

INVENTARIO PRELIMINAR DE MICROALGAS NATIVAS
DE LA LAGUNA JAIMES DEL MUNICIPIO DE SILOS,
NORTE DE SANTANDER

Presentado por:

KATTY JESENIA CARRILLO SÁNCHEZ

DIRECTORA

PhD. ALBA LUCIA ROA PARRA

CO-DIRECTOR

Msc. LUIS ROBERTO SÁNCHEZ MONTAÑO

TRABAJO DE GRADO

PARA OPTAR POR EL TITULO ACADEMICO

DE BIOLOGA

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS

BIOLOGIA

COLOMBIA

2017

DEDICATORIA

ii

Este trabajo va dedicado primeramente a mi madre **ELIZABETH SÁNCHEZ ORTIZ**, la mujer que me ha apoyado en todo mi camino de vida, por ser un ejemplo de honestidad y sinceridad.

A mi sobrina **DARLY ACUÑA CARRILLO** por su apoyo en todo, te quiero mi niña.

A mis abuelos maternos **LEOPOLDO SÁNCHEZ** y **OLGA ORTIZ**; por su apoyo en este camino.

Gracias por todo

AGRADECIMIENTOS

iii

A La **UNIVERSIDAD DE PAMPLONA** y **LA VICERECTORIA DE INVESTIGACIONES** por el apoyo económico para la realización del proyecto.

A La Bacterióloga **ALBA LUCIA ROA PARRA** PhD, Por el apoyo en el desarrollo y realización de este proyecto en investigación académica como directora.

Al Biólogo **ROBERTO SÁNCHEZ MONTAÑO** MSc, por la caracterización de la flora del ecosistema en estudio y apoyo como co-director.

A La Licenciada en Matemáticas y Estadística **GLADYS MONTAÑEZ ACEVEDO** MSc, por su apoyo y asesorías en el análisis estadístico.

Al Biólogo **JOSE ANTONIO SIERRA**, por el apoyo y acompañamiento en la toma de muestras.

La investigación corresponde a un inventario preliminar de microalgas nativas en la Laguna Jaimes (Silos. N. de S.), llevada a cabo en un lapso de año y medio, durante el cual fueron realizados 6 muestreos en 6 estaciones de referencia. A las muestras recolectadas se les realizó análisis físicoquímicos de: DBO₅, DQO, turbidez, sólidos totales, nitritos, fosfatos, sulfatos, alcalinidad y color; análisis microbiológicos: Bacterias Coliformes Totales y Bacterias Coliformes Fecales; recuento y descripción de microalgas. De igual forma, in situ se realizó análisis de oxígeno disuelto, pH, temperatura y conductividad. La caracterización físico-química permitió determinar que el ecosistema se encuentra iniciando procesos de eutrofización por las descargas de contaminación orgánica (natural ó antrópica), pero no se evidencia contaminación por industrias extractivas. Se registraron treinta (30) géneros, pertenecientes a nueve clases: *Bacilliarophyceae*, *Chlorophyceae*, *Euglenophyceae*, *Zygnemophyceae*, *Cyanophyceae*, *Trebouxiophyceae*, *Fragilariophyceae*, *Ulvophyceae* y *Coccinodicyphyceae*. La clase más abundante en número fue *Trebouxiophyceae*, seguida de *Bacilliarophyceae* y *Chlorophyceae*. Aun cuando la clase más abundante fue la *Trebouxiophyceae*, la que presentó la mayor diversidad en géneros fue la *Bacilliarophyceae* (9 géneros), seguidas de *Chlorophyceae* y *Zygnemophyceae*. Los géneros que se encontraron en mayor cantidad fueron: *Botryococcus* sp, *Scenedesmus* sp, *Navicula* sp, *Cymbella* sp, *Pinnularia* sp, *Oscillatoria* sp, *Nitzschia* sp, *Gomphonema* sp, *Closterium* sp, y *Pediastrum* sp. Los géneros observados guardan relación con la calidad del agua inspeccionada.

Palabras claves: Laguna, Eutrofización, Calidad de agua, Inventario, Microalgas.

CONTENIDO

vi

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.3.1 Objetivo General	5
1.3.2 Objetivos Específicos	5
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1 ECOSISTEMA DE ALTA MONTAÑA	7
2.1.1 Páramo de Santurbán	9
2.1.2 Ecología sistemas acuáticos asociados con ecosistemas de Alta Montaña	11
2.2 LAS MICROALGAS	12
2.2.1 Clasificación taxonómica de las microalgas	14
2.2.2 Condiciones ambientales y nutricionales.	16
2.2.3 Microalgas como bioindicadores	18
2.2.4 Estado del arte	19
3. METODOLOGÍA	23
3.1 DESCRIPCIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO	23
3.2 TOMA DE MUESTRAS	24
3.2.1 Muestras para análisis fisicoquímicos	24
3.2.2 Muestras para análisis bacteriológicos	25
3.2.3 Muestras para análisis de microalgas	25

3.3 ANALISIS FISICO-QUIMICOS Y BACTERIOLOGICOS	26
3.4. ANALISIS DE MICROALGAS	27
3.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	27
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1 DESCRIPCIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO	29
4.1.1 Descripción del ecosistema	30
4.1.2 Descripción de la flora	32
4.1.3 Descripción de la fauna	45
4.1.4 Descripción de macroinvertebrados	48
4.1.5 Estaciones de referencia	59
4.2 ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS	60
4.3 ANÁLISIS DE MICROALGAS	66
4.3.1 Índice de abundancia	86
4.3.2 Recuento de microalgas	87
4.3.3 Observación microscópica	95
4.4 RELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y LAS ESPECIES MICROALGALES	121
4.4.1 Análisis de componentes principales	125
4.4.2 Análisis de Correlación Canónica	128
5. CONCLUSIONES	132
6. RECOMENDACIONES	135
ANEXOS	136

Lista de tablas

	Pág
TABLA 1. Algunas especies de fauna pertenecientes al municipio de Silos.	11
TABLA 2. Métodos realizados para los análisis físicoquímicos y bacteriológicos	26
TABLA 3. Puntaje BMWP/Col.	49
TABLA 4. Coordenadas de las estaciones de Referencia	59
TABLA 5. Valores de los análisis físico-químicos registrados durante las seis salidas de campo	(6) 60
TABLA 6. Escala de clasificación de la calidad del agua, con base en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5).	62
TABLA 7. Escala de clasificación de la calidad del agua, con base en la demanda química de oxígeno (DQO).	62
TABLA 8. Índice de contaminación para cada muestreo	65
TABLA 9. Especies de microalgas observadas en el muestreo 1	67
TABLA 10. Especies de microalgas observadas en el muestreo 2	70
TABLA 11. Especies de microalgas observadas en el muestreo 3	73
TABLA 12. Especies de microalgas observadas en el muestreo 4	76
TABLA 13. Especies de microalgas observadas en el muestreo 5	79
TABLA 14. Especies de microalgas observadas en el muestreo 6	81
TABLA 15. Índice de abundancia	86
TABLA 16. Estadísticos descriptivos-variables físicoquímicas	123
TABLA 17. Estadísticas descriptivas especies de microalgas	124
TABLA 18. Valores propios- componentes principales	125
TABLA 19. Resumen correlaciones canónicas	129

FIGURA 1. Ubicación del municipio de Silos.	31
FIGURA 2. Dimensiones de la Laguna Jaimes.	32
FIGURA 3. <i>Aciachne acicularis</i>	33
FIGURA 4. <i>Jamesoniella</i> sp.	34
FIGURA 5. <i>Espeletia estanislana</i>	35
FIGURA 6. <i>Espeletia caldasii</i>	36
FIGURA 7. <i>Agrostis toluensis</i>	36
FIGURA 8. <i>Ranunculus limoselloides</i>	37
FIGURA 9. <i>Alopecurus</i> sp.	38
FIGURA 10. <i>Muhlenbergia</i> sp.	39
FIGURA 11. <i>Castilleja integrifolia</i>	39
FIGURA 12. <i>Lachemilla</i> sp.	40
FIGURA 13. <i>Taraxacum officinale</i>	41
FIGURA 14. <i>Gentiana sedifolia</i>	42
FIGURA 15. <i>Bidens andicola</i>	43
FIGURA 16. <i>Xenophyllum humile</i>	44
FIGURA 17. <i>Senecio formosus</i>	44
FIGURA 18. <i>Pristimantis nicefori</i>	45
FIGURA 19. <i>Stenocercus</i> sp.	46
FIGURA 20. <i>Anas</i> sp. A. Nido; B. Incubación; C. Polluelos.	47
FIGURA 21. <i>Oryzomys</i> sp.	48

FIGURA 22. Macroinvertebrado Tubificidae	50
FIGURA 23. Macroinvertebrado <i>Chironomus</i> sp.	51
FIGURA 24. Macroinvertebrado <i>Atrichopogon</i> sp.	52
FIGURA 25. Macroinvertebrado Glossiphoniidae	52
FIGURA 26. Macroinvertebrado <i>Lymnaea</i> sp.	53
FIGURA 27. Macroinvertebrado <i>Aeshna</i> sp.	54
FIGURA 28. Macroinvertebrado <i>Hyalella</i> sp.	54
FIGURA 29. Macroinvertebrado Corixidae	55
FIGURA 30. Macroinvertebrado Planariidae	56
FIGURA 31. Macroinvertebrado <i>Lestes</i> sp.	57
FIGURA 32. Macroinvertebrado <i>Thermonectus</i> sp.	57
FIGURA 33. Macroinvertebrado <i>Rhantus</i> sp. (Larva)	58
FIGURA 34. Localización de las seis (6) estaciones de referencia	59
FIGURA 34. Parches de macrófitas	64
FIGURA 35. Relación entre índices de contaminación y muestreos realizados	65
FIGURA 36. Principales clases de microalgas en el muestreo 1	68
FIGURA 37. Dendograma primer muestreo.	69
FIGURA 38. Principales clases de microalgas en el muestreo 2	71
FIGURA 39. Dendograma segundo muestreo.	72
FIGURA 40. Principales clases de microalgas en el muestreo 3	74
FIGURA 41. Dendograma tercer muestreo.	75
FIGURA 42. Principales clases de microalgas en el muestreo 4	77

FIGURA 43. Dendograma cuarto muestreo.	78
FIGURA 44. Principales clases de microalgas en el muestreo 5	79
FIGURA 45. Dendograma quinto muestreo.	80
FIGURA 46. Principales clases de microalgas en el muestreo 6	82
FIGURA 47. Dendograma sexto muestreo.	83
FIGURA 48. Dendograma época lluviosa.	84
FIGURA 49. Dendograma época seca.	84
FIGURA 50. <i>Botryococcus terribilis</i> - Acumulación de material graso en orilla derecha de la laguna Jaimes	87
FIGURA 51. Recuento microalgas muestreo 1	88
FIGURA 52. Recuento microalgas muestreo 2	88
FIGURA 53. Recuento microalgas muestreo 3	89
FIGURA 54. Recuento microalgas muestreo 4	90
FIGURA 55. Recuento microalgas muestreo 5	91
FIGURA 56. Recuento microalgas muestreo 6	92
FIGURA 57. Abundancias por especies en época de lluvia	93
FIGURA 58. Abundancias por especies en época seca	93
FIGURA 59. <i>Gomphonema acuminado</i>	95
FIGURA 60. <i>Gomphonema truncatum</i>	96
FIGURA 61. <i>Gomphonema geminatum</i>	97
FIGURA 62. <i>Cymbella lanceolata</i>	97
FIGURA 63. <i>Cymbella naviculiformis</i>	98
FIGURA 64. <i>Cymbella tumida</i>	99

FIGURA 65. <i>Pinnularia</i> sp.	100
FIGURA 66. <i>Synedra</i> sp.	101
FIGURA 67. <i>Tabellaria</i> sp.	102
FIGURA 68. <i>Eunotia</i> sp.	103
FIGURA 69. <i>Navicula</i> sp.	104
FIGURA 70. <i>Gyrosigma</i> sp.	105
FIGURA 71. <i>Closterium</i> sp.	106
FIGURA 72. <i>Cosmarium</i> sp.	107
FIGURA 73. <i>Pleurotaenium</i> sp.	108
FIGURA 74. <i>Staurastrum</i> sp.	108
FIGURA 75. <i>Spyrogira</i> sp.	109
FIGURA 76. <i>Coelastrum</i> sp.	110
FIGURA 77. <i>Monoraphidium</i> sp.	111
FIGURA 78. <i>Scenedesmus</i> sp.	112
FIGURA 79. <i>Pediastrum</i> sp.	113
FIGURA 80. <i>Chlamydomonas</i> sp.	114
FIGURA 81. <i>Anabaena</i> sp.	115
FIGURA 82. <i>Ankistrodesmus</i> sp.	116
FIGURA 83. <i>Euglena</i> sp.	117
FIGURA 84. <i>Oscillatoria</i> sp.	118
FIGURA 85. <i>Ulothrix</i> sp.	118
FIGURA 86. <i>Fragilaria</i> sp.	119

FIGURA 87. <i>Botryococcus terribilis</i>	120
FIGURA 88. Gráfico de sedimentación	125
FIGURA 89. Análisis componentes principales-VARIABLES	126
FIGURA 90. Correlación canónica variables físicoquímicas vs microalgas	130

INTRODUCCIÓN

El conocimiento y aplicaciones de las comunidades microalgales es un área poco explorada dentro del estudio microbiano; tan solo hace poco más de treinta años se han iniciado las investigaciones formales sobre la utilización de este grupo de microorganismos con fines industriales.

En Colombia a pesar de existir una gran biodiversidad en diferentes taxa no existe un nutrido número de estudios sobre la biodiversidad microalgal, como ejemplo de estos tenemos: Duque, S. R., 1997 realizó uno de los primeros acercamientos de información publicada sobre algunos grupos de microalgas acuáticas del eje Apaporis -Tabatinga y la distribución geográfica de los taxa en ecosistemas acuáticos de Colombia; Martínez L. y J. C. Donato, en el 2003 realizaron un estudio para observar los efectos del caudal sobre la colonización de algas en un río de alta montaña tropical (Boyacá, Colombia); Díaz - Rivera, (2004) registraron diatomeas en veinte ríos de la cuenca alta y media del río Bogotá relacionando los hallazgos con algunas variables físico-químicas; en el mismo año determinaron la taxa de fitobentos y su relación con la hidrología, física y química de pequeños ríos andinos; Zapata A.M. y J. C. Donato, en el año 2005 determinaron los cambios diarios de las algas perifíticas y su relación con la velocidad de corriente en un río tropical de montaña (río Tota – Colombia); Ramírez A. y Y. Plata, realizaron un estudio en el 2008, para determinar las

diatomeas perifíticas en diferentes tramos de dos sistemas lóticos de alta montaña en el páramo de Santurbán y su relación con variables fisicoquímicas; Rodríguez en su trabajo de grado en el 2012, determinó el estado trófico de tres ecosistemas lénticos de la sabana de Bogotá con base al fitoplancton, en dos periodos climáticos contrastantes. En el mismo año Rodelo, K; Parra, A. determinaron la composición y abundancia de algas perifíticas del río Cesar asociado a variables fisicoquímicas e hidrológicas. A nivel regional en el año 2012 se inició un Macroproyecto por parte de la Universidad de Pamplona con el propósito de determinar microalgas en sistemas lagunares de Alta montaña; el primero de ellos se realizó en la Laguna El Salado del municipio de Chitagá, en el cual se determinó la relación entre las microalgas halladas con los factores fisico-químicos determinados (Roa *et al.*, 2014). Los anteriores estudios han contribuido al conocimiento de la biodiversidad nacional y regional, constituyendo un potencial para la utilización sostenible de los ecosistemas. El objetivo de este proyecto es continuar con el macroproyecto, realizando un inventario preliminar de microalgas nativas en la laguna Jaimes (ecosistema de alta montaña) del municipio de Silos y determinar la relación con aspectos ambientales para contribuir al conocimiento de la biodiversidad regional, como estrategia fundamental para su utilización y conservación.

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En la mayor parte de la cordillera Oriental sector sur de Silos y Mutiscua en Norte de Santander, y el sector de los Municipios de Guaca, Tona, Charta, Vetas, California y Suratá en Santander, el páramo propiamente dicho ha sido objeto de una explotación extensiva para pastoreo de vacunos y ovinos.

Esta práctica, junto con las quemas periódicas que le son propias, ha ocasionado una disminución de la diversidad florística del páramo y, sobre todo, la destrucción de las briofitas y las plantas macollosas, dando paso a comunidades más simples, conformadas especialmente por especies fotófilas y xerófilas. De igual forma los humedales ubicados en estas áreas como la laguna Jaimes en jurisdicción del Complejo Lagunar Antalá, perteneciente al Páramo de Santurbán, han sido objeto de este tipo de agresiones antrópicas, que probablemente han generado cambios en el ecosistema acuático, y por tanto en las comunidades nativas microalgales, pudiendo afectar las características propias de la misma. Por tanto, el estudio de la composición de las comunidades microalgales se asume como un indicador del estado trófico, así como un aporte al conocimiento de un área poco explorada.

Lo anterior llevó a la formulación de la pregunta biológica: **¿Las condiciones fisicoquímicas del agua, en la Laguna Jaimes afectan o se relacionan con la abundancia de géneros de microalgas?** por tanto el estudio está dirigido a la caracterización de los géneros microalgales existentes en la laguna Jaimes y la relación que tienen con los parámetros fisicoquímicos.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El proyecto planteado forma parte de un Macroproyecto de Caracterización de Microalgas nativas de Ecosistemas de alta Montaña del Departamento Norte de Santander (Roa *et al.*, 2014). Está dirigido a la caracterización preliminar de microalgas nativas de la Laguna Jaimes (Ecosistema de alta montaña) del municipio de Silos, Norte de Santander; ya que estos ecosistemas de alta montaña son susceptibles a la expansión de la frontera agrícola y los asentamientos humanos, lo que podría ocasionar la pérdida de los recursos hídricos y biológicos. Entre los recursos biológicos encontramos las microalgas que hacen parte del equilibrio energético, ya que son el primer escalón en la cadena trófica en los ambientes acuáticos, sirviendo como bioindicadores del estado de conservación.

La realización de este proyecto puede conducir a tener una visión más clara de cómo es el estado de estos cuerpos de agua, generando la información

necesaria para establecer con base en los géneros de microalgas encontrados el estado trófico y la relación con la composición fisicoquímica del cuerpo de agua.

Estas comunidades microalgales, no sólo son esenciales para determinar el estado trófico de los sistemas acuáticos, sino también pueden llegar a tener un papel fundamental en la industria alimenticia, producción de metabolitos, como también, en la producción de biocombustibles, lo cual, hace que el interés en el estudio de estas comunidades sea de mayor riqueza tanto a nivel científico, como a nivel ambiental y biotecnológico.

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Objetivo general

Realizar un inventario preliminar de microalgas nativas en la laguna Jaimes (ecosistema de alta montaña) del municipio de Silos y su relación con aspectos fisicoquímicos para contribuir al conocimiento de la biodiversidad regional, como estrategia fundamental para su utilización y conservación.

1.3.2 Objetivos específicos

1.3.2.1 Describir el ecosistema donde se ubica la Laguna Jaime para determinar los sitios de muestreo.

1.3.2.2 Caracterizar fisicoquímica y bacteriológicamente del cuerpo de agua léntica, de la laguna Jaimes (Silos)

1.3.2.3 Caracterizar morfológicamente las microalgas observadas para determinar las poblaciones predominantes

1.3.2.4 Evaluar la correlación entre las variables fisicoquímicas bacteriológicas y microalgas mediante métodos estadísticos multivariados.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 ECOSISTEMA DE ALTA MONTAÑA

Los ecosistemas de alta montaña se definen como aquellos que están por encima de los 3500 msnm, compuesto de pajonales, principalmente abierto y comprende la franja entre el bosque montano y el límite inferior de la nieve perpetua; este ecosistema presenta una gran biodiversidad y endemismo, pero desde el punto de vista ecológico es un ambiente frágil (Sklenár *et al.*, 2005).

En Colombia, la macrounidad reconocida como “la montaña alta” ha sido privilegiada tanto en su conceptualización y estudios realizados, como también ha sido motivo de valoración paisajística en relación con sus formaciones vegetales paramunas y del bosque de niebla, lagunas, volcanes, nevados, cimas rocosas y otros elementos que integran estos espacios. Según el IDEAM, la montaña alta también se considera como un espacio estratégico por el interés de la conservación de las formaciones vegetales, la regulación hídrica, el conocimiento de los impactos del cambio climático, ascenso de la frontera agrícola y también en el sentido estratégico para las comunicaciones y el dominio militar.

En el país hay aproximadamente 34 páramos localizados en las tres cordilleras y en la sierra nevada de Santa Marta, cubriendo un área de 14.434

km², equivalente a cerca del 1.3% de la extensión continental del país (Hotstede *et al.*, 2003), distribuidos en los siguientes departamentos: Santander, Norte de Santander, Boyacá, Cundinamarca, Arauca, Casanare, Meta, Huila, Caquetá, Antioquia, Tolima, Viejo Caldas, Valle, Nariño, Putumayo, Risaralda, Cesar, Guajira, Magdalena y Chocó (Morales *et al.*, 2007). En los departamentos de Santander y Norte de Santander se comparte el complejo de Páramo de Santurbán, este se ubica en la cordillera Oriental de los Andes Colombianos, en el que su sistema lagunario cuenta con un total de 40 lagunas, que proveen de agua a 48 municipios del país, siendo un sitio estratégico como reserva natural y zona de recarga y regulación de agua, clave para el desarrollo regional.

Las condiciones rigurosas en los ecosistemas de alta montaña hacen que los periodos de crecimiento en las poblaciones que habitan los lagos y lagunas, sean cortos y los valores de producción primaria bajos que determinan una notable simplificación de las comunidades (Morales, 1985).

Algunos de los componentes más importantes para establecer el estado de un ecosistema es determinar la calidad y composición del suelo, la condición fisicoquímica del agua y la presencia de organismos asociados a los diferentes microhábitats, que servirán como bioindicadores del grado de intensidad de la perturbación (Muhlhauser *et al.*, 1995; Quinn *et al.*, 2003) citado por (Noriega *et al.*, 2010). Por lo cual, el estado trófico de estos cuerpos de agua se determina

con base a los factores fisicoquímicos y a la abundancia y composición de las comunidades. Entre estas comunidades tenemos el fitoplancton que encontrándose en la base de la cadena trófica, demuestra que responde rápidamente a los diversos contaminantes que afectan los ciclos naturales y a cambios en las condiciones ambientales. Las microalgas son microorganismos fundamentales en la dinámica de estos cuerpos de agua, ya que influyen en gran parte en el ciclo de dióxido de carbono y son indispensables en la vida de los sistemas acuáticos (Delgadillo & Góngora, 2008) citado por (Rodríguez, 2012).

2.1.1 PÁRAMO DE SANTURBAN

El páramo de Santurbán está ubicado en la cordillera Oriental de los Andes Colombianos, conectado directamente con los complejos de Páramo Almorzadero, Cocuy, Pisba y Tota-Bijagual-Mamapacha, entre los departamentos de Santander y Norte de Santander; comprende una extensión de aproximadamente 142.000 hectáreas, entre los 2800 y 4290 m.s.n.m. Presenta un régimen pluviométrico unimodal, con un período de precipitación máxima de abril a noviembre y un período de menor precipitación de diciembre a marzo (IDEAM, 2005; IDEAM, 2006).

El páramo de Santurbán es considerado como zona estratégica de reserva natural y regulación de agua, posee una gran variedad de musgos, que forman un denso colchón de gran importancia para la regulación hídrica por lo que es una zona de recarga y retención de recurso hídrico superficial y subterráneo, abasteciendo a 48 municipios, 15 en Santander y 33 en Norte de Santander. Entre las principales especies de musgos se mencionan: *Sphagnum magellanicum*, *S. cuspidatum*, *S. oxyphyllum*, *S. cyclophyllum*, *Breutelia allionii*, *B. chrysea*, *Gongylanthus granatensis*, *G. innovans*, *Adelanthus linderbergianus*, *Anastrophyllum* sp., *Telaranea nematodes* y otros (CORPONOR, 2009). Cubre un área de 105.000 ha en Norte de Santander, que produce la mayoría de los aportes hídricos de la cuenca del río Zulia, que conforman la corriente principal del mismo (Molina *et al*, 2011-2012). Es además proveedor de agua para la central termoeléctrica Tasajero, para los acueductos de Cúcuta y su área metropolitana.

El paisaje está conformado por los espejos de agua cristalina que están contenidos, algunos entre afloramientos rocosos y otros en áreas más despejadas, exhibiendo una vegetación típica de pajonales y frailejones (EOT Silos, 2001). Se pueden apreciar en este lugar, algunas caídas naturales de agua así como una especie de frailejón endémico (*Espeletia santanderensis*) y avistamientos del cóndor de los Andes (*Vultur gryphus*) ave emblemática en

peligro de extinción (Rodríguez, Plan de Desarrollo Turístico de Norte de Santander. P1. 2012).

Según el EOT (Estrategia de Ordenamiento Territorial) Silos 2001, el sistema lagunar y las zonas aledañas se caracterizan por presentar las siguientes especies de la fauna (Tabla 1):

TABLA 1. Algunas especies de la fauna perteneciente al municipio de Silos.

NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN	RIESGO IUCN
<i>Didelphis albiventris</i>	Fara	(LC) Preocupación menor
<i>Didelphis marsupialis</i>	Fara	(LC) Preocupación menor
<i>Odocoileus virginianus</i>	Venado colablanca	(LC) Preocupación menor
<i>Nasua nasua</i>	Guache	(LC) Preocupación menor
<i>Conepatus semistriatus</i>	Zorrillo	(LC) Preocupación menor
<i>Mustela frenata</i>	Comadreja	(LC) Preocupación menor
<i>Mazama Rufina</i>	Venado locho	(VU) Vulnerable
<i>Agouti paca</i>	Guartinaja, lapa	(LC) Preocupación menor
<i>Agouti taczanowskii</i>	Guartinaja paramera	(NT) Casi amenazado

Fuente: Ficha técnica ruta del durazno y el agua. Universidad de Pamplona. 2012

2.1.2 ECOLOGIA DE LOS SISTEMAS ACUATICOS ASOCIADOS CON ECOSISTEMAS DE ALTA MONTAÑA

En estos ecosistemas podemos encontrar sistemas acuáticos; entre ellos los sistemas lénticos, que comprenden desde los lagos hasta los embalses. El área que ocupan estos sistemas en el planeta es relativamente pequeña en

comparación con el área cubierta tanto por los sistemas lóticos como por las masas continentales, sin embargo su importancia ecológica y así mismo económica, es mucho mayor que el área relativa ocupada (Barrett & Odum, 2006).

La importancia de este tipo de sistemas acuáticos es bastante relevante, ya que benefician a las sociedades de manera fundamental, puesto que (junto con los ríos), abastecen gran parte la necesidad hídrica que los seres humanos requieren para realizar labores domésticas e industriales (Barrett & Odum, 2006). Además, el agua en general es un recurso natural necesario para la vida y la supervivencia de cualquier organismo. Por tanto, los ecosistemas de alta montaña ofrecen el nacimiento de la mayoría de ríos y quebradas que recorren el territorio colombiano, siendo así que abastece de agua a la gran parte de localidades andinas; estos ecosistemas tienen características ecológicas particulares que, sumadas a su historia geológica reciente, las convierten en zonas de interés nacional.

2.2 LAS MICROALGAS

En el año 1887 Hensen, acuñó por primera vez el término plancton, con el fin de llamar a todas aquellas partículas que se mueven a merced de las aguas. Por sus componentes, esta comunidad planctónica se clasifica en fitoplancton y

zooplancton. El fitoplancton posee un gran grupo de organismos autótrofos, mayormente microscópicos.

El término microalga se introduce muy estrechamente con el desarrollo biotecnológico; refiriéndose a aquellos microorganismos unicelulares capaces de llevar a cabo la fotosíntesis, ya que poseen clorofila a y otros pigmentos fotosintéticos. En esta categoría quedan agrupadas tanto las cianobacterias (algas verde-azul) como las algas eucariotas (algas verdes, rojas y doradas) (Borowitzka, 1988).

Las microalgas son generalmente organismos fotoautótrofos, es decir, organismos que obtienen la luz proveniente del sol y se desarrollan a partir de materia inorgánica. Sin embargo, algunas especies de microalgas son capaces de crecer empleando la materia orgánica como fuente de energía o de carbono. Según esto, se dividen en:

- **Fotoautótrofa:** Las microalgas obtienen la energía del sol y el carbono de los compuestos inorgánicos.

