007) “La temperatura influye en el crecimiento del fitoplancton. Las algas que requieren temperaturas superiores a la óptima para poder crecer tienen mayores tasas de crecimiento a esas temperaturas que las algas con óptimos menores de temperatura para su crecimiento” (Darley, 1991).



**Figura 7. Valores de temperatura mínima, máxima y el promedio según la ubicación de las fuentes termales**

Respecto a la documentación realizada (Anexo 3) se observó que el valor del pH en las fuentes termales de Asia es de 8.05 y le sigue América Central con un valor de 6.49. El pH más bajo es el del PNN con un valor de 2.37 (Figura 8).

El pH de algunos ambientes acuáticos que interactúan con minerales pueden variar y se debe a la distribución de las rocas carbonatadas y si la fuente es ácida-básica (Armijo *et.al.*, 1994).



**Figura 8. Valores de pH mínimo, máximo y el promedio según la ubicación de las fuentes termales**

Referente a las características fisicoquímicas tanto de las fuentes termales estudiadas como las de las fuentes termales de otros lugares (Anexo 1 y 3) se observó que en estos ecosistemas predominan altas concentraciones de sulfatos, calcio, dióxido de silicio, sodio y cloro. Estos manantiales tienen fluidos geotérmicos derivados de su contenido energético y mineral. En cuanto a las fuentes termales evaluadas comparadas con los manantiales termominerales de Macheta y Paipa, se observó que los manantiales de Macheta y los del PNN se asemejan en los rangos de temperatura, en cambio, los de Paipa con los

evaluados se relacionan en la temperatura porque son rangos similares y en su composición porque presentan sales y son aguas sulfatadas, aunque una de las diferencias es el pH debido a que en estos manantiales tanto los de Macheta como los de Paipa son alcalinos y los del PNN son ácidos (Anexo 1; González, 2004). Una de las características de las altas concentraciones de sulfatos es porque estas fuentes se encuentran cerca a volcanes que tienen manifestaciones fumarólicas y debido a esto se puede inferir que este mineral llega a estos manantiales (Alfaro *et.al.*, 2003).

La composición de estas fuentes depende de la composición química de las rocas, de ahí radica su clasificación por la composición, además, el proceso de disolución de los minerales carbonatados por las aguas comprende procesos físicos y químicos donde intervienen estados gaseosos, líquidos y sólidos a través de interfases aire-agua-roca y presencia de CO<sub>2</sub> (Armijo *et.al.*, 1994).

La mineralización del agua depende de la densidad, efectos osmóticos, viscosidad y significación bioquímica. En cuanto a los efectos de la diversidad biológica está relacionada con la composición y con el contenido de iones disueltos. Otros factores que pueden intervenir son geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, climáticos, entre otros (Armijo *et.al.*, 1994).

Por lo tanto, las algas han desarrollado estrategias de respuesta a los componentes minerales tanto en bajas como altas concentraciones con el fin de disminuir sus efectos tóxicos debido a que estos minerales son necesarios para la célula (Kvídaerová, 2004).

En cuanto a los estudios moleculares que se han realizado con la técnica PCR (Anexo 3) para el estudio filogenético de las algas han demostrado la importancia de la identificación de estos organismos y de compuestos de interés para estudios posteriores, porque pueden ser aplicados en biotecnología, biorremediación, bioprospección y otros campos científicos, además, de la interacción de los grupos taxonómicos que están presentes en estas fuentes termales.

## **7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **CONCLUSIONES**

- En la comunidad de algas presentes en las tres fuentes termales del Parque Nacional Natural Los Nevados el cual fue objeto de estudio se determinó que cada una de las fuentes termales se encuentran morfotipos de la clase *Chlorophyceae* y *Bacillariophyceae*.

- Las fuentes termales con mayor composición y abundancia de Diatomeas son Hotel Termales del Ruiz (HTR) y Termal 1 (Termal 1).
- De acuerdo a la información en cuanto a las características fisicoquímicas de los termales de estudio se puede concluir que la composición y la abundancia de las algas de las clases *Chlorophyceae* y *Bacillariophyceae* es consistente con lo reportado para otras fuentes termales del mundo.
- Las clases de algas predominantes en fuentes termales de otros lugares corresponden principalmente a *Cyanophyceae*, *Chlorophyceae*, *Bacillariophyceae* y *Cyanidiophyceae*.
- Norteamérica es uno de los lugares donde más han explorado estos ecosistemas y la diversidad microbiana que se encuentra en ellos.
- La temperatura, el pH y la fisiología de las algas son factores determinantes para el crecimiento, desarrollo y tolerancia de la diversidad microbiana en estos ecosistemas.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar con los estudios en estos ecosistemas para explorar y conocer su diversidad biológica.
- Se recomienda explorar más morfotipos que se encuentren en estas fuentes termales para realizar su identificación y clasificación taxonómica.
- Se recomienda coleccionar muestras recientes y en mayor cantidad del lugar de estudio para obtener datos representativos y realizar un análisis más detallado de la composición y abundancia del ecosistema.
- Se recomienda aplicar técnicas moleculares para realizar un análisis más detallado de la filogenia de estas comunidades y aplicar metodologías que permitan conocer las características de estos organismos con fines biotecnológicos, de bioprospección, entre otros campos científicos.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

Aleem AA, Khafaje AK, Al-Bassam BA. An Algal community from hot springs At Al-Qaseem, Saudi Arabia. Jeddah. 1982; **6**, 73-75.

Alfaro C, Aguirre A, Bernal NF, Gokcen G. Inventario de fuentes termales del departamento de Cundinamarca. Ministerio de minas y energía. Bogotá. 2003.

Armijo M, San Martin J. "Interés de las curas balnearias en la terapéutica actual". En: "Curas balnearias y climáticas. Talasoterapia y Helioterapia". Universidad Complutense. Madrid. 1994.

Barsanti L, Gualtieri, P. Algae. Anatomy, Biochemistry and Biotechnology. Taylor & Francis Group. United States of America. New York. United States of America. 2006, 302 p.

Bernhart R, Renaut RW, Jones B. Geothermal diatoms: a comparative study of floras in hot springs systems of Iceland, New Zealand, and Kenya. *Hidrobiologia*. 2008; **610**, 175-192.

Boltovskoy A. Técnicas de Microscopía Electrónica de Barrido: Aplicación a las Microalgas. Manual de Métodos Ficológicos Universidad de Concepción, Chile. 1995. 119-137.