- **Fotoheterótrofa:** Las microalgas obtienen la energía del sol y emplean compuestos orgánicos como fuentes de carbono.

- **Mixotrófica:** Muchas microalgas son capaces de crecer bajo procesos tanto autótrofos como heterótrofos de manera que la fuente de energía es tanto la luz como la materia orgánica, el carbono lo obtienen de compuestos orgánicos

y del CO₂. Un ejemplo de estas microalgas son la especie *Spirulina platensis* o la especie *Chlamydomonas reinhardtii*.

- **Heterótrofa:** Los compuestos orgánicos proveen tanto la energía como la fuente de carbono de estas microalgas. Por lo tanto, existen microalgas que pueden desarrollarse en ausencia de luz, un ejemplo es la especie *Chlorella protothecoides*

2.2.1 Clasificación taxonómica de las microalgas

Debido a su diversidad, las algas no son un grupo estrechamente relacionado. Por ello, se consideran parte de un número de divisiones (Bellinger *et al*, 2010). Entre ellas, con células procariotas se encuentran las Divisiones *Cyanophyta* (cianobacterias) y *Prochlorophyta* (proclorofitas), mientras que en eucariotas están las Divisiones *Chlorophyta* (clorofitas), *Euglenophyta* (euglenofitas), *Dynophyta* (dinoflagelados), *Cryptophyta* (criptofitas), *Heterokontophyta* (diatomeas, crisofitas, xantofitas y otras), *Prymnesiophyta* y *Raphidophyta* (Graham & Wilcox, 2000).

Según Ramírez & Viña, (1998). Los grupos de algas que predominan en los cuerpos de agua dulce tropicales pertenecen a las siguientes divisiones:

Bacillariophyta: Diatomeas, que presentan diversas formas y tamaños; la mayoría están asociadas con el perifiton y en consecuencia cuando se presentan en el plancton son señal inequívoca de muestras tomadas en aguas de alta turbulencia.

Chrysophyta: algas coloniales, unicelulares y flageladas. Se las asocia con ambientes oligotróficos.

Xantophyta: son coloniales o filamentosas y celulares. En Colombia su presencia es reducida.

Pyrrhophyta: son dinoflageladas; las especies pertenecientes a este grupo se encuentran cubiertas por placas de celulosa con prolongaciones llamativas; presentan flagelos, lo cual incide positivamente en su capacidad de movimiento.

Chlorophyta: son llamadas algas verdes por su “intenso brillo en los cloroplastos”; se pueden encontrar tanto formas coloniales como unicelulares. Miden entre 5 micrones y 1 milímetro y pueden ser móviles o inmóviles. Los estudios realizados las asocian con sistemas eutróficos.

Cyanophyta o algas verde-azules: debido a la ausencia de una membrana nuclear definida se consideran cianobacterias, que es la denominación más aceptada actualmente. Presentan desde formas coloniales hasta unicelulares. Algunas de estas especies fijan nitrógeno de la atmósfera, por lo cual muchos autores las asocian con aguas que presentan déficit de nitrógeno y alto contenido de fósforo.

Cryptophyta: son biflageladas, unicelulares y bastante comunes e importantes por sus hábitos mixotróficos; en zonas templadas son muy importantes en épocas de invierno.

Euglenophyta: morfológicamente pueden ser desnudas o lorigadas, flageladas y sus células son generalmente pequeñas. Además se consideran como indicadoras de aguas ricas en materia orgánica en descomposición, que generalmente se presenta en sistemas eutróficos (Ramírez & Viña, 1998).

2.2.2 Condiciones ambientales y nutricionales.

Las microalgas tienen la capacidad de crecer y hacer fotosíntesis con diferentes fuentes de nutrientes como las sales minerales, en condiciones autotróficas y sustancias orgánicas (como estiércoles y aguas residuales), en condiciones mixotróficas (Chinnasamy, 2010). Adicionalmente, algunas microalgas pueden crecer en condiciones heterotróficas, usando carbono orgánico en ausencia de luz (Xu *et al.*, 2006). Esta plasticidad metabólica les permite adaptarse a diferentes ecosistemas. Algunas de las condiciones más relevantes son:

- **Luz:** La intensidad lumínica es uno de los principales parámetros a considerar ya que, en ausencia de limitación por nutrientes, la fotosíntesis se incrementa con el aumento de la intensidad lumínica, hasta alcanzar la máxima

tasa de crecimiento específica para cada especie en el punto de saturación por luz (Park *et al.*, 2011)

- **Temperatura:** La producción algal aumenta proporcionalmente con la temperatura hasta alcanzar la temperatura óptima de cada especie. Por encima de esta, aumenta la respiración y la fotorrespiración reduce la productividad global. La temperatura óptima varía entre las especies, pero en general está entre 28° y 35°C (Park *et al.*, 2011).

- **pH y CO₂:** Cada especie necesita un rango determinado de pH que permita un crecimiento óptimo (Martínez, 2008), siendo pH 8 el más indicado para especies dulceacuícolas (Park *et al.*, 2011). Por encima o debajo de éste, presentan un descenso en la productividad, que no solo afecta el crecimiento algal, sino también la capacidad de remover el nitrógeno en sistemas de tratamientos de aguas (Park *et al.*, 2011). Se han realizado variados estudios sobre las capacidades de diferentes microalgas para la fijación de CO₂ desde diversas fuentes gaseosas, considerándose altamente eficientes en este proceso (Ho *et al.*, 2012).

- **Nutrientes:** El nitrógeno es el nutriente más importante para las microalgas (después del carbono) por lo que es un factor crítico para regular el contenido de lípidos de las microalgas.

El fósforo es fundamental en muchos procesos celulares, tales como la formación de ácidos nucleicos y transferencia de energía (Grobbelaar, 2004).

Aunque el contenido en fósforo de las microalgas es menor al 1%, la deficiencia en el ecosistema es una de las mayores limitaciones al crecimiento.

2.2.3. Microalgas como bioindicadores

El fitoplancton forma parte elemental en el mantenimiento funcional ecológico de los sistemas acuáticos, ya que, posee gran responsabilidad en las redes de alimentación, directa o indirectamente, a través de la producción primaria.

Además de suministrar alimento, el fitoplancton juega un papel central en el ciclo de nutrientes en los hábitats acuáticos. En los sistemas lénticos las microalgas y las macrófitas establecen los principales componentes autótrofos. Por tanto, los diferentes compuestos inorgánicos y los iones disueltos en el agua son captados por estas comunidades y convertidos en materia orgánica, la cual va a constituir la base de casi todas las comunidades presentes en todo el cuerpo de agua (Ramírez & Viña, 1998).

Las microalgas constituyen un bioindicador muy importante, debido a que presenta ciclos de vida cortos, reflejando fluctuaciones ambientales por lo que responden rápidamente a los cambios que pueden ocurrir en las masas de agua por procesos naturales o antrópicos (Ramírez, 2000; Pérez, 2002; Vásquez, Ariza & Pinilla, 2006; Jaanus, Toming, Hallfors, Kaljurand & Lips, 2009).

En los sistemas lénticos eutróficos, particularmente ricos en calcio, es común la presencia de *Eudorina* sp., *Pediastrum* sp., *Dictyosphaerium* sp., *Closterium* sp., *Scenedesmus* sp. y *Staurastrum* sp.; mientras que los oligotróficos pobres en calcio, presentan otro patrón poblacional y menor concentración de especies; en este caso puede detectarse un predominio de diatomeas como *Asterionella formosa*, *Melosira ambigua*, *Mallomonas* sp., *Peridinium* sp., *Ceratium* sp., *Ankistrodesmus* sp. y *Pediastrum duplex*, entre otras especies (Gómez, 2007).

2.2.4 Estado del arte

A continuación, se presentan los principales estudios que han contribuido a la estructuración del proyecto de investigación, en cuanto abordaje teórico y metodológico.

González y Mora, (1996). Analizaron muestras de fitoplancton, ticoplancton y perifiton provenientes de 17 lagunas de páramo; registraron 105 taxas de Desmidiás pertenecientes en mayor parte a los géneros *Cosmarium* spp., *Staurastrum* spp., *Closterium* spp. y *Stauroidesmus* spp. Los autores elaboraron claves de identificación, que fueron tenidas en cuenta para el estudio en cuestión.

López y Penalta, (2004). Realizaron muestreos en doce (12) ríos de España, desde diciembre de 2001 hasta noviembre de 2002; también se tomaron “in situ” medidas de temperatura, pH, conductividad y oxígeno disuelto en el agua para la obtención de algunos parámetros físico químicos. Se obtuvo un catálogo florístico incluyendo 126 taxones, de los cuales 26 son Cyanophyta, 3 Rhodophyta, 32 Heterokontophyta (2 *Chrysophyceae*, 4 *Xantophyceae*, y 26 *Bacillariophyceae*), 3 Euglenophyta y 62 Chlorophyta, 28 especies constituyeron nueva cita para la provincia de Orense y 20 para Galicia. Se toma como referencia en base a la metodología.

Vásquez *et al.*, (2004). Describieron el estado trófico de diez humedales del altiplano Cundiboyacense en el que determinaron que la mayoría de los humedales presentaron bajos contenidos de oxígeno, originados probablemente por la descarga de materia orgánica debido a la alta tasa de las comunidades microalgales; los géneros más abundantes de estas fueron *Microcystis* y *Scenedesmus*, y la presencia de las especies *Trachelomonas volvocina* y *Dactylococcopsis acicularis*, sirvieron como bioindicadores de los procesos de meso a eutrofia que presentan estos cuerpos de agua. Los autores aportan parte de la metodología por la toma de muestras.

Arcos y Gómez, (2006). Indagaron sobre la dinámica del ecosistema, dado el valor ecológico y socioeconómico que representa para la comunidad y

los impactos a los que ha sido sometido, a través de la estructura y descripción del proceso de colonización de las microalgas perifíticas.

Los tres estudios anteriores apoyan la importancia de la realización de los análisis físico-químicos y su influencia en las poblaciones microalgales.

Ramírez y Plata, (2008). Evaluaron la variación en la estructura de diatomeas perifíticas y su relación con la fluctuación pluviométrica e hidrológica y la influencia de algunas variables físicas y químicas del agua, en diferentes tramos de dos sistemas lóticos del páramo de Santurbán.

Por medio de un análisis de componentes principales se evaluó la variación ambiental y mediante una matriz de correlaciones se estableció la importancia de los factores ambientales en las especies registradas. Registraron así un total de 157 especies distribuidas en 16 familias y 30 géneros. Los géneros más diversos fueron *Nitzschia* sp. y *Eunotia* sp. El género *Eunotia* sp, es tolerante a pH ácido, y la polución orgánica favoreció el desarrollo de los géneros *Nitzschia* sp y *Navícula* sp. Seis especies reportaron una abundancia significativa: *Navícula tantula*, *Achnantheidium minutissimum*, *Achnantheidium lanceolatum*, *Gomphonema parvulum*, *Navícula cryptocephala* y *Gomphonema lagenula*. La conductividad, el potencial redox, el pH y el caudal fueron factores determinantes de la variación ambiental y de las diferencias en la estructura del

ensamblaje. Esta investigación realiza análisis estadísticos que apoyan la relación entre las poblaciones de microalgas y las variables físico-químicas, y que fueron abordados durante el trabajo de investigación.

No solamente, las especies nativas de microalgas son esenciales para determinar el estado trófico de los sistemas acuáticos, sino también pueden llegar a tener un papel fundamental en la industria alimenticia, producción de metabolitos, como también, en la producción de biocombustibles, lo cual, hace que el interés en el estudio de estas comunidades sea de mayor riqueza tanto en la comunidad consumista como la académica.

Como ejemplo: Serrano, (2012). Realizó un estudio de cuatro cepas nativas de microalgas para evaluar su potencial uso en la producción de biodiesel. Fueron utilizadas las cepas de microalgas nativas colombianas *Scenedesmus ovalternus*, *Chlorella vulgaris*, *Nannochloropsis* sp., *Isochrysis* sp., y *Botryococcus braunii*, obtenida de la Universidad de Texas, Estados Unidos. Las microalgas *Scenedesmus ovalternus* y *Chlorella vulgaris* presentaron las mayores productividades de lípidos con 18,8 y 18,7mg·L⁻¹·día⁻¹.

3. METODOLOGÍA

3.1 DESCRIPCIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO

Inicialmente se llevó a cabo una visita exploratoria a la Laguna Jaime, para determinar entre otros aspectos:

- Coordenadas de localización. La determinación de la altitud y latitud fue realizada mediante un equipo de GPS, modelo Garmin, el cual reportó el valor de estas variables en los diferentes puntos cardinales.

- Dimensiones de la laguna. Para la determinación del perímetro de la laguna se utilizó una cinta métrica. La profundidad fue medida mediante el uso de una vara de dos (2) metros y sumergida en distintos puntos de la laguna; se obtuvo medias aritméticas utilizando los distintos datos.

Adicionalmente se realizó un recorrido de la laguna y su entorno para realizar una descripción general del área. Donde se realizó una colecta manual de plantas a los alrededores de la laguna, estas fueron llevadas al Herbario Catatumbo-Sarare de la Universidad de Pamplona, para ser prensadas, secadas y identificación; de igual forma, se hizo con la fauna asociada a la laguna, las muestras se llevaron al Museo de Ciencia Natural Jose Celestino Mutis de la Universidad de Pamplona, por ultimo se relizó una recolecta de

macroinvertebrados asociados a este cuerpo de agua con ayuda de una red tipo D, haciendo un arrastre en un perímetro de 1 m en cada estación de referencia.

- Localización de las estaciones de referencia. Después de obtener las anteriores descripciones y con el propósito de acceder a muestras representativas, se ubicaron seis (6) estaciones de referencia para realizar las tomas de muestras: Seis (6) estaciones de referencia alrededor de la laguna.

3.2 TOMA DE MUESTRAS

Definidas las estaciones de referencia se procedió a realizar seis (6) muestreos, durante año y medio, cubriendo épocas de verano e invierno.

3.2.1 Muestras para análisis fisicoquímicos

Para la caracterización físico-química de la laguna se tomó una muestra a la salida de la misma. El agua recolectada fue depositada en recipiente plástico de dos puntos cinco (2,5) litros para realizar análisis de sólidos totales, alcalinidad, dureza, fosfatos, DBO (5 días), DQO, turbidez, nitritos, cloruros, sulfatos y color; en la laboratorio de Control y Calidad de la Universidad de Pamplona.

Utilizando el equipo multiparámetro modelo Milti 340i/set WTW se registraron in situ los siguientes parámetros: pH, temperatura, oxígeno disuelto y conductividad.

3.2.2 Muestras para análisis bacteriológicos

Para la determinación de la calidad bacteriológica del agua de la Laguna Jaimes se realizaron los análisis de Bacterias Coliformes Totales y Bacterias Coliformes Fecales por el método de Número más Probable de Coliformes, en caldo Lauril sulfato y Bilis verde Brillante. Se tomó la muestra del mismo punto utilizado para los análisis físico-químicos. El agua recolectada fue depositada en recipientes de vidrio esterilizados de un (1) litro.

3.2.3 Muestras para análisis de microalgas

Para la caracterización de microalgas se tomaron muestras en las seis (6) estaciones de referencia seleccionadas.

Se procedió a realizar un arrastre utilizando una malla de fitoplancton de 25 micras de poro, para filtrar un volumen de agua suficiente. Esta malla fue introducida y se procedió a realizar un arrastre horizontal. Posteriormente la muestra atrapada en las paredes de la malla se liberó mediante un lavado en

contracorriente. La muestra fue recolectada en dos (2) recipientes de plástico transparente de 600 ml con el fin de obtener una réplica de cada estación de referencia.

3.3 ANALISIS FISICO-QUIMICOS Y BACTERIOLOGICOS

Los métodos realizados para los análisis físico-químicos y bacteriológicos se muestran en el TABLA 2.

TABLA 2. Métodos realizados para los análisis físico-químicos y bacteriológicos

PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES
DQO	Dicromato potásico	mg/L
DBO ₅	Dilución	mg/L
pH	Electrométrico	Unidad de Ph
TEMPERATURA	Electrométrico	°C
OXIGENO DISUELTO	Electrométrico	O ₂
CONDUCTIVIDAD	Electrométrico	µs
TURBIDEZ	Nefelométrico	NTU
SOLIDOS TOTALES	Gravimétrico	mg/L
NITRITOS	Colorimétrico	mg/L NO ₂
FOSFATOS	Colorimétrico	mg/L PO ₄ ³⁻
COLOR	Espectofotométrico	Upt Co
CLORUROS	Argentométrico	mg/l
SULFATOS	Turbidimétrico	mg/l
ALCALINIDAD	Titulométrico	mg/L CaCO ₃
DUREZA	Titulométrico	mg/L
BACTERIAS COLIFORMES TOTALES	mediante la técnica Numero Más Probable, en caldo Lauril sulfato y Bilis verde Brillante	No. Bacterias/ ml
BACTERIAS COLIFORMES FECALES	mediante la técnica Numero Más Probable, en caldo Lauril sulfato y Bilis verde Brillante	No. Bacterias/ ml

3.4. ANALISIS DE MICROALGAS

- Observación microscópica.

Se realizaron observaciones microscópicas de cada una de las muestras tomadas en las seis (6) estaciones.

Se determinaron las microalgas presentes y la clasificación en géneros teniendo en cuenta las claves morfológicas de la literatura consultada. (Parra *et al.*, 1982, Barreno *et al.*, 2003) y consultas en las páginas Web de bases de Datos: *AlgaeBase*, *DIATOMS of the United States*, y *Jardín Botánico de Berlín*

Adicionalmente se realizaron recuentos en cámara de Neubauer para estimar el porcentaje de géneros presentes y la densidad celular. Las muestras fueron mezcladas suavemente por inversión veinte (20) veces para lograr la homogenización de la muestra y posteriormente se transfirió una muestra utilizando una pipeta Pasteur.

3.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Para el análisis de la información se realizó preliminarmente una exploración de los datos con estadística descriptiva. Se utilizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para establecer patrones físicos y químicos a partir de las variables cuantificadas en campo y laboratorio. Además, se aplicó un Análisis de Correlación Canónico (ACC) para buscar un subespacio que

muestre la correlación entre las variables físico-químicas y las microalgas encontradas en la Laguna en estudio. Para todo efecto el nivel de significancia fue del 5%. De igual forma, se realizó un análisis de cluster para observar la variación u homogeneidad que presenta la laguna Jaimes con respecto a sus estaciones de referencia. (Johnson, 1998), cuya representación gráfica es a través de dendograma. Los Software estadísticos utilizados fueron: SPSS 23, Xlstat, Past 3 y CANOCO 4.5.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta fase se revisó, ordenó e interpretó la información recolectada durante la investigación. Los datos fueron recogidos a través de seis muestreos realizados en diferentes momentos en la laguna Jaimes municipio de Silos, durante los años 2014 y 2015, en donde se encontraron tres grupos de variables de tipo cuantitativo. El primer grupo corresponde a las variables fisicoquímicas de la laguna en mención. El segundo grupo corresponde aproximadamente a 30 géneros de microalgas identificadas y el tercer grupo lo representa dos variables bacteriológicas, Bacterias coliformes totales (BCT) y Bacterias coliformes fecales (BCF). Con el fin, de dar cumplimiento a cada uno de los objetivos específicos y para una mayor comprensión de los resultados, se comienza describiendo el objeto de estudio, y posteriormente, se presentan los resultados de los métodos estadísticos para establecer la correlación entre las variables tomadas en la Laguna Jaimes y anteriormente mencionadas.

4.1 DESCRIPCIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO

En los siguientes ítems se hace un recuento general del sector donde se encuentra la “laguna Jaimes” objeto de estudio, en cuanto a altitud, longitud,

flora, fauna y en general las variables fisicoquímicas y bacteriológicas de la misma.

4.1.1 Descripción del ecosistema

El municipio donde se encuentra la laguna Jaimes, es llamado Santo Domingo de Silos, también conocido como Silos, situado en el departamento de Norte de Santander, al nordeste del país. Dista 123 km de la capital departamental, Cúcuta. Limita al norte con Mutiscua y Cácuta, al este con Chitagá y al oeste y por el sur con el departamento de Santander. Una gran parte del municipio (más que 20 mil hectáreas) forma parte del Páramo de Santurbán, fuente hídrica para Santander y Norte de Santander, a través del complejo lagunar de Antalá, lugar donde se encuentra la laguna, y donde fueron tomadas las muestras para sus correspondientes análisis.

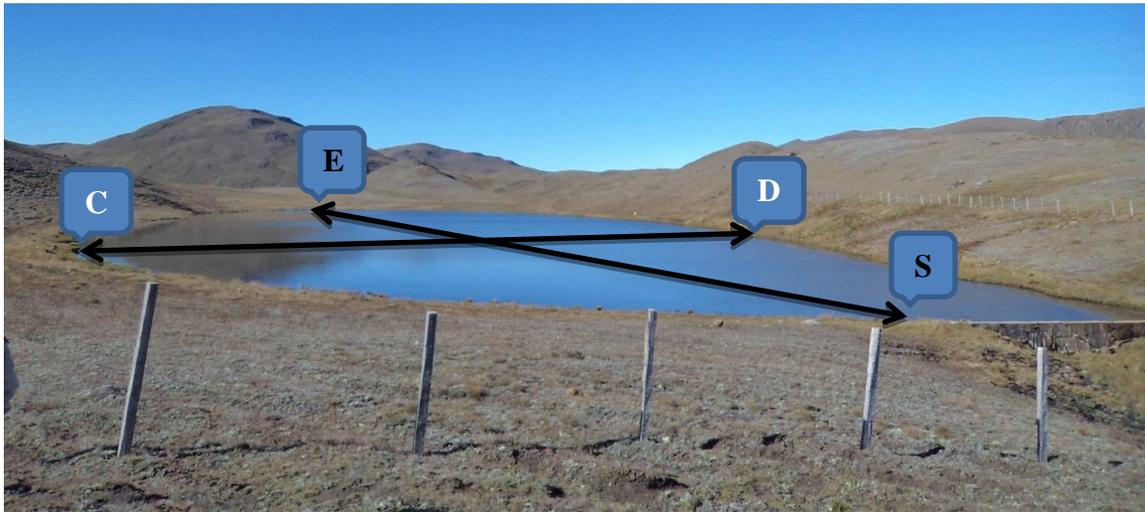
En la vereda Antalá del municipio de Silos, Norte de Santander, se encuentra la Laguna Jaimes, perteneciente al complejo lagunar Antalá y al páramo Santurbán (Figura 1). Se encuentra demarcada por las siguientes coordenadas: 7°-5'-3.0"N 72°-48'-46.6"O altitud 3764 msnm/ 7°5'6.8"N 72°48'46.8"O altitud 3760 msnm/ 7°5'10.6"N 72°48'47.5"O altitud 3760 msnm/ 7°5'11.3"N 72°48'49.8"O altitud 3766 msnm/ 7°5'8.6"N 72°48'50.3"O altitud 3764 msnm/ 7°5'4.0"N 72°48'50.5"O altitud 3764 msnm. Con una temperatura promedio de 10 a 21°C., con una longitud de 376 m de largo (de entrada, a

salida) a 118,59 m de ancho en su centro (Figura 2). A continuación, se presenta la figura de la laguna en mención.



Fuente: Carrillo S., Katty. Técnica digital

FIGURA 1. Ubicación del municipio de Silos en el departamento Norte de Santander (centro). Localización de la Laguna Jaime en el municipio de Silos (derecha)



Fuente: Carrillo S., Katty. Técnica digital. Laguna Jaimes.

FIGURA 2. Dimensiones de la Laguna Jaimes, donde el punto E muestra la entrada a la laguna, el punto S la salida y los puntos C y D el ancho de la laguna. Longitud punto E a S: 376 m. Longitud punto C a D: 118.59 m.

4.1.2 Descripción de la flora

El terreno en torno a la laguna principalmente es una región de páramo, con poca vegetación, predominancia de gramíneas (pajonales) dedicados al pastoreo de herbívoros como vacas (*Bos primigenius taurus*), cabras (*Capra aegagrus hircus*), caballos (*Equus ferus caballus*), y para cultivos como es el caso de papa (*Solanum tuberosum*) y cebolla en rama (*Allium fistulosum*). También se observan algunas especies como lo son *Calamagrostis densiflora*, *Herbertus subdentatus*, *Ranunculus limoselloides*, *Ranunculus peruvianus*, *Eleocharis acicularis*, *Plantago lanceolata*, *Galium hypocarpium*, *Halenia caespitosa*, *Sisyrinchium tinctorium*, *Stachys eriantha*.

En los alrededores de la laguna Jaimes se apreciaron 40 especies distribuidas en 18 familias, destacándose la Asteraceae con 7 especies, entre ellas *Espeletia estanislana*, Cuatrecasas. Reportándose en la categoría En Peligro para el Libro Rojo de Plantas de Colombia (Calderón, E., G. Galeano & N. García, 2005). Exclusiva de los complejos de páramo Jurisdicciones-Santurbán y Almorzadero. En el caso de *Espeletia caldasii* es endémica del páramo de Santurbán (Hernández, 2013).

A continuación, se muestran algunas de las especies observadas (Ver Figura 3 a la 17).



Fuente: Carrillo S., Katty. Técnica digital. Laguna Jaimes. Universidad de Pamplona

FIGURA 3. *Aciachne acicularis*

Aciachne es un género de plantas de la familia de las Poaceae, originaria de Sudamérica. Son plantas perennes bajas, acojinadas punzantes, densamente cespitosas. Vainas densamente traslapadas, brillantes, 5-nervias, los márgenes

hialinos; lígula una membrana rígida, erecta; láminas lineares, plegadas, punzantes. Inflorescencia una espiga corta de 1-3 espiguillas, en su mayor parte escondidas. Espiguillas teretes, glabras, con 1 flósculo bisexual; desarticulación arriba de las glumas; glumas más cortas que el flósculo, iguales, obtusas, rígidas, 3-5-nervias; lema terete, endurecida, convoluta, 3-nervia, rostrada, sin corona, los márgenes traslapados; pálea más corta que la lema, 2-nervia, ecarinada; callo truncado, glabro; lodículas 3, dimorfas; estambres 3; estilos 2. Fruto una cariopsis; hilo punteado (Laegaard, 2003).



Fuente: Carrillo S., Katty. Técnica digital. Laguna Jaimes. Universidad de Pamplona

FIGURA 4. *Jamesoniella* sp.

Jamesoniella es un género de hepática de la familia Jamesoniellaceae; esta familia se caracteriza por que las hojas son superpuestas, sin lóbulos y nunca decurrentes a lo largo del tallo. El perianto es terminal en el vástago principal. Los rizoides se encuentran dispersos a lo largo del tallo.

Espeletia es un género de la familia Asteraceae, nativas de Colombia, Venezuela y Ecuador. Las especies pertenecientes a este género forman una parte importante de la ecología y la biodiversidad de los páramos de Colombia y Venezuela. (Hind & Jeffrey, 2001)



Fuente: Carrillo S., Katty. Técnica digital. Laguna Jaimes. Universidad de Pamplona

FIGURA 5. *Espeletia estansislana*

Espeletia estansislana es una especie exclusiva de los páramos Jurisdicciones-Santurbán y Almorzadero. En cuanto a *Espeletia caldasii* es exclusiva (endémica) del páramo Jurisdicciones-Santurbán (Hernández, M., 2013)



Fuente: Carrillo S., Katty. Técnica digital. Laguna Jaimes. Universidad de Pamplona

FIGURA 6. *Espeletia caldasii*

Espeletia caldasii se caracteriza por poseer una sinflorescencia reducida a un escapo terminado por un solo capítulo. Corolas del disco con lóbulos glabros. Lámina foliar 4-6 cm x 3- 9 mm (Cuatrecasas, 1996)



Fuente: Carrillo S., Katty. Técnica digital. Laguna Jaimes. Universidad de Pamplona

FIGURA 7. *Agrostis toluensis*

Agrostis tolucensis es una especie de la familia Poaceae. Se caracteriza por ser una planta perenne; caespitose; agrupados densamente. Sin ramas laterales. Hojas basales en su mayoría. Las vainas foliares suaves; Glabras en la superficie. Hojas erguidas; filiformes de 5-10 cm de largo; 0,7-1 mm de ancho. Superficie de la hoja nervada (Clayton *et al.*, 2012).



Fuente: Carrillo S., Katty. Técnica digital. Laguna Jaimes. Universidad de Pamplona

FIGURA 8. *Ranunculus limoselloides*

Ranunculus limoselloides se caracteriza por poseer hojas muy pequeñas, glabras y elípticas con pecíolo muy largo. (Vargas, 2002)



Fuente: Carrillo S., Katty. Técnica digital. Laguna Jaimes. Universidad de Pamplona

FIGURA 9. *Alopecurus* sp.

Alopecurus es un género de plantas herbáceas perteneciente a la familia de las poáceas, con alrededor de 25 especies (Watson & Dallwitz, 2008). Se dan en regiones templadas del norte. Pueden ser anuales o perennes. Crecen formando penachos. Poseen hojas planas con lígulas romas, las inflorescencias son densas panículas terminadas en una espiga floral. Algunas de ellas se consideran malas hierbas, mientras que otras se usan en decoraciones florales, para ramos y flores secas.



Fuente: Carrillo S., Katty. Técnica digital. Laguna Jaimes. Universidad de Pamplona

FIGURA 10. *Muhlenbergia* sp.

Muhlenbergia es un género de plantas herbáceas perteneciente a la familia Poaceae (Watson & Dallwitz, 2008). Es originario de Himalaya a Japón, y de América del Norte a los Andes.



Fuente: Carrillo S., Katty. Técnica digital. Laguna Jaimes. Universidad de Pamplona

FIGURA 11. *Castilleja integrifolia*

Castilleja integrifolia, es una planta perenne de 30 centímetros hasta 1 metro de altura. Los tallos son muy ramificados. Las inflorescencias, como con otras especies del género *Castilleja*, tienen una serie de brácteas dispuestas en racimos, en colores brillantes entre rojo y anaranjado; las flores son delgadas y amarillas (Villers *et al.*, 2006). Su rango altitudinal oscila entre los 3000-3900 m.s.n.m. En Colombia se distribuye en la Cordillera Oriental.



Fuente: Carrillo S., Katty. Técnica digital. Laguna Jaimes. Universidad de Pamplona

FIGURA 12. *Lachemilla* sp.

El género *Lachemilla* comprende cerca de 30 especies de las altas montañas de Centro y Sudamérica. Es uno de los elementos característicos de la vegetación de páramo y superpáramo, con algunos taxa en el prepáramo o en el margen de los bosques altiandinos. Su importancia principal es de tipo ecológica, pues tiene representantes en casi todas las sociaciones parameras (Gaviria, 1997).



Fuente: Carrillo S., Katty. Técnica digital. Laguna Jaimes. Universidad de Pamplona

FIGURA 13. *Taraxacum officinale*

Taraxacum officinale, también conocida como diente de león, es una especie de la familia de las asteráceas. Hierba perenne con un tamaño que oscila entre 10 a 50 cm de alto. Escapo uno o varios, erecto, hueco, sin brácteas, glabro a lanoso, llevando una sola cabezuela. Con hojas arrosetadas en la base, oblongas a oblanceoladas en contorno general, de 2 a 40 cm de largo, más o menos profundamente divididas, glabras a algo pubescentes. (Espinosa & Sarukhán, 1997; Rzedowski & Rzedowski, 2001)



Fuente: Sierra L. J.A., Técnica digital. Laguna Jaimes. Universidad de Pamplona

FIGURA 14. *Gentiana sedifolia*

Gentiana sedifolia, se caracteriza por ser hierbas pequeñas, que miden hasta 4 cm de alto. Las hojas son opuestas, miden hasta 0,7 cm de largo, son lanceoladas y estrechas. Las flores son solitarias, erguidas, miden alrededor de 10 mm de diámetro, con forma de embudo, de color azul pálido o violeta, con puntos morados hacia el centro y con la garganta amarilla, raras veces de color blanco o amarillo pálido.



Fuente: Sierra L. J.A., Técnica digital. Laguna Jaimes. Universidad de Pamplona

FIGURA 15. *Bidens andicola*

Bidens es un género con alrededor de 200 especies perteneciente a la familia Asteraceae. Son hierbas anuales, trepadoras ligeramente leñosas o arbustos débiles; tallos variadamente angulados. Hojas opuestas en la parte inferior, a veces volviéndose alternas en la superior (Tropicos.org, 2016).



Fuente: Sierra L. J.A., Técnica digital. Laguna Jaimes. Universidad de Pamplona

FIGURA 16. *Xenophyllum humile*

Xenophyllum es un género perteneciente a la familia de las asteráceas. Comprende 21 especies descritas y aceptadas.



Fuente: Sierra L. J.A., Técnica digital. Laguna Jaimes. Universidad de Pamplona

FIGURA 17. *Senecio formosus*

Senecio es un género de la familia de las Asteraceae. Comprende un amplio número de subgéneros y especies. Se caracteriza por ser hierbas anuales, bienales o perennes. Con hojas enteras a pinnatisectas; las basales pecioladas, las caulinares sentadas. Capítulos reunidos en inflorescencias corimbosas, rara vez solitarios. Aquenios subcilíndricos, con costillas longitudinales, generalmente cubiertos con pelos o cerdas rígidas y agudas. Vilano formado por pelos algo ásperos (Blanca G. *et al.*, 2011).

4.1.3 Descripción de la fauna

En la zona aledaña a la laguna se observó (ver de la figura 18 a la 21) la siguiente fauna:



Fuente: Carrillo S., K.J. Técnica digital. Laguna Jaimes. Universidad de Pamplona

FIGURA 18. *Pristimantis nicefori*

Pristimantis nicefori Cochran y Goin 1970 con una distribución que abarca cinco complejos de páramos en Boyacá, Norte de Santander y Santander entre 2770-4170 (Lynch 1994, Ruiz-Carranza *et al.*, 1996, Acosta-Galvis 2000, Ardila-Robayo & Acosta-Galvis 2000, Bernal & Lynch 2008)

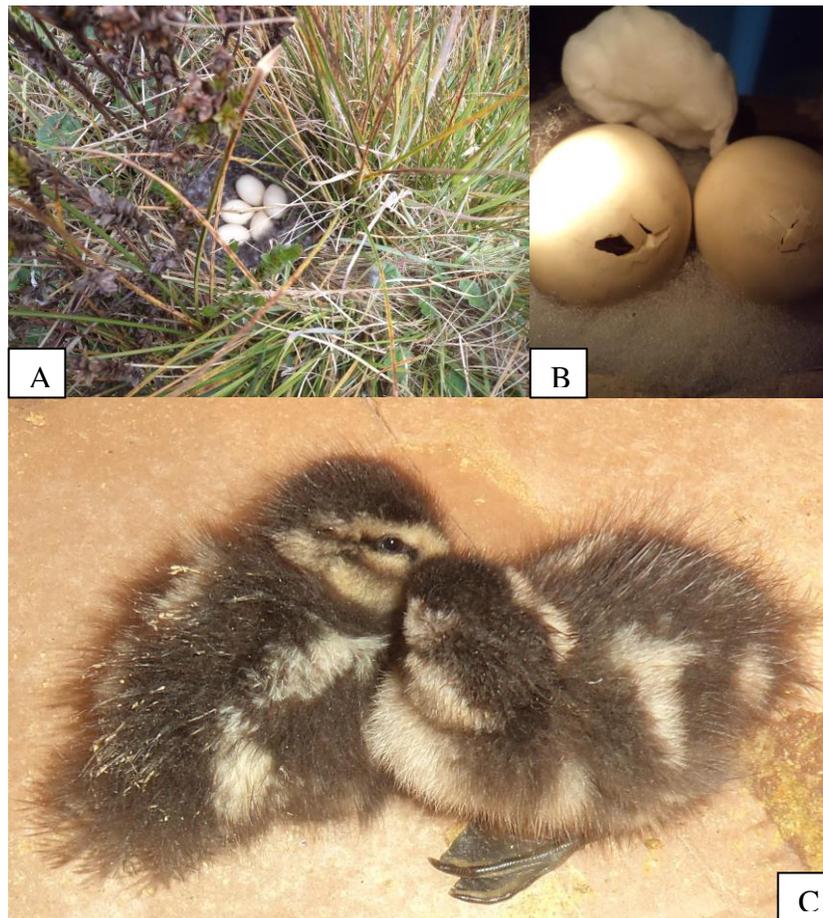


Fuente: Carrillo S., K.J. Técnica digital. Laguna Jaimes. Universidad de Pamplona

FIGURA 19. *Stenocercus trachycephalus*.

El género *Stenocercus* representan uno de los grupos de reptiles con una amplia distribución geográfica y ecológica en Sudamérica. Actualmente, este género está compuesto por 61 especies que se distribuyen principalmente sobre la cordillera de los Andes y tierras bajas (0–4000 m), desde el norte de Venezuela y Colombia hasta el centro de Argentina (Torres-Carvajal, 2007). Por

lo que ocupan una gran variedad de hábitats, tales como bosques secos, bosques húmedos y páramo.



Fuente: Carrillo S., K.J. Técnica digital. Laguna Jaimes. Universidad de Pamplona

FIGURA 20. *Anas* sp. A. Nido; B. Incubación; C. Polluelos.

Anas es un género de aves anseriformes de la familia Anatidae, el más nutrido en especies de la familia. Incluye 39 especies de patos, cercetas y silbones, que habitan en agua dulce y, por lo general, sólo sumergen la cabeza y el cuello en busca de alimento: no se zambullen ni nadan por debajo de la superficie, por lo que también son llamados “los patos de superficie”. Habita en

ambientes acuáticos en general, lagos y lagunas de agua dulce, salobre y salada. Ocupa hábitats desde el nivel del mar hasta los 4400 metros de elevación.



Fuente: Sierra L. J.A., Técnica digital. Laguna Jaimes. Universidad de Pamplona

FIGURA 21. *Oryzomys* sp.

4.1.4 Descripción de macroinvertebrados

En 1970, fue establecido en Inglaterra el Biological Monitoring Working Party (BMWP), como un método sencillo para evaluar la calidad del agua con el uso de macroinvertebrados como bioindicadores. Este método solo requiere llegar a nivel de familia y los datos son cualitativos (presencia o ausencia). El puntaje va de 1 a 10 según la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación

orgánica; donde, las familias más sensibles reciben un puntaje de 10 y las más tolerantes a la contaminación reciben una puntuación de 1 (Roldan, 2003).

Roldan en el 2001 ajusto este método para Colombia, por lo que se hizo un pequeño muestreo con el uso de una red-D para determinar el BMWP/Col. (Tabla 3) en la Laguna Jaimes. Observándose doce (12) especies distribuidas en once (11) familias. (Figuras de la 22 a 33)

TABLA 3. Puntaje de las familias observadas en la Laguna Jaimes de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col.

<i>Familias</i>	<i>Puntajes</i>
Dytiscidae (<i>Thermonectus</i> sp.)	9
Dytiscidae (<i>Rhantus</i> sp.)	9
Lestidae (<i>Lestes</i> sp.)	8
Planariidae	7
Hyaellidae	7
Corixidae	7
Aeshnidae (<i>Aeshna</i> sp.)	6
Lymnaeidae (<i>Lymnaea</i> sp.)	4
Glossiphonidae	3
Ceratopogonidae (<i>Atrichogon</i> sp.)	3
Chironomidae (<i>Chironomus</i> sp.)	2
Tubificidae	1
Puntaje total BMWP/Col.	66

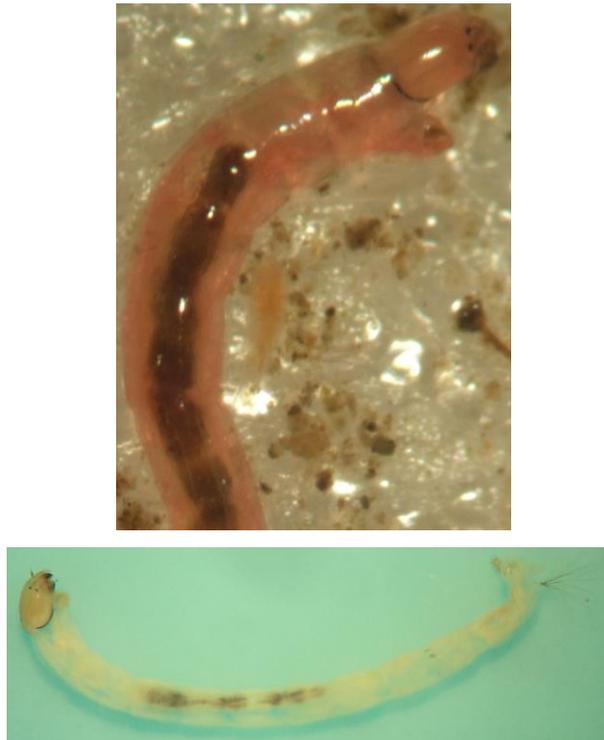
En la TABLA 3 se observan las familias presentes en la Laguna Jaime y los puntajes dados por el método BMWP/Col. donde el total es de 66, colocando a la laguna en indicios de contaminación.



Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laguna Jaime. Universidad de Pamplona

FIGURA 22. Macroinvertebrado Tubificidae

Oligoquetos de tamaño pequeño a largo, de apariencia rojiza, se los encuentra en sedimentos marinos y agua dulce, pero son más comunes en la profundidad de sedimentos de agua dulce. Reproducción asexual poco frecuente, nunca forman cadenas de individuos. Espermateca (si está presente) en el segmento X, poro del macho en el segmento XI. Usualmente miden más de 25mm, sin ojos. Setas ventrales comúnmente bífidas (Macrofauna, 2009)



Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laguna Jaime. Universidad de Pamplona

FIGURA 23. Macroinvertebrado *Chironomus* sp.

Chironomus es un género de mosquitos de la subfamilia Chironominae. Las larvas de las especies habitan en zonas profundas donde pueden alcanzar densidades relativamente altas. Utilizan una combinación de proteínas similares a la hemoglobina y movimientos ondulatorios en sus madrigueras para obtener oxígeno en hábitats mal oxigenados (Panis *et al.*, 1995).



Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laguna Jaime. Universidad de Pamplona

FIGURA 24. Macroinvertebrado *Atrichopogon* sp.

Atrichopogon es un género de moscas pequeñas en la familia Ceratopogonidae. Algunas especies de *Atrichopogon* son ectoparásitos sobre los insectos más grandes.



Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laguna Jaime. Universidad de Pamplona

FIGURA 25. Macroinvertebrado Glossiphoniidae

La familia Glossiphoniidae es un grupo diverso con representantes hallados en hábitats de agua dulce en todos los continentes, excepto en la Antártida. Se caracteriza por la presencia de una probóscide para alimentarse de la sangre de vertebrados o la hemolinfa de invertebrados. Sin embargo, en los sistemas de

agua dulce, las especies que se alimentan de vertebrados están limitadas en número de especies y en abundancia absoluta se alimentan de invertebrados (Klemm, 1972, 1977, 1982, 1991, Sawyer, 1986).



Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laguna Jaime. Universidad de Pamplona

FIGURA 26. Macroinvertebrado *Lymnaea* sp.

Lymnaea es un género de pequeños caracoles de agua dulce, de la familia Lymnaeidae (Bouchet & Rosenberg, 2013). Algunas especies se utilizan en la acuicultura bajo el nombre de caracoles Melantho.



Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laguna Jaime. Universidad de Pamplona

FIGURA 27. Macroinvertebrado *Aeshna* sp.

Aeshna es un género de odonatos anisópteros de la familia Aeshnidae. Son libélulas relativamente grandes. El tórax y el abdomen son de color marrón con franjas o manchas comúnmente azules, verdes o amarillas (Corbet, 1999).



Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laguna Jaime. Universidad de Pamplona

FIGURA 28. Macroinvertebrado *Hyaletta* sp.

Los anfípodos son un orden de crustáceos macroscópicos, muchos de ellos marinos y otros de agua dulce. Tienen diversos hábitos alimenticios pudiendo ser herbívoros, detritívoros, carnívoros u omnívoros (Väinölä *et al.*, 2008). Esta situación implica que los anfípodos tengan un rol clave como descomponedores de materia orgánica, y como presas para aves, peces, y macroinvertebrados, por ejemplo insectos (Jara *et al.*, 2006).

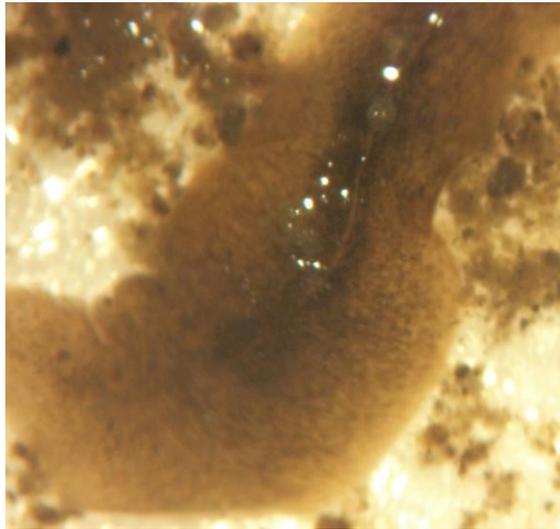


Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laguna Jaime. Universidad de Pamplona

FIGURA 29. Macroinvertebrado Corixidae

Corixidae es una familia de acuáticos insectos del orden Hemiptera que habitan en estanques y corrientes de movimiento lento, en el que nadan cerca del fondo. Hay alrededor de 500 especies conocidas en todo el mundo, en 33 géneros, incluyendo el género *Fuma*. Generalmente tienen un largo cuerpo aplanado de hasta 13 milímetros de largo y tienen estrias muy finas de color marrón oscuro o negro marcando las alas. Tienen cuatro patas traseras largas y

dos delanteras cortas. Las patas traseras están cubiertas con pelos y en forma de remos, de ahí el nombre de "barquero de agua". Sus cuatro patas posteriores tienen tarsos en forma de cucharón o en forma de remo para ayudar a nadar.



Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laguna Jaime. Universidad de Pamplona

FIGURA 30. Macroinvertebrado Planariidae

Platelmintos no parásitos de la familia Planariidae, pertenecientes al orden Seriata. Comunes en muchas partes del mundo, viviendo tanto en lagos como ríos de agua salada y de agua dulce.



Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laguna Jaime. Universidad de Pamplona

FIGURA 31. Macroinvertebrado *Lestes* sp.

Lestes es un género de la familia Lestidae. La familia sostiene sus alas en aproximadamente 45 grados al cuerpo al descansar. Esto los distingue de la mayoría de odonatas que sostienen las alas a lo largo, y paralelo al cuerpo cuando está en reposo.



Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laguna Jaime. Universidad de Pamplona

FIGURA 32. Macroinvertebrado *Thermonectus* sp.

Thermonectus, es un género de coleópteros adéfagos perteneciente a la familia Dytiscidae. Caminan, corren, vuelan, nadan y bucean gracias a su cuerpo hidrodinámico y a sus dos pares de alas, unas blandas y otras duras, entre las cuales almacenan una provisión de aire que les permite respirar bajo el agua (Goodhue, 1981).



Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laguna Jaimes. Universidad de Pamplona

FIGURA 33. Macroinvertebrado *Rhantus* sp. (Larva)

Rhantus es un género de escarabajo de la familia Dytiscidae. Hay alrededor de 100 especies distribuidas en todo el mundo. A menudo viven en hábitats pantanosos (Alarie *et al.*, 2009). Varias especies han colonizado las islas oceánicas y convertirse en especies endémicas.

Los Macroinvertebrados acuáticos son considerados bioindicadores de la calidad del agua ya que la presencia o ausencia de cierto tipo de organismos indica las variaciones de las condiciones fisicoquímicas del ecosistema acuático.

4.1.5 Estaciones de referencia

Se realizó un reconocimiento previo al entorno de la laguna con el fin de hacer una descripción general, se decidió tomar seis estaciones con el propósito de acceder a muestras representativas; la ubicación se muestra en la Figura 33 y la tabla 4.

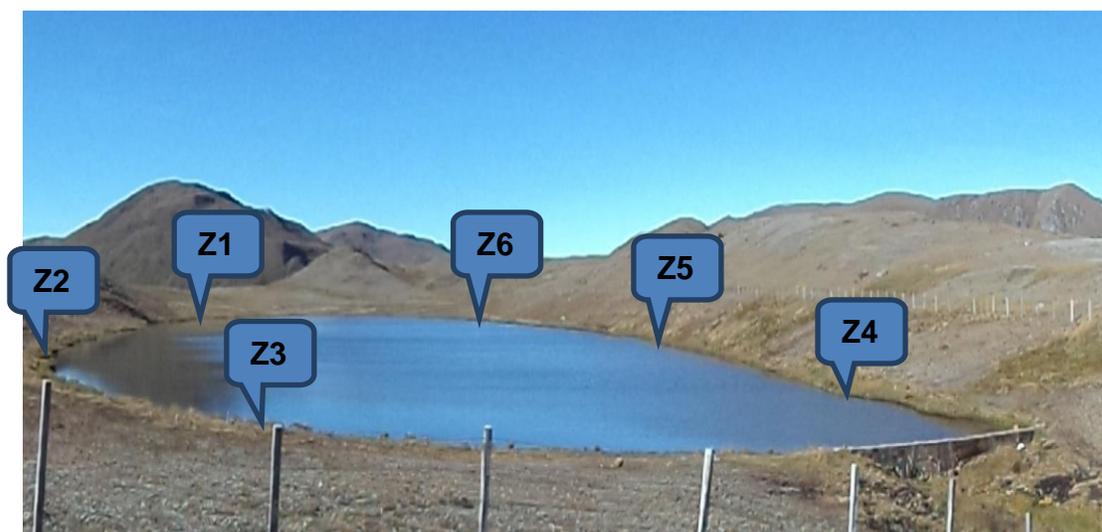


FIGURA 34. Localización las seis (6) estaciones de referencia, se le asigna la letra Z a cada estación de referencia y el número correspondiente.

TABLA 4. Coordenadas de las estaciones de Referencia

ESTACIÓN DE REFERENCIA	COORDENADAS
1	7°-5' - 3.0''N / 72°- 48' - 46.6''O. 3764 msnm
2	7°-5' - 6.8''N / 72°-48' - 46.6''O. 3760 msnm
3	7°-5' - 10.6''N / 72° -48' - 47.5''O. 3760 msnm
4	7°-5' - 11.3''N / 72°- 48' - 49.8''O. 3766 msnm
5	7°-5' - 8.6''N / 72°- 48' - 50.3''O. 3764 msnm
6	7°-5' - 4.0''N / 72° -48' - 50.5''O. 3764 msnm

4.2 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS

A continuación se presentan mediante tablas, los resultados de los análisis físico-químicos y bacteriológicos, a fin de dar cumplimiento al objetivo numero dos (2).

TABLA 5. Valores de los análisis físico-químicos registrados durante las seis (6) salidas de campo

Variables	Valores de las variables fisicoquímicas de las salidas de campo						Valores centrales	Desviación estándar
	1	2	3	4	5	6		
DBO ₅ (mg/l)	10,2	16,2	19,5	50	23,5	19,5	Mediana 19,5	13,9
DQO (mg/l)	17	28	39	105	47	39	Mediana 39	30,8
OXIGENO DISUELTO (O ₂)	7,5	10,8	8,7	5,1	8,4	6,3	Media 7,8	2,0
CONDUCTIVIDAD (μS)	73,9	97	88,3	94	95	98	Media 91	9,0
TURBIDEZ (NTU)	8,4	5,2	11,4	8,7	8,6	5,2	Media 7,9	2,4
SOLIDOS TOTALES (mg/l)	36	190	203	40	117	97	Mediana 107	71,5
pH (Unidades de pH)	7,9	8,4	7,5	7,1	7,9	7,9	Media 7,8	0,4
TEMPERATURA (°C)	11,4	11,7	15,5	15,7	11,8	12,6	Media 13,1	2,0
NITRITOS (mg/l NO ₂)	0,003	0,005	0,015	0,003	0,005	0,005	Media 0,006	0,005
FOSFATOS (mg/l 30,8PO ₄ ³⁻)	0,2	2,0	2,4	3,5	2,0	2,0	Mediana 2,0	1,0
ALCALINIDAD (mg/l CaCO ₃)	46	54	65	35	50	41	Media 48,5	10,5
DUREZA (mg/l CaCO ₃)	100,1	60	30	28,2	39,4	31,5	Mediana 35,5	28,0
CLORUROS (mg/l)	2,5	1,1	3,9	2,5	2,4	2,5	Media 2,5	0,9
SULFATOS (mg/l)	2	8	1	12	5	5	Mediana 5	4
COLOR (Upt Co)	47	47	54	40	37	45	Media 45	6
BACTERIAS COLIFORMES TOTALES	1600	1100	2100	1600	1300	1600	Mediana 1600	339,1
BACTERIAS COLIFORMES FECALES	1100	1100	500	1100	800	500	Mediana 950	295

En la Tabla 5 se muestra el comportamiento de las variables registradas durante un lapso de año y medio, en épocas secas como lo fueron los muestreos 2, 3 y 6; y de lluvia los muestreos 1, 4 y 5.

Debido a la variación observada en algunos indicadores se recurre a tomar la mediana.

Entre las variables más relevantes está el DQO, con un valor de la mediana de 39 mg/L y el valor de la mediana de DBO_5 en la laguna fue de 19,5 mg/L, ubicando a la laguna Jaimes dentro de un sistema aceptable, con indicio de contaminación, según la escala de clasificación de calidad de agua de Abarca, F. J. & M. Herzig, 2002; un rango mayor de 20 mg/L y menor o igual a 40 mg/L en el DQO entra en un criterio aceptable y para la DBO_5 el rango va de 6mg/L y menor o igual a 30 mg/L (TABLA 6 y 7). Por otra parte, se evidencia un incremento de la DQO en el cuarto muestreo con un valor de 105 mg/L, y de la DBO_5 con valor de 50 mg/L, situando a ese muestreo en la escala según Abarca *et al.*, 2002 como contaminada, cabe destacar que fue una época de lluvia, lo que pudo arrastrar consigo iones que incrementaran su concentración (Roldan, 1992).

TABLA 6. Escala de clasificación de la calidad del agua, con base en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).

DBO	CRITERIO	DESCRIPCIÓN
Menor o igual a 3 mg/L	Excelente	No contaminada.
Mayor a 3 mg/L y menor o igual a 6 mg/L	Buena calidad	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable.
Mayor de 6 mg/L y menor o igual a 30 mg/L	Aceptable	Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.
Mayor de 30 mg/L y menor o igual a 120 mg/L	Contaminada	Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.
Mayor de 120 mg/L	Fuertemente contaminada	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.

Fuente: Abarca *et al.*, 2002

TABLA 7. Escala de clasificación de la calidad del agua, con base en la demanda química de oxígeno (DQO).

DQO	CRITERIO	DESCRIPCIÓN
Menor o igual a 10 mg/L	Excelente	No contaminada
Mayor a 10 mg/L y menor o igual a 20 mg/L	Buena calidad	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable
Mayor de 20 mg/L y menor o igual a 40 mg/L	Aceptable	Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente
Mayor de 40 mg/L y menor o igual a 200 mg/L	Contaminada	Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal
Mayor de 200 mg/L	Fuertemente contaminada	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales

Fuente: Abarca *et al.*, 2002

El Artículo 45 del decreto 1594, 1984 donde genera los “*criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para preservación de flora y fauna, en aguas dulces, frías o cálidas y en aguas marinas o estuarinas*”. Habla que el valor admisible para el oxígeno disuelto en agua fría dulce es de 5,0 por

lo que, el valor de oxígeno disuelto registrado en la laguna es de 7,8, valor indicando procesos de iniciación de eutrofización, relacionados con incremento de nutrientes, asociados a las actividades de pastoreo, actividad agrícola, y turística. Por otra parte, se predecía que estas concentraciones de oxígeno disuelto serían menores debido a la carga de materia orgánica, pero demostró lo contrario variando de 5,1 a 10,8; se presume a la abundancia de macrófitas y ficoperifiton (Gavilán, 2015) citado por (Gómez *et al.*, 2016). Por lo que estos organismos poseen un efecto oxigenador en la columna de agua, ya que al tener órganos asimiladores sumergidos, liberan directamente al agua oxígeno producto de la fotosíntesis, a una tasa mayor que la del consumo de éste en la respiración (Curt, 2003).

El fosfatos fue de 2,0 mg/l PO_4^{3-} , indicando contaminación posiblemente por degradación de la materia orgánica del material vegetal, contaminación con fertilizantes fosfatados, lixiviación de la parte alta y la escorrentía, ya que en un agua natural este valor no debe ser mayor a 0,01 ppm (Roldan, 1978)

Los valores normales para la conductividad oscilan entre los 30 y 60 μS (Roldan, 1992), Por tanto la laguna Jaime se encuentra por encima de estos valores de 91 μS , indicando eutrofia o alta productividad.