Bonny S, Jones B. Microbes and mineral precipitation, Miette Hot Springs, Jasper National Park, Alberta, Canada. *Can. J. Earth Sci.* 2003; **40**, 1483-1500.

Boyd ES, King S, Tomberlin JK, Nordstrom DK, Krabbenhoft DP, Barkay T, Geesey GG. Methylmercury enters an aquatic food web through acidophilic microbial mats in Yellowstone National Park Wyoming. *Environmental Microbiology*. 2009; **11** (4): 950-959.

Boyd ES, Leavitt, WD, Geesey GG. CO<sub>2</sub> Uptake and fixation by a thermoacidophilic microbial community attached to precipitated sulfur in a geothermal spring. *Applied and Environmental Microbiology*. 2009; **75** (13): 4289-4296.

Castenholz RW. Thermophilic blue-green algae and the thermal environment. *Bacteriological Reviews*. 1969; **33** (4): 476-504.

Ciniglia C, Yoon H, Pollio A, Pinto G, Bhattacharya D. Hidden biodiversity of the extremophilic Cyanidiales red algae. *Molecular Ecology*. 2004; **13**, 1827-1838.

Copeland JJ. Yellowstone thermal Myxophyceae. *Annals N.Y. Acad. Sci.* 1936; **36**, 1-232.

Costas E, Flores A, Perdigones N, Maneiro E, Blanco JL, García ME, López V. How eukaryotic algae can adapt to the Spain's Rio Tinto: a neo Darwinian proposal for rapid adaptation to an extremely hostile ecosystem. *New Phytologist*. 2007; **175**, 334-339.

Costas E, Flores A, López V. Rapid adaptation of phytoplankters to geothermal waters is achieved by single mutations: were extreme environments 'Noah's Arks' for photosynthesizers during the Neoproterozoic 'snowball Earth'?. *New Phytologist*. 2008; **180**, 922-932.

Darley, M. *Biología de las Algas. Enfoque Fisiológico*. Editorial Limusa. México. Balderas, D.F., México. 236 p.

Davis T, Volesky B, Mucci, A. A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae. *Water Research*. 2003; **37**, 4311-4330.

Ferrera I, Louise A. Thermophiles. *Enciclopedia of Life Sciences*. 2007; 1-9.

Ferris MJ, Sheehan KB, Cooksey MK, Cooksey BW, Harvery R, Henson JM. Algal species and light microenvironment in a low-pH geothermal microbial mat community. *Applied and Environmental Microbiology*. 2005; **71** (11): 7164-7171.

Finsinger K, Scholz I, Serrano A, Morales S, Uribe L, Mora M, Sittenfeld A, Weckesser J, Hess WR. Characterization of true-branching cyanobacteria from geothermal sites and hot springs of Costa Rica. *Environmental Microbiology*. 2008; **10** (2): 460-473.

Flores A, Costas E, Bañares E, García L, Altamirano M, López V. Adaptation of *Spirogyra insignis* (Chlorophyta) to an extreme natural environment (sulphureous waters) through preselective mutations. *New Phytologist*. 2005; **166**, 655-661.

Gaylarde PM, Jungblut AD, Gaylarde CC, Neilan BA. Endolithic phototrophs from an active geothermal región in New Zealand. *Geomicrobiology Journal*. 2006; **23**, 579-587.

González C. Caracterización de algas de manantiales termominerales: Macheta (Los Volcanes), Cundinamarca; Paipa (Pozo Azul - La Playa), Boyacá. **Trabajo de Grado**. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2004, 116 p.

Ingeominas [web en línea]  
<http://www.ingominas.gov.co/> [consulta 11. 01.11]

Inman O. Studies on the chlorophylls and photosynthesis of thermal algae from Yellowstone National Park, California and Nevada. 1940; 661-666.

Jackson JE, Castenholz RW. Fidelity of thermophilic blue-green algae to hot spring habitats. *Limnology and Oceanography*. 1975; **20** (3): 305-322.

Jaenicke R, Sterner, R. Life at high temperatures. *Prokaryotes*. 2006; **2**, 167-209.

Johnson D. Biodiversity and interactions of acidophiles: Key to understanding and optimizing microbial processing of ores and concentrates. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 2008; **18**, 1367-1373.

Kao OH, Edwards MR, Berns DS. Physical-Chemical properties of c-phycoerythrin isolated from an acido-thermophilic eukaryote, *Cyanidium caldarium*. Biochem. J. 1975; **147**, 63-70.

Kvídaerová J. Adaptation of algae to extreme environments. **Doctoral Thesis**. Faculty of biological sciences. University of South Bohemia, Czech Republic, 2004, 116 p.

Lacap D, Smith G, Warren-Rhodes K, Pointing S. Community structure of free-floating filamentous cyanobacterial mats from the Wonder Lake geothermal springs in the Philippines. Can. J. Microbiol. 2005; **51**, 583-589.

Lee, RE. Phycology. Fourth Edition. Cambridge University Press. United States of America. New York. United States of America. 2008, 561 p.

Lehr C, Frank SD, Norris T, Imperio S, Kalinin A, Toplin J, Castenholz RW, McDermott T. Cyanidia (Cyanidiales) Population Diversity and Dynamics in an acid-sulfate-chloride spring in Yellowstone National Park. J. Phycol. 2007; **43**, 3-14.

Lotero J. Plan de manejo 2007-2011. Parque Nacional Natural Los Nevados. Resumen Ejecutivo. 2007, 1-37.

Marvá F. Adaptación de microorganismos fotosintéticos del plancton de aguas continentales al cambio ambiental brusco: contaminantes de origen antropogénico y condiciones naturales extremas. **Tesis Doctoral**. Facultad de Veterinaria. Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 2008, 237 p.

Mohamed Z. Toxic cyanobacteria and cyanotoxins in public hot springs in Saudi Arabia. Toxicon. 2008; **51**, 17-27.

Naggat ME. Studies on the freshwater algae of Makkah Area, Saudi Arabia. Pak.J.Bot. 1994; **26** (2): 203-213.

Nandan B, Srivastava PN. Thermal algae from Himalayan hot springs. Botany, Lucknow University, Lucknow. 1965; 45-53.

Nascimbene J, Spitale D, Thus, H, Cantonati M. Congruencies between photoautotrophic groups in springs of the Italian Alps: implications for conservation strategies. J. Limnol. 2011; **70** (1) 3-8.

Noguerol A. Estudio ficológico de la fuente termal de Torneiros (Lovios, Orense, España). Anales Jardín Botánico de Madrid. 1990; **47** (2); 295-300.

Noguerol A. Algas de fuentes termales del NW de España: baños de Molgas y Caldas de Partovia. Acta Botánica Malacitana. 1991; **16** (1) 27-30.

Oren A, Ionescu D, Hindiyeh M, Malkawid H. Microalgae and cyanobacteria of the Dead Sea and its surrounding springs. Israel Journal of Plant Sciences. 2008; **56**, 1-13.



Parra O, Gonzalez M, Dellarossa V, Rivera P, Orellana M. Manual Taxonómico del Fitoplancton de Aguas Continentales. Cryptophyceae - Dinophyceae - Euglenophyceae. Universidad de Concepción, Chile. 1982 (a)

Parra O, Gonzalez M, Dellarossa V, Rivera P, Orellana M. Manual Taxonómico del Fitoplancton de Aguas Continentales. Bacillariophyceae. Universidad de Concepción, Chile. 1982 (b).

Parra O, Gonzalez M, Dellarossa V, Rivera P, Orellana M. Manual Taxonómico del Fitoplancton de Aguas Continentales. Cyanophyceae. Universidad de Concepción, Chile. 1982 (c).

Parra O, Gonzalez M, Dellarossa V, Rivera P, Orellana M. Manual Taxonómico del Fitoplancton de Aguas Continentales. II Chrysophyceae - Xanthophyceae. Universidad de Concepción, Chile. 1982 (d).

Parra O, Gonzalez M, Dellarossa V, Rivera P, Orellana M. Manual Taxonómico del Fitoplancton de Aguas Continentales. V.-Chlorophyceae. Universidad de Concepción, Chile. 1983 (e).

Paxinos R, Mitchell J. A rapid Utermohl method for estimating algal numbers. *Journal of Plankton Research*. Flinders University of South Australia. 2000; **22** (12): 2255-2262.

Rothschild LJ, Mancinelli RL. Life in extreme environments. *Nature*. 2001; **409**, 1092-1101.

Sánchez L. Hidrogeoquímica del sistema hidrotermal "San Diego de los Baños-Bermejales", Pinar del Río. **Tesis de grado de Maestría**. Centro Nacional de Termalismo "Victor Santamarina". Ciudad de la Habana, Cuba, 2000, 115 p.

Seckbach J, Ikan R, Ringelberg D, White D. Sterols and phylogeny of the acidophilic hot springs algae *Cyanidium caldarium* and *Galdieria sulphuraria*. *Phytochemistry*. 1993; **34** (5) 1345-1349.

Sigee D. *Freshwater Microbiology. Biodiversity and Dinamic Interactions of Microorganisms in the Aquatic Environment*. John Wiley & Sons, Ltd. University of Manchester, UK. England. 2005, 541 p.

Sorokovikova EG, Tikhonova I, Belykh OI, Klimenkov IV, Likhoshwai EV. Identification of two Cyanobacterial strains isolated from the Kotel'nikovskii hot spring of the Baikal Rift. *Microbiology*. 2008; **77** (3) 365-372.

Stockner JG. Observations of thermophilic algal communities in Mount Rainier and Yellowstone National Parks. 13-17.

Toplin JA, Norris TB, Lehr CR, McDermott TR, Castenholz, RW. Biogeographic and phylogenetic diversity of thermoacidophilic Cyanidiales in Yellowstone National Park,

Japan and New Zealand. *Applied and Environmental Microbiology*. 2008; **74** (9): 2822-2833.

Villafañe V, Reid F. Métodos de Microscopía para la cuantificación del fitoplancton. *Manual de Métodos Ficológicos*. Scripps Institution of Oceanography. University of California San Diego. La Jolla, U.S.A. 1995. 170-183 p.

Wayne D. *Bioestadística base para el análisis de las ciencias de la salud*. Limusa Weley. 2004. 755 p.

Wehr J, Sheath RG. *Freshwater Algae of North América. Ecology and Classification*. Elsevier. United States of America. 2003, 918 p.

Wetzel R, Likens, G. *Limnological Analyses*. Tercera edición. Springer. New York. 2000. 147-172 p.

## ANEXO 1. CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS DE LAS TRES FUENTES TERMALES LOCALIZADAS EN EL PNN

**Características fisicoquímicas de los termales El Coquito, Hotel Termales del Ruiz (HTR) y Termal 1 (Ter 1) localizados en el PNN. Fuente: GeBiX**

Ubicación	Coordenadas	Altitud	Ecosistema	T°	pH
Termal El Coquito	04°52,70'N y 75°16,39'E	3973	Superparamo	28,9	2,7
Hotel Termales del Ruiz (HTR)	04°58,39'N y 75°23,11'E	3876	Bosque Alto Andino, transición al Subparamo	56,8	2,04
Termal 1	04°58,13.2'N y 75°22,42'E	3464	Bosque Alto Andino	56,9	2,03

**Acidez mg CaCO<sub>3</sub>/L y Fosforo mg P-PO<sub>4</sub>/L de los termales El Coquito, Hotel Termales del Ruiz (HTR) y Termal 1 (Ter 1) localizados en el PNN. Fuente: GeBiX**

Ubicación	Acidez (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Total P (mg P-PO <sub>4</sub> /L)
Termal El Coquito	500	0,1
Hotel Termales del Ruiz (HTR)	4525	2,76
Termal 1	3633	1,89

**Concentración de Sólidos mg/L presentes en los termales El Coquito, Hotel Termales del Ruiz (HTR) y Termal 1 (Ter 1) localizados en el PNN (Información suministrada por miembros del GeBiX). Fuente: GeBiX**

Ubicación	TSS mg/L	TSD mg/L	Total Solidos mg/L
Termal El Coquito	≤ 8,01	2280	2620
Hotel Termales del Ruiz (HTR)	138	7049	8854
Termal 1	13,6	6032	7039

**Concentración de Minerales presentes en los termales El Coquito, Hotel Termales del Ruiz (HTR) y Termal 1 (Ter 1) localizados en el PNN. Fuente: GeBiX**

Ubicación	Fe	Cl	SO <sub>4</sub>	Ca	Na	Mg	K	NO <sub>3</sub>
Termal El Coquito	8,27	56,6	1003	320	45,2	55,3	9,25	0,89
Hotel Termales del Ruiz (HTR)	69,4	841	3239	247	531	247	74,3	0,51
Termal 1	56	653	2681	195	413	282	60,8	2,44