La Turbidez para el aguas potables no debe de pasar de 5,0 NTU (Abarca *et al.*, 2002). El valor para la laguna Jaimes fue de 7,9 NTU está por encima, ya que se trata de un agua sin tratamiento, lo que indicaría que no es apta para el consumo humano sin un proceso de potabilización. El valor de la laguna Jaimes es mayor debido a la presencia de microalgas y el excesivo crecimiento de macrófitas al interior de la laguna (Figura 34).



FIGURA 34. Se aprecia los parches de macrófitas que colonizan gran parte de la laguna

Por otra parte se evaluó la calidad del agua mediante la determinación de los índices de contaminación (ICOs) y para este fin se utilizó el Software ICATEST V1.0 (Fernández *et al.*, 2004), por medio del cual fue posible llevar a cabo un análisis comparativo a partir de la aplicación de los índices de contaminación propuestos por Ramírez y Viña (1998), como fueron: ICOMO (Índice de Contaminación por Materia Orgánica); ICOMI (Índice de Contaminación por Mineralización); ICOSUS (Índice de Contaminación por

Sólidos Suspendidos) , ICOpH (Índice de Contaminación por pH) e ICO temperatura.

Los valores se muestran en la Tabla 8 y la Figura 35

TABLA 8. Índice de contaminación para cada muestreo

INDICES	MUESTREOS					
	1	2	3	4	5	6
ICOSUS	0,088	0,55	0,589	0,1	0,331	0,271
ICOMI	0,23	0,109	0,1	0,081	0,085	0,086
ICOMO	0,615	0,651	0,612	0,737	0,671	0,62
ICOpH	0,024	0,099	0,005	0,001	0,021	0,024
ICOTemp	0,852	0,867	1	1	0,871	0,907

NULA	BAJA	MEDIO	ALTO	MUY ALTO
------	------	-------	------	----------

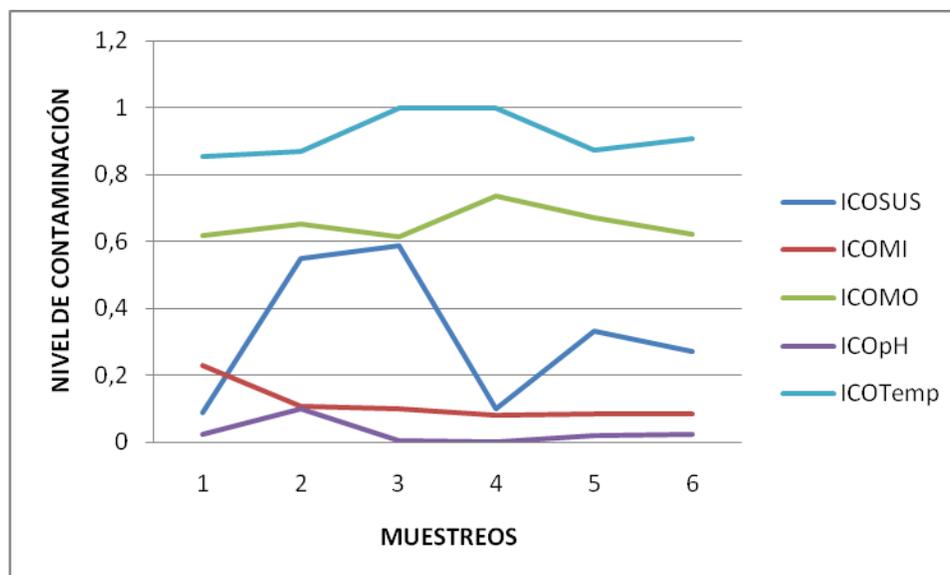


FIGURA 35. Relación entre índices de contaminación y muestreos realizados

Según la Tabla 6 y la Figura 35, la calidad del agua de acuerdo a los índices ICOMI y ICO pH, es buena, puesto que no presenta contaminación por minerales o influencia del pH; en cuanto al índice ICOSUS, revela en los muestreos 2 y 3 una contaminación media por sólidos suspendidos; mientras que el índice ICOMO, revela en su mayoría alta contaminación, que se relaciona con el análisis realizado teniendo en cuenta las variables de DBO₅, DQO, Oxígeno disuelto y fosfatos entre otros. Y el índice ICO Temp, confirma el inicio de procesos de eutrofización dado que un cuerpo de agua natural a esta altura debería registrar temperaturas entre 4°C y 10°C, y se registraron temperaturas alrededor de un promedio de 13°C.

4.3 ANÁLISIS DE MICROALGAS

En la tabla 9, se muestran las 28 especies de microalgas observadas en el primer muestreo, las cuales se clasificaron en 6 clases: *Bacillariophyceae*, *Trebouxiophyceae*, *Zygnemophyceae*, *Euglenophyceae*, *Cyanophyceae*, *Chlorophyceae* (Ramírez & Viña, 1998).

TABLA 9. Especies de microalgas observadas en el muestreo 1

Clase	Especies
Bacillariophyceae	<i>Frustulia</i> sp.
Bacillariophyceae	<i>Nitzschia acicularis</i>
Bacillariophyceae	<i>Nitzschia sigmaidea</i>
Trebouxiophyceae	<i>Botryococcus terribilis</i>
Zygnemophyceae	<i>Closterium parvulum</i>
Bacillariophyceae	<i>Cymbella lanceolate</i>
Zygnemophyceae	<i>Cosmarium subtumidum</i>
Zygnemophyceae	<i>Staurastrum gracile</i>
Zygnemophyceae	<i>Desmidium</i> sp.
Zygnemophyceae	<i>Cosmarium</i> sp.
Euglenophyceae	<i>Euglena</i> sp.
Bacillariophyceae	<i>Gomphonema acuminatum</i>
Bacillariophyceae	<i>Gomphonema truncatum</i>
Chlorophyceae	<i>Pediastrum boriarum</i>
Chlorophyceae	<i>Pediastrum</i> sp.
Bacillariophyceae	<i>Navicula</i> sp.
Cyanophyceae	<i>Anabaena</i> sp.
Trebouxiophyceae	<i>Crucigeniella crucifera</i>
Cyanophyceae	<i>Oscillatoria</i> sp.
Cyanophyceae	<i>Oscillatoria</i> sp2
Bacillariophyceae	<i>Pinnularia similis</i>
Chlorophyceae	<i>Scenedesmus quadricauda</i>
Chlorophyceae	<i>Scenedesmus protuberans</i>
Chlorophyceae	<i>Ankistrodesmus</i> sp.
Chlorophyceae	<i>Monoraphidium komarkovae</i>
Chlorophyceae	<i>Ankistrodesmus falcatus</i>
Chlorophyceae	<i>Monoraphidium komarkovae</i>
Chlorophyceae	<i>Eudorina</i> sp.

En la FIGURA 36, se observa los porcentajes por cada clase de las microalgas en el primer muestreo.

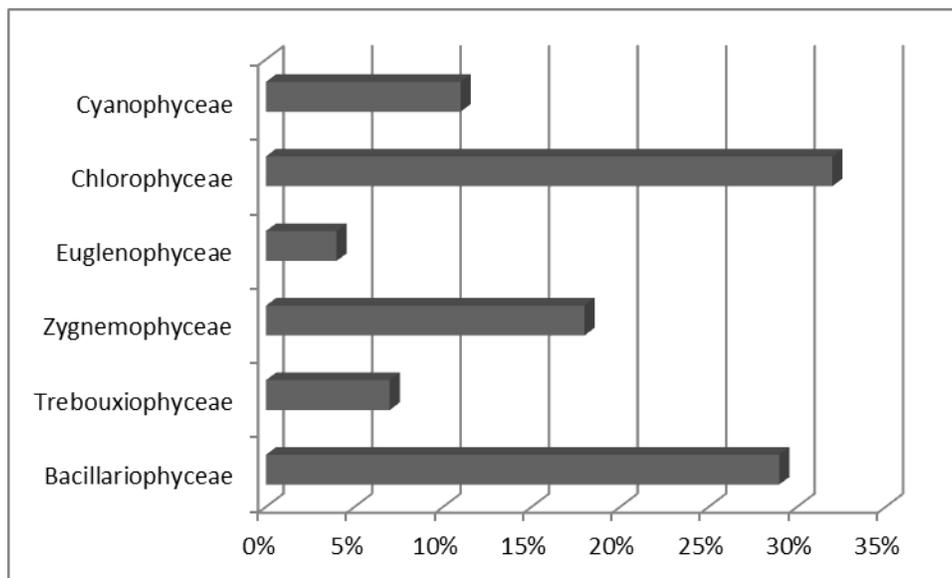


FIGURA 36. Principales clases de microalgas presentes en la Laguna Jaimes en el muestreo 1.

Se realizó un análisis de cluster para observar la variación o homogeneidad que presenta la laguna Jaimes con respecto a sus estaciones de referencia. Este análisis es un método matemático que está incluido en lo que hoy se llama estadística multivariada; este método es principalmente utilizado para la formación de grupos con características similares a partir de las similitudes o disimilitudes que se presentan entre pares de estas características evaluadas (Johnson, 1998), cuya representación gráfica es a través de dendograma. La FIGURA 37, correspondiente al primer muestreo, donde sus ramas representan cada estación de muestreo (ver ANEXO 1).

Para el primer muestreo (FIGURA 37) se observa claramente que hubo dos grupos clasificados. El primer grupo lo conforman la estación de referencia Z6, Z3 y Z4 y el segundo Z5, Z2 y Z1. Con una similitud de más del 60% en la estaciones Z3 y Z4 lo que se puede deber a que estas pertenecen a la salida de la laguna pudiendo compartir en gran parte las mismas especies.

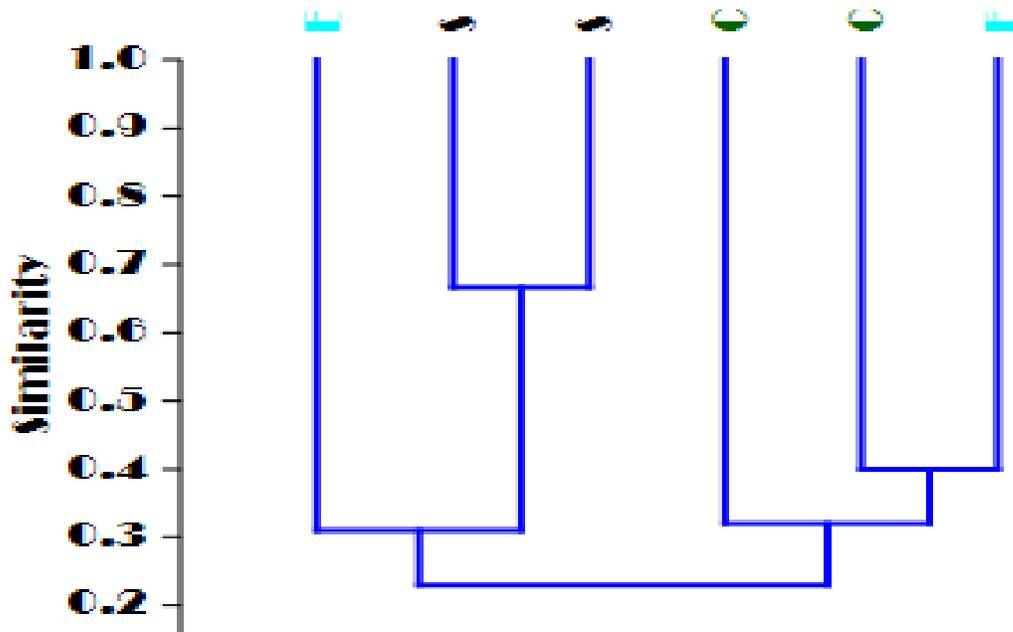


FIGURA 37. Dendrograma primer muestreo. Se muestra el índice de similitud de Bray- Curtis. El eje de las coordenadas muestra el porcentaje de similitud presentado por los grupos de microalgas observadas en las seis estaciones (Z1-Z6).

En la tabla 10, se muestran las 21 especies de microalgas observadas en el segundo muestreo, las cuales se clasificaron en 7 clases: *Bacillariophyceae*,

Trebouxiophyceae, *Zygnemophyceae*, *Euglenophyceae*, *Cyanophyceae*, *Chlorophyceae* y *Coscinodiscophyceae*. (Ramírez & Viña, 1998)

TABLA 10. Especies de microalgas observadas en el muestreo 2

Clase	Especies
Bacillariophyceae	<i>Frustulia sp.</i>
Bacillariophyceae	<i>Nitzschia sigmoidea</i>
Trebouxiophyceae	<i>Botryococcus terribilis</i>
Zygnemophyceae	<i>Closterium aciculare</i>
Zygnemophyceae	<i>Closterium diana</i>
Bacillariophyceae	<i>Cymbella lanceolata</i>
Bacillariophyceae	<i>Cymbella prostrate</i>
Bacillariophyceae	<i>Cymbella sp.</i>
Zygnemophyceae	<i>Staurastrum diacanthum</i>
Euglenophyceae	<i>Euglena sp.</i>
Bacillariophyceae	<i>Gomphonema truncatum</i>
Bacillariophyceae	<i>Gomphonema geminatum</i>
Bacillariophyceae	<i>Gomphonema johnsonii</i>
Coscinodiscophyceae	<i>Melosira roeseana</i>
Coscinodiscophyceae	<i>Melosira hustedti</i>
Bacillariophyceae	<i>Navicula sp.</i>
Cyanophyceae	<i>Anabaena cylindrical</i>
Cyanophyceae	<i>Oscillatoria sp.</i>
Chlorophyceae	<i>Scenedesmus quadricauda</i>
Chlorophyceae	<i>Ankistiodesmus sp.</i>
Zygnemophyceae	<i>Spirogyra sp.</i>

En la FIGURA 38, se observa los porcentajes por cada clase de las microalgas en el segundo muestreo.

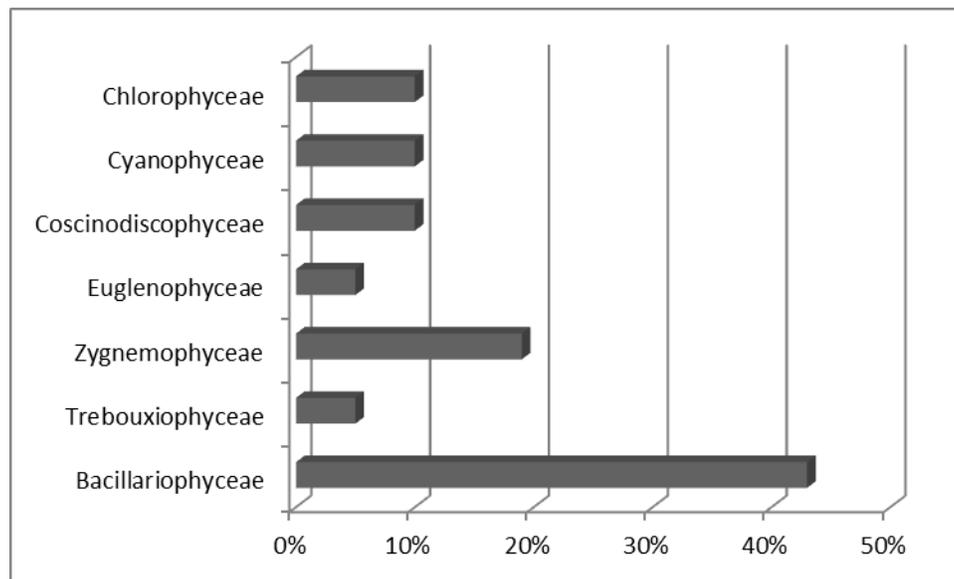


FIGURA 38. Principales clases de microalgas presentes en la Laguna Jaimes en el muestreo 2.

La FIGURA 39, correspondiente al segundo muestreo, donde sus ramas representan cada estación de muestreo (ver ANEXO 2). En este Dendograma nos muestra claramente que se dividen en 3 grupos, el primero conformado por Z3, Z4, Z5 y Z6. El segundo sólo con la estación Z1 y el tercero con la estación Z2. Donde el primero marca una heterogeneidad en el borde de la Laguna Jaime y su salida. La estación Z1 perteneciente a la entrada y un poco más alejada la estación Z2 perteneciente al medio.

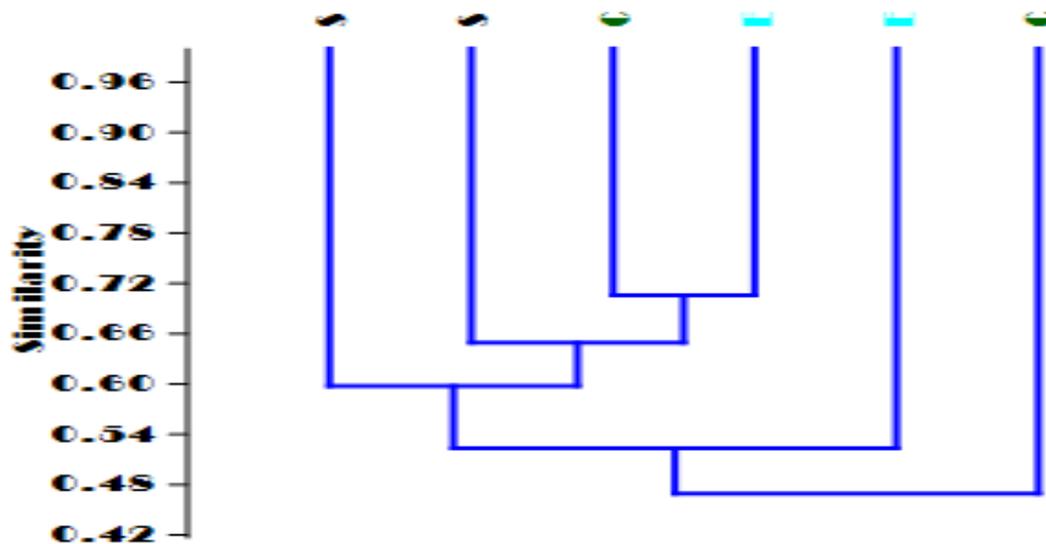


FIGURA 39. Dendrograma segundo muestreo. Se muestra el índice de similitud de Bray- Curtis. El eje de las coordenadas muestra el porcentaje de similaridad presentado por los grupos de microalgas observadas en las seis estaciones (Z1-Z6).

En la tabla 11, se muestran las 20 especies de microalgas observadas en el tercer muestreo, las cuales se clasificaron en 7 clases: *Bacillariophyceae*, *Trebouxiophyceae*, *Zygnemophyceae*, *Ulvophyceae*, *Cyanophyceae*, *Chlorophyceae* y *Coccinodiscophyceae*. (Ramírez & Viña, 1998).

TABLA 11. Especies de microalgas observadas en el muestreo 3

Clase	Especies
Chlorophyceae	<i>Chlamydomonas</i> sp.
Zygnemophyceae	<i>Pleurotaenium</i> sp.
Bacillariophyceae	<i>Nitzschia sigmoidea</i>
Trebouxiophyceae	<i>Botryococcus terribilis</i>
Zygnemophyceae	<i>Closterium</i> sp.
Zygnemophyceae	<i>Closterium acerosum</i>
Bacillariophyceae	<i>Cocconeis</i> sp.
Bacillariophyceae	<i>Cymbella tumida</i>
Bacillariophyceae	<i>Cymbella lanceolata</i>
Bacillariophyceae	<i>Gomphonema hebridense</i>
Bacillariophyceae	<i>Gomphonema truncatum</i>
Chlorophyceae	<i>Pediastrum angulosum</i>
Coccinodiscophyceae	<i>Melosira</i> sp.
Cyanophyceae	<i>Oscillatoria</i> sp.
Bacillariophyceae	<i>Pinnularia similis</i>
Chlorophyceae	<i>Scenedesmus</i> sp.
Chlorophyceae	<i>Scenedesmus armatus</i>
Chlorophyceae	<i>Scenedesmus quadricauda</i>
Ulvophyceae	<i>Ulothrix zonata</i>
Zygnemophyceae	<i>Spirogyra</i> sp.

En la FIGURA 40, se observa los porcentajes por cada clase de las microalgas en el segundo muestreo.

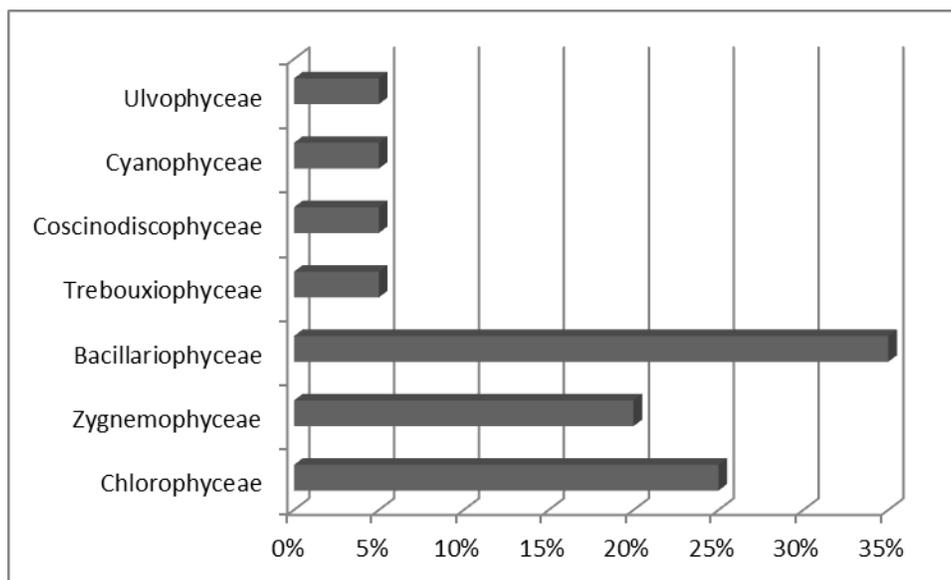


FIGURA 40. Principales clases de microalgas presentes en la Laguna Jaimes en el muestreo 3.

La FIGURA 41, correspondiente al tercer muestreo, donde sus ramas representan cada estación de muestreo (ver ANEXO 3). Se vuelve a ver el mismo patrón de los tres grupos, donde el primero lo conforman Z1, Z2, Z3 y Z5. Apreciándose homogeneidad en el borde de las estaciones que va de Z1-Z3 con Z5 del otro borde generando una similaridad del 56%, ya sea por las corrientes de aire. El segundo grupo se encuentra Z6 siendo el otro borde de la entrada de la Laguna y para el tercero Z4 la salida.

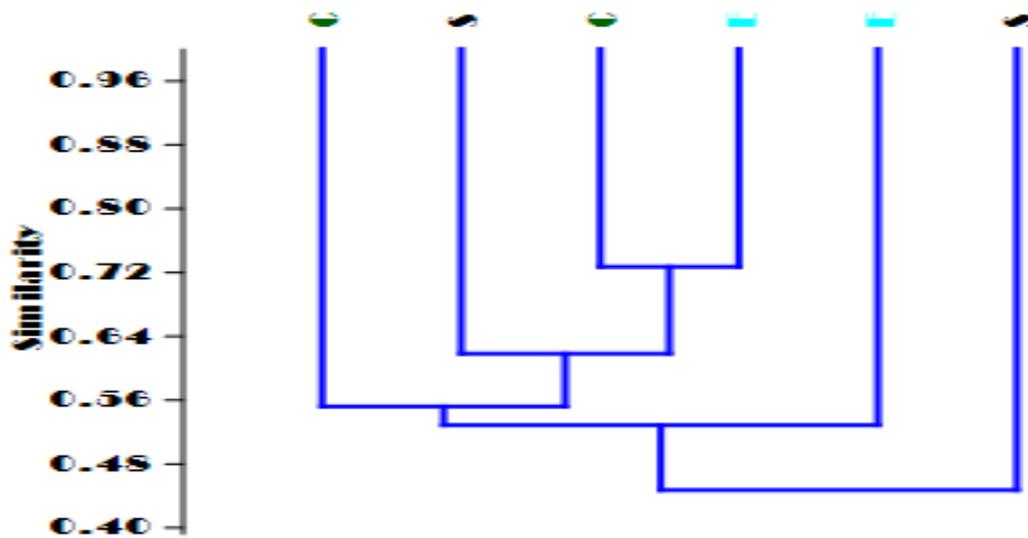


FIGURA 41. Dendrograma tercer muestreo. Se muestra el índice de similitud de Bray- Curtis. El eje de las coordenadas muestra el porcentaje de similitud presentado por los grupos de microalgas observadas en las seis estaciones (Z1-Z6).

En la tabla 12, se muestran las 31 especies de microalgas observadas en el segundo muestreo, las cuales se clasificaron en 8 clases: *Bacillariophyceae*, *Trebouxiophyceae*, *Zygnemophyceae*, *Euglenophyceae*, *Cyanophyceae*, *Chlorophyceae*, *Coscinodiscophyceae* y *Fragilariophyceae* (Ramírez & Viña, 1998)

TABLA 12. Especies de microalgas observadas en el muestreo 4

Clase	Especies
Bacillariophyceae	<i>Nitzschia sigmaidea</i>
Trebouxiophyceae	<i>Botryococcus terribilis</i>
Chlorophyceae	<i>Chlamydomonas</i> sp.
Bacillariophyceae	<i>Cocconeis</i> sp.
Bacillariophyceae	<i>Cymbella tumida</i>
Bacillariophyceae	<i>Cymbella lanceolata</i>
Zygnemophyceae	<i>Cosmarium</i> sp.
Zygnemophyceae	<i>Pleurotaenium trabecular</i>
Zygnemophyceae	<i>Staurastrum diacanthum</i>
Euglenophyceae	<i>Euglena</i> sp.
Fragilariophyceae	<i>Fragilaria virescens</i>
Bacillariophyceae	<i>Gomphonema hebridense</i>
Bacillariophyceae	<i>Gomphonema acuminatum</i>
Bacillariophyceae	<i>Gomphonema truncatum</i>
Chlorophyceae	<i>Pediastrum angulosum</i>
Bacillariophyceae	<i>Nitzschia sigmaidea</i>
Coscinodiscophyceae	<i>Melosira roeseana</i>
Coscinodiscophyceae	<i>Melosira</i> sp.
Coscinodiscophyceae	<i>Melosira hustedti</i>
Bacillariophyceae	<i>Gyrosigma</i> sp.
Bacillariophyceae	<i>Navicula</i> sp.
Cyanophyceae	<i>Anabaena cylindrical</i>
Trebouxiophyceae	<i>Crucigeniella rectangularis</i>
Cyanophyceae	<i>Oscillatoria</i> sp.
Bacillariophyceae	<i>Pinnularia similis</i>
Chlorophyceae	<i>Scenedesmus quadricauda</i>
Chlorophyceae	<i>Coelastrum</i> sp.
Chlorophyceae	<i>Scenedesmus raciborskii</i>
Zygnemophyceae	<i>Cosmarium</i> sp.
Chlorophyceae	<i>Ankistiodesmus</i> sp.
Zygnemophyceae	<i>Spirogyra</i> sp.

En la FIGURA 42, se observa los porcentajes por cada clase de las microalgas en el cuarto muestreo.

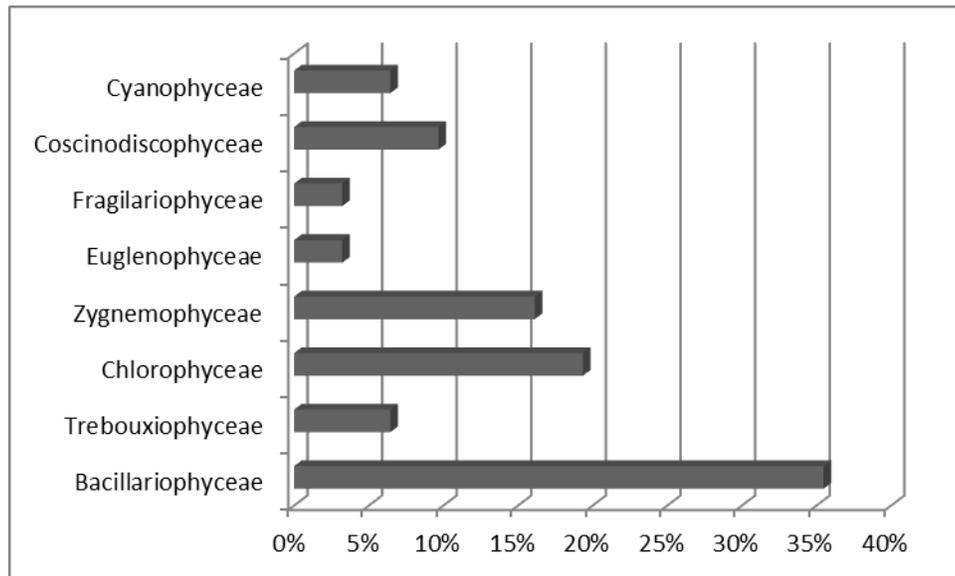


FIGURA 42. Principales clases de microalgas presentes en la Laguna Jaimes en el muestreo 4.

La figura 43, correspondiente al cuarto muestreo, donde sus ramas representan cada estación de muestreo (ver ANEXO 4). Se observa dos grupos donde para el primero Z1 y Z5 poseen mayor similitud, seguido de las estaciones Z3 y Z6. El segundo grupo solo lo conforma la estación Z4 salida de la laguna.

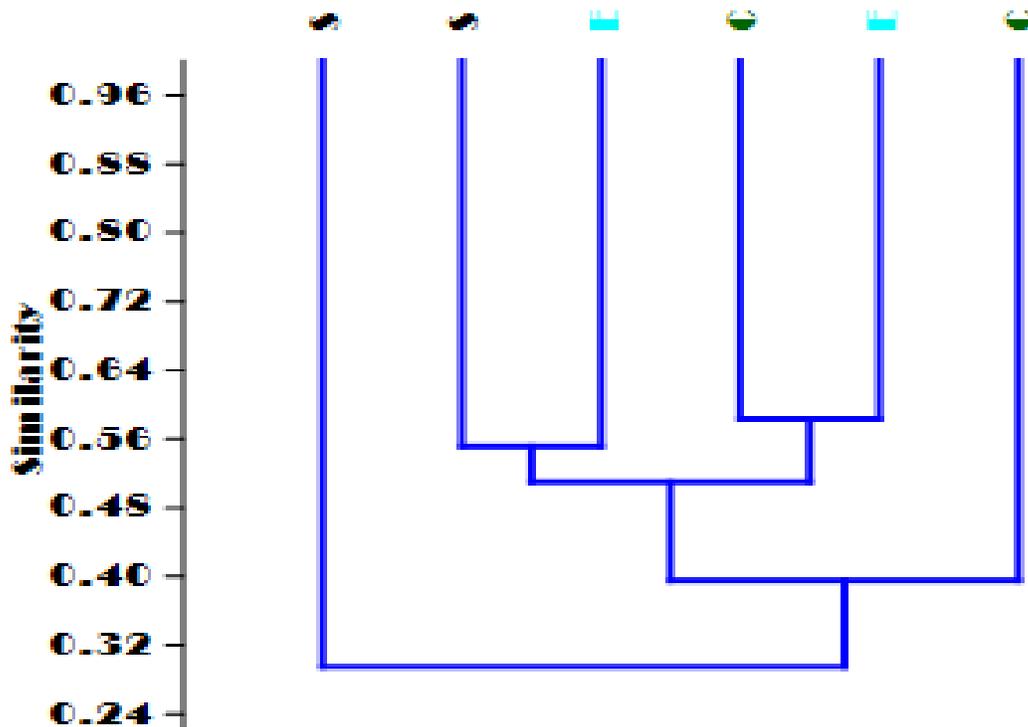


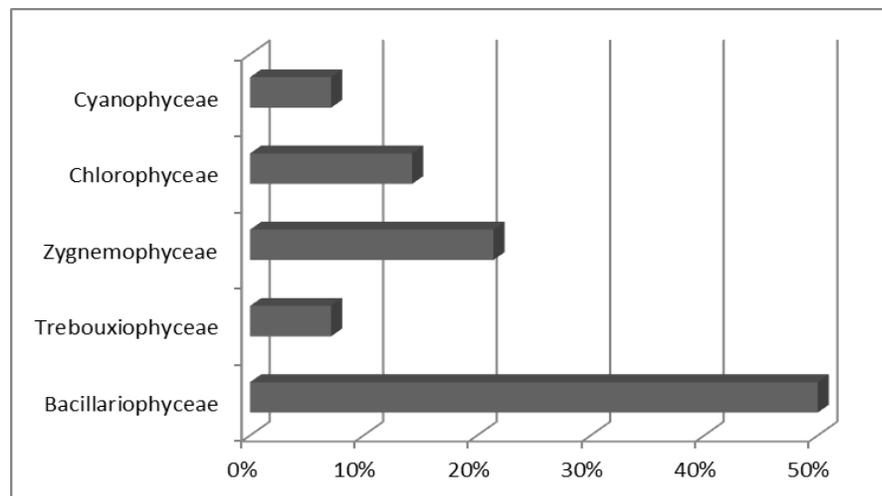
FIGURA 43. Dendrograma cuarto muestreo. Se muestra el índice de similitud de Bray- Curtis. El eje de las coordenadas muestra el porcentaje de similaridad presentado por los grupos de microalgas observadas en las seis estaciones (Z1-Z6).

En la TABLA 13, se muestran las 14 especies de microalgas observadas en el quinto muestreo, las cuales se clasificaron en 5 clases: Bacillariophyceae, Trebouxiophyceae, Zygnemophyceae, Cyanophyceae y Chlorophyceae. (Ramírez & Viña, 1998).

TABLA 13. Especies de microalgas observadas en el muestreo 5

Clase	Especies
Bacillariophyceae	<i>Nitzschia sigmaidea</i>
Trebouxiophyceae	<i>Botryococcus terribilis</i>
Bacillariophyceae	<i>Cymbella tumida</i>
Bacillariophyceae	<i>Cymbella lanceolata</i>
Zygnemophyceae	<i>Cosmarium</i> sp.
Zygnemophyceae	<i>Pleurotaenium trabecula</i>
Zygnemophyceae	<i>Staurastrum diacanthum</i>
Bacillariophyceae	<i>Gomphonema acuminatum</i>
Bacillariophyceae	<i>Gomphonema truncatum</i>
Chlorophyceae	<i>Pediastrum angulosum</i>
Bacillariophyceae	<i>Navicula</i> sp.
Cyanophyceae	<i>Oscillatoria</i> sp.
Bacillariophyceae	<i>Pinnularia similis</i>
Chlorophyceae	<i>Scenedesmus quadricauda</i>

En la FIGURA 44, se observa los porcentajes por cada clase de las microalgas en el quinto muestreo.

**FIGURA 44.** Principales clases de microalgas presentes en la Laguna Jaimes en el muestreo 5.

La FIGURA 45, correspondiente al cuarto muestreo, donde sus ramas representan cada estación de muestreo (ver ANEXO 5). Se observan tres grupos donde el primero que está conformado por las estaciones Z1, Z4, Z5 y Z6; se observa una mayor similitud entre la estación Z1 (entrada) y Z4 (salida), por lo que puede haber mayor flujo de agua en estas estaciones. Volviendo a una homogeneidad entre ese borde de la laguna (Z4-Z6). El segundo grupo se encuentra Z3 salida de la laguna y medianamente similar se encuentra el tercer grupo conformado por Z2.

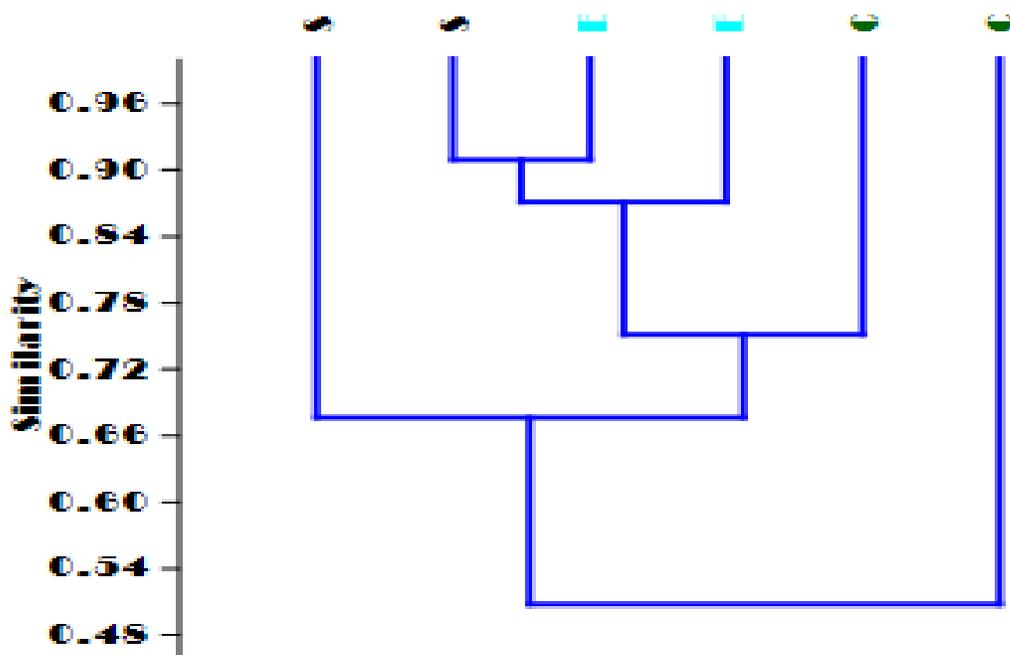


FIGURA 45. Dendrograma quinto muestreo. Se muestra el índice de similitud de Bray- Curtis. El eje de las coordenadas muestra el porcentaje de similitud presentado por los grupos de microalgas observadas en las seis estaciones (Z1-Z6).

En la tabla 14, se muestran las 19 especies de microalgas observadas en el sexto muestreo, las cuales se clasificaron en 8 clases: *Bacillariophyceae*, *Trebouxiophyceae*, *Zygnemophyceae*, *Fragilariophyceae*, *Euglenophyceae*, *Cyanophyceae*, *Chlorophyceae* y *Coscinodiscophyceae*. (Ramírez & Viña, 1998)

TABLA 14. Especies de microalgas observadas en el muestreo 6

Clase	Especies
Bacillariophyceae	<i>Nitzschia sigmaidea</i>
Trebouxiophyceae	<i>Botryococcus terribilis</i>
Bacillariophyceae	<i>Cocconeis</i> sp.
Zygnemophyceae	<i>Cosmarium</i> sp.
Euglenophyceae	<i>Euglena</i> sp.
Fragilariophyceae	<i>Fragilaria virescens</i>
Chlorophyceae	<i>Pediastrum angulosum</i>
Bacillariophyceae	<i>Nitzschia sigmaidea</i>
Bacillariophyceae	<i>Gyrosigma</i> sp.
Bacillariophyceae	<i>Navicula</i> sp.
Cyanophyceae	<i>Oscillatoria</i> sp.
Bacillariophyceae	<i>Pinnularia similis</i>
Zygnemophyceae	<i>Cosmarium</i> sp.
Chlorophyceae	<i>Ankistrodesmus</i> sp.
Bacillariophyceae	<i>Cymbella tumida</i>
Bacillariophyceae	<i>Cymbella lanceolata</i>
Bacillariophyceae	<i>Tabellaria</i> sp.
Zygnemophyceae	<i>Closterium</i> sp.
Coscinodiscophyceae	<i>Melosira</i> sp.

En la FIGURA 46, se observa los porcentajes por cada clase de las microalgas en el sexto muestreo.

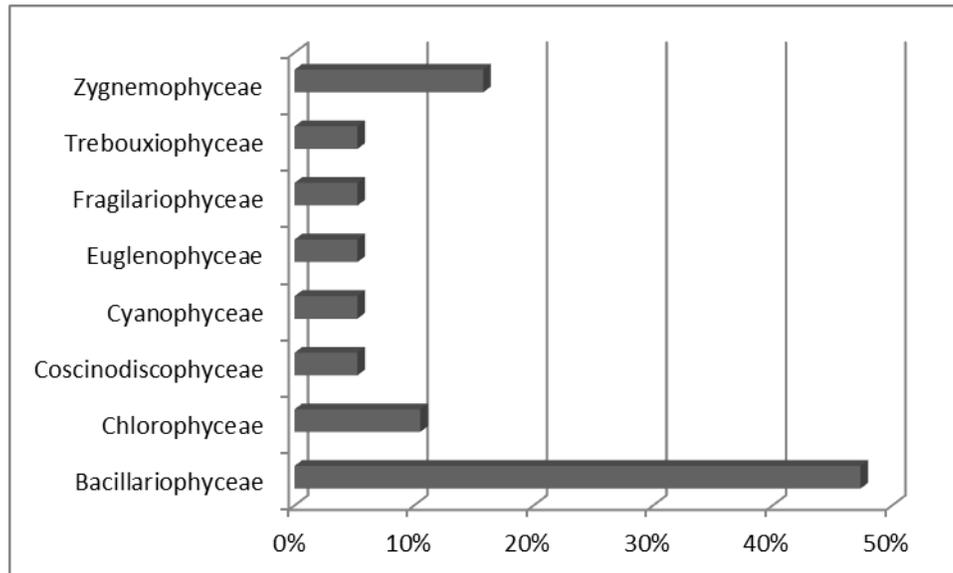


FIGURA 46. Principales clases de microalgas presentes en la Laguna Jaimes en el muestreo 6.

La FIGURA 47, correspondiente al cuarto muestreo, donde sus ramas representan cada estación de muestreo (ver ANEXO 6). Se evidencian dos grupos donde el primero lo ocupan las estaciones Z1, Z2, Z3 y Z4; la mayor similitud fue entre la estación Z1 (entrada) y Z4 (salida), por lo que puede haber mayor flujo de agua en estas estaciones. Como también la evidencia de homogeneidad en ese borde de la laguna (Z1-Z3). El segundo grupo lo representa Z5 y Z6.

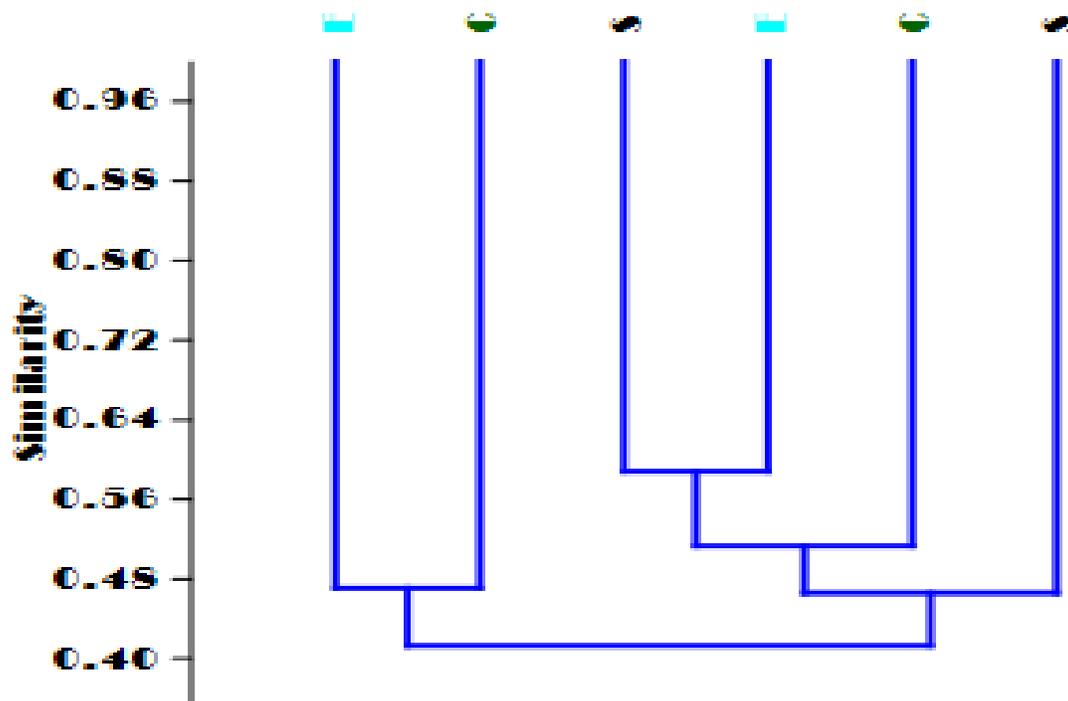


FIGURA 47. Dendrograma sexto muestreo. Se muestra el índice de similitud de Bray- Curtis. El eje de las coordenadas muestra el porcentaje de similaridad presentado por los grupos de microalgas observadas en las seis estaciones (Z1-Z6).

Se realizó una comparación con el índice de similitud de Bray-Curtis en época lluviosa y época seca (FIGURA 48 y 49) donde se sigue observando el mismo comportamiento de la homogeneidad en los mismos bordes con una pequeña disimilitud en algunos puntos con un valor inferior al 60 %.

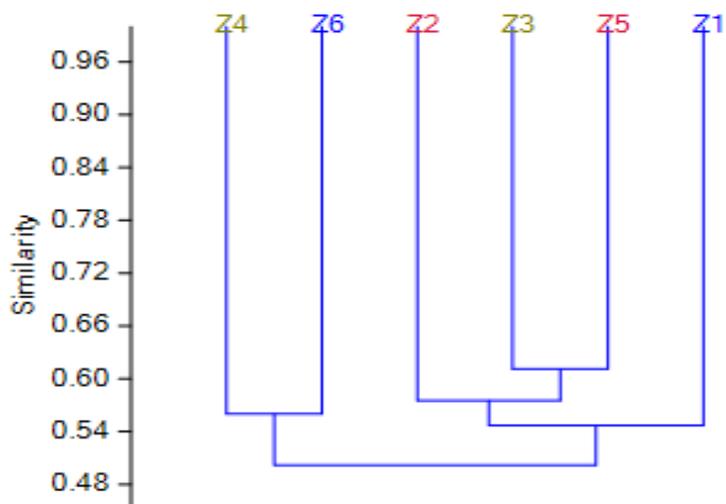


FIGURA 48. Dendrograma época lluviosa. Se muestra el índice de similitud de Bray- Curtis. El eje de las coordenadas muestra el porcentaje de similitud presentado por los grupos de microalgas observadas en las seis estaciones (Z1-Z6).

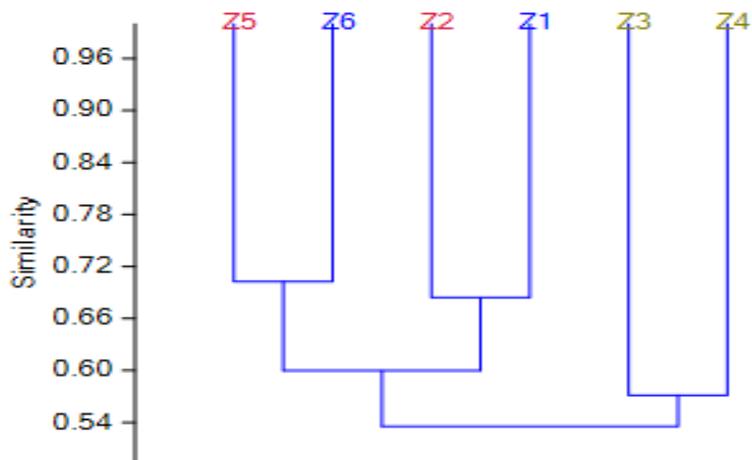


FIGURA 49. Dendrograma época seca. Se muestra el índice de similitud de Bray- Curtis. El eje de las coordenadas muestra el porcentaje de similitud presentado por los grupos de microalgas observadas en las seis estaciones (Z1-Z6).

En la FIGURA 49 se aprecia la diferencia entre los dos puntos Z3 y Z4 que indican la heterogeneidad que presenta el sistema.

4.3.1 Índice de abundancia

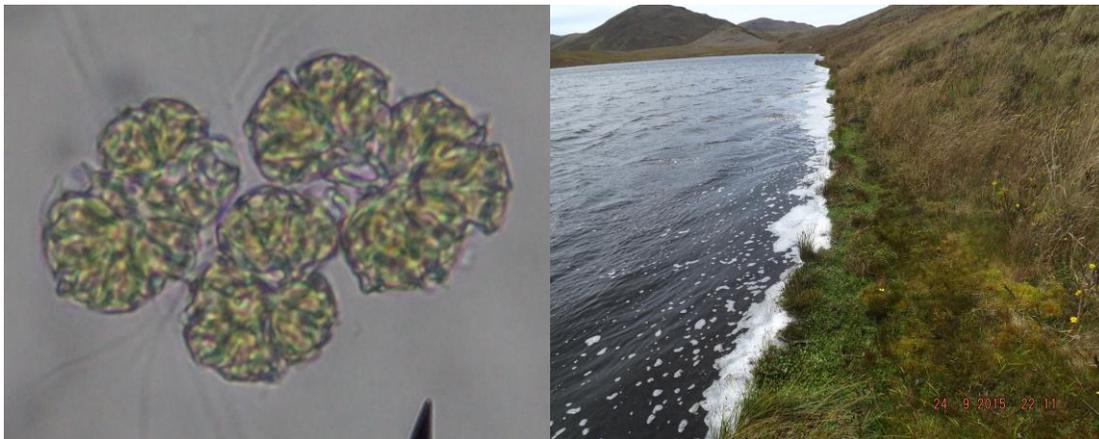
En la tabla 15 se calculó el índice de abundancia relativa, donde se determinó la floración y abundancia de las especies microalgales, siendo *Botryococcus terribilis* la especie predominante en la laguna Jaimes.

TABLA 15. Índice de abundancia de las especies microalgales

Espece	N	Abundancia relativa	pi ²
<i>Navicula sp.</i>	3800000	5,5828E-05	3,1167E-09
<i>Eunotia sp.</i>	1000000	1,4692E-05	2,1584E-10
<i>Cymbella tumida</i>	2600000	3,8198E-05	1,4591E-09
<i>Pinnularia similis</i>	1250000	1,8364E-05	3,3725E-10
<i>Tabellaria sp.</i>	500000	7,3458E-06	5,396E-11
<i>Synedra sp.</i>	1000000	1,4692E-05	2,1584E-10
<i>Nitzschia sigmoidea</i>	2750000	4,0402E-05	1,6323E-09
<i>Gyrosigma sp.</i>	500000	7,3458E-06	5,396E-11
<i>Fragilaria virescens</i>	1500000	2,2037E-05	4,8564E-10
<i>Melosira sp.</i>	2000000	2,9383E-05	8,6336E-10
<i>Gyrosigma sp.</i>	750000	1,1019E-05	1,2141E-10
<i>Cocconeis sp.</i>	2000000	2,9383E-05	8,6336E-10
<i>Botryococcus terribilis</i>	6,8E+10	0,99902448	0,99804992
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	10500000	0,00015426	2,3796E-08
<i>Gomphonema truncatum</i>	10500000	0,00015426	2,3796E-08
<i>Cosmarium sp.</i>	2500000	3,6729E-05	1,349E-09
<i>Closterium sp.</i>	7250000	0,00010651	1,1345E-08
<i>Staurastrum diacanthum</i>	1000000	1,4692E-05	2,1584E-10
<i>Pleurotaenium trabecula</i>	500000	7,3458E-06	5,396E-11
<i>Coelastrum sp.</i>	250000	3,6729E-06	1,349E-11
<i>Ankistrodesmus sp.</i>	2500000	3,6729E-05	1,349E-09
<i>Spirogyra sp.</i>	750000	1,1019E-05	1,2141E-10
<i>Monoraphidium komarkovae</i>	250000	3,6729E-06	1,349E-11
<i>Eudorina sp.</i>	750000	1,1019E-05	1,2141E-10
<i>Ulothrix sp.</i>	1500000	2,2037E-05	4,8564E-10
<i>Pediastrum</i>	4000000	5,8766E-05	3,4535E-09
<i>Euglena sp.</i>	1250000	1,8364E-05	3,3725E-10
<i>Oscillatoria sp.</i>	3250000	4,7747E-05	2,2798E-09

Botryococcus terribilis es una especie típica de estos ecosistemas de alta montaña. A lo que se debe su alta tasa de abundancia en este cuerpo de agua (Laguna Jaimes). Ha sido una especie usada en procesos de tratamientos de agua. Cabanelas *et al.*, (2013) reportó el cultivo de *Chlorella vulgaris* y

Botryococcus terribilis para el tratamiento en aguas residuales municipales (eliminación física de partículas grandes y material graso) en Brasil. Como también la producción de biocombustibles. En la FIGURA 48 se observa la posible acumulación de material graso producido por *Botryococcus terribilis*.

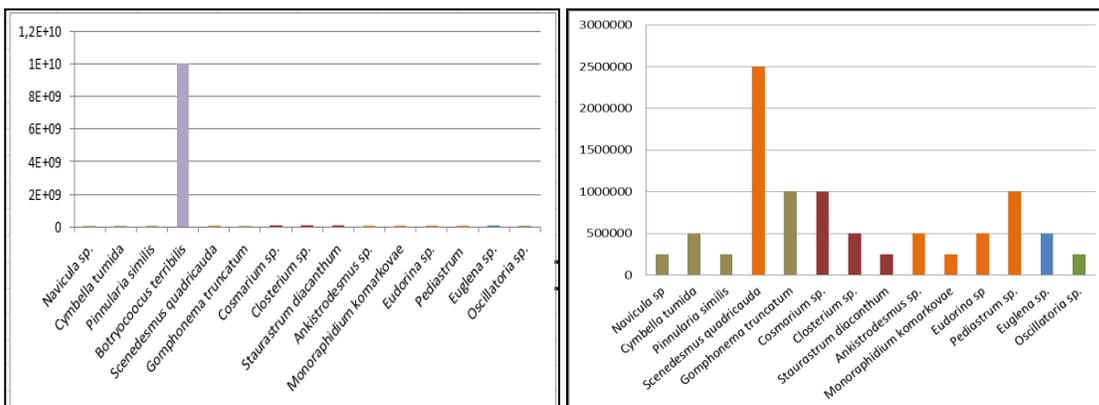


Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laboratorio de microalgas-Laguna Jaimes. Universidad de Pamplona

FIGURA 50. *Botryococcus terribilis*- Acumulación de material graso en orilla derecha de la laguna Jaimes

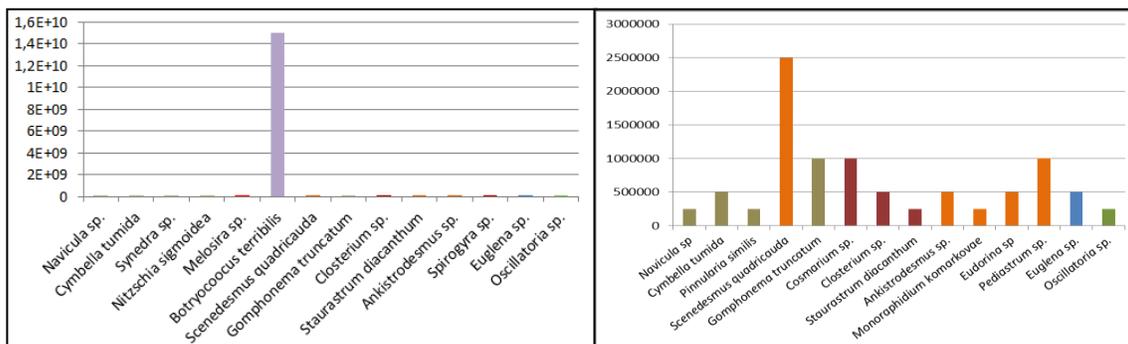
4.3.2 Recuento de microalgas

En las siguientes figuras de la 49 a la 54 se muestran las microalgas clasificadas por grupos y colores, la primera clase la *Bacillariophyceae* está representada por el color dorado, la clase *Chlorophyceae* por el color naranja, *Zygnemophyceae* por el vinotinto, *Euglenophyceae* por el azul, *Cyanophyceae* por el verde *Coccinodiscophyceae* por el rojo, *Ulvophyceae* por el amarillo, *Fragilariophyceae* por el morado y el color lila representa la clase *Trebouxiophyceae*.