## ANEXO 2. TEST KRUSKAL-WALLIS PARA LOS RECUENTOS DE ALGAS LAS TRES FUENTES TERMALES LOCALIZADAS EN EL PNN

### 1. Fuente Termal El Coquito

Tabla Porcentaje Abundancia Relativa

Repetición	% Clorofícea	% Diatomea 1	% Diatomea 2	% Diatomea 3	% Nitzschia
Primera	98	2,3	0,0	0,0	0,0
Segunda	97	3,1	0,0	0,0	0,0
Tercera	99	1,0	0,0	0,0	0,0

#### Pruebas de normalidad

Repetición	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Datos 1	,458	5	,001	,568	5	,000
2	,453	5	,001	,574	5	,000
3	,466	5	,001	,559	5	,000

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Prueba de homogeneidad de varianzas

Datos

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
15,205	4	10	,000

#### ANOVA

Datos

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	97642,667	4	24410,667	24,473	,000
Intra-grupos	9974,667	10	997,467		
Total	107617,333	14			

## 1. Prueba de Kruskal-Wallis Fuente termal El Coquito

**Rangos**

	Repetición	N	Rango promedio
Datos	1	5	8,00
	2	5	8,00
	3	5	8,00
	Total	15	

### Estadísticos de contraste<sup>a,b</sup>

	Datos
Chi-cuadrado	,000
gl	2
Sig. asintót.	1,000

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación:

Repetición

## 2. Fuente Termal Hotel Termales del Ruiz (HTR)

Tabla Porcentaje Abundancia Relativa

Repeticiones	% Cloroficea	% Diatomea 1	% Diatomea 2	% Diatomea 3	% Nitzschia
Primera	0,0	98	1,1	0,2	0,6
Segunda	0,0	99	0,6	0,0	0,6
Tercera	0,0	98	1,0	0,0	0,6

**Pruebas de normalidad**

Repetición	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Datos 1	,468	5	,001	,561	5	,000
2	,470	5	,001	,558	5	,000
3	,468	5	,001	,561	5	,000

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Prueba de homogeneidad de varianzas

Datos

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
10,237	4	10	,001

**ANOVA**

Datos

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	1709391,733	4	427347,933	685,218	,000
Intra-grupos	6236,667	10	623,667		
Total	1715628,400	14			

**2. Prueba de Kruskal-Wallis Fuente termal Hotel Termales del Ruiz (HTR)**

**Rangos**

Repetición	N	Rango promedio
Datos 1	5	8,50
2	5	8,00
3	5	7,50
Total	15	

**Estadísticos de  
contraste<sup>a,b</sup>**

	Datos
Chi-cuadrado	,130
gl	2
Sig. asintót.	,937

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación:

Repetición

### 3. Fuente Termal 1 (Ter 1)

**Tabla Porcentaje Abundancia Relativa**

Repetición	% Cloroficea	% Diatomea 1	% Diatomea 2	% Diatomea 3	% Nizschia
Primera	0,0	95	5,2	0,0	0,0
Segunda	10	87	2,7	0,4	0,0
Tercera	5,3	93	1,4	0,0	0,0

**Pruebas de normalidad**

Repetición	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Datos 1	,438	5	,002	,589	5	,000
2	,405	5	,007	,638	5	,002
3	,440	5	,002	,595	5	,001

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Prueba de homogeneidad de varianzas

Datos

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
4,070	4	10	,033

### ANOVA

Datos

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	281205,067	4	70301,267	13,490	,000
Intra-grupos	52114,667	10	5211,467		
Total	333319,733	14			

### Prueba de Kruskal-Wallis

#### Rangos

	Repetición	N	Rango promedio
Datos	1	5	6,90
	2	5	8,50
	3	5	8,60
Total		15	

#### Estadísticos de contraste<sup>a,b</sup>

	Datos
Chi-cuadrado	,485
gl	2
Sig. asintót.	,785

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación:

Repetición



**ANEXO 3. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE LUGARES DIFERENTES A LOS SITIOS DE ESTUDIO**

Revista	Año	Fuente Termal	Publicación
Annals N. Y. Acad. Sci.	1936	Parque Nacional Yellowstone (Wyoming)	Copeland, 1936
The Journal of General Physiology	1940	Parque Nacional Yellowstone, California y Nevada	Inman, 1940
Lucknow University	1965	Manantiales del Himalaya	Nandan, 1965
University of Washington	1966	Montaña Rainer Parque Nacional Yellowstone	Stockner, 1966
Bacteriological Reviews	1969	Oregon, P.N.Y., Islandia, Francia, Hungría, Checoslovaquia, Yugoslavia, Israel y Grecia, India, Indonesia, Nueva Zelanda y Japón	Castenholz, 1969
Limnology and Oceanography	1975	Parque Nacional Yellowstone (Wyoming) y Valle Willamette (Oregon)	Jackson <i>et.al.</i> , 1975
Biochem. J.	1975	Parque Nacional Yellowstone	Kao <i>et.al.</i> , 1975
Jeddah	1982	At Al-Qaseem en Arabia Saudita	Aleem, <i>et.al.</i> , 1982
Anales Jardín Botánico de Madrid	1990	Torneiros (Lovios, Orense) en España	Noguero, 1990
Acta Botánica Malacitana	1991	Baños de Molgas y Caldas de Partovia en España	Noguero, 1991
Phytochemistry	1993	California, Los Angeles	Seckbach, 1993
Pak. J. Bot.	1994	Area Makkah en Arabia Saudita	Naggar, 1994
Canadian Journal of Microbiology	2003	Parque Nacional Jasper Alberta, Canada	Bonny <i>et.al.</i> , 2003
Molecular Ecology	2004	Italia	Ciniglia <i>et.al.</i> , 2004
New Phytologist	2004	La Hedionda Spa en España	Flores <i>et.al.</i> , 2004
Applied and Environmental Microbiology	2005	Parque Nacional Yellowstone (Nymph Creek, Wyoming)	Ferris <i>et.al.</i> , 2005
Canadian Journal of Microbiology	2005	Filipinas	Lacap, <i>et.al.</i> , 2005
Geomicrobiology Journal	2006	Nueva Zelanda (Rotorua)	Gaylarde <i>et.al.</i> , 2006
New Phytologist	2007	Río Tinto de España	Costas <i>et.al.</i> , 2007
Phycological Society of América	2007	Parque Nacional Yellowstone (Dragón de Primavera localizado en la Cuenca del Norris Géiser )	Lehr <i>et.al.</i> , 2007
Applied and Environmental Microbiology	2008	Parque Nacional Yellowstone (Wyoming), Nueva Zelanda y Japón	Toplin <i>et.al.</i> , 2008
Environmental Microbiology	2008	Costa Rica	Finsinger, <i>et.al.</i> , 2008
Hydrobiologia	2008	Islandia, Nueva Zelanda y Kenia	Bernhart <i>et.al.</i> , 2008
Israel Journal of Plant Sciences	2008	Israel y Jordania	Oren <i>et.al.</i> , 2008
Microbiology	2008	Kotel'nikovskii en Baikal Rift	Sorokovikova <i>et.al.</i> , 2008
New Phytologist	2008	Italia y Los Andes en Argentina	Costas <i>et.al.</i> , 2008
Toxicon	2008	Arabia Saudita	Mohamed, 2008
Applied and Environmental Microbiology	2009	Parque Nacional Yellowstone (Wyoming, Dragón de Primavera localizado en la Cuenca del Norris Géiser)	Boyd <i>et.al.</i> , 2009
Environmental Microbiology	2009	Parque Nacional Yellowstone (Wyoming)	Boyd <i>et.al.</i> , 2009
J. Limnol.	2011	Alpes Italianos	Nascimbene <i>et.al.</i> , 2011
Tesis	Año	Fuente Termal	Publicación
Centro Nacional de Termalismo "Victor Santamarina"	2000	Ciudad de la Habana en Cuba	Sánchez, 2000
Universidad Nacional	2004	Macheta y Paipa	González, 2004
Universidad Complutense de Madrid	2008	Madrid	Marvá, 2008

Organismo	Publicación
Myxophyceae, Chroococcaceae, Entophysalidaceae, Pleurocapsaceae, Dermocarpacea, Chamaesiphonaceae, Loriellaceae, Sitenematacea, Mastigocladaceae, Scytonematacea, Hammatoidaeaceae, Rivulariaceae, Nostocaceae	Copeland, 1936
<i>Phormidium laminosum</i>	Inman, 1940
Cianofíceas ( <i>Oscillatoria jasorvensis</i> var <i>thermalis</i> )	Nandan, 1965
<i>Schizothrix calcicola</i> , <i>Mougeotia</i> sp., <i>Oscillatoria terebriformis</i> , <i>Synechococcus</i> sp., <i>Pinnularia microstrauron</i> , <i>Gomphonema parvulum</i> , <i>Achnanthes grimmi</i> , <i>Navicula cincta</i> , <i>Rhopalodia gibberula</i> , <i>Amphora coffeaeformis</i> y <i>Denticula elegans</i>	Stockner, 1966
<i>Cyanidium caldarium</i>	Castenholz, 1969
<i>Synechococcus</i> , <i>Synechocystis</i> , <i>Mastigocladus</i> , <i>Phormidium tenue</i> , <i>Microcystis protea</i> , <i>Oscillatoria lemmermannii</i> , <i>Nodularia harveyana</i> , <i>Pseudoanabaena</i> sp., <i>Oscillatoria geminata</i> , <i>Scytonema caldarium</i> var <i>terrestre</i>	Jackson et al., 1975
<i>Cyanidium caldarium</i>	Kao et al., 1975
<i>Spirulina meneghiniana</i> , <i>Oscillatoria terebriformis</i> y <i>Oscillatoria minima</i>	Aleem, et al., 1982
Cianofíceas (11 especies), Diatomeas (9 especies) y Clorofíceas (6 especies)	Noguerol, 1990
<i>Mastigocladus laminosus</i> , <i>Lyngbya lutea</i> , <i>Phormidium treleasei</i> , <i>Phormidium tenue</i> , <i>Anabaena hyalina</i> , <i>Spirogyra</i> sp., <i>Oedogonium</i> sp. y <i>Ulothrix</i> sp.	Noguerol, 1991
<i>Mastigocladus laminosus</i> , <i>Phormidium corium</i> , <i>Symploca thermalis</i> y <i>Phormidium treleasei</i>	Noguerol, 1991
<i>Cyanidium caldarium</i> y <i>Galdieria sulphuraria</i>	Seckbach, 1993
Cianofitas (37 especies), Bacillariofita (34 especies), Clorofitas (29 especies), Euglenofitas (6 especies) y Pirrhofta (1 especie)	Naggar, 1994
<i>Oscillatoria</i> spp., <i>Spirogyra</i> spp., <i>Navicula</i> spp., <i>Nitzschia</i> spp., <i>Gloeocapsa</i> y <i>Euglena</i> spp. <i>Merismopedia elegans</i> , <i>Oscillatoria amphibia</i> , <i>O. tenuis</i> , <i>Oedogonium gracilis</i>	Bonny et al., 2003
Cianobacterias ( <i>Oscillatoria</i> , <i>Phormidium</i> , <i>Gloeocapsa</i> , <i>Synechococcus</i> y <i>Xenococcus</i> ) Diatomeas ( <i>Cymbella</i> , <i>Mastagloia</i> , <i>Brachysira</i> , <i>Sellaphora</i> , <i>Rhopalodia</i> , <i>Nitzschia</i> , <i>Navicula</i> y <i>Pinnularia</i> )	Ciniglia et al., 2004
<i>Cyanidium</i> spp., <i>Cyanidium caldarium</i> , <i>Galdieria</i> spp. y <i>Cyanidioschizon merolae plus</i> <i>Galdieria</i> máxima	Flores et al., 2004
<i>Spirogyra insignis</i> (Clorofíceas), <i>Oscillatoria</i> , <i>Navicula</i> , <i>Nitzschia</i> y <i>Achnanthes</i>	Ferris et al., 2005
<i>Cyanidioschizon merolae</i> , <i>Chlorella protothecoides</i> var. <i>acidicola</i> y <i>Paradoxia multisita</i>	Lacap, et al., 2005
<i>Fischerella</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Fischerella major</i> , <i>Oscillatoria amphigranulata</i>	Lacape, et al., 2005
Cianobacterias ( <i>Synechococcus</i> , <i>Myxosarcina</i> , <i>Pleurocapsa</i> , <i>Chlorococcidiopsis</i> , <i>Leptolyngbya</i> , <i>Lyngbya</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Plectonema</i> , <i>Nostoc</i> , <i>Scytonema</i> , <i>Tolypothrix</i> , <i>Calothrix</i> , <i>Fischerella</i> , <i>Mastigocladus</i> , <i>Hapalosiphon</i> )	Gaylarde et al., 2006
Rodofita ( <i>Cyanidium caldarium</i> ) y Diatomeas (varios morfotipos)	
<i>Dictyosphaerium chlorelloides</i> y <i>Microcystis aeruginosa</i>	Costas et al., 2007
<i>Cyanidium</i> , <i>Galdieria</i> y <i>Cyanidioschizon merolae</i>	Lehr et al., 2007
<i>Cyanidium</i> , <i>Galdieria</i> y <i>Cyanidioschizon</i>	Toplin et al., 2008
Cianobacterias <i>Stigonematales</i> ( <i>Westiellopsis</i> sp. y <i>Fischerella muscicola</i> )	Finsinger, et al., 2008
Diatomeas ( <i>Pinnularia</i> , <i>Navicula</i> , <i>Anomoeoneis</i> , <i>Achnantheidium exiguum</i> v. <i>heterovalvum</i> , <i>Anomoeoneis sphaerophora</i> , <i>Brachysira brebisonii</i> f. <i>thermalis</i> , <i>Caloneis bacillum</i> , <i>Craticula cuspidata</i> , <i>Diademsis confervacea</i> , <i>Epithemia argus</i> , <i>Frustulia rhomboides</i> , <i>Hantzschia amphioxys</i> , <i>Navicula tenelloides</i> , <i>Nitzschia amphibia</i> , <i>Nitzschia inconspicua</i> , <i>Nitzschia invisitata</i> , <i>Nitzschia frustulum</i> , <i>Nitzschia sigma</i> , <i>Pinnularia chapmaniana</i> , <i>Pinnularia appendiculata</i> , <i>Pinnularia molaris</i> , <i>Pinnularia acoricola</i> , <i>Rhopalodia gibberula</i> , <i>Staurisira construens</i> v. <i>venter</i> , <i>Staurisira elliptica</i> y <i>Staurisirella pinnata</i>	Bernhart et al., 2008
<i>Dunaliella parva</i> , <i>Aphanocapsa</i> , <i>Merismopedia</i> , <i>Chroococcus</i> , <i>Gloethece</i> , <i>Phormidium</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Spirulina</i> , <i>Cylindrospermum</i> , <i>Hapalosiphon</i> y <i>Scytonema</i>	Oren et al., 2008
<i>Pseudanabaena</i> sp. nov. y <i>Synechococcus brigantulus</i>	Sorokovikova et al., 2008
<i>Dictyosphaerium chlorelloides</i> y <i>Microcystis aeruginosa</i>	Costas et al., 2008
<i>Oscillatoria limosa</i> y <i>Synechococcus lividus</i>	Mohamed, 2008
<i>Synechococcus</i> spp. e <i>Hydrogenobaculum</i>	Boyd et al., 2009
Algas verdes asociadas con <i>Zigogonium</i> verde-púrpura	Boyd et al., 2009
Algas (69 especies), Diatomeas (110 especies), Lóquenes (29 especies) y Briofitas (62 especies)	Nascimbene et al., 2011
Organismo	Publicación
Algas Termofilas	Sánchez, 2000
Microorganismos Fotosintéticos	González, 2004
	Marv, 2008