<i>Bacillariophyceae</i>		<i>Chlorophyceae</i>		<i>Zygnemophyceae</i>	
<i>Euglenophyceae</i>		<i>Cyanophyceae</i>		<i>Trebouxiophyceae</i>	

FIGURA 51. Recuento de las principales especies de microalgas (Cel/mL) encontrados en la Laguna Jaimes en el muestreo 1



<i>Bacillariophyceae</i>		<i>Chlorophyceae</i>		<i>Zygnemophyceae</i>		<i>Coccinodiscophyceae</i>	
<i>Euglenophyceae</i>		<i>Cyanophyceae</i>		<i>Trebouxiophyceae</i>			

FIGURA 52. Recuento de las principales especies de microalgas (Cel/mL) encontrados en la Laguna Jaimes en el muestreo 2

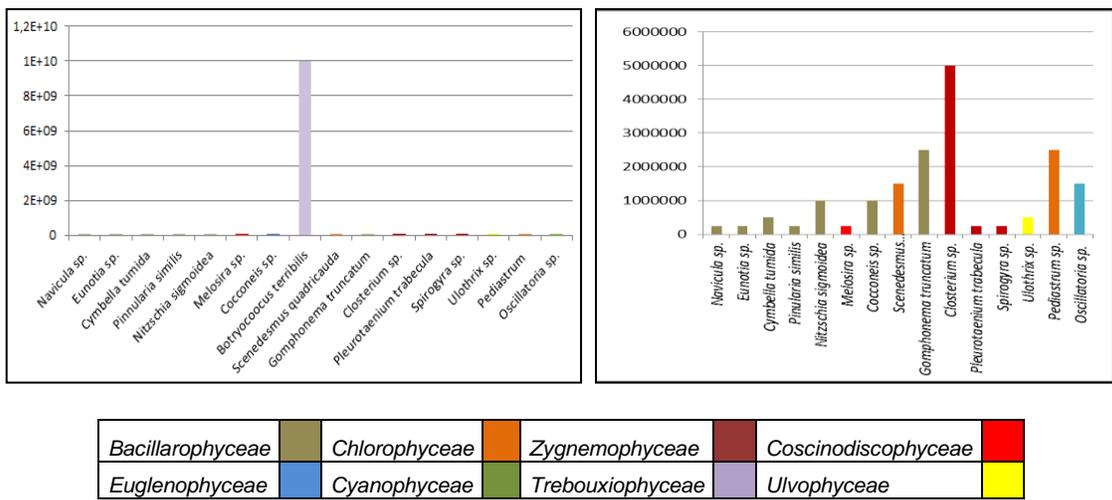


FIGURA 53. Recuento de las principales especies de microalgas (Cel/mL) encontrados en la Laguna Jaimes en el muestreo 3

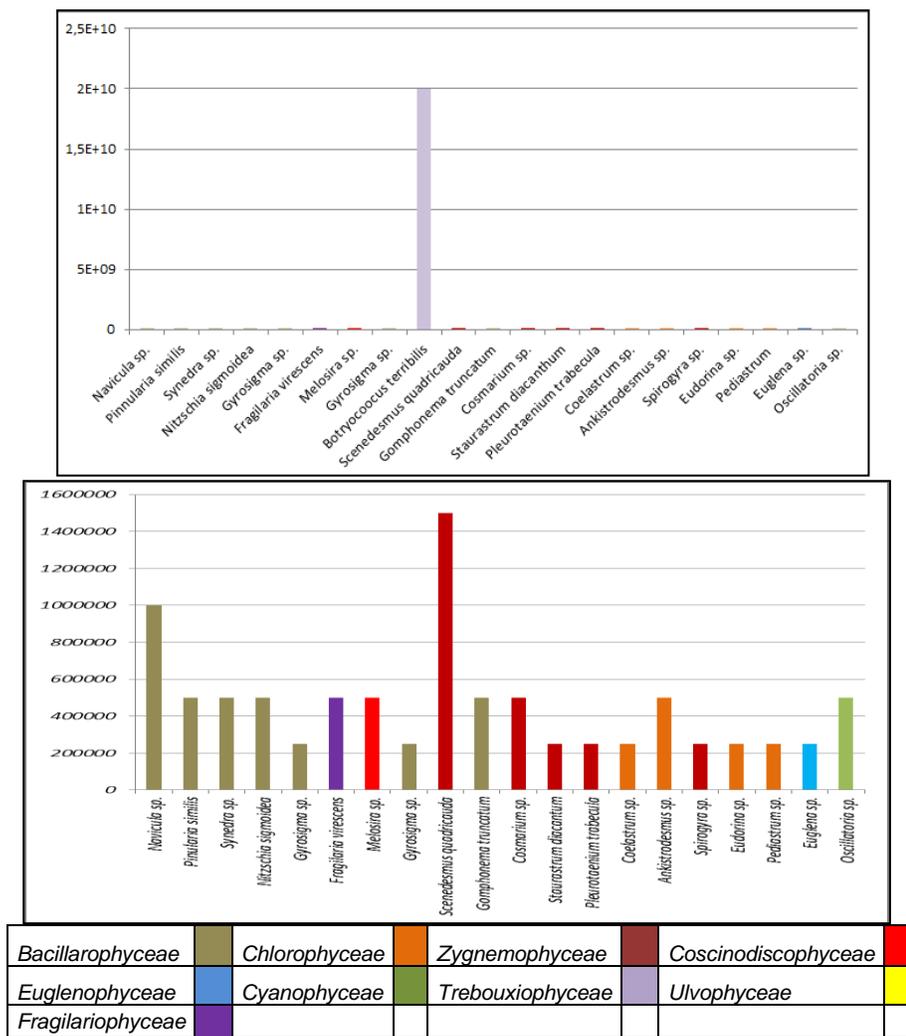
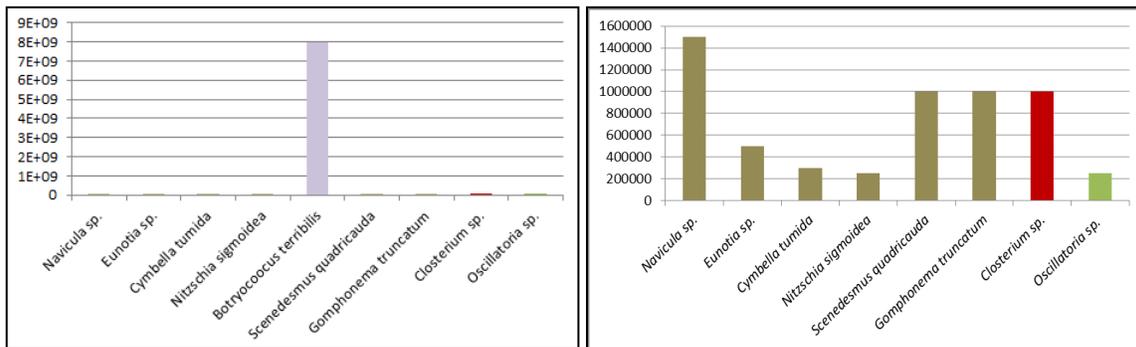
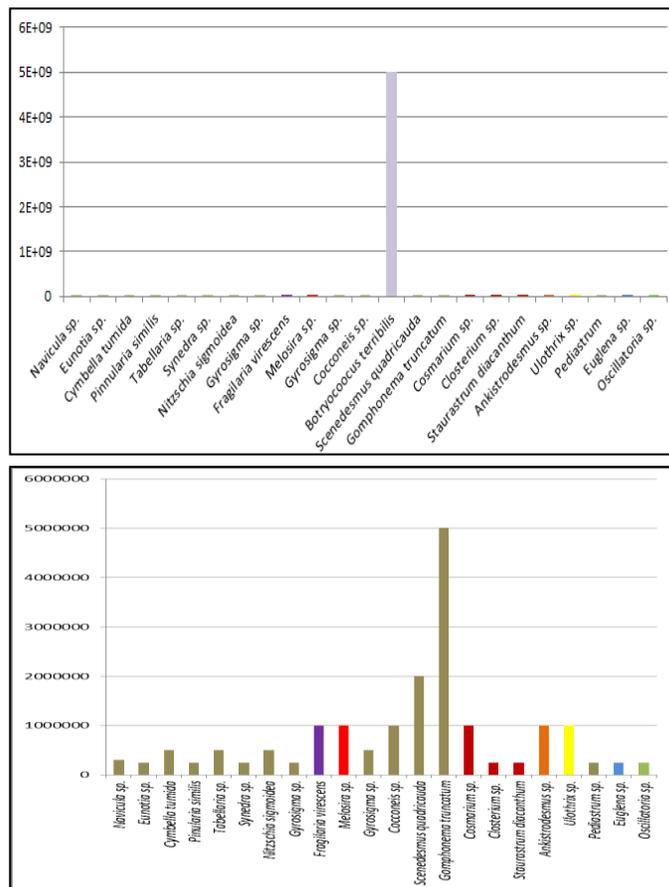


FIGURA 54. Recuento de las principales especies de microalgas (Cel/mL) encontrados en la Laguna Jaimes en el muestreo 4



<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Chlorophyceae</i>	<i>Zygnemophyceae</i>	<i>Coccinodiscophyceae</i>
<i>Euglenophyceae</i>	<i>Cyanophyceae</i>	<i>Trebouxiophyceae</i>	<i>Ulvophyceae</i>
<i>Fragilariophyceae</i>			

FIGURA 55. Recuento de las principales especies de microalgas (Cel/mL) encontrados en la Laguna Jaimes en el muestreo 5



<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Chlorophyceae</i>	<i>Zygnemophyceae</i>	<i>Coscinodiscophyceae</i>
<i>Euglenophyceae</i>	<i>Cyanophyceae</i>	<i>Trebouxiophyceae</i>	<i>Ulvophyceae</i>
<i>Fragilariophyceae</i>			

FIGURA 56. Recuento de las principales especies de microalgas (Cel/mL) encontrados en la Laguna Jaimes en el muestreo 2

En las anteriores figuras se muestran las abundancias de las principales microalgas observadas a través de los seis muestreos; donde se representan en dos gráficas ya que la especie *Botryococcus terribilis* por su mayor tasa de

abundancia sesga a las demás en una misma gráfica en cuanto a la que se representa sin ella, las especies mantienen unos valores casi cercanos.

Se realizó una comparación de estas abundancias con respecto a las épocas de lluvia y la época seca (FIGURA 55 y 56)

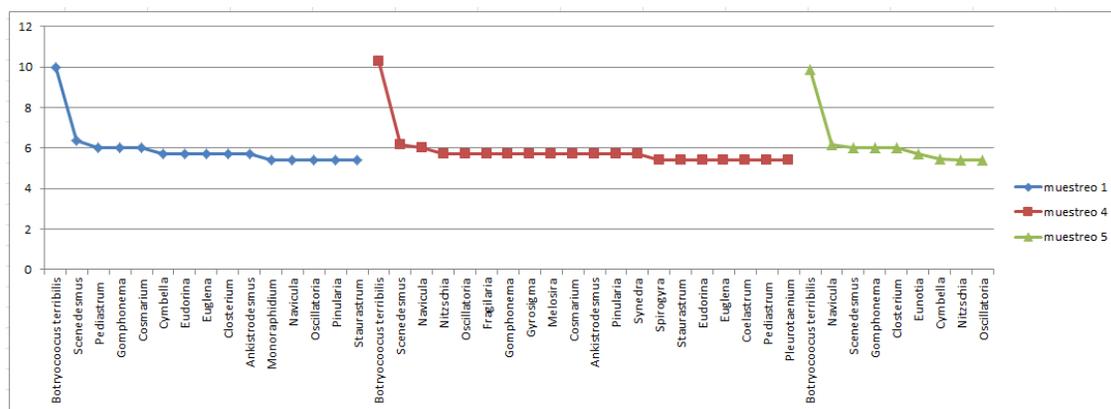


FIGURA 57. Abundancias por especies en época de lluvia. En los tres muestreos se denota una mayor abundancia y dominancia de la especie *Botryococcus terribilis* y una mayor riqueza en el muestreo 4.

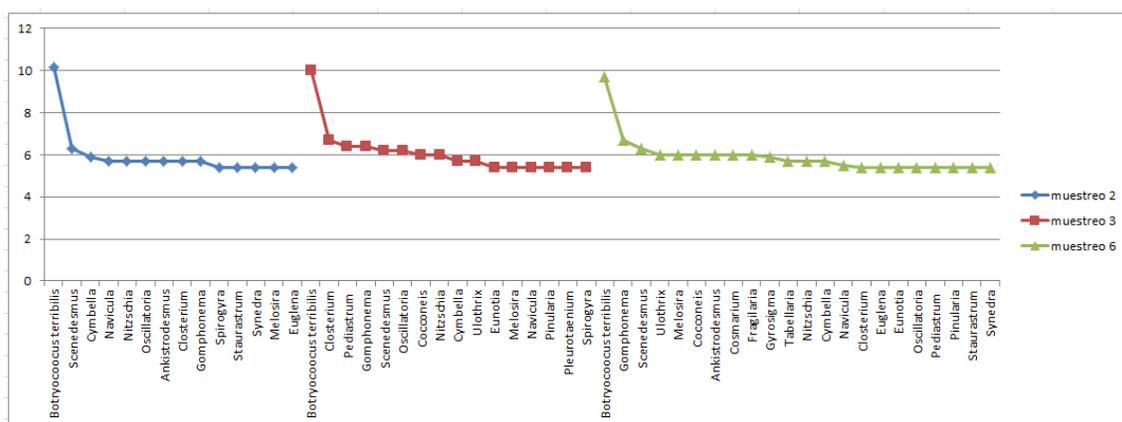


FIGURA 58. Abundancias por especies en época seca. En los tres muestreos se denota una mayor abundancia y dominancia de la especie *Botryococcus terribilis* y una mayor riqueza en el muestreo 6.

A través de los seis muestreos se observó una constancia de las especies *Botryococcus terribilis*, *Scenedesmus* sp., *Gomphonema* sp., *Navicula* sp., y *Oscillatoria* sp. Esta última obedeciendo a los inicios de contaminación que se está llevando a cabo en la laguna Jaimes.

En comparación al estudio de Parra & Rodelo, 2012. Observaron que los géneros generalistas de cianofitas como *Anabaena*, de euglenofitas como *Euglena*, *Trachelomonas*, y *Phacus* y diatomeas como *Melosira varians* son indicadoras de aguas ricas en materia orgánica. Estos organismos estuvieron distribuidos ampliamente en las estaciones de muestreo. En cuanto a la laguna Jaimes estos géneros la presencia fue en menor abundancia, pero manteniéndose constante la especie *Euglena* sp. a lo largo de los muestreos. Por otra parte, Las especies *Cymbella* sp, *Nitzschia* sp, *Surirella* y *Pinnularia* son características de aguas limpias y con un bajo contenido de materia orgánica. Estas especies mantuvieron constancia en la época seca.

4.4.3 Observación microscópica

Las Figuras de la 59 a la 87 muestran los principales géneros de microalgas encontrados en la Laguna Jaime.

Clase *Bacillaphoryceae*



Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laboratorio de microalgas. Universidad de Pamplona

FIGURA 59. *Gomphonema acuminatum*



Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laboratorio de microalgas. Universidad de Pamplona

FIGURA 60. *Gomphonema truncatum*



Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laboratorio de microalgas. Universidad de Pamplona

FIGURA 61. *Gomphonema geminatum*

El género *Gomphonema* incluye las diatomeas que presentan células con caras pleurales cuneiformes. Se pueden encontrar fijas a sustratos mediante pedúnculos gelatinosos simples. La mayoría de los representantes de este género habita aguas dulces. Se caracteriza por presentar un eje apical de 12 a

145 um, eje transapical 4 a 23 um, estrías desde 8 hasta 15 en 10 um (Rivera P *et al.*, 1983).



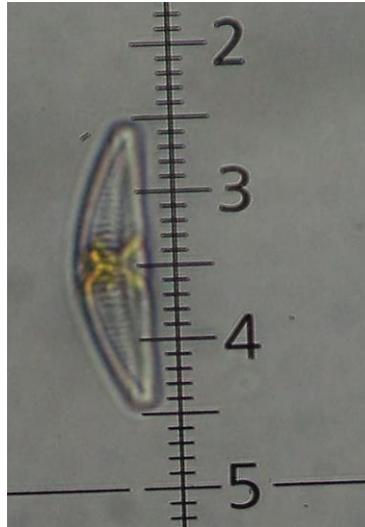
Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laboratorio de microalgas. Universidad de Pamplona

FIGURA 62. *Cymbella lanceolata*



Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laboratorio de microalgas. Universidad de Pamplona

FIGURA 63. *Cymbella naviculiformis*



Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laboratorio de microalgas. Universidad de Pamplona

FIGURA 64. *Cymbella tumida*

El género *Cymbella* comprende unas 140 especies de agua dulce. Los caracteres sistemáticos son la presencia o ausencia de estigma y su ubicación, forma y tamaño de las valvas, estructura y posición del rafe, forma de los nódulos y de las áreas axial y central como el número y orientación de las estrías. Se caracterizan por presentar células solitarias libres o fijas o coloniales mediante tubos mucosos. Morfológicamente presentan valvas con aspecto de una navícula curvada, con un eje apical de 15 a 265 μm , eje transapical 5 a 48 μm , estrías desde 9 hasta 14 en 10 μm (Rivera P *et al.*, 1983)



Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laboratorio de microalgas. Universidad de Pamplona

FIGURA 65. *Pinnularia* sp.

El género *Pinularia* contiene 400 especies confinadas exclusivamente a las aguas dulces, especialmente ácidas. Células solitarias que se caracteriza por presentar rafe ligeramente ondulado, estrías transversales gruesas que a veces presentan poros. Valvas muy grandes o muy pequeñas, lineares a linear-lanceoladas con extremos redondeados o capitados. Rafe mediana, filamentosa o con estructuras más complejas. Presencia de dos grandes cloroplastos por célula. Presentan un eje apical de 28 a 360 μm , eje transapical 4 a 42 μm , estrías desde 5 hasta 14 en 10 μm (Rivera P *et al.*, 1983)



Fuente: Roa P., A.L. Técnica digital. Laboratorio de microalgas. Universidad de Pamplona

FIGURA 66. *Synedra* sp.

El género *Synedra* comprende más de 40 especies, células solitarias, valvas isopolares, grandes, lineares, con eje apical curvado, estrías transversales finas. Área central presente o ausente. Con un cloroplasto con numerosos pirenoides. Con eje apical de 22 a 226 μm , eje transapical 2 a 7 μm , estrías desde 10 hasta 20 en 10 μm (Rivera P *et al.*, 1983)



Fuente: Roa P., A.L. Técnica digital. Laboratorio de Microalgas. Universidad de Pamplona

FIGURA 67. *Tabellaria* sp.

El género *Tabellaria*, se caracteriza por agruparse dando lugar a formaciones cuadradas o rectangulares que se disponen en zig-zag, estos grupos están unidos entre sí por las esquinas mediante mucílago y pueden formar muy largas cadenas.

Los individuos aislados tienen forma de bastón pero están engrosados en tres puntos, el centro y los extremos. Cuando se observa de lado las células son casi cuadradas, con numerosas bandas intercalares cuyos numerosos septos penetran profundamente. La especie vive en aguas con pocos nutrientes, prefiere las aguas algo ácidas y es muy sensible a la contaminación.

Generalmente vive sobre otras algas o sobre el substrato rocoso en manantiales y cursos de agua. (Rivas A. *et al.*, 2010)



Fuente: Roa P., A.L., Técnica digital. Laboratorio de microalgas. Universidad de Pamplona

FIGURA 68. Género *Eunotia* sp.

El género *Eunotia* presenta frústulo generalmente de estructura alargada, rara vez de forma circular, usualmente con un rafe o pseudorrafe. El frústulo está provisto de rafe en al menos, una valva, a veces muy corto y restringido a los polos. Los frústulos son asimétricos. El rafe está desarrollado sobre el manto, en visión valvar y sólo se aprecia cerca de los polos. Normalmente presenta valvas de más de 30 μm de largo y/o 6 μm de ancho. Margen dorsal con dos o más ondulaciones. La longitud es de 17-90 μm ; Anchura: 3-9 μm ; Estrías: 8-14 / 10

μm (Alcober J, Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente. España)



Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laboratorio de microalgas. Universidad de Pamplona

FIGURA 69. *Navicula* sp.

El género *Navicula* posee alrededor de 500 especies, presenta valvas lineales, lanceoladas o elípticas con extremos redondeados. Rafe simple. Estrías formadas de “punta”, frecuentemente en aspecto lineal. Área central de forma y tamaño variable. Generalmente dos grandes cloroplastos por célula. (Rivera P et al., 1974)

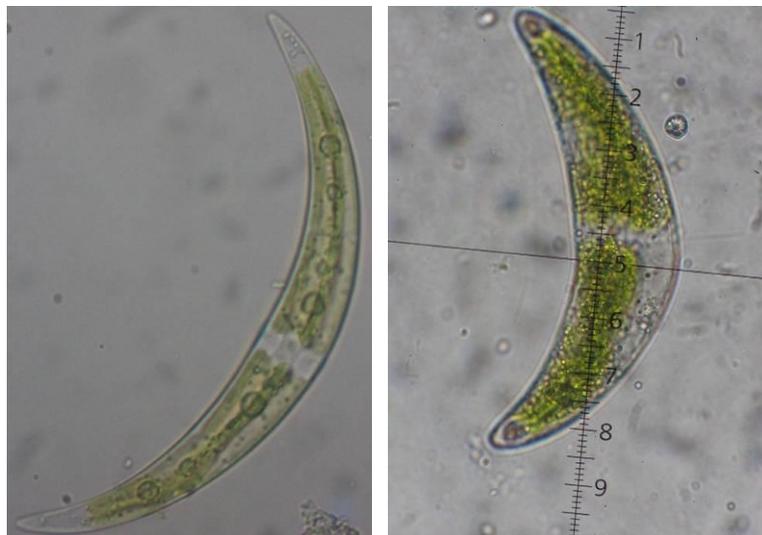


Fuente: Roa P., A.L., Técnica digital. Laboratorio de microalgas. Universidad de Pamplona

FIGURA 70. *Gyrosigma* sp.

Gyrosigma reúne una docena de especies de aguas dulces, la mayoría de las células son de vida libre. Valva alargada, leve o fuertemente sigmoides. Área axial y rafe sigmoides u ondulados. Rafe generalmente incospicuo a excepción de sus extremos, extremos proximales curvados en distinta dirección o derechos. Con eje apical de 81 a 200 μm , eje transapical 7 a 14 μm , estrías desde 20 hasta 38 en 10 μm (Rivera P *et al.*, 1983)

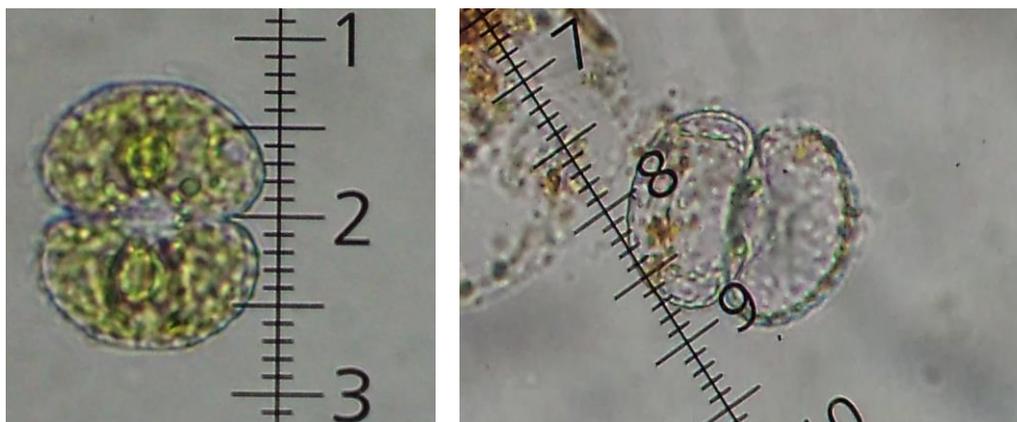
Clase Zygnemophyceae



Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laboratorio de microalgas. Universidad de Pamplona

FIGURA 71. *Closterium* sp.

El género *Closterium* se caracterizan por algas alargadas y cilíndricas, unicelulares presentan forma lunada compuesta de dos semicélulas simétricas individuales, sin constricción media. Sección transversal circular. Pared celular lisa o estriada. Sus cloroplastos son axiales y se caracterizan por presentar muchos pirenoides en cada semicélula. Presenta vacuolas visibles en los extremos de la célula con CaSO_4 líquido que les permite flotar sobre el agua, lo que permite recibir la mayor cantidad de luz para el proceso de fotosíntesis. La reproducción sexual se presenta por conjugación y en la asexual las células se rompen a la mitad y cada una de ellas regenera la parte que le falta completando así el ciclo de la vida. (Parra O *et al.*, 1982)



Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laboratorio de microalgas. Universidad de Pamplona

FIGURA 72. *Cosmarium* sp.

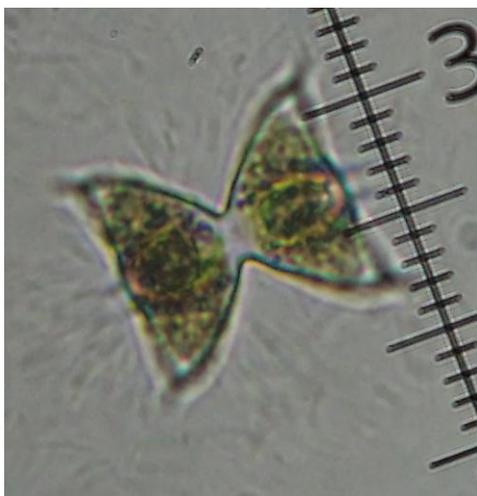
El género *Cosmarium* sp. Se caracteriza por ser células solitarias, que van de, pequeñas a grandes, con una constricción mediana poco profunda a profunda (istmo). Semicelas redondeadas, reniformes, piramidadas, cuadradas con margen entero o ondulado; Subcircular a alargada-ovalada (biradiate) en vista apical. Triradiate formas conocidas en colecciones y culturas. Pared celular lisa con poros dispersos o adornados con gránulos pequeños o grandes, verrugas emarginadas, fosas redondas o triangulares, o espinas cortas. Adornos centrales y marginales diferentes o idénticos. La vaina mucilaginosa, secretada a través de los poros de la pared celular cilíndrica, a menudo rodea la célula. Cloroplastos de uno a varios por semicélula, axial o parietal, cada uno con uno o varios pirenoides por cloroplasto. Núcleo en el istmo (Ralfs, 1848).



Fuente: Roa P., A.L., Técnica digital. Laboratorio de microalgas. Universidad de Pamplona

FIGURA 73. *Pleurotaenium* sp.

El género *Pleurotaenium* está constituido por células solitarias, rectas elongadas, cilíndricas de sección transversal circular, contraídas en la parte media, con sutura prominente. Hemicélulas comúnmente infladas en la base, márgenes laterales derechos, ondulados o nodulosos. Ápices truncados o truncado redondeados, frecuentemente plegados alrededor de la periferia o provistos de un anillo de tubérculos. Pared celular punteada o finamente escrobiculada. Cloroplastos parietales, numerosos, ordenados en bandas longitudinales irregulares, que se interrumpen en pequeñas masas romboidales o lanceoladas con numerosos pirenoides. Longitud de las células 270 a 1020 μm (Parra, 1982)



Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laboratorio de microalgas. Universidad de Pamplona

FIGURA 74. *Staurastrum* sp.

El género *Staurastrum* se caracteriza por ser células que su tamaño varía entre pequeñas a grandes, de 2 a 12 radiaciones en vista de extremo, con constricción mediana poco profunda o profunda (istmo), donde las paredes de la semicela se superponen, y dos morfologías integradas de las células. La mayoría de las especies con procesos largos y huecos en cada semicélula (número relacionado con el patrón de radiación); Procesos usualmente con dos o más espinas terminales y posiblemente una o más series de denticulaciones,

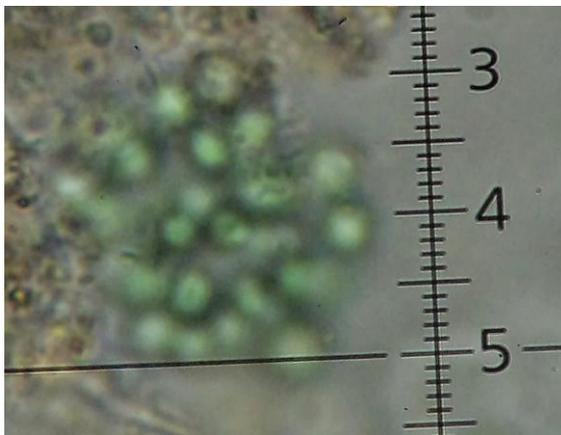
espinas o verrugas a lo largo del proceso y en el ápice y cuerpo del eje central de la semicélula.



Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laboratorio de microalgas. Universidad de Pamplona

FIGURA 75. *Spyrogira* sp.

El género *Spyrogira* es un alga filamentosa caracterizada por cloroplastos espiralados en doble hélice que recorren todo el tricoma, se encuentra en agua marina y agua dulce, incluyendo los lagos con alto contenido de carbonato de sodio, lagos del pantano, y sobre el barro húmedo. Tiene aproximadamente entre 10 y 100 μm de ancho y puede llegar a varios centímetros de longitud (Parra, 1982)

Clase *Chlorophyceae*

Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laboratorio de microalgas. Universidad de Pamplona

FIGURA 76. *Coelastrum* sp.