Organismo	T (°C)	pH
Myxophyceae, Chroococcaceae, Entophysalidaceae, Pleurocapsaceae, Dermocarpacea, Chamaesiphonaceae, Loriellaceae, Sironematacea, Mastigocladaceae, Scytonematacea, Hammatoideacea, Rivulariaceae, Nostocaceae	42 - 93,5	6,40 - 9,00
<i>Phormidium laminosum</i> , <i>Spirulina labyrinthiformis</i> , <i>Phormidium treleasei</i> , <i>Synechococcus lividus</i> , <i>Synechococcus elongatus</i> y <i>Chlorella</i> sp.	48,5 - 65; 37 - 72; 45 - 66; 60 - 71	6,5 - 6,7
Cianofíceas ( <i>Oscillatoria jatorvensis</i> var <i>thermalis</i> )	45 - 97	
<i>Schizothrix calcicola</i> , <i>Mougeotia</i> sp., <i>Oscillatoria terebriformis</i> , <i>Synechococcus</i> sp., <i>Pinnularia microstrauron</i> , <i>Gomphonema parvulum</i> , <i>Achnanthes grimmii</i> , <i>Navicula cincta</i> , <i>Rhopalodia gibberula</i> , <i>Amphora coffeaeformis</i> y <i>Denticula elegans</i>	33 - 45	
<i>Cyanidium caldarium</i>	57 - 94	1,5 - 9,7
<i>Synechococcus</i> , <i>Synechocystis</i> , <i>Mastigocladus</i> , <i>Phormidium tenue</i> , <i>Mycrocystis protea</i> , <i>Oscillatoria lemmermannii</i> , <i>Nodularia harveyana</i> , <i>Pseudoanabaena</i> sp., <i>Oscillatoria geminata</i> , <i>Scytonema caldarium</i> var <i>terrestre</i>	14 - 45	
<i>Cyanidium caldarium</i>	23 - 50	3,9 - 8,0
Cianofíceas (11 especies), Diatomeas (9 especies) y Clorofíceas (6 especies)	23 - 47	8,03 - 8,57
<i>Mastigocladus laminosus</i> , <i>Lyngbya lutea</i> , <i>Phormidium treleasei</i> , <i>Phormidium tenue</i> , <i>Anabaena hyalina</i> , <i>Spirogyra</i> sp., <i>Oedogonium</i> sp. y <i>Ulothrix</i> sp.		
<i>Mastigocladus laminosus</i> , <i>Phormidium corium</i> , <i>Symploca thermalis</i> y <i>Phormidium treleasei</i>	30 - 31; 44 - 46	6,99; 9,03
Cianofitas (37 especies), Bacillariofitas (34 especies), Clorofitas (29 especies), Euglenofitas (6 especies) y Pirrofitas (1 especie)	20 - 31	6,6 - 8,6
<i>Oscillatoria</i> spp., <i>Spirogyra</i> spp., <i>Navicula</i> spp., <i>Nitzschia</i> spp., <i>Gloeocapsa</i> y <i>Euglena</i> spp. <i>Merismopedia elegans</i> , <i>Oscillatoria amphibia</i> , <i>O. tenuis</i> , <i>Oedogonium gracilis</i>		
Cianobacterias ( <i>Oscillatoria</i> , <i>Phormidium</i> , <i>Gloeocapsa</i> , <i>Synechococcus</i> y <i>Xenococcus</i> ) Diatomeas ( <i>Cymbella</i> , <i>Mastagloia</i> , <i>Brachysira</i> , <i>Sellaphora</i> , <i>Rhopalodia</i> , <i>Nitzschia</i> , <i>Navicula</i> y <i>Pinnularia</i> )	30 - 51,2	6,89 - 7,97
<i>Cyanidium</i> spp., <i>Cyanidium caldarium</i> , <i>Galdieria</i> spp. y <i>Cyanidioschizon merolae</i> plus <i>Galdieria máxima</i>	18 - 30; 45 - 55; 25 - 40	
<i>Cyanidioschizon merolae</i> , <i>Chlorella protothecoides</i> var. <i>acidicola</i> y <i>Paradoxia multisita</i>	≤ 39 - ≥ 49	2,7
<i>Fischerella</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Fischerella major</i> , <i>Oscillatoria amphigranulata</i>	45 - 60	≈ 7
Cianobacterias ( <i>Synechococcus</i> , <i>Myxosarcina</i> , <i>Pleurocapsa</i> , <i>Chlorococciopsis</i> , <i>Leptolyngbya</i> , <i>Lyngbya</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Plectonema</i> , <i>Nostoc</i> , <i>Scytonema</i> , <i>Tolypothrix</i> , <i>Calothrix</i> , <i>Fischerella</i> , <i>Mastigocladus</i> , <i>Hapalosiphon</i> )	40 - 60	
Rodofita ( <i>Cyanidium caldarium</i> ) y Diatomeas (Varios morfotipos)		
<i>Dictyosphaerium chlorelloides</i> y <i>Microcystis aeruginosa</i>	20	1,7 - 2,5
<i>Cyanidium</i> , <i>Galdieria</i> y <i>Cyanidioschizon merolae</i>	26 - 36	2,9
<i>Cyanidium</i> , <i>Galdieria</i> y <i>Cyanidioschizon</i>	30 - 56	0,5 - 4,0
Cianobacterias Stigonematales ( <i>Westiellopsis</i> sp. y <i>Fischerella muscicola</i> )	38 - 43; 38 - 55; 42 - 74	6,0 - 6,6; 5,5 - 6,5; 5,87 - 7,48
Diatomeas ( <i>Pinnularia</i> , <i>Navicula</i> , <i>Anomoeoneis</i> , <i>Achnanidium exiguum</i> v. <i>heterovalvum</i> , <i>Anomoeoneis sphaerophora</i> , <i>Brachysira brebisonii</i> f. <i>thermalis</i> , <i>Caloneis bacillum</i> , <i>Craticula cuspidata</i> , <i>Diadismis confervacea</i> , <i>Epithemia argus</i> , <i>Frustulia rhomboides</i> , <i>Hantzschia amphioxys</i> , <i>Navicula tenelloides</i> , <i>Nitzschia amphibia</i> , <i>Nitzschia inconspicua</i> , <i>Nitzschia invisitata</i> , <i>Nitzschia frustulum</i> , <i>Nitzschia sigma</i> , <i>Pinnularia chapmaniana</i> , <i>Pinnularia appendiculata</i> , <i>Pinnularia molaris</i> , <i>Pinnularia acoricola</i> , <i>Rhopalodia gibberula</i> , <i>Stausosira construens</i> v. <i>venter</i> , <i>Stausosira elliptica</i> y <i>Stausosirella pinnata</i>	18,5 - 99	2,1 - 9,8
<i>Dunaliella parva</i> , <i>Aphanocapsa</i> , <i>Merismopedia</i> , <i>Chroococcus</i> , <i>Gloethece</i> , <i>Phormidium</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Spirulina</i> , <i>Cylindrospermum</i> , <i>Hapalosiphon</i> y <i>Scytonema</i>	63; 35 - 40	
<i>Pseudanabaena</i> sp. nov. y <i>Synechococcus brigantulus</i>	80	9,5
<i>Dictyosphaerium chlorelloides</i> y <i>Microcystis aeruginosa</i>	21,0 - 59,9	2,0-7,0
<i>Oscillatoria limosa</i> y <i>Synechococcus lividus</i>	48 - 70	7,7 - 8,2
<i>Synechococcus</i> spp. e <i>Hydrogenobaculum</i>	73	3,1
Algas verdes asociadas con <i>Zigogonium</i> verde-púrpura	< 40	≈ 3,0
<b>Organismo</b>		
	37,7 - 34,7	6,77 - 6,86
<b>Algas Termofilas</b>	58 - 61; 50 - 70	6,2 - 6,4; 7,0

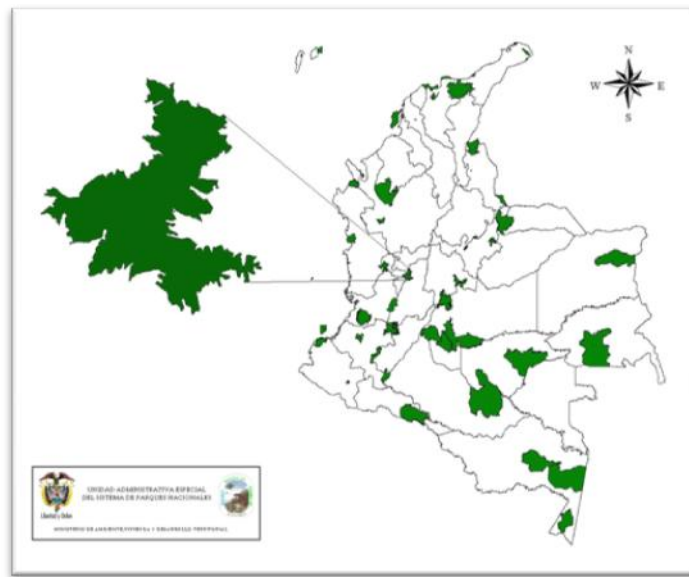
Organismo	SO <sub>4</sub>	Ca	Fe	Cu	Zn	SiO <sub>2</sub>	Na	Si	K	B	Mg	Al	As	P	Mn	Zn	Cl	F	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub> H	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	Publicación	
Cyanidium caldarium	0.4-602	0.8-272	0.02-0.21	0.003-0.1		1.4-609	7.1-352		7.1-926	0.013-6.9	0.0-70	0.9-85	0.5-5.7		0.3-1.9	0.0-0.14	1.6-408	0.1-806	0.0-17	0.0-2.4		0.00-0.03		0.14-38	Castenholz, 1969	
Cianofceas (11 especies), Diatomeas (9 especies) y Clorofceas (6 especies)																						0.010-0.045	0.292-0.419	0.054-0.240	Noguerol, 1990	
Mastigocladus laminosus, Lyngbya lutea, Phormidium treleasei, Phormidium tenue, Anabaena hyalina, Spirogyra sp., Oedogonium sp. y Ulothrix sp.																										
Mastigocladus laminosus, Phormidium corium, Symploca thermalis y Phormidium treleasei	1.41-5.20	21.84-0.90						45.20-228.64	1.10-10.77		0.10-1.71						13.68-14.20					61.10-685.40	0.00-0.90		Noguerol, 1991	
Cianobacterias (Oscillatoria, Phormidium, Gloeocapsa, Synechococcus y Xenococcus) Diatomeas (Cymbella, Mastogloia, Brachysira, Sellaphora, Rhopalodia, Nitzschia, Navicula y Pinnularia)	114.8-1220	299-408	0.050-0.400	0.002-0.023	0.010-0.025	8.9-57.0	8.0-50		12-17.3		21.8-73	0.06-0.32					3.3-45	0.45-4.0					<0.1-0.1	0.11-0.36	Bonny et al., 2003	
Spirogyra insignis (Clorofceas), Oscillatoria, Navicula, Nitzschia y Achnanthes	7																									Flores et al., 2004
Dictyosphaerium chlorelloides y Microcystis aeruginosa			0.0004-0.0202	0.00002-0.0007	0.00002-0.00056																					Costas et al., 2007
Cyanidium, Galdieria y Cyanidioschizon merolae	0.076	0.0050	2610				0.3105	0.14112	0.05616	0.007722	0.002852	0.00324	1612	802	66.75	47.45	0.609	0.00342	918	300.9						Lehr et al., 2007
Diatomeas (Pinnularia, Navicula, Anomoceoneis, Achnanidium exiguum v. heterovalium, Anomoceoneis sphaerophora, Brachysira brebionii f. thermalis, Caloneis bacillum, Craticula cuspidata, Diadesmia confervacea, Epithemia argus, Frustulia rhomboides, Hantzschia amphioxys, Navicula tenelloides, Nitzschia amphibia, Nitzschia inconspicua, Nitzschia imisulata, Nitzschia frustulum, Nitzschia sigma, Pinnularia chepmeniana, Pinnularia appendiculata, Pinnularia molaris, Pinnularia scorricola, Rhopalodia gibberula, Staurosira construens v. venter, Staurosira elliptica y Staurosirella pinnata	1.12-938	0.28-82				56.41-643	103-5.985		2.5-154		<0.1-26						3.86-2.145						<0.04-23.5			Bernhart et al., 2008
Oscillatoria limosa y Synechococcus lividus	986-2300	286.6-450	<0.11-0.098	0.0001-0.00187			20.7-20.5				26.4-42	0.0003-0.00036				0.011-0.0044										Sánchez, 2000
						36-41													45.2-47.1				7.46-6.78	8.1-8.4		Mohamed, 2008