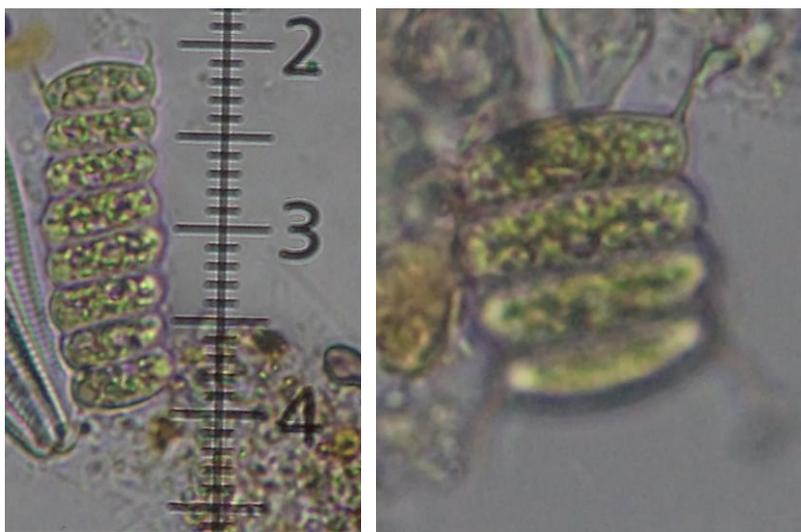
El género *Coelastrum* presenta Cenobios esféricos de 4-32 células unidas por la pared. Células esféricas, de pared lisa delgada, de 8-14 μm de diámetro. Cloroplasto parietal con pirenoide. Células generalmente esféricas, unidas directamente entre ellas, sin protuberancias en las paredes. Crece formando colonias (Verdugo M, Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente. España)



Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laboratorio de microalgas. Universidad de Pamplona

FIGURA 77. *Monoraphidium* sp.

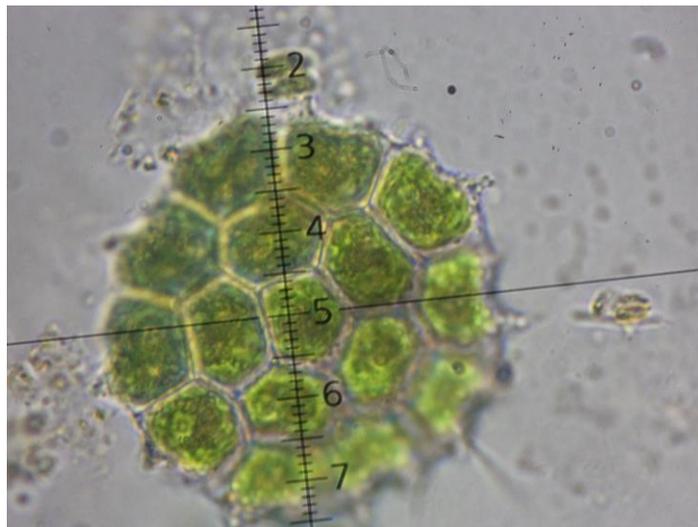
El género *Monoraphidium* se caracteriza por células solitarias. Las células se dividen transversalmente, pueden generar de 4-8 autospores, las cuales permanecen juntas durante un tiempo y separándose después. El tamaño va de 41-51 por 2-3 micras. (Parra, 1982)



Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laboratorio de microalgas. Universidad de Pamplona

FIGURA 78. *Scenedesmus* sp.

El género *Scenedesmus* comprende células elipsoidales o fusiformes, de 2, 4, a 8 para formar colonias planas. Se caracterizan por presentar cenobios de ocho células con frecuencia constituidos por dos hileras alternadas de cuatro células. Pared lisa o verrugosa. En los polos de las células se pueden observar ornamentos con espinas. Las células presentan un cloroplasto con un pirenoide. Las células pueden presentar una longitud entre 2.5 a 50 μm (Parra, 1982)



Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laboratorio de microalgas. Universidad de Pamplona

FIGURA 79. *Pediastrum* sp.

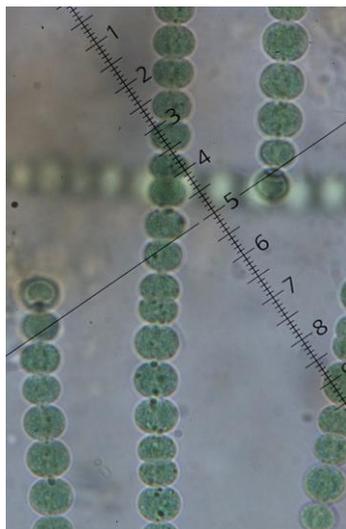
El género *Pediastrum* se caracteriza por presentar cenobios planos perforados o no, o con espacios intercelulares muy pequeños, con células poligonales unidas por la pared. Las marginales se dividen en dos lóbulos orientados en el mismo plano del cenobio formando dos proyecciones anchas y relativamente cortas terminadas en apéndices hialinos finos. Los extremos de estos apéndices son truncados o algo capitados. Presentan pared uniformemente granulada. Cenobios hasta 102 μm ; células hasta 20 por 17 μm (Parra, 1982)



Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laboratorio de microalgas. Universidad de Pamplona

FIGURA 80. *Chlamydomonas* sp.

El género *Chlamydomonas* comprende células solitarias de forma regular o con dorsiventralidad mas o menos marcada, ovoide, elipsoidales, globulosas, fusiforme, con dos flagelos iguales. Sección transversal siempre redondeada, poco elíptica. Pared bien determinada lisa. Cloroplastos de formas variadas. Estigma ausente, varias vacuolas contráctiles. Pirenoides pueden variar de uno a muchos. Longitud de las células 3.5 a 26 μm (Parra, 1982)



Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laboratorio de microalgas. Universidad de Pamplona

FIGURA 81. *Anabaena* sp.

El género *Anabaena* está formado por estructuras rectas denominadas tricomas, con o sin una capa mucilaginosa difluente, agregados para formar colonias verdeazuladas. Células ovaes, de 4-6 μm de diámetro. Célula terminal redondeada. Heterocistos de 6-10 x 5,5-6,5 μm . Acinetos cilíndricos, 14-20 x 6-8 μm , solitarios o en grupos, de paredes lisas, incoloras o amarillentas. (Van Den Hoek C *et al.*, 1995)

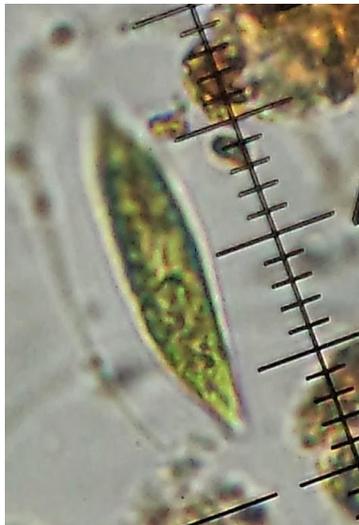


Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laboratorio de microalgas. Universidad de Pamplona

FIGURA 82. *Ankistrodesmus* sp.

El género *Ankistrodesmus* posee cenobios compuestos de dos o más células. Células fusiformes o cilíndricas, rectas, espiraladas o arqueadas, siempre varias veces más largas que anchas. Cloroplasto parietal llenando toda la célula, sin pirenoide (Parra, 1982).

Clase Euglenophyceae



Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laboratorio de microalgas. Universidad de Pamplona

FIGURA 83. *Euglena* sp.

El género *Euglena* está constituido por algas unicelulares eucariotas con mesocarion, flageladas, heterótrofas y autótrofas. Presentan pigmentos fotosintéticos como la clorofila a y b. Carecen de pared celular aunque pueden presentar un mucilago con presencia de minerales como Fe y Mn. Pueden presentar 1,2, 3 o más flagelos. Los cloroplastos uno o varios por célula presentan tilacoides agrupados de a 3 y no forman granas. Presentan reproducción asexual por división longitudinal. La reproducción sexual es desconocida. Tienen de 91 a 300 μm de largo y de 8-26 μm de ancho (Parra, 1982)

Clase *Cyanophyceae*

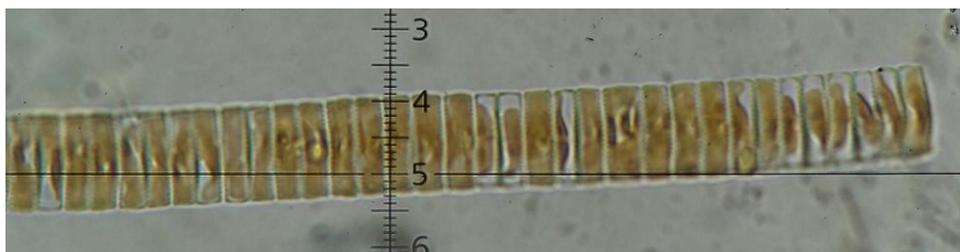


Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laboratorio de microalgas. Universidad de Pamplona

FIGURA 84. *Oscillatoria* sp.

El género *Oscillatoria* se encuentra en una amplia variedad de entornos, incluyendo aguas termales, hábitats marinos, lagos tropicales y de las regiones polares, así como sustratos húmedos terrestres. El nombre responde a la capacidad del organismo para girar, u oscilar. Las células presentan forma de disco que es típicamente más ancha que larga se adjuntan extremo a extremo para formar filamentos rectos no estrangulados en las paredes laterales, libres o sésiles (Van Den Hoek C *et al.*, 1995)

Clase *Ulvophyceae*



Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laboratorio de microalgas. Universidad de Pamplona

FIGURA 85. *Ulothrix* sp.

El género *Ulothrix* se caracteriza por presentar filamentos fijos al estado juvenil pero sin célula apical diferenciada, libre flotantes al estado adulto, cilíndricos o un poco moniliformes, compuestos de una sola serie de células iguales, las cuales pueden presentar una envoltura gelatinosa amorfa o estriada longitudinalmente o transversalmente. Células con un cloroplasto parietal cubriendo al menos la mitad o las tres cuartas partes de la circunferencia de la célula, con uno o varios pirenoides. Longitud 10 a 60 μm (Parra, 1982)

Clase *Fragilariophyceae*

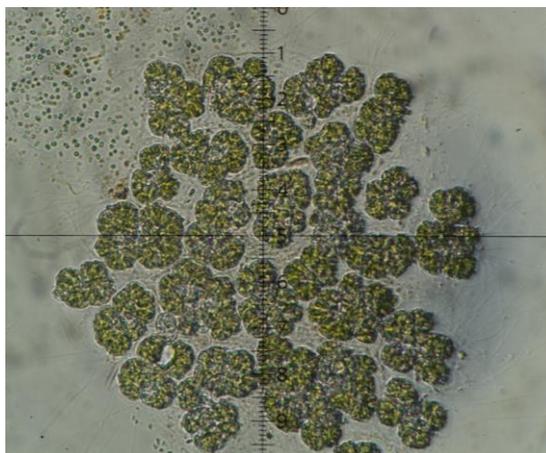


Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laboratorio de microalgas. Universidad de Pamplona

FIGURA 86. *Fragilaria* sp.

El género *Fragilaria* se caracteriza por que el frustulo va de rectangulares a lanceolate en vista de la faja. El patrón de ornamentación en la cara de la válvula es variable, pero generalmente hay un esternón central. El frustulo se une por pequeñas espinas marginales para formar la cinta como (en forma de banda) las colonias. Una única rimoportula está presente, usualmente situada en un extremo distal. También se encuentran pequeños campos de poros apicales. Las bandas de faja están abiertas. Las células vivas contienen plastidios compuestos de 2 placas, colocadas contra la cara de la válvula. (Spaulding *et al.*, 2008).

Clase *Trebouxiophyceae*



Fuente: Carrillo S. K.J., Técnica digital. Laboratorio de microalgas. Universidad de Pamplona

FIGURA 87. *Botryococcus terribilis*

El género *Botryococcus* se caracteriza por ser células ovoides con su base cónica redondeada contenida dentro de un tubo gelatinoso corto; y su parte superior rodeada por un halo gelatinoso. Los filamentos finos conectan las células. El cuerpo celular es ovoide, de 6 a 10 μm de largo y de 3 a 6 μm de ancho. Un solo cloroplasto parietal lobado presenta en su base un pequeño pirenoide difícil de observar (Parra, 1982).

4.4 RELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y LAS ESPECIES MICROALGALES

En muchas investigaciones, describir cualquier situación real, por ejemplo, las características físicas de una persona, de un país, el rendimiento de un proceso, y muchos otros fenómenos requieren tener en cuenta simultáneamente varias variables. Para el caso de esta investigación se aplicó el análisis de componentes principales (ACP) con el fin de obtener un menor número de variables construidas como combinaciones principales de las variables originales. Por otra parte, para evaluar la correlación entre las variables fisicoquímicas y especies de microalgas se aplicó el análisis de correlación canónica (ACC), ya que es un método de dependencia que cuantifica la validez de la relación entre dos o más conjuntos de variables (dependiente e independiente). De esta manera la correlación canónica identifica la estructura óptima o la dimensionalidad de cada conjunto de variable y maximiza la relación

entre los mismos. (Hair *et al.*, 1999). Como variables dependientes se tomaron las especies de microalgas, como variables independientes las variables fisicoquímicas y las bacteriológicas. En primer lugar se presentan los resultados de ACP y seguidamente los de ACC.

En las tablas siguientes se presentan los valores centrales (Media o mediana) junto con los valores de la desviación estándar para cada una de las variables físico químicas. En primer lugar, se presentan los resultados descriptivos de las variables fisicoquímicas y de microalgas y a continuación los resultados del análisis de componentes principales ACP y los análisis de correlación canónica ACC.

En las TABLAS 16 y 17 se presentan las estadísticas descriptivas tales como la media o mediana y la desviación estándar. Las variables fisicoquímicas que más presentan variación fueron la DQO, sólidos totales y la dureza.

TABLA 16. Estadísticos descriptivos-variables

VARIABLES FISICOQUIMICAS	Media	Desviación típica
DBO ₅	Mediana	13,9
	19,5	
DQO	Mediana	30,8
	39	
O ₂	Media	2,0
	7,8	
CONDUCTIVIDAD	Media	9,0
	91	
TURBIDEZ	Media	2,4
	7,9	
SOLIDOS TOTALES	Mediana	71,5
	107	
pH	Media	0,4
	7,8	
T°	Media	2,0
	13,1	
NITRITOS	Media	0,005
	0,006	
FOSFATOS	Mediana	1,0
	2,0	
ALCALINIDAD	Media	10,5
	48,5	
DUREZA	Mediana	28,0
	35,5	
CLORUROS	Media	0,9
	2,5	
SULFATOS	Mediana	4
	5	
COLOR	Media	6
	45	

TABLA 17. Estadísticas descriptivas especies de microalgas

Género de microalgas	Media	Desviación Estándar	Género de microalgas	Media	Desviación Estándar
<i>Ankistrodesmus</i>	922,06	741,988	<i>Melosira</i>	799,7	699,431
<i>Botryococcus terribilis</i>	184349,7	44089,29	<i>Monoraphidium</i>	147,71	361,802
<i>Closterium</i>	1521,44	1333,259	<i>Navicula</i>	1323,31	535,014
<i>Cocconeis</i>	590,82	915,289	<i>Nitzschia</i>	1069,77	595,469
<i>Coelastrum</i>	147,71	361,802	<i>Oscillatoria</i>	1222,69	498,077
<i>Cosmarium</i>	799,7	896,304	<i>Pediastrum</i>	1057,9	1081,8
<i>Cymbella</i>	1052,68	551,237	<i>Pinularia</i>	652	524,666
<i>Eudonia</i>	356,59	564,491	<i>Pleurotaenium</i>	295,41	457,647
<i>Euglena</i>	652	524,666	<i>Scenedesmus</i>	2321,64	359,662
<i>Eunotia</i>	504,3	568,456	<i>Spirogyra</i>	443,12	485,408
<i>Fragilaria</i>	504,29	798,31	<i>Staurastrum</i>	590,82	457,647
<i>Gomphonema</i>	2136,23	1058,865	<i>Synedra</i>	504,3	568,456
<i>Gyrosigma</i>	295,41	457,647	<i>Tabellaria</i>	208,89	511,662
<i>Gyrosigma2</i>	356,59	564,491	<i>Ulothrix</i>	504,29	798,31

En la TABLA 17 se observa que la mayor variación se presenta en la especie, *Botryococcus terribilis* y una menor variación la presenta las especies *Scenedesmus*, *Gomphonema*, *Navícula*, *Closterium* y *Cymbella*. Estas especies se mantuvieron casi constantes a lo largo del estudio, reportando presencia en la mayoría de todos los muestreos.

A continuación se presentan los resultados de componentes principales.

4.4.1 Análisis de componentes principales

En este numeral se muestran los resultados más importantes del análisis de componentes principales, donde la gráfica de sedimentación ayuda a seleccionar el número de componentes principales que representa mejor a un conjunto de datos mediante el porcentaje de varianza total explicada. En este caso, se observan cinco factores representados porcentualmente así. El primer factor está explicando el 33% de varianza, el segundo el 28%, el tercero el 18%, el cuarto el 14% y el quinto el 6%.

TABLA 18: Valores propios:

	F1	F2	F3	F4	F5
Valor propio	9,866	8,414	5,478	4,269	1,973
Variabilidad (%)	32,888	28,046	18,259	14,231	6,577
% acumulado	32,888	60,934	79,192	93,423	100,000

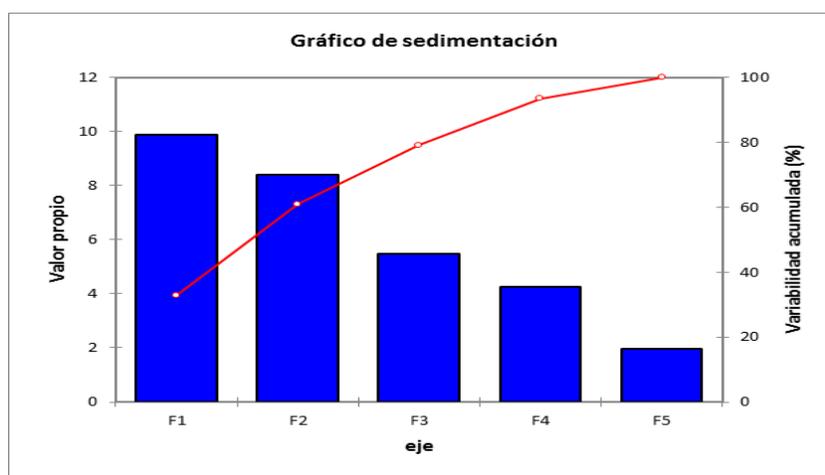


FIGURA 88. Gráfico de sedimentación

El ACP sintetizó los patrones físicos, químicos e bacteriológicos de la laguna Jaimes (Figura 88), indicando que el primer componente respondió por el 37,12% y el segundo por 33,72% de la varianza.

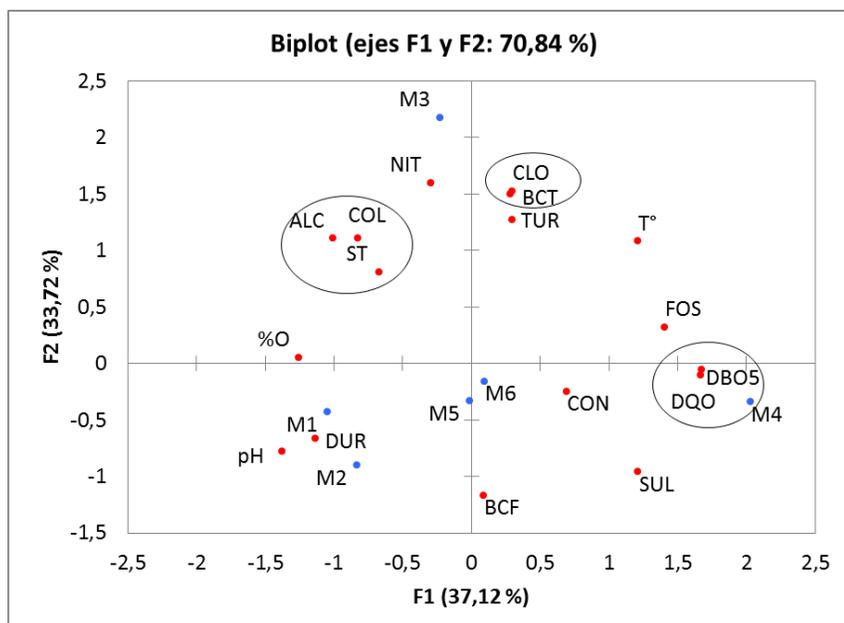


FIGURA 89. Gráfico biplot de Componentes principales muestreos en azul y en rojo parámetros físicoquímicos.

La FIGURA 89, hace parte del análisis de componentes principales, en síntesis, se representan al mismo tiempo las microalgas, el número de muestreos y las variables físico-químicas del conjunto de datos, respecto a las cinco primeras componentes principales. Como se dijo antes, el primer factor o componente lo explican las variables físico-químicas DQO, DBO, O₂, sulfatos y

por las especies *Synedra* sp., *Gyrosigma* sp., *Fragilaria* sp., *Gyrosigma* sp2., *Closterium* sp. y *Coelastrum* sp. Donde el O₂ y la especie *Closterium* sp. Presentan una correlación negativa con respecto a los otros parámetros. Se observa, que entre las especies relacionadas positivamente con el primer componente son diatomeas. En este factor se registran los valores más altos indicando indicios de contaminación por materia orgánica llevando a la laguna a un proceso de eutrofización; la especie *Synedra* sp. es poco exigente con la calidad de las aguas que habitan (Escobar *et al.*, 2013), junto con *Closterium* sp.

El segundo factor por turbidez, pH, temperatura, nitritos, fosfatos, dureza, cloruros, *Staurastrum*, *Pleurotaenium*, *Ankistrodesmus* y *Euglena*. Representando un 28% indica que las condiciones en su mayoría tróficas son muy similares para todo el sistema.

Para el tercer factor *Cocconeis*, *Botryococcus* *terribilis*, *Gomphonema*, *Cosmarium*, *Ulothrix*. Este tercer componente lo conforman especies que se pueden encontrar en una gama relativamente amplia de condiciones ambientales (Patrick & Reimer, 1996; Roldán & Ramirez, 2008). Por tanto no son selectivos en cuanto a su hábitat.

El cuarto factor por *Pediastrum* sp., y el quinto factor sólo está representado por la microalga *Spyrogyra* sp., representando un 6%. Parra & Rodelo, 2012. (Ver ANEXO 7)

4.4.2 Correlación canónica

Con la aplicación de la correlación canónica, se busca observar la relación entre dos conjuntos de matrices: la primera matriz de variables dependientes es el lugar de muestreo x especie de microalga y la segunda matriz de variables independientes son las variables fisicoquímicas.

El porcentaje acumulativo de varianza entre los datos de los géneros se explica mediante cuatro ejes o funciones canónicas que maximizan la correlación entre combinaciones lineales, también conocidas como valores teóricos canónicos, que son conjuntos de variables dependientes e independientes que suman en total el 94,7% del fenómeno de estudio, individualmente se pueden observar el valor en la TABLA 18.

Otra característica única de la correlación canónica es que se obtienen los valores teóricos de forma que se maximice su correlación. La variabilidad explicada por los ejes de ordenación está representada por el término inercia (*Inertia*), que representa la variabilidad total de los datos. Esta técnica se centra especialmente en dar explicación de la cantidad máxima de relación entre dos

conjuntos de variables. En la TABLA 19 se muestra que la inercia total es igual a 0.773 lo que significa que hay buena correlación entre los dos grupos de variables fisicoquímicas y los géneros microalgas.

TABLA 19. Resumen correlaciones canónicas

Ejes	1	2	3	4	Total inercia
Eigenvalues :	0.286	0.200	0.133	0.113	0.773
Species-environment correlations :	1.000	1.000	1.000	1.000	
Cumulative percentage variance					
of species data :	36.9	62.8	80.0	94.7	
of species-environment relation:	36.9	62.8	80.0	94.7	
Sum of all eigenvalues					0.773
Sum of all canonical eigenvalues					0.773

En otras palabras, el valor del 77,3% significa que hay buena correlación entre los grupos de variables fisicoquímicas y los géneros microalgales. Por otra parte, el porcentaje acumulativo de varianza entre los datos de los géneros se explica mediante cuatro ejes que suman en total el 94,7% del fenómeno de estudio, individualmente se pueden observar el valor en la tabla.

A continuación se presenta el gráfico de correlación canónica y la descripción del grupo de variables en cada uno.

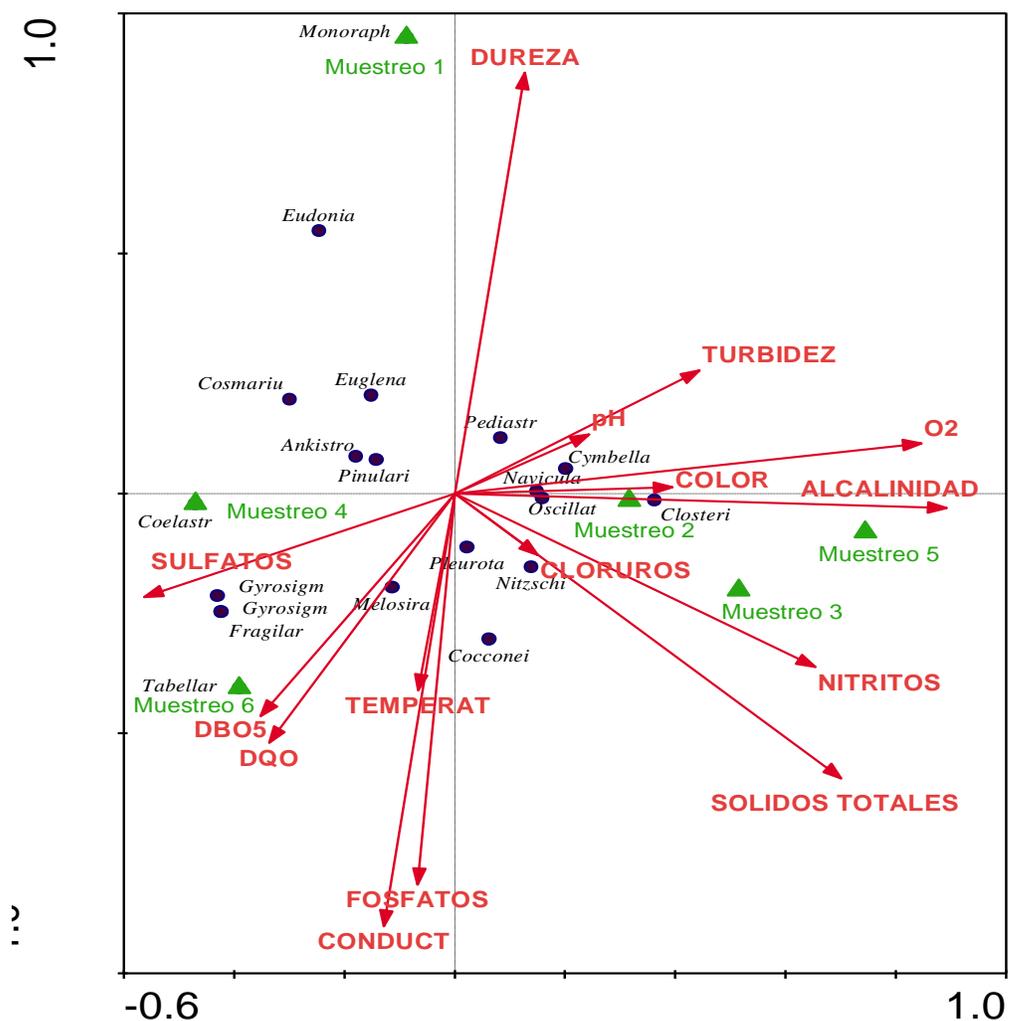


FIGURA 90. Correlación canónica variables físicoquímicas vs microalgas

En la figura anterior se puede observar que en el muestreo 1, hubo presencia de los géneros microalgales *Monoraphydidium sp.*, *Eudonia sp.*, *Euglena sp.*, *Pinularia sp.* y *Ankistrodesmus sp.* En el muestreo 2, 3 y 5 se observa presencia de *Oscillatoria sp.*, *Closterium sp.*, *Nitzschia sp.*, *Pleurotaenum sp.* y *Coccone* *sp.*, además en cuanto a características ambientales se relaciona

con cloruros, nitritos y solidos totales. Los muestreos 4 y 6 se caracterizan por la presencia de los géneros *Gyrosigma sp.*, *Fragilaria sp.* y *Melosira sp.* Por presentar mayor abundancia para estos muestreos siendo que uno es en época de lluvia y el siguiente en seca.