\*Valores en mg l<sup>-1</sup>

Organismo	PCR	Publicación
Cyanidioschizon merolae, Chlorella protothecoides var. Acidicola, Paradoxia multisita, Cyanidium y Galdieria	Gen 18S ARNr, rbcL	Ferris et al., 2005; Toplin et al., 2008
Cyanidium spp., Cyanidium caldarium, Galdieria spp. y Cyanidioschizon merolae plus Galdieria máxima	Gen rbcL	Ciniglia et al., 2004
Fischerella, Oscillatoria, Fischerella major, Oscillatoria amphigranulata	Gen 16S ADNr	Lacap, et al., 2005
Cyanidium, Galdieria y Cyanidioschizon merolae	Gen 18S ADNr	Lehr et al., 2007
Synechococcus spp. e Hydrogenobaculum		
Cianobacterias (Synchococcus, Myxosarcina, Pleurocapsa, Chlorococcidiopsis, Leptolyngbya, Lyngbya, Oscillatoria, Plectonema, Nostoc, Scytonema, Tolypothrix, Calothrix, Fischerella, Mastigocladus, Hapalosiphon) Rodofita (Cyanidium caldarium) y Diatomeas; Synechococcus spp., Hydrogenobaculum, Dunaliella parva, Cianobacterias y Pseudanabaena sp.	Gen 16S ARNr	Gaylarde et al., 2006; Oren et al., 2008; Sorokovikova et al., 2008 y Boyd et al., 2009
Dunaliella parva, Aphanocapsa, Merismopedia, Chroococcus, Gloethece, Phormidium, Oscillatoria, Spirulina, Cylindrospermum, Hapalosiphon y Scytonema		
Pseudanabaena sp. nov. y Synechococcus brigantulus		
Cianobacterias Stigonematales (Westiellopsis sp. y Fischerella muscicola)	Gen 16S ARNr, 16S - 23S ITS	Finsinger, et al., 2008

## ANEXO 4. REGISTROS FOTOGRÁFICOS

### 1. Localización de las tres fuentes termales del PNN

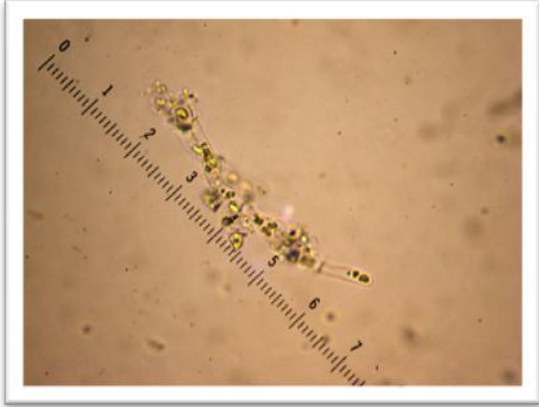
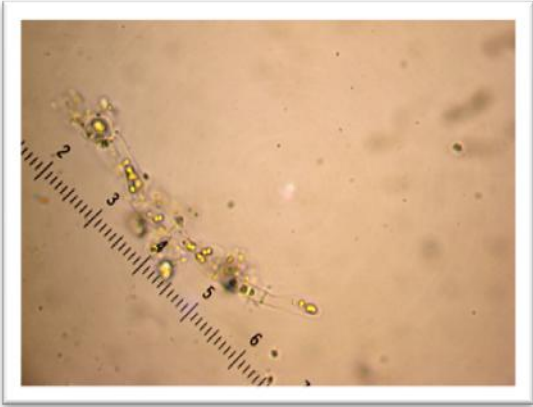


### 2. Muestra de cada una de las fuentes termales localizadas en el PNN



**3. Registros fotográficos de las clases encontradas en las tres fuentes termales del PNN**

**Clase *Chlorophyceae***



**Clase *Bacillariophyceae***