La correlación entre los géneros de microalgas: *Navicula sp.*, *Gyrosigma sp.*, *Scenedesmus sp.*, *Pleurotaenium sp.*, y *Monoraphidium sp.* con las variables fisicoquímicas Demanda biológica de oxígeno (DBO₅) y la demanda química de oxígeno (DQO) es buena, pero con los géneros *Cymbella sp.*, *Coelastrum sp.* se observa una excelente correlación por su capacidad de tolerar aguas levemente contaminadas por compuestos orgánicos.

La variable oxígeno se relaciona con los géneros microalgales *Cymbella sp.*, *Pinularia sp.*, *Fragilaria sp.*, *Gyrosigma sp.*, *Cosmarium sp.* y *Coelastrum sp.* encontrados en los muestreos. Pero con el género *Gyrosigma sp.* posee una mayor correlación.

5. CONCLUSIONES

Se registro un total de 48 especies de microalgas de la Laguna Jaimes, siendo el primer estudio en este complejo lagunar.

La caracterización físicoquímica de la Laguna Jaimes permitió determinar que el ecosistema se encuentra iniciando procesos de eutrofización.

De acuerdo a lo expresado en los índices BMWP/Col, índices contaminación y por las herramientas estadísticas demuestran que la laguna Jaimes se encuentran en un proceso ligeramente de contaminación reflejado en los ICOS debido a solidos suspendidos y materia orgánica, relacionados con altos valores de oxigeno, alta conductividad y dureza las cuales son causantes del bajo nivel de familias encontradas y cuyo procesos se relacionan con procesos naturales y antrópicos.

La especie *Botryococcus terribilis* se presentó en todas las estaciones de referencia, a lo largo del estudio. Demostró que se adapta a este ambiente, ya que tuvo mayores abundancias a través del estudio.

Se obtuvo la presencia de dos especies exclusivas para estos páramos como fueron *Espeletia estanislana*, Cuatrec. Reportándose en la categoría En Peligro para el Libro Rojo de Plantas de Colombia y *Espeletia caldasii*.

La caracterización físico-química de la Laguna Jaimes permitió determinar que el ecosistema se encuentra iniciando procesos de eutrofización provocando así un aumento en la DQO, DBO₅ turbidez, conductividad, sólidos totales, fosfatos. Se registró oxígeno disuelto elevado, valor que indica procesos de iniciación de eutrofización, relacionados con incremento de nutrientes, y la presencia de macrofitas conduciendo a un aumento de la temperatura del sistema.

Se registraron treinta (30) géneros, pertenecientes a ocho clases: *Bacilliarophyceae*, *Chlorophyceae*, *Euglenophyceae*, *Zygnemophyceae*, *Cyanophyceae*, *Trebouxioephyceae*, *Fragilariophyceae* y *Coscinodicophyceae*. La clase más abundante en número fue *Trebouxioephyceae*, seguida de *Bacilliarophyceae* y *Chlorophyceae*. Aun cuando la clase más abundante fue la *Trebouxioephyceae*, la que presentó la mayor diversidad en géneros fue la *Bacilliarophyceae* (9 géneros), seguidas de *Chlorophyceae* y *Zygnemophyceae*. Los géneros que se encontraron en mayor cantidad fueron: *Scenedesmus* sp, *Navicula* sp, *Cymbella* sp, *Pinnularia* sp, *Oscillatoria* sp, *Nitzschia* sp,

Gomphonema sp, *Closterium* sp, y *Pediastrum* sp., así como la especie *Botryococcus* *terribilis*.

La dinámica entre los géneros microalgales *Navicula* sp., *Gyrosigma* sp., *Scenedesmus* sp., *Pleurotaenium* sp., y *Monoraphidium* sp., con las variables fisicoquímicas DBO₅ y DQO se puede decir que es debido a su capacidad de tolerar aguas levemente contaminadas por compuestos orgánicos.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda aumentar el número de muestreos en un tiempo más prolongado y durante diferentes horas del día con el fin de observar el cambio espacio temporal de las microalgas a largo plazo y el cambio estructural de las mismas.

Se sugiere el aislamiento y cultivo de *Botryococcus terribilis* por su interés en bioremediación en sistemas contaminados y biotecnológico por su capacidad de producción de biodiesel.

ANEXOS

ANEXO 1

Especies	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6
<i>Anabaena sp1</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	1	1	1	0	0	0
<i>Ankistrodesmus sp1</i>	1	0	0	0	1	0
<i>Botryococcus terribilis</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Closterium parvulum</i>	1	1	0	0	0	0
<i>Cosmarium sp1</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Cosmarium subtumidum</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Crucigeniella crucifera</i>	1	1	0	0	0	0
<i>Cymbella lanceolata</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Desmidium sp1</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Eudorina sp1</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Euglena sp1</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Frustulia rhomboides var. crassinervia</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Gomphonema acuminatum</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Gomphonema truncatum</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Monoraphidium komarkovae</i>	1	0	0	0	0	1
<i>Navicula sp1</i>	1	1	0	0	1	0
<i>Nitzschia acicularis</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Nitzschia sigmoidea</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Oscillatoria sp1</i>	0	1	0	0	1	0
<i>Pediastrum boriarum</i>	1	0	0	0	0	1
<i>Pediastrum sp1</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Pinnularia similis</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Scenedesmus protuberans</i>	1	0	0	0	0	1
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	1	1	0	0	0	0
<i>Staurastrum gracile</i>	1	0	0	0	0	0

ANEXO 2

Especies	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6
<i>Anabaena cylindrica</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Ankistiodesmus sp1</i>	0	0	1	1	1	0
<i>Botryococcus terribilis</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Closterium aciculare</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Closterium diana</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Cymbella lanceolata</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Cymbella prostrata</i>	1	0	0	0	1	1
<i>Cymbella sp.</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Euglena sp</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Frustulia rhomboides var. crassinervia</i>	1	0	1	0	0	0
<i>Gomphonema geminatum</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Gomphonema johnsonii</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Gomphonema truncatum</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Melosira sp.</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Melosira roeseana</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Navicula sp.</i>	1	0	0	1	1	1
<i>Nitzschia sigmaidea</i>	1	1	1	0	1	0
<i>Oscillatoria sp.</i>	0	0	1	0	0	1
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	0	0	1	1	1	1
<i>Spirogyra sp.</i>	0	0	1	1	0	0
<i>Staurastrum diacanthum</i>	0	1	0	0	0	0

ANEXO 3.

Especies	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6
<i>Botryococcus terribilis</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Chlamydomonas opisthopyren</i>	1	0	0	0	0	1
<i>Closterium acerosum</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Closterium sp.</i>	1	0	1	0	0	0
<i>Cocconeis sp.</i>	0	1	1	0	0	0
<i>Cymbella lanceolata</i>	0	0	1	1	1	0
<i>Cymbella tumida</i>	0	1	0	0	1	0
<i>Gomphonema hebridense</i>	1	1	0	0	1	0
<i>Gomphonema truncatum</i>	1	0	1	0	1	0
<i>Melosira sp.</i>	1	1	1	1	0	1
<i>Nitzschia sigmoidea</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Oscillatoria sp.</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Pediastrum angulosum</i>	1	1	1	0	1	1
<i>Pinnularia similis</i>	1	0	0	0	1	1
<i>Pleurotaenium trabecula</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Scenedesmus armatus</i>	1	1	0	0	0	0
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Scenedesmus raciborskii</i>	1	1	0	0	1	1
<i>Spirogyra sp.</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Ulothrix sp.</i>	1	1	1	0	0	0

ANEXO 4.

Especies	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6
<i>Anabaena cylindrica</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Ankistiodesmus sp.</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Botryococcus terribilis</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Chlamydomonas sp.</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Cocconeis sp.</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Coelastrum sp.</i>	0	0	1	0	1	0
<i>Cosmarium sp.</i>	0	0	1	0	1	1
<i>Crucigeniella rectangularis</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Cymbella lanceolata</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Cymbella tumida</i>	1	0	1	0	0	1
<i>Euglena sp.</i>	1	0	0	0	1	0
<i>Fragilaria virescens</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Gomphonema acuminatum</i>	0	0	1	0	1	0
<i>Gomphonema hebridense</i>	1	0	0	0	1	0
<i>Gomphonema truncatum</i>	0	0	1	0	0	1
<i>Gyrosigma sp.</i>	0	0	0	0	1	1
<i>Melosira hustedti</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Melosira roeseana</i>	1	0	0	1	0	0
<i>Melosira sp.</i>	1	0	1	0	0	0
<i>Nitzschia sigmoidea</i>	1	1	1	0	1	1
<i>Oscillatoria sp.</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Pediastrum angulosum</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Pinnularia similis</i>	1	1	0	0	1	1
<i>Pleurotaenium trabecula</i>	0	0	1	0	0	1
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	1	0	1	0	1	1
<i>Scenedesmus raciborskii</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Spirogyra sp.</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Staurastrum diacanthum</i>	0	0	1	0	1	0
<i>Navicula sp.</i>	0	0	0	0	0	1

ANEXO 5.

Especies	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6
<i>Navicula sp.</i>	1	0	1	1	0	1
<i>Eunotia sp.</i>	0	1	0	0	1	0
<i>Cymbella tumuda</i>	1	0	0	1	1	1
<i>Nitzschia sigmaidea</i>	1	0	1	1	1	1
<i>Botryococcus terribilis</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Gomphonema truncatum</i>	0	0	1	0	0	1
<i>Closterium sp.</i>	1	0	1	0	0	0
<i>Oscillatoria sp.</i>	0	0	1	0	0	0

ANEXO 6.

Especies	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6
<i>Navicula sp.</i>	0	0	0	0	1	1
<i>Eunotia sp.</i>	0	0	1	1	0	0
<i>Cymbella tumuda</i>	0	1	1	0	1	0
<i>Pinnularia similis</i>	1	1	0	0	1	1
<i>Tabellaria sp.</i>	1	0	1	1	0	1
<i>Synedra sp.</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Nitzschia sigmaidea</i>	1	1	1	1	0	1
<i>Gyrosigma sp.</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Fragilaria virescens</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Melosira sp.</i>	1	0	0	1	0	0
<i>Cocconeis sp.</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Botryococcus terribilis</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	1	1	0	1	1	0
<i>Gomphonema truncatum</i>	0	0	1	1	1	0
<i>Cosmarium sp.</i>	0	0	1	0	1	1
<i>Closterium sp.</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Staurastrum diacanthum</i>	0	1	0	1	0	0
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Ulothrix sp.</i>	1	1	1	0	0	0
<i>Pediastrum boriarum</i>	1	0	0	0	0	1
<i>Euglena sp.</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Oscillatoria sp.</i>	0	0	1	0	0	0

LISTA DE REFERENCIAS

- Abarca, F. J. y M. Herzig, 2002. Manual para el manejo y la conservación de los humedales de México. Tercera edición actualizada y corregida. Publicación especial bajo colaboración de la Dirección General de Vida Silvestre-SEMARNAT, Arizona Game and Fish Department, North American Wetland Conservation Act, U.S. Fish and Wildlife Service, Convención Ramsar, U.S. State Department, Ducks Unlimited of Mexico-A.C., Pronatura Noreste, Canadian Wildlife Service y Society of Wetlands Scientists. Phoenix, Arizona.
- Acosta-Galvis, A. R. 2000. Ranas, salamandras y caecilias (Tetrapoda: Amphibia) de Colombia. *Biota Colombiana*: 289-319.
- Alarie, Y., et al. (2009). La morfología larval de *rhantus* Dejean, 1833 (Coleoptera: Dytiscidae: Colymbetinae): descripciones de 22 especies y consideraciones filogenéticas. *Zootaxa*, 2317, 1-102.
- Algaebase: Listing the World's Algae (2016). Algaebase.org. (<http://www.algaebase.org/>)
- Arcos, M., Gómez, A.C., 2006. Microalgas perifíticas como indicadores del estado de las aguas de un humedal urbano: Jaboque, Bogotá D.C., Colombia Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. Colombia.
- Ardila-Robayo, M. C. y A. R. Acosta-Galvis. 2000. Anfibios. Pp: 617-628. En: Rangel-Ch., J. O. (Ed.). Colombia diversidad biótica III. La región de vida paramuna.
- Barrett G & Odum E. 2006. Fundamentos de Ecología. 5 ed. México: Cengage Learning Editores. Pp 424.
- Bernal, M. H. y J. D. Lynch. 2008. Review and Analysis of Altitudinal Distribution of the Andean Anurans in Colombia. *Zootaxa* 1826: 1-25.
- Blanca G., Cabezudo B., Cueto M., Salazar C. & Morales Torres C. (2011, eds.). Flora Vascular de Andalucía Oriental. Universidades de Almería, Granada, Jaén y Málaga, Granada.
- Borowitzka MA. 1988. Algal growth media and sources of cultures. In Borowitzka

MA, Borowitzka LJ (eds.), Micro-algal Biotechnology. Cambridge University Press, Cambridge, 456–465.

Bouchet, P.; Rosenberg, G. (2013). *Lymnaea* Lamarck, 1799. Accessed through: World Register of Marine Species at <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=160345> on 2013-06-06

Calderón, E., G. Galeano & N. García (eds.). 2005. Libro Rojo de Plantas de Colombia. Volumen 2: Palmas, frailejones y zamias. Serie Libros Rojos de Especies amenazadas de Colombia. Instituto Alexander Von Humboldt, Instituto de Ciencias Naturales - Universidad Nacional de Colombia, Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 454 pp.

Carvajal & Col, 2007. Análisis de la normatividad ambiental colombiana para el vertimiento de aguas residuales al sistema de alcantarillado público. Tesis de Pregrado. Universidad Pontificia Bolivariana.

Chinnasamy S, Bhatnagar A, Hunt RW, Das KC., Microalgae cultivation in a wastewater dominated by carpet mill effluents for biofuel applications, *Bioresource Technology* 2010; 101: 3097–3105.

Clayton, W.D., Vorontsova, M.S., Harman, K.T. and Williamson, H. 2012. GrassBase - The Online World Grass Flora. Recuperado de <http://www.kew.org/data/grasses-db.html>.

Corbet, P. S. 1999. *Dragonflies: Behavior and Ecology of Odonata*. Cornell University Press, Ithaca, New York, USA, 829pp.

CORPONOR (Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental) (2009). Estudio del estado actual y plan de manejo ambiental del páramo de Santurbán en el Departamento de Norte de Santander. Cúcuta: CORPONOR.

Cuatrecasas, J. 1996. Clave provisional de las especies del género *Espeletiopsis* Cuatrec. (*Espeletiinae*, *Compositae*). *Anales Jará. Bot. Madrid* 54: 370-377.

Decreto 1594. 1984. Normas técnicas de calidad del agua potable. Diario oficial 36700 de julio 26 de 1984.

Delgadillo I & Góngora F. 2008. Introducción al estudio de las microalgas. Ficoteca (Colección de Microalgas), Departamento de Biología. Universidad Pedagógica Nacional. Pp 17.

- Díaz-Quirós C., Rivera C. 2004. Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadores de condiciones ambientales. *Caldasia* 26(2): 381-394
- Duque, S.R. 1997. Tipificación limnológica de algunos lagos de la Amazonia Colombiana a través de la composición, biomasa y productividad del fitoplancton. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia. 34 p
- Escobar, M. J., Terneus, E., Yáñez, P., 2013. El plancton como bioindicador de la calidad del agua en zonas agrícolas andinas: análisis de caso. Universidad Iberoamericana del Ecuador.
- Espinosa, F. J. y J. Sarukhán, 1997. Manual de Malezas del Valle de México. Claves, descripciones e ilustraciones. Universidad Nacional Autónoma de México. Fondo de Cultura Económica. México, D. F.
- Fernandez N., Ramos G., Solano F. ICATEST V 1.0®. Una herramienta Informática para el análisis y valoración de la calidad del Agua. Bistua Vol. 2 No. 2
- Gaviria, J., 1997. Sinopsis del género *Lachemilla* (Focke) Rydberg (Rosaceae) para Venezuela. Centro botánico. PLANTULA Vol. 1.
- Gómez, L. 2007. MICROALGAS: ASPECTOS ECOLÓGICOS Y BIOTECNOLÓGICOS . Laboratorio de Ecotoxicología Marina, Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, Universidad de Oriente. Revista cubana de química. Vol. XIX, Nº 2.
- González, L.E. & L.E. Mora-Osejo.: Desmidioflorula de lagunas de páramo en Colombia.- *Caldasia* 18(2): 165-202. 1996.-ISSN 0366-5232.
- Goodhue-McWilliams, K.L. 1981: Two new species of *Thermonectus* (Coleoptera: Dytiscidae) from southwestern United States and western Mexico. *Coleopterists bulletin*, 35(4): 399-407.
- Grobbelaar JU. 2004. Algal nutrition: mineral nutrition. In: Richmond A (ed). *Handbook of microalgal culture: Biotechnology and applied phycology*, pp. 97-115. Blackwell Science, Iowa
- Hair, J., Anderson, R., Tatham, R., Black, W. 1999. Análisis multivariante. Madrid. Prentice Hall Iberia. Quinta Edición.

- Hernandez, M., 2013. Biodiversidad y Conservación. Blogspot: una guía para restaurar los ecosistemas. Recuperado de <http://biodiversidadyconservacion.blogspot.com.co/2013/04/una-guia-para-restaurar-los-ecosistemas.html>
- Hind, D. J. N. & C. Jeffrey. 2001. A checklist of the Compositae of Vol. IV of Humboldt, Bonpland & Kunth's Nova Genera et Species Plantarum. *Compositae Newslett.* 37: i-iii.
- Ho S-H, C-Y Chen & J-S Chang. 2012. Effect of light intensity and nitrogen starvation on CO₂ fixation and lipid/ carbohydrate production of an indigenous microalga *Scenedesmus obliquus* CNW-N. *Bioresource Technology* 113: 244-252.
- Hofstede, R., Segarra, P., Mena, P., 2003. Los Páramos del Mundo. Proyecto Atlas Mundial de los Páramos. Global Peatland Initiative/NC-UICN/EcoCiencia. Quito, Ecuador.
- IDEAM, 2005. Datos históricos de precipitación. Estación La Caldera. IDEAM
- IDEAM, 2006. Datos diarios de precipitación 2005-2006. Estación la Caldera. IDEAM
- IDEAM, 2010. LA ALTA MONTAÑA; Sistemas Morf Territorial Colombiano Cap 2.
- INSTITUTO DE INVESTIGACION DE RECURSOS BIOLÓGICOS ALEXANDER VON HUMBOLDT-IAVH (2012). *Actualización cartográfica del Atlas de Páramos de Colombia como insumo para su delimitación*. Bogotá: IAvH, MinAmbiente.
- Jara, C. G., E. H. Rudolph & E. R. González 2006. Estado de conocimiento de los malacostráceos dulceacuícolas de Chile. *Gayana* 70(1): 40-49.
- Johnson, D.E., 1998. Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. Traducido por H. Pérez Castellanos. International Thomson Editores, Ciudad de México, México. 566 p.
- Klemm, D.J. 1982. Leeches (Annelida: Hirudinea) of North America. Environmental Monitoring and Support Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH 45268. EPA-600/3-82-025. 177 pp.
- Klemm, D.J. 1991. Taxonomy and pollution ecology of the great Lakes Region

- leeches (Annelida: Hirudinea). *Michigan Academician* 24: 37-103.
- Laegaard, S. 2003. *Aciachne*. In *Catalogue of New World Grasses (Poaceae): IV. Pooideae*. *Contr. U.S. Natl. Herb.* 48: 19. View in *BotanicusView* in *Biodiversity Heritage Library*
- López, M. C. & Penalta M., 2004. Aportación al conocimiento de la flora fitológica del Macizo Central Gallego (N.O. España). *Anales de Biología* 26: 79-91, 2004. España
- Lynch, J. D. 1994. A new species of high-altitude frog (*Eleutherodactylus: Leptodactylidae*) from the cordillera Oriental of Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 19 (72): 195-203.
- Martínez, L. & J. Donato. 2003. Efectos del caudal sobre la colonización de algas en un río de alta montaña tropical (Boyacá, Colombia). *Caldasia* 25(2): 337-354.
- Martínez L. 2008. Eliminación de CO₂ con microalgas autóctonas. Tesis Doctoral, Instituto de Recursos Naturales, Universidad de León, León, 226 pp.
- Molina et al, 2011-2012. *Lectura Integral de Territorio sobre la zona de Santurbán-Sisavita, Departamento Norte de Santander. Programa CERCAPAZ Componente "Capacidades para la gestión constructiva y sostenible de los recursos naturales y del medio ambiente"*
- Morales, R. 1985. Estudio de las comunidades de rotíferos monogodotes de las lagunas de alta montaña de sierra nevada. GRANADA.
- Mühlhauser H, N Hrepic, P Mladinic, V Montecino & S Cabrera, 1995. Water quality and limnological features of a high altitude Andean lake, Chungará, in northern Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 68: 341-349.
- Noriega, J; Castillo, D; Vasquez, A; Monroy, J., 2010. Estudio preliminar del estado de la microcuenca Los Pozos y su posible efecto en un sector de la laguna de Tota, Boyacá-Colombia. *Journal of Technology* Vol 9, No. 2, 145-164.
- Panis, L; Goddeeris, B; Verheyen, RF (1995). "Sobre la relación entre microdistribución vertical y adaptaciones a la tensión de oxígeno en el litoral Chironomidae (Diptera)". *Hydrobiologia*. 318 (1): 61-67. doi : 10.1007 / BF00014132 .

- Park J, R Craggs & A Shilton. 2011. Wastewater treatment high rate algal ponds for biofuel production. *Bioresource Technology* 102: 35-42.
- Parra O, González M, Dellarossa V, Rivera P, Orellana M. 1982. Manual taxonómico del fitoplancton en aguas continentales, con especial referencia al fitoplancton de Chile. I Cyanophyceae. Universidad de Concepción. Santiago, Chile; 82 p.
- Parra O, González M, Dellarossa V, Rivera P, Orellana M. 1982. Manual taxonómico del fitoplancton en aguas continentales, con especial referencia al fitoplancton de Chile. II Crysophyceae-Xanthophyceae. Universidad de Concepción. Santiago, Chile; 70 p.
- Parra O, González M, Dellarossa V, Rivera P, Orellana M. 1982. Manual taxonómico del fitoplancton en aguas continentales, con especial referencia al fitoplancton de Chile. III Criptophyceae-Dynophyceae- Euglenophyceae. Universidad de Concepción. Santiago, Chile; 99 p.
- Parra O, González M, Dellarossa V, Rivera P, Orellana M. 1982. Manual taxonómico del fitoplancton en aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. IV Bacillariophyceae. Universidad de Concepción. Santiago, Chile; 97 p.
- Parra O, González M, Dellarossa V, Rivera P, Orellana M. 1982. Manual taxonómico del fitoplancton en aguas continentales, con especial referencia al fitoplancton de Chile. V Chloophyceae. Universidad de Concepción. Santiago, Chile; 353 p.
- Peña, D. 2002. Análisis de datos multivariantes. Editorial McGRAW-HILL INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S. A. U.
- Pérez, M. D. C. 2002. Fitoplancton del río Negro, Uruguay. *Limnetica*, 21(1-2), 81-92.
- Ramírez A & Viña G. 1998. *Limnología Colombiana*. Primera edición. Editorial Panamericana. Pp 293.
- Ramírez, A.M. & Y. Plata-Díaz. 2008. Diatomeas perifíticas en diferentes tramos de dos sistemas lóticos de alta montaña (Páramo de Santurbán, norte de Santander, Colombia) y su relación con las variables ambientales. *Acta Biológica Colombiana* 13(1): 199-216.

- Ramírez, J. 2000. Fitoplancton de agua dulce: bases ecológicas, taxonómicas y sanitarias. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia, 207 págs.
- Ramírez A., Plata Y., 2008. Diatomeas perifíticas en diferentes tramos de dos sistemas lóticos de alta montaña (páramo de Santurbán, Norte de Santander, Colombia) y su relación con las variables ambientales. Acta biol. Colomb., Vol. 13 No. 1, 199 – 216
- Rivas A., Gomez R., Monterrosa A., 2010. Consideraciones generales para el estudio y monitoreo de diatomeas en los principales ríos de El Salvador. Universidad del Salvador.
- Rivera, P. 1983. A Guide for References and Distribution for the Class Bacillariophyceae in Chile between 18°28'S and 58°S. Bibliotheca Diatomologica Vol. 3, 386 pp
- Rivera-R. C. & C. Díaz-Q. 2004. Grandes Taxones de fitobentos y su relación con la hidrología, física y química de pequeños ríos andinos. Universitas Scientiarum9: 75-86
- Roa A.L., Osorio A., Solano F y Cajiao A., en 2014 realizaron un trabajo denominado Inventario Preliminar de Microalgas nativas de la Laguna El Salado. Chitagá, Norte de Santander, donde relacionan las microalgas encontradas con variables físico-químicas. Bibliografía: IX Congreso de Micro y Macroalgas. Universidad Andrés Bello. Viña de Mar. Chile Abril 2014
- Rodelo, K; Parra, A; 2012. *Composición y abundancia de la comunidad de algas perifíticas del río cesar asociado a variables físico-químicas e hidrológicas durante los meses de febrero-septiembre del año 2011. Cesar, Colombia.* Trabajo de Grado. Universidad del Atlántico. Colombia.
- Rodríguez, L.S., 2012. *LA SABANA DE BOGOTÁ CON BASE AL FITOPLANCTON, EN DOS PERIODOS CLIMÁTICOS CONTRASTANTES.* Trabajo de Grado. Universidad Militar Nueva Granada. Colombia
- Roldán, G. 1992. Fundamentos de limnología neotropical. Colombia. Editorial Universidad de Antioquia. Primera Edición.
- Roldán, G. Ramírez, J., 2008. Fundamentos de limnología neotropical. Colombia. Editorial Universidad de Antioquia. Segunda Edición.

- Roldán, G. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. *Propuesta para el uso del método BMWP/Col.* Colombia. Editorial Universidad de Antioquia. Primera Edición.
- Romero, W.A., Leal, J.A., Complejo Lagunal Ántala. FICHA TÉCNICA RUTA DEL DURAZNO Y EL AGUA. Universidad de Pamplona.
- Ruiz-Carranza, P. M., Ardila-Robayo, M. C. y J. D. Lynch, 1996. Lista actualizada de la fauna de amphibia de Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 20 (77): 365-415.
- Rzedowski, G. C. de y J. Rzedowski, 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. 2a ed. Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán, México.
- Sawyer, R.T. 1986. Leech biology and behavior, Volume I. Anatomy, physiology, and behaviour. Clarendon Press, Oxford. ix + pp. 1-417 + index (33 pp.).
- Sklenár, P., Luteyn, J.L., Ulloa Ulloa, C., Jørgensen, P.M. & Dillon, M.O. (2005) Flora genérica de los páramos: guía ilustrada de las plantas vasculares. New York Botanical Garden, Bronx, New York.
- Spaulding, S., and Edlund, M. (2008). *Fragilaria*. In *Diatoms of the United States*. Retrieved November 10, 2016, from <http://westerndiatoms.colorado.edu/taxa/genus/Fragilaria>
- Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. 01 Dec 2016 <http://www.tropicos.org/Name/40027257>
- Väinölä, R., J. D. S. Witt, M. Grabowski, J. H. Bradbury, K. Jazdzewski & B. Sket 2008. Global diversity of amphipods (Amphipoda; Crustacea) in freshwater. *Hidrobiologia* 595: 241-255.
- Van Den Hoek, C., D. G. Mann Y H. M. Jahns .1995. *Algae an Introduction to Phycology*. Cambridge University Press. United States of America, 130-133.
- Vargas, W. G., 2002. Guía ilustrada de las Plantas de las Montañas del Quindío y los Andes Centrales. Universidad de Caldas. Centro Editorial, 814 p. ISBN 958-8041-38-4. Manizales.
- Vásquez, C., Ariza, A., & Pinilla, G. (2006). Descripción del estado trófico de diez humedales del Altiplano Cundiboyacense. *Universitas Scientiarum*, 11(2), 61-75.

Villers Ruiz, Lourdes, et al. 2006. Guía botánica del Parque Nacional Malinche, Tlaxcala-Puebla. UNAM. ISBN 970-32-1844-X.

Watson L, Dallwitz MJ. 2008. «The grass genera of the world: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval; including synonyms, morphology, anatomy, physiology, phytochemistry, cytology, classification, pathogens, world and local distribution, and references». The Grass Genera of the World. Recuperado de <http://delta-intkey.com/grass/www/alopecur.htm>

Zapata, A.M & J.C. Donato. 2005. Cambios diarios de las algas perifíticas y su relación con la velocidad de corriente en un río tropical de alta montaña (río Tota - Colombia). *Limnetica* 24: 327-338.